

UFPA

PPGEC

**Universidade Federal
do Pará**



Maria de Nazaré Alves da Silva

**Sustentabilidade Hídrica: demanda
consuntiva e disponibilidade regional em
uma Região Hidrográfica da Amazônia**

DEFESA DE DOUTORADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil

Tese orientada pelo Professor Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém – Pará – Brasil

2021

MARIA DE NAZARÉ ALVES DA SILVA

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC-ITEC), da Universidade Federal do Pará (UFPA), como requisito para obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil – Área de Concentração: Engenharia Hídrica.

Orientador: Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes

Belém
2021

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)

- S586s Silva, Maria de Nazaré Alves da Silva.
Sustentabilidade Hídrica: demanda consuntiva e disponibilidade regional em uma Região Hidrográfica da Amazônia / Maria de Nazaré Alves da Silva Silva. — 2021.
297 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Fernandes

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2021.

1. Segurança Hídrica. 2. Região Hidrográfica. 3. Índices de Sustentabilidade. 4. Análise Multivariada. I. Título.

CDD 620

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



SUSTENTABILIDADE HÍDRICA: DEMANDA CONSUNTIVA E DISPONIBILIDADE REGIONAL EM UMA REGIÃO HIDROGRÁFICA DA AMAZÔNIA

AUTORA:

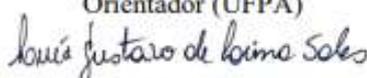
MARIA DE NAZARÉ ALVES DA SILVA

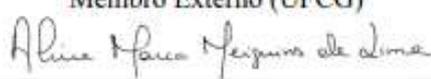
TESE SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM ENGENHARIA CIVIL NA ÁREA DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL.

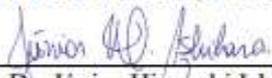
APROVADO EM: 14 / 05 / 2021.

BANCA EXAMINADORA:

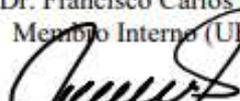

Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes
Orientador (UFPA)


Prof. Dr. Luis Gustavo de Lima Sales
Membro Externo (UFCG)

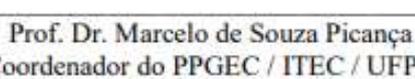

Profa. Dra. Aline Maria Meiguins de Lima
Membro Externo (UFPA)


Prof. Dr. Júnior Hiroyuki Ishihara
Membro Externo (UFPA)


Prof. Dr. Francisco Carlos Lira Pessoa
Membro Interno (UFPA)


Prof. Dr. Nélcio de Moya Figueiredo
Membro Interno (UFPA)

Visto:


Prof. Dr. Marcelo de Souza Picança
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

Dedico esta tese à minha família por todo amor e carinho, à minha tia Alzira vítima do coronavírus (COVID-19) (in memória), ao meu tio Sebastião também vítima do coronavírus (COVID-19) (in memória) e as mais de 370 mil vítimas do coronavírus.

AGRADECIMENTOS

À Deus por toda benção concedida, saúde e livramento, me proporcionando condições físicas e mentais para concluir mais esta jornada acadêmica, especialmente, durante a pandemia.

À minha família e familiares pelo amor, companheirismo e gratidão.

À UFAM, especialmente ao Departamento de Engenharia Civil por acreditar no meu potencial em contribuir para o desenvolvimento da instituição e assim me concedeu o tempo necessário para realizar esse projeto e sonho.

À UFPA por meio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (professores e secretária) que foi o veículo condutor dessa jornada.

Ao Prof. Dr. Lindemberg Lima Fernandes pela orientação acadêmica e amizade dedicada.

A todos os meus amigos da UFAM e UFPA que me dedicaram atenção, companheirismo, afeto e solidariedade. Pelos momentos de risadas, discussões, reflexões e apoio.

“Ciência não é uma escolha. É uma necessidade ...”

Marcelo Gleiser

RESUMO

A presente pesquisa analisou a sustentabilidade hídrica da Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (RH-CAN) a partir da oferta e demanda hídrica, usando os Índices Agregados de Sustentabilidade Hídrica ($IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$) e o Índice Hidrológico (IndHidro), como instrumentos de tomada de decisão no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos regionais. A região é composta por seis sub-regiões hidrográfica com 67 municípios e abriga 59,74% da população. É o local de colonização mais antigo da Amazônia, com relevante importância no contexto social, econômico e ambiental do estado e está entre as regiões hidrográficas do estado que menos favorece a manutenção dos sistemas hídricos, fato que motivou o interesse em pesquisar a região. A base de seleção dos indicadores e de cálculo dos índices agregados foi a análise fatorial (AF), com a aplicação de quatro métodos de ponderação nos anos 2005, 2010 e 2015. O método mais adequado para estimar o IASH foi definido pelo teste de Durbin-Watson (DW), com esse resultado os municípios foram agrupados em torno do $IASH_{Munic.}$ pela análise da *Cluster* (CA). O IndHidro foi representado pelos indicadores, balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS), o índice de Falkenmark (FI), o índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) e Vazões ($Q_{med.}$ e $Q_{min.}$). Os resultados mostraram que a AF reduziu o conjunto inicial de 49 indicadores em 38 em 2005; 35 em 2010 e 37 em 2015, todos os métodos foram adequados para estimar os índices agregados, porém o da Ponderação com Escores Fatoriais, apresentou mais vantagens, principalmente, por ranquear os municípios e revelou que 3,33% dos municípios se encontravam no nível “ideal” de sustentabilidade hídrica, 68,33% no “aceitável”, 25,00% no “alerta” e 3,33% no “estado crítico” em 2005. Em 2010 esses percentuais passaram para 1,67%, 28,33%, 61,67% e 8,33%, respectivamente e em 2015 teve o pior cenário, 1,67% se manteve no “ideal”, 3,33% no “aceitável”, 90,00% no “alerta” e 5,00% no “estado crítico”, que caracterizou a região no nível de sustentabilidade “aceitável” no ano 2005 e “alerta” nos anos 2010 e 2015. Os municípios foram agrupados em torno do $IASH_{Munic.}$ em sete *cluster* em 2005 e 2015, em 2010 foram formados seis *cluster*. No primeiro e segundo ano os $IASH_{Munic.}$ estavam concentrados espacialmente e no último ano, aleatoriamente dispersos. Para os indicadores do IndHidro, os resultados mostraram que região dispõe de uma vasta malha hídrica superficial, mas o manancial subterrâneo é mais explorado, em que 7% dos municípios usavam o superficial, 8% utilizavam os dois mananciais e 45% exploravam o subterrâneo. O FI, mostrou um cenário sustentável na maioria dos

municípios, porém não foi adequado para mensurar a sustentabilidade hídrica na escala municipal. O ICRH evidenciou que os problemas da escassez hídrica se concentraram, principalmente, nas SBRH Costa Atlântica, Gurupi, Capim e Guamá. Para as vazões observou-se que as menores médias mensais ocorreram a partir do mês de agosto e se aproximavam da Q_{70} . Assim, os índices analisados se mostraram eficientes como instrumentos de tomada de decisão no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos regionais.

Palavras-chave: Segurança Hídrica. Região Hidrográfica. Índices de Sustentabilidade. Análise Multivariada.

ABSTRACT

This research analyzed the water sustainability of the North Atlantic Coastal Hydrographic Region (RH-CAN) based on water supply and demand, using the Aggregate Water Sustainability Indexes (IASH_{Munic.} And IASHR_{H-CAN}) and the Hydrological Index (IndHidro), as decision-making instruments in the planning and management process of regional water resources. The region is made up of six hydrographic sub-regions with 67 municipalities and is home to 59.74% of the population. It is the oldest colonization site in the Amazon, with relevant importance in the social, economic and environmental context of the state and is among the hydrographic regions of the state that least favors the maintenance of water systems, a fact that motivated the interest in researching the region. The basis for selecting indicators and calculating aggregate indices was factor analysis (FA), with the application of four weighting methods in the years 2005, 2010 and 2015. The most appropriate method for estimating IASH was defined by test the Durbin-Watson (DW), with this result the municipalities were grouped around IASH_{Munic.} by the analysis of Cluster (CA). IndHidro was represented by the indicators, Sequential Climatological Water Balance (BHCS), the Falkenmark index (FI), the Water Resources Criticality Index (ICRH) and Flow (Q_{med.} And Q_{min.}). Thus, the results that AF reduced the initial set of 49 indicators in 38 in 2005; 35 in 2010 and 37 in 2015, all methods were adequate to estimate the aggregate indexes, however the Weighting with Factoril Scores, presented more advantages, mainly, for ranking the municipalities and revealed that 3.33% of the municipalities were at the level "ideal" of water sustainability, 68.33% in the "acceptable", 25.00% in the "alert" and 3.33% in the "critical state" in 2005. In 2010 these percentages rose to 1.67%, 28, 33%, 61.67% and 8.33%, respectively, and in 2015 had the worst scenario, 1.67% remained in the "ideal", 3.33% in the "acceptable", 90.00% in the "alert" and 5.00% in the "critical state", which characterized the region at the level of sustainability "acceptable" in the year 2005 and "alert" in the years 2010 and 2015. The municipalities were grouped around IASH_{Munic.} in seven clusters in 2005 and 2015, in 2010 six clusters were formed. In the first and second year IASH_{Munic.} they were spatially concentrated and in the last year, randomly dispersed. For the IndHidro indicators, the results revealed that the region has a vast surface water network, but the underground water source is more explored, in which 7% of the municipalities used the surface, 8% used both water sources and 45% explored the underground. The FI showed a sustainable scenario in most

municipalities, but it was not adequate to measure water sustainability at the municipal scale. The ICRH exposed that the problems of water scarcity were mainly concentrated in the SBRH Atlantic Coast, Gurupi, Capim and Guamá. For flows, it was observed that the lowest monthly averages occurred from the month of August approached Q_{70} . Thus, the analyzed indexes proved to be efficient as decision-making instruments in the process of planning and managing regional water resources.

Keywords: Water Security. Hydrographic Region. Sustainability Indexes. Multivariate Analysis.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 –	Distribuição da água nos continentes	27
Figura 2 –	Demanda global de água: Linha de base, 2000 e 2050	30
Figura 3 –	Evolução da retirada de água no Brasil (1931-2030)	31
Figura 4 –	População de países que enfrentam uma pressão ou uma escassez sobre os recursos hídricos (mil milhões)	35
Figura 5 –	Objetivos para transformar nosso mundo	40
Figura 6 –	Fluxo de informações na direção do índice	45
Figura 7 –	Pirâmide da Informação na Gestão de Recursos Naturais e a Geração do Conhecimento.	46
Figura 8 –	Localização da região hidrográfica Costa Atlântica Nordeste - PA	53
Figura 9 –	Sub-regiões hidrográficas da RH-CAN	54
Figura 10 –	Evolução da formação da RH-CAN	55
Figura 11 –	Esquema metodológico da pesquisa	59
Figura 12 –	Escopo com dimensões e temas para formulação do IASHRH-CAN	62
Figura 13 –	Distribuição espacial das estações pluviométricas na RHCAN	73
Figura 14 –	Espacialização das estações de satélite da temperatura média do ar	76
Figura 15 –	Sequência de cálculo do método de ponderação com cargas/pesos fatoriais	93
Figura 16 –	Sequência de cálculo do método de ponderação com escores fatoriais	95
Figura 17 –	Sequência de cálculo do método de agregação com pesos iguais	96
Figura 18 –	Sequência de cálculo do método de ponderação com cargas/pesos fatoriais por dimensão	97
Figura 19 –	Estrutura de formação IndHidro	101
Figura 20 –	Distribuição espacial das estações fluviométricas da ANA, nas sub-regiões hidrográficas da RH-CAN	102
Figura 21 –	Fluxograma de cálculo do BHCS	105
Figura 22 –	Representação esquemática dos procedimentos metodológicos adotados na definição da sustentabilidade hídrica	113
Figura 23 –	Espacialização das Componentes do ano 2005	118
Figura 24 –	Espacialização das Componentes - Ano 2010	122
Figura 25 –	Efetivo de bubalinos nos municípios da RH-CAN - (C5)	123
Figura 26 –	Retirada de água para consumo humano rural	124
Figura 27 –	Evolução dos indicadores do C7 para os municípios com nível “alerta”	125
Figura 28 –	Espacialização dos componentes - Ano 2015	126
Figura 29 –	Evolução dos indicadores do C2 para o município de Belém	128
Figura 30 –	Desempenho do efetivo de bovino nos municípios da RH-CAN	130
Figura 31 –	Desempenho do efetivo de equino nos municípios da RH-CAN	132

Figura 32 –	Evolução do desmatamento acumulado nos municípios da RH-CAN	133
Figura 33 –	Desmatamento na RH-CAN no arco do desmatamento	134
Figura 34 –	Evolução da diminuição da área de floresta por município da RH-CAN	135
Figura 35 –	Crescimento do PIB Agropecuário por municípios da RH-CAN	136
Figura 36 –	Evolução da área colhida na agricultura nos municípios da RH-CAN	137
Figura 37 –	Desempenho do efetivo de caprino nos municípios da RH-CAN	138
Figura 38 –	Evolução da demanda de água na pecuária nos municípios da RH-CAN	140
Figura 39 –	IASH _{Munic.} dos municípios da RH-CAN	142
Figura 40 –	Espacialização do IASH _{Munic.} na RH-CAN	143
Figura 41 –	Espacialização do IASH _{RH-CAN.}	144
Figura 42 –	Evolução 2005 – 2010 dos IASH _{Munic.}	153
Figura 43 –	Evolução 2010 – 2015 dos IASH _{Munic.}	154
Figura 44 –	Evolução 2005 – 2015 dos IASH _{Munic.}	155
Figura 45 –	Classificação dos municípios pelos IASH _{Munic.}	155
Figura 46 –	IASH _{RH-CAN} nos três anos de estudo	156
Figura 47 –	Desempenho dos municípios no âmbito da dimensão social	158
Figura 48 –	Espacialização e classificação dos municípios - ITSS	159
Figura 49 –	Desempenho dos municípios, conforme ITSE	160
Figura 50 –	Espacialização e classificação dos municípios, conforme o ITSE	161
Figura 51 –	Desempenho dos municípios, conforme o ITSA	162
Figura 52 –	Espacialização e classificação dos municípios, conforme ITSA	163
Figura 53 –	Desempenho dos municípios, conforme o ITSPI	164
Figura 54 –	Espacialização e classificação dos municípios, conforme ITSPI	165
Figura 55 –	Radar dos índices temáticos de sustentabilidade	166
Figura 56 –	Evolução do IASH _{Munic.}	166
Figura 57 –	Classificação do IASH _{Munic.}	167
Figura 58 –	Classificação do IASH _{RH-CAN}	168
Figura 59 –	Indicadores por índice temático	173
Figura 60 –	Desempenho dos ITS e do IASH _{RH-CAN}	174
Figura 61 –	Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSS	175
Figura 62 –	Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSE	176
Figura 63 –	Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSA	177
Figura 64 –	Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSPI	178
Figura 65 –	Classificação dos municípios da RH-CAN, quanto ao nível de sustentabilidade hídrica	179
Figura 66 –	Desempenho do IASH _{RH-CAN} e dos ITS	180
Figura 67 –	Classificação do IASH _{RH-CAN.} - Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão	181

Figura 68 –	Comparação entre os Métodos de estimação do $IASH_{RH-CAN}$	182
Figura 69 –	Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2005	187
Figura 70 –	Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2010	187
Figura 71 –	Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2015	188
Figura 72 –	Espacialização dos municípios por, conforme os <i>clusters</i>	188
Figura 73 –	Dendrograma elaborado a partir dos $IASH_{Munic.}$ – Ano 2005	189
Figura 74 –	Dendrograma elaborado a partir dos $IASH_{Munic.}$ – Ano 2010	190
Figura 75 –	Dendrograma elaborado a partir dos $IASH_{Munic.}$ – Ano 2015	191
Figura 76 –	Espacialização dos municípios os clusters na RH-CAN a partir dos $IASH_{Munic.}$	191
Figura 77 –	Localização dos poços na RH-CAN	193
Figura 78 –	Captações subterrâneas outorgadas na RH-CAN – Poços (Ano: 2000 a 2018)	193
Figura 79 –	Captações superficiais outorgadas (Ano: 2000 a 2018)	194
Figura 80 –	Representação gráfica do BHCS para RH-CAN	203
Figura 81 –	Representação gráfica do BHCS para a SBRH Costa Atlântica	205
Figura 82 –	Representação gráfica do BHC para a SBRH Gurupi	207
Figura 83 –	Representação gráfica do BHC para a SBRH Capim	210
Figura 84 –	Representação gráfica dos BHCS para a SBRH Guamá	212
Figura 85 –	Representação gráfica do BHCS para a SBRH Moju	215
Figura 86 –	Representação gráfica do BHCS para a SBRH Acará	217
Figura 87 –	Disponibilidade hídrica para os municípios da RH-CAN	220
Figura 88 –	Mapa de classificação, a partir do ICRH para a RH-CAN, em nível municipal	223
Figura 89 –	Divisão percentual da população da RH-CAN nas cinco classes do Índice de Falkenmark	223
Figura 90 –	Divisão percentual dos Municípios da RH-CAN nas cinco classes do Índice de Falkenmark	224
Figura 91 –	Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2005	226
Figura 92 –	Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2010	227
Figura 93 –	Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2015	227
Figura 94 –	Análise dos períodos críticos para as estações fluviométricas da RH-CAN	229
Figura 95 –	Retiradas de água pelas atividade de usos consuntivos na RH-CAN	230
Figura 96 –	Comparação entre a disponibilidade per capita, $IASH_{Munic.}$ e ICRH	232

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 –	Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Social	63
Quadro 2 –	Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Econômica	64
Quadro 3 –	Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Ambiental	65
Quadro 4 –	Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Político-Institucional	67
Quadro 5 –	Culturas desenvolvidas na RH-CAN	70
Quadro 6 –	Tipo de relação dos indicadores com o IASH _{RH-CAN} na dimensão social	79
Quadro 7 –	Tipo de relação dos indicadores com o IASH _{RH-CAN} na dimensão econômica	79
Quadro 8 –	Tipo de relação dos indicadores com o IASH _{RH-CAN} na dimensão ambiental	80
Quadro 9 –	Tipo de relação dos indicadores com o IASH _{RH-CAN} na dimensão político-institucional	81
Quadro 10 –	Índices de validação de agrupamentos	88
Quadro 11 –	Métodos de estimação do IASH _{RH-CAN}	98
Quadro 12 –	Composição dos elementos hidrológicos	101
Quadro 13 –	Indicadores selecionados para estimação do IASH _{RH-CAN}	116
Quadro 14 –	Composição dos fatores	147
Quadro 15 –	Outorgas federais de mananciais superficiais	195

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Dimensões, temas e indicadores para a estimação de índices de sustentabilidade	60
Tabela 2 –	Consumos per capita	68
Tabela 3 –	Valores de BEDA por tipo de rebanho	69
Tabela 4 –	Coeficientes de cultura (Kc) médio	73
Tabela 5 –	Coeficiente para cálculo de vazão de retorno	77
Tabela 6 –	Intervalos do teste Kaiser-Meyer-Olkin	83
Tabela 7 –	Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson	87
Tabela 8 –	Classificação e representação dos índices em níveis de sustentabilidade	99
Tabela 9 –	Diferenciação da barreira hídrica proposta por Falkenmark (1989)	109
Tabela 10 –	Índice de Criticidade de Recursos Hídricos (ICRH). Disponibilidade Específica de Água (DEA) e Problemas de Gestão Associados (Falkenmark, 1992)	110
Tabela 11 –	Testes de KMO e Bartlett	114
Tabela 12 –	Cargas Fatoriais após rotação ortogonal	115
Tabela 13 –	Valores do $IASH_{Munic.}$ e do $IASH_{RH-CAN}$	141
Tabela 14 –	Índice agregado de sustentabilidade hídrica municipal ($IASH_{Munic.}$), nível de sustentabilidade hídrica (SH) e Classificação dos municípios da RH-CAN	148
Tabela 15 –	Teste de KMO para os ITS	170
Tabela 16 –	Matriz de componentes principais rotativa	171
Tabela 17 –	Teste de Durbin-Watson segundo os métodos de agregação	183
Tabela 18 –	Média dos fatores e dos $IASH_{Munic.}$ dos grupos de municípios nos três anos de estudo	186
Tabela 19 –	Índice de Falkenmark para os municípios da RH-CAN	219
Tabela 20 –	Índice de criticidade para os municípios da RH-CAN	221
Tabela 21 –	Vazões apropriadas para as estações fluviométricas da RH-CAN	225
Tabela 22 –	Estações pluviométricas da ANA, nas sub-regiões hidrográficas da RH-CAN	265
Tabela 23 –	Características das estações TRMM	266
Tabela 24 –	Dados das estações fluviométricas avaliadas no estudo	267
Tabela 25 –	Testes de validação do número de grupos usando escores fatoriais	294
Tabela 26 –	Testes de validação do número de grupos usando o $IASH_{Munic.}$	295
Tabela 27 –	Vazões de captação dos mananciais utilizados no abastecimento de água nos municípios	296

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	20
2.	HIPÓTESES	24
3.	OBJETIVOS	25
3.1	OBJETIVO GERAL	25
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
4.	REFERENCIAL TEÓRICO	25
4.1	RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO CONTEXTO DA SEGURANÇA HÍDRICA	26
4.1.1	Disponibilidade Hídrica	27
4.1.2	Demandas Hídricas	29
4.1.3	Recursos Hídricos: Crise, Segurança, Gestão e Mudanças Climáticas	36
4.2	INDICADORES E ÍNDICES COMO INSTRUMENTOS DE GESTÃO NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	42
4.2.1	Principais Aspectos	43
4.2.2	Indicadores e Índice de Sustentabilidade	44
4.3	MÉTODOS APLICADOS NA ESTIMAÇÃO DE ÍNDICES AGREGADOS DE SUSTENTABILIDADE E DE ÍNDICE HIDROLOGICO	48
4.3.1	Índices Agregados	48
4.3.2	Índices Hidrológicos	51
4.4	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	54
5.	MÉTODOS	58
5.1	ÍNDICE AGREGADO DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA	60
5.1.1	Banco de dados para composição do índice agregado de sustentabilidade hídrica – $iash_{rh-can}$	60
5.1.2	Hierarquização da matriz de dados usando a análise multivariada	81
5.1.2.1	Análise Fatorial (AF)	82
5.1.2.2	Análise de <i>Cluster</i> (CA)	85

5.1.2.2.1	Validação da Análise de Cluster	86
5.1.2.2.2	Definição do Número de Grupos	87
5.1.3	Determinação do $IASH_{RH-CAN}$	88
5.1.3.1	Método de Ponderação com Pesos Fatoriais	91
5.1.3.2	Método de Ponderação com Escores Fatoriais	93
5.1.3.3	Método de Ponderação com Pesos Iguais	95
5.1.3.4	Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão	96
5.1.4	Classificação dos $IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$	99
5.1.5	Avaliação do melhor método de agregação para estimar o $IASH_{RH-CAN}$	99
5.2	ÍNDICE HÍDRICO OU ÍNDICE REGIONAL – IndHidro	100
5.2.1	Banco de dados para composição do Índice Hidrológico ou Regional (IndHidro) para a RH-CAN	100
5.2.2	Determinação do IndHidro	103
5.2.2.1	Mananciais de Abastecimento na RH-CAN	103
5.2.2.2	Balanço Hídrico Climatológico Sequencial - BHCS	104
5.2.2.3	Índice Falkenmark (FI)	108
5.2.2.4	Índice Criticidade de Recursos Hídricos	109
5.2.2.5	Vazões Médias e Mínimas	111
6.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	113
6.1	ÍNDICE AGREGADO DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA – $IASH_{RH-CAN}$	113
6.1.1	Cálculo do $IASH_{RH-CAN}$: Método da Ponderação com Pesos Fatoriais	113
6.1.2	Cálculo do $IASH_{RH-CAN}$: Método de Ponderação com Escores Fatoriais	145
6.1.3	Cálculo do $IASH_{RH-CAN}$: Método da Ponderação com Pesos Iguais	157
6.1.4	Cálculo do $IASH_{RH-CAN}$: Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão	169
6.1.5	Avaliação dos métodos de agregação para estimação do IASH	181

6.1.6	Análise de Cluster	184
6.2	ÍNDICE HIDROLÓGICO OU ÍNDICE REGIONAL	e
6.2.1	Mananciais de Abastecimento na RH-CAN	192
6.2.2	Balanço Hídrico Climatológico Sequencial	200
6.2.3	Índice de Falkenmark (FI)	218
6.2.4	Índice de Criticidade em Recursos Hídricos (ICRI)	220
6.2.5	Vazões Médias e Mínimas	225
7.	CONCLUSÕES	233
	REFERÊNCIAS	235
	APÊNDICES	292

1. INTRODUÇÃO

Não se pode dissociar a análise da sustentabilidade das discussões sobre o clima atual, o ambiente ecológico (BRIONES-HIDROVO; UCHE; MARTÍNEZ-GRACIA, 2021) e as mudanças climáticas. Dessa forma entende-se a sustentabilidade como um processo que busca o equilíbrio entre natureza e sociedade (CLARK; DICKSON, 2003) e se apoia em três pilares base: ambiental, social e econômico (IDOWU *et al.*, 2013; ARAÚJO *et al.*, 2018a), porém não se registra somente a esses pilares, mas integra todas as perspectivas de sustentabilidade, conforme o contexto abordado.

Dada aos múltiplos aspectos da sustentabilidade, tem-se que a sustentabilidade hídrica busca manter um equilíbrio dinâmico entre a oferta e a demanda hídrica, de modo que as fontes hídricas superficiais e subterrâneas sejam usadas com proporções equivalentes ou menores à sua capacidade de recarga (RIBEIRO; PIZZO, 2011).

Embasada nesses conceitos, a presente pesquisa apresenta como tema principal a sustentabilidade hídrica na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste – PA (RH-CAN), a partir da análise de um sistema de indicadores que compõem os índices agregados de sustentabilidade hídrica e hidrológico com reflexos na segurança hídrica da região.

O Brasil é um dos maiores detentores de recursos hídricos no mundo, segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2020b) cerca de 255 mil m³/s de água escoam pelo território brasileiro. Mesmo com toda essa abundância, quase 80% desse total encontra-se na bacia Amazônica, em que a disponibilidade hídrica superficial estimada está em torno de 76 mil m³/s ou 30% da vazão média, destes 82,89% (63 mil m³/s) correspondem à contribuição da bacia Amazônica ao total do País. Em relação à disponibilidade hídrica subterrânea, essa é em torno de 14.650 m³/s.

Contudo, é no Norte do Brasil que estar o maior índice de disponibilidade per capita do país, associando alta vazão específica com baixa densidade populacional, como verificado nas regiões hidrográficas: Costeira Norte, com 1,8 milhão m³/hab/ano, do rio Amazonas com 455 mil m³/hab/ano, e na vertente oeste do Tocantins, entre as sub-bacias dos rios Araguaia e Pará, próximas a 150 mil m³/hab/ano (MMA, 2006).

Mesmo vivendo numa região que detem duas grandes bacias hidrográficas, as dos rios Amazonas e Tocantins-Araguaia, a população ainda tem pouco acesso a doce e tratada, visto que é notório e alarmante quando se analisa a realidade da população residente em 2010 na Amazônia brasileira (15.864,454 hab) (BORDALO, 2017).

Augusto *et al.* (2012) enfatizam que por conta dessa disponibilidade não ser equânime, gera reflexos, especialmente as desigualdades no país, visto que o Brasil, tem 2,8% da população mundial e 12% da água doce do planeta. No entanto, 70% dessa água estão na bacia Amazônica onde a densidade populacional é a menor do país. Por outro lado, a região mais árida e pobre do Brasil, o Nordeste, onde vive cerca de 30% da população, possui somente 5% da água doce. Nas regiões Sul e Sudeste do país, onde vive cerca de 60% da população, dispõe apenas de 12,5% de água doce.

Os conflitos em torno da água no Brasil tem sido causado por: 1) apropriação particular; 2) (mal) uso e preservação; e 3) hidrelétricas, barragens e açudes (GARZON, 2019) e pela escassez (RIBEIRO; SANTOS; SILVA, 2019). Dos estados brasileiros com maior quantidade de conflitos pela água, destacam-se: Minas Gerais (58), Bahia (24), Espírito Santo (17) e Pará (14), totalizando 65,7% dos 172 conflitos ocorridos no Brasil, no caso específico do Pará, este registrou a quarta maior ocorrência de tensões por água no país e a maior quantidade de famílias envolvidas nesses eventos no último ano do levantamento (CPT, 2016), dentre os municípios paraenses que compõem a RH-CAN tem-se Barcarena com 2 registros de conflito nesse ano de 2016.

Segundo a ANA (2017b), no Brasil, a retirada de água para as atividades de usos consuntivos em 2016 foi de 2.097,9 m³/s que se distribuem entre irrigação (46,19%), abastecimento humano (24,90%), setor industrial (9,17%), uso animal (7,87%), mineração (1,56%) e termelétricas (10,31%).

Inserida nesse contexto de demanda, uso e disponibilidade hídrica a região Nordeste Paraense, especificamente a macrorregião hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (RH-CAN), abriga a maior densidade demográfica do estado, é a porção territorial com investimentos intensivos em agropecuária, sendo o local de colonização mais antiga da Amazônia Oriental, datada do século XVII (ROSÁRIO, 2000).

Ela se apresenta também como a área de desenvolvimento expressivo de atividades da agricultura (lavoura permanente e temporária, extração vegetal); pecuária (produção de rebanhos) e a agroindústria (excessiva demanda de água no plantio, cria e/ou processamento) no estado.

Dentre os aspectos mais importantes para a região, tem-se que ela integra a área do arco do desmatamento, essa área tem uma extensão que abrange desde o sudeste do estado do Maranhão, ao norte do Tocantins, sul do Pará, norte de Mato Grosso, Rondônia, sul do Amazonas e sudeste do estado do Acre (TREMEA; GALLO; SILVA, 2020). Com

destaque para a fronteira agrícola, a qual reflete a necessidade de investigar a demanda e a disponibilidade hídrica dessa região.

Assim como o comprometimento dos recursos hídricos resultante dos impactos da queimada no arco do desmatamento, como observado no estudo de Rego; Fernandes; Lima (2011) que revela o cenário potencial de degradação nos rios Ararandeuá e Pebas, no trecho localizado na sede do município de Rondon do Pará que integra essa área impactada.

O estudo de Santos, Silva e Guimarães (2020) enfatiza que os focos de queimada nos municípios do Pará, se concentram nas mesorregiões Sudeste, Sudoeste e Nordeste Paraense, estas possuem como principais atividades econômicas a pecuária, e a agricultura de larga em escala.

Outro aspecto relevante é que a RH-CAN abriga a Região Metropolitana de Belém, a qual é uma das três regiões metropolitanas do estado do Pará e é formada por sete municípios (Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara e Santa Izabel do Pará), possui cerca de 2.402.438 habitantes (FERREIRA FILHO; BELTRÃO, 2017) e área territorial de 3.567,15 km², o que representa cerca de 3% da área territorial da região.

Além da ausência de trabalhos que analisem a área na totalidade, em foram identificados apenas estudos aplicados nas suas sub-regiões, bacias e/ou sub-bacias hidrográficas isoladamente, não avaliando a região na sua integralidade. Como, os de Rocha e Lima (2020) na bacia do Rio Guamá; os de Ferreira *et al.* (2017) no Rio Moju; os de Tamasauskas *et al.* (2016) no Rio Caripi e no Igarapé Açu.

Como os de Abrão (2015); Boin (2005); Bordalo *et al.* (2017); Costa, *et al.* (2015); Nascimento *et al.* (2005); Silva *et al.* (2016), levantam as problemáticas ambientais e suas consequências nas bacias hidrográficas da região em estudo, assim como o estudo desenvolvido por Lima *et al.* (2010) que observou que as bacias hidrográficas enfrentam uma alta pressão sobre os recursos hídricos por apresentarem um cenário crescente de intervenções, que pode futuramente demandar por ações de maior controle sobre os recursos hídricos.

Como evidenciado no estudo desenvolvido por Lima *et al.* (2010) que revelou a RH-CAN dentre as regiões hidrográficas do estado que menos favorece a manutenção dos sistemas hídricos, contribuindo para a ocorrência de períodos secos mais rigorosos.

Gomes *et al.* (2019) investigaram as características que influenciam a disponibilidade hídrica da Amazônica Oriental, a partir da Região Hidrográfica do

Atlântico Nordeste Ocidental (RHANO) como elemento de observação, sendo que essa também agrega a RH-CAN.

Todo esse cenário contribuiu para justificar o presente estudo, sobretudo, esse quadro de alta pressão sobre os recursos hídricos na RH-CAN e sugerindo a necessidade do desenvolvimento de uma abordagem metodológica que subsidie o planejamento hidrológico e ambiental nos municípios que a compõem, a partir do estabelecimento de cenários para o comportamento da demanda e da disponibilidade hídrica na região.

Dessa forma, a adequada seleção e desenvolvimento de ferramentas, como o sistema de indicadores de sustentabilidade hídrica e hidrológicos ou regionais que se relacionam com a segurança hídrica, ainda é um desafio, especialmente na Amazônia. Tal fato reside na atual necessidade de uma visão holística e multidisciplinar em estudos, que de tal modo possa melhor compreender os diversos fatores intervenientes atuantes nos setores ambientais da região.

Logo, para o desenvolvimento do estudo foram aplicados métodos estatísticos, como a análise multicritério, a partir da análise fatorial para composição do sistema de indicadores, bem como na determinação dos índices agregados ($IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$). O teste de Durbin-Whatson foi usado para selecionar o melhor método de agregação dos indicadores na estimação do índice agregado, para então agrupar os municípios, aplicando a análise de *cluster*, a partir do método de agrupamento hierárquico de Ward, sendo a distância euclidiana usada para representar a semelhança e a dissimilaridade dos municípios analisados.

Enquanto o IndHidro, teve sua formulação a partir da determinação dos indicadores, balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS) a partir da metodologia de Thornthwaite e Mather (1955); o índice de Falkenmark (FI), com base nos excedentes hídricos e a população, o que representa um consumo per capita da mesma forma o índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) que está associado à disponibilidade específica de água e as Vazões ($Q_{med.}$ e $Q_{min.}$), estimadas a partir do *software* SisCAH.

Dessa forma, o estudo contribuirá com a gestão e o planejamento dos recursos hídricos, a partir da utilização de uma abordagem metodológica pautada no desenvolvimento de indicadores, que compõem os índices considerando as diversas dimensões socioeconômicas e ambientais regionais, associadas a uma análise de demanda e disponibilidade hídrica que permitirão a construção de cenários estruturados em um modelo de causa-efeito.

Assim é importante reconhecer o caráter multissetorial do uso dos recursos hídricos no contexto do desenvolvimento socioeconômico, bem como os interesses múltiplos na utilização desses recursos para a agricultura, o abastecimento humano, a indústria, a pecuária e outras atividades (RAUBER; OLIVEIRA, 2008).

2. HIPÓTESES

Os instrumentos de planejamento e gestão estabelecidos na Política Estadual de Recursos Hídricos do Estado do Pará requerem, organização física, corpo técnico especializado, instrumentos tecnológicos, recursos financeiros e articulação social para a efetiva implantação e desenvolvimento.

Em cenários de fragilidade e exposição, o planejamento a curto prazo, requer ações rápidas, impondo aos gestores importantes desafios. Nesse contexto o Índice Agregado de Sustentabilidade Hídrica ($IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$) e o Índice Regional ou Hidrológico (IndHidro) se tornam instrumentos de gestão de fácil implementação, por serem compostos de dados secundários disponibilizados por órgãos oficiais e cálculo de fácil aplicação, capazes de revelar o nível de sustentabilidade hídrica local com vistas para a segurança hídrica integrada.

Dessa forma foram apresentadas as seguintes hipóteses para o presente estudo:

1) A análise das dinâmicas socioeconômicas e demográficas trazem informações relevantes para o estabelecimento de cenários que contribuem para a gestão dos recursos hídricos na região; 2) O estabelecimento de índices de sustentabilidade auxilia a gestão dos recursos hídricos; 3) A quantidade de água que a área de estudo demanda, será no futuro atendida, porém, a disponibilidade intra-regional será afetada no contexto da sustentabilidade; 4) Os índices agregados de sustentabilidade hídrica se mostram viáveis, pois contribuem com a elaboração e adequação de critérios socioeconômicos, ambientais e políticos para a avaliar e monitorar o real estado de sustentabilidade dos recursos hídricos; 5) Em uma avaliação de sustentabilidade com o uso de indicadores de diferentes dimensões, os métodos de agregação dos indicadores revelam a mesma tendência, mas com cenário diferentes; e 6) As dimensões social, econômica, ambiental e político-institucional avaliadas de forma integrada em relação ao consumo de água a partir de métodos estatísticos multivariados são suficientes e revelam cenários que estão diretamente relacionados com a segurança hídrica.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar a sustentabilidade hídrica da Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (RH-CAN) a partir da oferta e demanda hídrica, usando os Índices Agregados de Sustentabilidade Hídrica ($IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$) e o Índice Hidrológico (IndHidro), como instrumentos de tomada de decisão no processo de planejamento e gestão dos recursos hídricos regionais.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Construir um sistema de indicadores por meio da análise de multicritério para formulação do índice agregado;
2. Aplicar quatro métodos de agregação de indicadores para estimar o índice agregado ($IASH_{Munic.}$), para então mensurar o $IASH_{RH-CAN}$ e selecionar o que melhor representa o índice agregado;
3. Agrupar os municípios a partir da análise de *Cluster* em relação ao índice agregado de sustentabilidade hídrica municipal ($IASH_{Munic.}$);
4. Avaliar a disponibilidade e demanda hídrica pelo IndHidro a partir dos indicadores – mananciais subterrâneo e superficial, balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS), índice de Falkenmark (FI), índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) e vazões médias e mínimas.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

No referencial são apresentadas as bases teórica e conceitual que deram sustentação ao estudo, exibindo um painel contextualizado dos recursos hídricos e da segurança hídrica com foco na sustentabilidade hídrica e a importância dos índices de sustentabilidade e hidrológicos como instrumentos da gestão hídrica, além da teoria geral dos sistemas no contexto da sustentabilidade.

4.1 RECURSOS HÍDRICOS E SUSTENTABILIDADE HÍDRICA NO CONTEXTO DA SEGURANÇA HÍDRICA

Dada a importância da água para o desenvolvimento das civilizações (FARIAS *et al.*, 2020), o ser humano se apropria dos recursos hídricos e exercem uma influência negativa crescente nas condições hidroclimáticas, ecossistêmicas, atividades socioeconômicas, dentre outras, tanto em escala local como global, assim como em escalas de tempo decadal a secular (ALLEN; INGRAM, 2002; SHIKLOMANOV; RODDA, 2003; WANG; FU, 2018; WOLKMER; PIMMEL, 2013).

Para que essa apropriação seja segura, necessita-se aprofundar os mecanismos de gestão em todo o mundo, de modo a garantir seu uso eficiente e sustentável (CAVALCANTI; MARQUES, 2016), pautada na sustentabilidade, que toma uma dimensão crescente na atualidade (JESUS *et al.* 2019). No Brasil, a gestão dos recursos hídricos, se dá pela Política Nacional de Recursos Hídricos – Lei Nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que tem por fundamento a gestão de forma descentralizada (BRASIL, 1997).

Nas cidades é uma busca crescente de equilíbrio entre as cidades e seus interiores ambientais, com necessidades e direitos equitativamente equilibrados por caminhos regulados de valor ambiental e sistemas compensatórios (LI; BERGEN, 2018).

Dessa forma, o termo sustentabilidade é propenso a diversos significados em razão das diferentes perspectivas, motivações e aspirações dos pesquisadores ou grupos sociais sobre o tema, conforme destacado por Ayres (1996); Barbosa *et al.* (2014); Campbell (1996); Carvalho *et al.* (2013); Carvalho e Cabral (2020); Jesus *et al.* (2019); Lacerda e Cândido (2013); Moraes *et al.* (2018); Petry (2019); Pietersen (2006); Ribeiro (2010); Sartori *et al.* (2014).

Também desse-se considerar as ameaças impostas pelas mudanças climáticas, pelo aumento da população, mudanças na cobertura do solo em bacias hidrográficas, expansão urbana e uso intensivo de recursos de água doce sobre os recursos hídricos, como relatado por Kim *et al.* (2018) e Qian *et al.* (2018) em estudos realizados na Coreia do Sul e na China respectivamente.

Assim, é fundamental entender a sustentabilidade, de modo a manter a segurança dos recursos hídricos, visto que ela está associada a diversos enfoques, como os definidos por Campos *et al.* (2017); Tucci e Chagas, (2017), uma vez que ela, pode ser a forma de traduzir à sociedade o resultado da gestão que visa garantir a disponibilidade de água para

os usos múltiplos que atenda sua expectativa, além de protegê-la contra os efeitos negativos dos eventos hidrológicos extremos (MELO; JOHNSON, 2017).

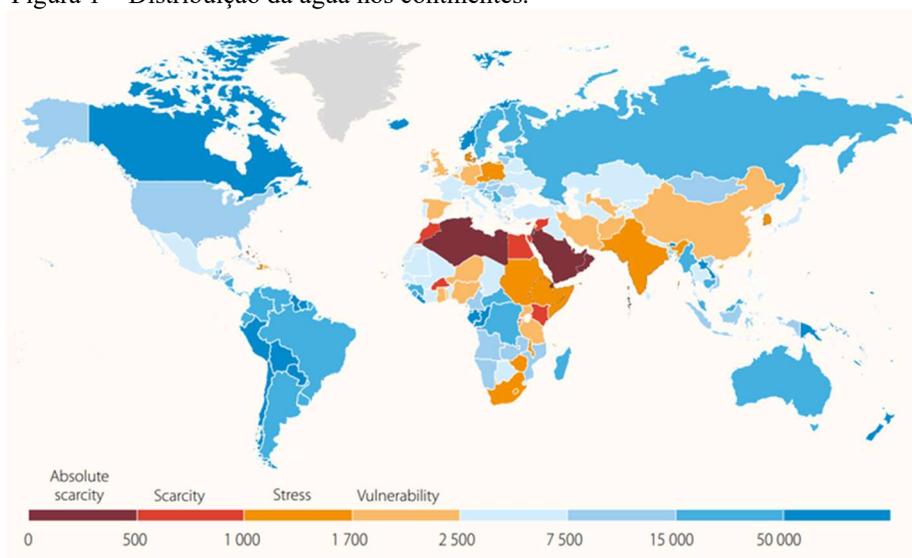
Por ser a água um elemento fundamental e essencial à vida, além de representar um dos maiores desafios de sustentabilidade para a sociedade, em especial a parcela correspondente aos recursos de água doce, dada a importância fundamental das demais parcelas na estabilidade do sistema ambiental global, tornando um dos principais desafios da gestão de recursos hídricos a manutenção do equilíbrio entre demanda e disponibilidade hídrica de forma a garantir a sua segurança.

4.1.1 Disponibilidade Hídrica

A respeito da distribuição da água na terra, não existe um consenso nas quantidades e categorias, por exemplo, os estudos mais citados na literatura, são os realizados por Alcoforado (2015); Rebouças *et al.* (1999); Schönborn e Risse-Buhl (2013); Shiklomanov e Rodda (2003); Tundisi (2003), em que cada um revela um determinado valor.

O que mostra que a distribuição de água no planeta não é homogênea (L'VOVICH, 1974) e varia nas diferentes regiões do planeta e por bacia hidrográfica (PIELOU, 1998), a exemplo, do Africano, parte do Europeu e do Asiático que demandam maior atenção em relação à disponibilidade desse recurso, pois se encontram em situação de alerta, estando seus recursos hídricos em níveis de escassez a vulnerabilidade hídrica (Figura 1).

Figura 1 – Distribuição da água nos continentes.



Fonte: WWAP (2014).

No Brasil, devido à sua extensão continental e diversidade, existem situações distintas quanto a disponibilidade hídrica regional (SCHMITZ; BITTENCOURT, 2017), tornando-se um grande exemplo de disparidade da disponibilidade de água em suas regiões (RIBEIRO; ROLIM, 2017). Em um mesmo território existe o grande contraste de muitos sofrerem com a escassez de água, enquanto outros usam ao extremo do desperdício (SILVA et al., 2019).

A vazão média anual dos rios em território brasileiro é em torno de 179 mil m³/s, o que corresponde a 12% da disponibilidade hídrica superficial mundial, que é de 1,5 milhões de m³/s (44.000 km³/ano) (SHIKLOMANOV, 1988). A região amazônica com 4,5% da população brasileira detém 70% dos recursos hídricos superficiais em uma área equivalente a 44% do território nacional (ALMEIDA *et al.*, 2017). De modo que a região Norte detém 80% de água do Brasil, nela localiza-se a maior reserva, a bacia do Rio Amazonas e abriga apenas 5% da população nacional. Enquanto nas demais regiões, especialmente as próximas ao litoral agregam 45% da população e menos de 3% dos recursos hídricos (ANA, 2020a).

Toda essa dimensão hídrica brasileira e em especial na Amazônia requer atenção, devido à vulnerabilidade diante de seus usos múltiplos, da estruturação federativa do estado brasileiro que associada ao estoque hídrico, impõe a necessidade de se contar com processos de governança abrangentes, simultâneos e plurais, para disciplinar o acesso e a alocação de água de forma adequada nos diferentes contextos geográficos e climáticos (PAGNOCCHESCH, 2016).

Da mesma forma, é dada importância às mudanças climáticas, em que o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, prevê que a temperatura média global pode aumentar até 4 °C até 2100 e afetará gravemente a disponibilidade de recursos hídricos e a demanda de água em todo o mundo (IPCC, 2015), com efeito, combinado sobre o abastecimento de água e a demanda, de modo a aumentar as lacunas de oferta-demanda na tendência, fato que acentua os desafios da gestão dos recursos hídricos (KUMAR *et al.*, 2017).

Esse cenário associado as desigualdades sociais e regionais; pobreza extrema; grande concentração de fluxos de renda e estoques de riqueza; insegurança no trabalho e nas ruas; discriminações de raça, gênero e idade; baixa qualidade dos serviços públicos, entre outros problemas relevantes da realidade social brasileira com a disponibilidade hídrica, busca-se uma compreensão de como esses contextos podem ser amenizados de forma inter-relacionados, visto que ainda não é possível vislumbrar uma clara

concentração de interesses que rompa de forma rápida e estruturalmente com as mazelas econômicas e sociais que afligem o cotidiano do país.

De modo que a disponibilidade hídrica pode ser definida como a parcela da vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático, com condicionantes de variabilidade temporal e espacial (ZHOU *et al.*, 2015) e não limitada somente ao uso consuntivo, mas também às alterações que pode produzir no hidrograma do rio em relação às condições pré-existentes (CRUZ; TUCCI, 2008). Ou seja, consiste numa estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos, que para fins de gestão, considera um determinado nível de garantia (LIMA, 2018), como a manutenção da integridade do ecossistema e sustentação do desenvolvimento da sociedade.

Apesar do significativo potencial dos recursos hídricos brasileiros, isto não implica em uma relação direta com o desenvolvimento do país, por trazer uma falsa noção de que se tem água em abundância, mascarando a existência de regiões com baixos valores de produção hídrica superfície como a região Nordeste que sofre com períodos prolongados de escassez, também refletidas numa escassez de recursos financeiros, provindo de um problema denominado usos múltiplos da água (BORDALO, 2017).

Vários são os fatores responsáveis que influenciam na redução da disponibilidade dos recursos hídricos que intensificam sua importância, como: demanda, escassez, crise, estresse, falta, insegurança e segurança da água que são vertentes que ora se complementam, ora se justificam, em função, principalmente, de seu uso.

4.1.2 Demandas Hídricas

Diversas são as demandas pela água, as quais impõem difíceis decisões de alocação e limitam o crescimento de setores críticos para o desenvolvimento sustentável, em particular para a produção de alimentos e energia (UNESCO, 2015). A competição pela água aumenta o risco de conflitos localizados e as desigualdades se perpetuam no acesso aos serviços, com impactos significativos nas economias locais e no bem-estar humano (WWAP, 2015).

Dessa forma, a demanda de água se apresenta em duas as modalidades de usos, os consuntivos e não consuntivos (RAN *et al.*, 2016). Os usos consuntivos são aqueles que retiram água do manancial para sua destinação, como a irrigação, a utilização na indústria, pecuária e o abastecimento humano, em que a demanda de água corresponde à

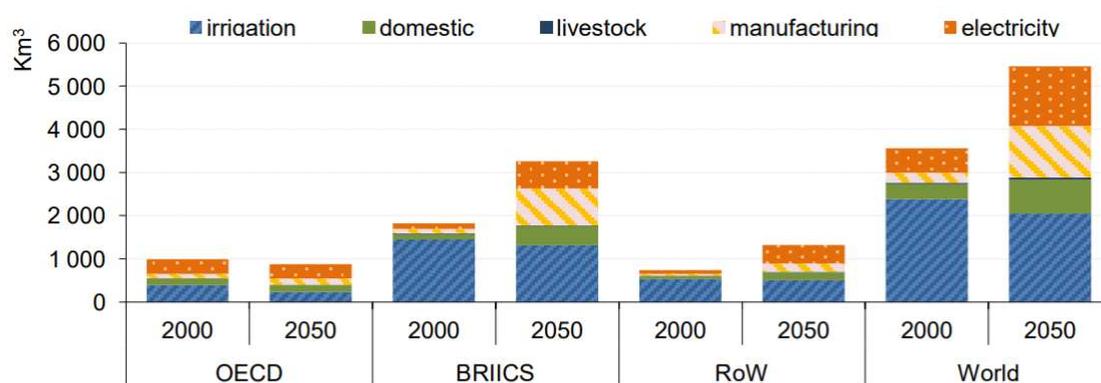
estimativa da vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos. De modo inverso os usos não consuntivos não envolvem o consumo direto da água, como o lazer, a pesca e a navegação, pois aproveitam o curso da água sem consumi-la (ANA, 2019).

Estima-se que, até 2050, a demanda mundial por água aumente em 55%, principalmente, devido à crescente demanda do setor industrial, sistemas de geração de energia termoelétrica e usuários domésticos (WWAP, 2015), afetando diretamente a irrigação na produção de alimentos (OECD, 2012).

As estimativas em escala global da quantidade de água demandada para fins de irrigação são muito variáveis (RODRIGUES, 2020). A agricultura irrigada é altamente intensiva no uso de recursos hídricos, segundo a FAO (2011), ao nível mundial, o uso de água para irrigação é proveniente de águas superficiais (61%) e de águas subterrâneas (38%).

A Figura 2 mostra a demanda global pelos setores por grupos de países, em que foi medido apenas a demanda de água azul e não considera a alimentação da chuva agricultura, onde o termo RoW representa o resto do mundo.

Figura 2 – Demanda global de água: Linha de base, 2000 e 2050.



Fonte: OECD (2012).

A produtividade e a sustentabilidade das áreas agrícolas irrigadas dependem do abastecimento de água, da disponibilidade para irrigação e da demanda de água, ou do consumo pelas lavouras e das perdas de transporte associadas (WINTER *et al.*, 2017).

Em muitos países em desenvolvimento, a proporção do uso total da água direcionada à irrigação é muitas vezes maior, entre 75% e 85%, enquanto as políticas de água nesses países se concentram no desenvolvimento de infraestrutura de irrigação e na

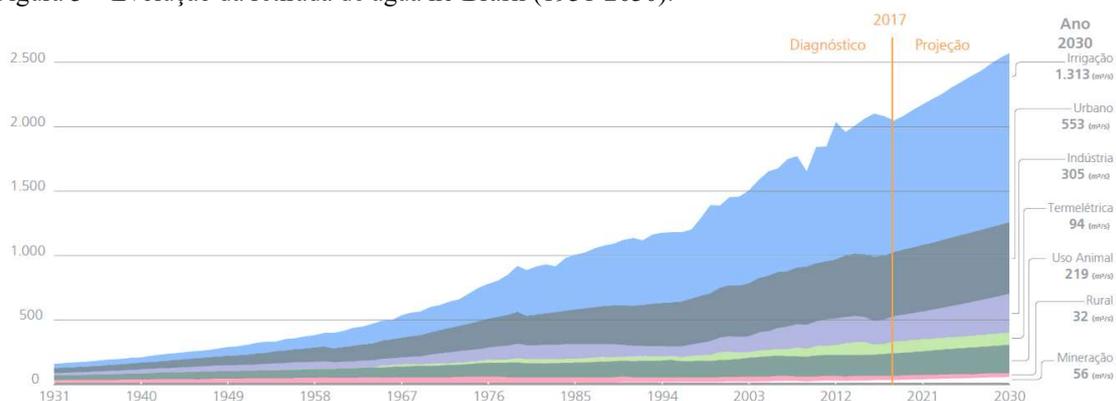
expansão da terra irrigada, embora a demanda continue aumentando (BHADURI; MANNA, 2013).

Dada a importância da agricultura sustentável analisada sob o viés das externalidades negativas decorrentes das mudanças climáticas (THORSTENSEN *et al.*, 2019), a América do Sul é considerada uma das regiões mais vulneráveis do planeta, por ser grande produtora agrícola (GASQUES *et al.*, 2014). Tais externalidade exigem a criação de sinergias para maximizar a eficiência dos recursos naturais com vista as necessidades da sociedade e uma das formas é considerar práticas agrícolas como potenciais facilitadoras desse processo, de modo a atingir a multifuncionalidade da agricultura (VOS; HOOGENDOORN, 2000).

O grupo BRIICS formado por 4 países, dentre eles o Brasil, apresenta a maior demanda consumida e se apresenta como importante fornecedor global de alimento, o setor de irrigação é o responsável pela maior parcela de retirada (52% do total) de água, seguido das vazões de retirada para fins de abastecimento humano urbano (23,8%), industrial de transformação (9,1%), abastecimento animal (8%) (ANA, 2019).

A evolução de retirada de água no Brasil Figura 3 numa projeção até 2030 em função das finalidades, o mesmo comportamento dos setores em escala mundial, sendo a irrigação a maior consumidora, seguida do consumo humano e da pecuária (ANA, 2019).

Figura 3 – Evolução da retirada de água no Brasil (1931-2030).



Fonte: ANA (2019).

Nesse contexto, a Agenda 21 (RIO 92) traz no capítulo 18, “a sustentabilidade da produção de alimentos depende cada vez mais de práticas saudáveis e eficazes de uso e conservação da água” (CNUMAD, 1992), que alicerçada na Declaração Universal dos Direitos da Água, tem-se que “o direito a água é um dos direitos fundamentais do ser humano: o direito à vida”, que também é assegurado no artigo 6º dos Objetivos de

Desenvolvimento Sustentável (ODS) “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos” (UNITED NATIONS, 2015).

Ainda na Agenda 21, no capítulo 18 é previsto o “cenário de crescimento da demanda por água de 70 – 80% para a irrigação, menos de 20% para a indústria e apenas 6% para consumo doméstico”.

Ao mesmo tempo, em que a previsão de crescimento da população mundial acompanhada por um correspondente aumento de demanda por água, as previsões até 2050 é que a população mundial deverá atingir 9,3 bilhões de pessoas e 10,3 bilhões em 2100 (UN, 2009; UN, 2016). A maior parte desse crescimento populacional ocorre nos países em desenvolvimento, onde a água é escassa e caracterizada pela sazonalidade das chuvas, secas intermitentes, anos de secas recorrentes e alta demanda evaporativa (KOUNDOURI *et al.*, 2006).

No Brasil 80% do crescimento da população localiza-se em áreas urbanas e demanda maior consumo dos recursos naturais (CORREIA; DIAS, 2017). Em 2016 o abastecimento de água urbano demandava 488,3 m³/s, cerca de 15 vezes da demanda para o abastecimento da população rural, que era de 16% e demandava 33,8 m³/s, realizado por meio do uso de poços, captações isoladas ou cisternas (ANA, 2017a).

Na região Norte o crescimento da população está associado ao crescimento vegetativo e fluxo migratório expressivo para a região, em função de grandes projetos implantados e ainda resulta da exploração de novas fronteiras agrícolas, associado ao surgimento de enormes aglomerados urbanos que exercem grande pressão sobre os recursos hídricos (OLIVEIRA; MORAES, 2017).

Em bacias hidrográficas com industrialização consolidada, pode ocorrer a competição da demanda hídrica industrial com usos prioritários, como o abastecimento humano (ANA, 2017a) e como a demanda hídrica é fortemente influenciada pelo crescimento da população, urbanização, atividades agrícolas, políticas de segurança alimentar e energética e pelos processos macroeconômicos, poderá ocasionar em 2050 um aumento da demanda hídrica mundial, principalmente, devido à crescente demanda do setor industrial, dos sistemas de geração de energia termoeletrica e dos usuários domésticos (UNESCO, 2015).

Dentre os setores produtivos a atividade agropecuária deve ter uma efetiva participação na gestão dos recursos hídricos, de forma sistemática e considerando os aspectos quantitativos e qualitativos do uso da água (SOUZA; GHILARDI, 2017). Fazendo com que a relação da atividade pecuária com a gestão dos recursos hídricos gere

desafios vinculados a diversos aspectos, dentre os quais se destaca: o avanço desordenado sobre novas áreas, com consequentes impactos socioambientais (PALHARES, 2011).

Embora várias diferentes abordagens tenham sido propostas, não existe um método claro ou consistente para avaliar o uso de recursos hídricos na produção animal (RAN, *et al.*, 2016), no entanto, as recomendações para reduzir o consumo de produtos pecuários de modo a proteger os recursos hídricos baseiam-se frequentemente em inventários estáticos do consumo de água relacionado com o gado e no consequente teor de água virtual dos produtos animais (WEINDL *et al.*, 2017).

A cadeia produtiva brasileira é complexa e formada por produtores, frigoríficos e comércio e ocupa cerca de 21% do território do País (EMBRAPA, 2018). Inserido nesse cenário o estado do Pará possui um dos maiores rebanhos de gado bovino do Brasil (IBGE, 2019), tal atividade e sua cadeia produtiva demandam extremamente grande de água, necessitando de um melhor gerenciamento de recursos hídricos para atender de forma adequada a produção e proporcionar a inclusão de políticas sustentáveis.

Logo as demandas de usos consuntivos estão interligadas, de forma que a água para o consumo humano, está intrinsecamente associada ao crescimento populacional somado ao desenvolvimento tecnológico, como também evidencia, em várias regiões do mundo e até mesmo no Brasil, problemas crônicos de escassez de água, considerando especificamente o Brasil, a demanda pelo recurso cresce exponencialmente, e influência a expansão do parque industrial, aumenta a área de irrigação e a demanda sofre um forte e expressivo impacto (OLIVEIRA, 2008).

Tem-se a previsão de que o planeta irá enfrentar um déficit de 40% no abastecimento de água em 2030, a menos que a comunidade internacional melhore “dramaticamente” o gerenciamento do abastecimento de água. Em 2050 a demanda por água deve disparar em 55%, enquanto 20% das águas subterrâneas do planeta já estão superexploradas (ONU, 2015).

No Brasil, conforme a Lei nº 9.433 de 1997, em situações de escassez, o uso prioritário é o consumo humano e a dessedentação de animais, dado que o cenário previsto em relação aos recursos hídricos não é muito otimista.

De modo que um conjunto de possíveis cenários merece atenção, sendo eles os de vulnerabilidade, escassez e estresse hídrico (CANTELLE *et al.* 2018). Onde a avaliação da vulnerabilidade hídrica contribui para uma sinalização mais direta acerca das insuficiências, das ausências ou das fragilidades relacionadas aos recursos hídricos

e à sua correlação com outros sistemas em uma determinada região (GROSBOIS; PLUMMER, 2015).

Assim o incremento no acesso e uso do recurso hídrico e da biodiversidade imprime questionamentos sobre a capacidade de suporte associados a níveis de vulnerabilidade dos ecossistemas e das ocupações afetadas (CARVALHO *et al.*, 2019). Que contextualizado no cenário da crise hídrica força a humanidade a repensar a sua concepção e relação com a água (FISCHER *et al.*, 2016).

Visto que no cenário de escassez hídrica, esta deve ser entendida como a disponibilidade de água doce em qualidade aceitável em relação à demanda agregada, no caso simples de escassez física de água (FAO, 2020). Ou associada a crise hídrica, escassez hidrossocial, água como direito humano, segurança hídrica, conflitos e protesto social, percepções de usuários e resiliência diante do estresse hídrico (JACOBI *et al.*, 2016a; UNESCO, 2015), econômica ou institucional e flutuar temporalmente e ao longo do espaço (JAEGER *et al.*, 2013; UNDP, 2006).

A escassez hídrica também pode ser uma função da oferta e da demanda, podendo ser, além de estar intimamente ligada à segurança alimentar e sanitária, tornando a sua gestão um importante meio para a redução da pobreza e para o crescimento econômico bem como às mudanças climáticas, às taxas de crescimento da população, às perspectivas econômicas e à demanda de água (LUCK *et al.*, 2015).

Um aspecto a ser observado é que a escassez das águas tem também relação direta com as políticas públicas e aos instrumentos de gestão desses recursos, enquanto a qualidade dos corpos hídricos relaciona-se às questões de saneamento e gestão de resíduos sólidos e efluentes líquidos (FILARD; SOUZA, 2017).

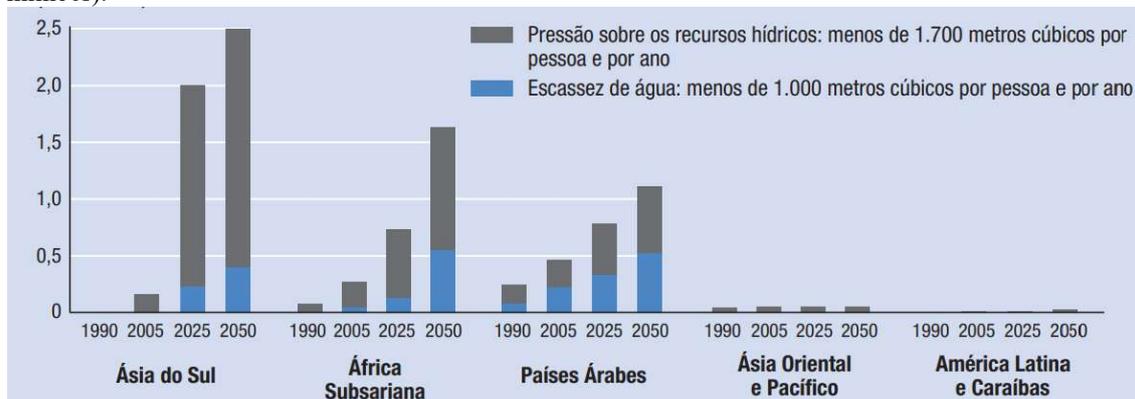
O que a torna uma preocupação crescente em muitas partes do mundo e leva a conflitos, superexploração de aquíferos, aumento da poluição, alteração de ecossistemas, efeitos negativos na saúde humana, produção de alimentos e bens, e bem-estar econômico (JURY; VAUX JR, 2007).

Em estudo realizado por Mekonnen; Hoekstra, (2016) verificou-se que cerca de dois terços da população mundial viviam em condições de escassez severa de água por pelo menos um mês do ano e meio bilhão de pessoas enfrentavam escassez severa de água durante todo o ano.

No Relatório do Desenvolvimento Humano - RDH (2006) e exposto na Figura 4 que mostra um painel até o ano 2050, a pressão sobre os recursos hídricos é planejada para acelerar de intensidade em várias regiões. Observa-se que por volta do ano 2025,

mais de 3 milhões de pessoas poderão viver em países sujeitos a pressão sobre os recursos hídricos e 14 países irão passar de uma situação de pressão sobre os recursos hídricos para uma de escassez efetiva.

Figura 4 – População de países que enfrentam uma pressão ou uma escassez sobre os recursos hídricos (mil milhões).



Fonte: PNUD (2006).

O Brasil é conhecido mundialmente por sua imensa riqueza hídrica, porém experimenta um quadro de intensa preocupação por conta do risco iminente de escassez de recursos hídricos em algumas das suas mais importantes cidades (ANAZAWA *et al.*, 2019; DUTRA, 2019).

Muitas vezes ocasionada pela diminuição e/ou ausência de chuvas, associada a fatores históricos, como o rápido crescimento populacional, a alta taxa de urbanização, a falta de planejamento, o desmatamento e a subsequente poluição dos rios, que contribuíram diretamente para o esgotamento dos mananciais e para os níveis críticos de captação dos reservatórios, dificultando, assim, o acesso à água em qualidade e quantidade satisfatórias (CAVALCANTI; MARQUES, 2016).

Situações que revelam um cenário de crescente de pressão sobre os recursos hídricos, que somado às variações climáticas e sua distribuição irregular no território, requerem dos gestores públicos, da comunidade científica e da sociedade de modo geral, múltiplos desafios, constituídos de novas ideias, novos estudos e soluções para uma gestão das águas mais eficaz e eficiente.

Assim a escassez hídrica provoca o que se conhece hoje como crise da água, estresse hídrico ou crise hídrica e que se tornou uma questão séria, posta e suas consequências podem se tornar ainda mais sérias (NOSCHANG; SCHELEDER, 2018a).

Uma vez, que se mantiverem os atuais níveis de consumo e de degradação do meio ambiente, a água se tornará cada vez mais escassa e provavelmente o planeta chegue a um colapso e um estresse hídrico (SILVA *et al.*, 2019).

Isso pode ser exemplificado na análise realizada por Gassert *et al.* (2015), que observaram diferentes níveis de estresse hídrico anual (razão entre demanda e disponibilidade hídrica) nas diversas regiões hidrográficas do mundo.

Assim o estresse hídrico apresenta diversas interpretações, como: baixa disponibilidade de água potável (JACOBI *et al.*, 2016b); depende da informação correta do volume consumido (NOSCHANG; SCHELEDER, 2018B); resultado da relação entre o total de água utilizado anualmente e a diferença entre a pluviosidade e a evaporação (a água renovada) que ocorrem em uma unidade territorial (NOSCHANG; SCHELEDER, 2018a).

Não diferente do cenário mundial, tem-se que o crescimento das demandas hídricas no Brasil, a partir do aumento da população e das atividades econômicas intensivas em uso de água, contribui para aumento do estresse hídrico, com o passar dos anos (ANA, 2020b).

Na Amazônia Legal segundo estudo realizado por Ferreira *et al.* (2017) o cenário de estresse hídrico é causado pelas pressões de uso oriundas, especialmente, da expansão da fronteira agrícola e das atividades de mineração.

No contexto geral as grandes aglomerações urbanas, o uso e a ocupação do solo desordenado, o aumento progressivo das demandas hídricas para suprimento a diversos usos consuntivos da água e a deficiência em investimentos em infraestrutura hídrica, associados a períodos de escassez de chuvas (BRASIL, 2019) e situações climáticas adversas, resultam no desequilíbrio na relação entre oferta e demanda de água que imprimem crise hídrica.

4.1.3 Recursos Hídricos: Crise, Segurança, Gestão e Mudanças Climáticas

Crise, segurança e gestão hídrica são abordagens que se complementam no contexto ambiental, socioeconômico, tecnológico e de mudanças climáticas. A crise hídrica quando instalada, reflete as fragilidades dos instrumentos de segurança e gestão hídrica, em que pode ser definida de diversas formas, depende do contexto que a originou, não podendo ser atribuída apenas como consequência de fatores climáticos e geográficos, mas principalmente, do uso irracional dos recursos hídricos (FILARD; SOUZA, 2017),

que pode resultar em cenários de escassez e estresse hídrico (NOSCHANG; SCHELEDER, 2018a), que para Tundisi (2006) vai além da escassez, é uma crise de gestão.

O relatório da UNESCO (2015) traz para o ano de 2050 uma ideia do que seria o ideal no cenário hídrico, “*Em um mundo sustentável, possível em um futuro próximo, a água e os recursos correlacionados são geridos em função do bem-estar humano e da integridade dos ecossistemas em uma economia forte*”.

Distante desse cenário Fischer *et al.* (2016) observam que a crise hídrica força a humanidade a repensar a sua concepção e relação com a água, mesmo que sua falta tenha despertado mais atenção, principalmente, por problemas causados em diversos setores, como nos grandes centros urbanos; no meio rural; o domínio imposto pela política do agronegócio dentre outros, e sua interferência sobre os recursos naturais tem promovido graves mudanças, especialmente, no acesso à água.

Resultando em preocupação e esforço, pois caso não haja uma mudança enfática no gerenciamento do uso e compartilhamento da água a segurança hídrica estará, no futuro, drasticamente comprometida.

É o que mostra o alerta de diversos cientistas no decorrer de algumas décadas para o fato de a água doce deve ser um recurso escasso no planeta, assim como para as questões climáticas que apontam outros responsáveis para o problema da falta de água, como as políticas não adequadas de gestão dos recursos hídricos e a inexpressiva educação ambiental dos cidadãos, que se traduz em alta poluição e desperdício de água (MARENGO *et al.*, 2015).

Situação que repercute negativamente no acesso à água por populações vulneráveis que perpassa por situações de intensas iniquidades, como a regalia de oferta de água para empreendimentos de duvidosos interesses sociais, como: os que usam a irrigação intensiva em regiões semiáridas; a monocultura de eucalipto; o avanço da soja no cerrado e na floresta amazônica, desmatando e eliminando nascentes, bem como a utilização de agrotóxicos em áreas próximas de mananciais, configurando desperdício e descaso com a natureza (AUGUSTO *et al.*, 2012).

Permitindo relacionar a segurança hídrica com a escassez da água para diferentes usos, a qualidade da água e aos excessos das inundações, não sendo apenas consequência de fatores climáticos e geográficos, mas principalmente de uso irracional dos recursos hídricos (MARTINS; OLIVEIRA, 2019).

Entre elas a gestão do risco da falta do recurso para atendimento das necessidades ou o excesso que poderá gerar graves impactos sociais e econômicos (TUCCI; CHAGAS, 2017), definindo a existência de dois grupos de cenários para segurança hídrica:

1. Vulnerabilidade por falta de projeto (existente): vulnerabilidades existentes com relação à falta de planos, programas e projetos setoriais ou integrados para atendimento da escassez, qualidade da água e eventos críticos dentro de probabilidades aceitáveis. (TUCCI; CHAGAS, 2018, p. 4).
2. Vulnerabilidades na emergência (eventos críticos): são ações relacionadas à prevenção e à emergência a eventos críticos relacionados com a disponibilidade hídrica para uso humano, as inundações e condições críticas ambientais para probabilidades menores que as de projeto (TUCCI; CHAGAS, 2018, p. 5).

Para promoção da segurança hídrica faz-se necessário um arcabouço legal de fácil implementação e com participação social, de modo a integrar todos os usuários, diante dos usos múltiplos da água. Dessa forma destaca-se duas ações fundamentais: água como ameaça à segurança das populações humanas e aos ecossistemas (enchentes, secas, poluição); e água para assegurar suprimento adequado aos múltiplos usos (TUNDISI; TUNDISI, 2015).

Com a crescente competição por recursos hídricos, gerencia-los e utilizá-los de forma eficiente e razoável tornou-se um importante tema de debate, e ao associar com o crescimento populacional e as mudanças climáticas, tornam-se desafios para os planejadores e gestores (MA; MA, 2017).

Ao analisar o cenário nacional dos recursos hídricos no contexto da crise hídrica com a finalidade de prover sua segurança por meio da gestão hídrica, é importante conhecer sua estrutura gerencial, que no Brasil está dividida entre rios federais, rios estaduais e águas subterrâneas (LANNA, 2017).

Como também é primordial o desenvolvimento e aplicação de: políticas públicas específicas; plano de uso, controle e proteção das águas; gerenciamento e monitoramento dos usos da água (AITH; ROTHBARTH, 2015; CAMPOS; FRACALANZA, 2011; PORTO; PORTO, 2008). Nesse contexto, surge a necessidade de formulação de princípios e diretrizes para a efetivação da gestão dos recursos hídricos.

Antes de se aprofundar no contexto da gestão diante do uso indiscriminado dos recursos hídricos que resulta na sua insegurança, deve-se distinguir governabilidade de governança. A governança segundo Santos; Bacci (2017, p. 202) “implica o

estabelecimento de um sistema de regras, normas e condutas que reflitam os valores e visões de mundo daqueles indivíduos sujeitos a esse marco normativo”. A governabilidade compreende à capacidade política de decidir, expressando a possibilidade de realizar políticas públicas (SILVA *et al.*, 2017b).

A gestão dos recursos hídricos no Brasil se dá a partir da implementação de legislações específicas e transversais com a temática, prevendo o envolvimento da sociedade civil organizada. As principais legislações dos recursos hídricos e transversais no Brasil, iniciou com o Código de Águas (CA) de 1934, Constituição Federal (CF) de 1988 e Política Nacional de Recursos Hídricos de 1997.

Não excluindo os tratados internacionais referentes à água, a exemplo a Conferência de Mar del Plata em 1977, Eco 92 ou Rio 92 realizado no Brasil em 1992 que gerou a Agenda 21, a Rio+10 ou Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em 2002 na África do Sul e os Fóruns Mundiais da Água: Marraquexe em 1997, Haia em 2000, Kyoto, em 2003; cidade do México, em 2006; Istambul, em 2009; Marselha, em 2012, Daegu-Gyeongbuk, em 2015 e Brasília em 2018.

Dessa forma alguns aspectos ganharam relevância para a implementação de um sistema eficaz de gerenciamento das águas como: o desenvolvimento econômico; o aumento populacional; a expansão da agricultura; pressões regionais; mudanças tecnológicas e sociais; urbanização; necessidades sociais e ambientais, além da incerteza de um futuro relacionado às novas demandas.

Pautados nos anseios desses aspectos foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), quase dez anos depois da CF (1988), por meio da Lei Federal nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, também conhecida como Lei das Águas, que no Art. 1º é observada a importância que água toma nos campos, político, econômico e social.

Os principais instrumentos dessa Política são: os Planos de Recursos Hídricos (elaborado por bacia hidrográfica e por Estado); o enquadramento dos corpos d'água em classes (usos preponderantes da água); a outorga de direito de uso; e a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Tem-se também o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), que prevê a participação da sociedade nas deliberações que regulamentam e orientam a implementação da política.

Machado (2003) destaca que essa nova Lei Federal, reflete a profunda mudança na concepção do manejo dos recursos hídricos, sobretudo se comparadas à forma como eram tratados pelo poder público.

Contudo, a Política Nacional ainda deixa uma lacuna, pois é nítida a preocupação com a escassez/limitação/falta, porém não prever ação para os casos de abundância do recurso hídrico, como é o caso da Amazônia, que detém a maior disponibilidade hídrica nacional, como gerenciar o recurso em épocas de cheia.

Mais recentemente no contexto mundial uma grande preocupação exigiu novos comprometerimentos, como, erradicar a pobreza, e assim um novo guia foi elaborado e constituído nos objetivos do milênio para 2015 e mais não foram alcançados, então um novo compromisso mundial foi acordado a Agenda 2030.

Essa Agenda, consiste num plano de ação voltado para as pessoas, para o planeta e para a prosperidade e tem por objetivo fortalecer a paz universal com mais liberdade, assumindo que a erradicação da pobreza em todas as suas formas e dimensões, não excluindo a pobreza extrema, o que a torna o maior desafio global e um requisito indispensável para o desenvolvimento sustentável (UNFPA, 2018).

Nela são previstos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (Figura 5) e 169 metas que demonstram a escala e a ambição desta nova Agenda universal.

Figura 5 – Objetivos para transformar nosso mundo.



Fonte: United Nations (2015).

Dos 17 ODS, os objetivos 01, 02, 03, 06, 11, 12, 13, 14 e 15 podem ser relacionados com a presente pesquisa, pois condiz com os objetivos, visto que água é propulsora de vida e desenvolvimento socioeconômico e ambiental.

Dessa forma imprimi-se a esta pesquisa a importância do papel dos recursos hídricos para a sociedade, economia e meio ambiente, por influenciar no processo de erradicação da pobreza por meio do acesso seguro a água; promover a segurança alimentar com a produção de alimentos; viabilizar a salubridade habitacional por meio do saneamento; influenciar no desenvolvimento de políticas socioambientais; requerer comprometimento governamental no combate as mudanças climáticas, uso e conservação sustentável dos corpos hídrico; instigar a importância das florestas na manutenção do

ciclo hidrológico, bem como o papel do desenvolvimento sustentável na manutenção do equilíbrio hidroclimático.

O que remete mais atenção ao contexto das mudanças climáticas, resultantes dos debates e dinâmicas dos trabalhos do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e seus relatórios (1990; 1995; 2001; 2007; 2013; 2018) e o relatório suplementar (1992), em que incluem os eventos extremos e desastres como suas consequências. Neles as piores hipóteses são levantadas, como: aumento de temperatura, mudança nos padrões de chuvas, derretimento de geleiras, aumento do nível do mar provocando inundações e secas (IPCC).

As previsões feitas por centros de pesquisa de diversos países em torno de modelos climáticos apresentam divergências quantitativamente entre si, porém coincidem em apontar para um cenário socioeconômico de maior estresse e conflito, ocasionado pelas mudanças na disponibilidade hídrica e na geografia agrícola mundial e à maior frequência de eventos climáticos críticos (BRASIL, 2016).

As mudanças climáticas também têm consequências na distribuição das precipitações, da temperatura e de outros fatores que influenciam o ciclo das culturas e da vegetação e podem causar diminuição da produção e da qualidade dos produtos, podendo ainda gerar grandes prejuízos para a agricultura, coloca em risco a segurança alimentar e a permanência dos agricultores no campo, causando fortes problemas sociais (MAPA; SAA, 2016).

O estudo realizado por Xia *et al.* (2017) na China, traz a importância do impacto da mudança climática nos ciclos hidrológicos globais e regionais, refletindo em certas atividades humanas, como mudança de uso e cobertura do solo, atividades agrícolas, desmatamento, urbanização, utilização de recursos hídricos e mudanças ambientais ecológicas também causam mudanças na evaporação, infiltração, geração de escoamento e concentração, e influenciam o ciclo da água.

No tocante aos recursos hídricos, uma consequência importante, em maior ou menor escala, da variabilidade natural do clima e/ou da mudança climática é a possibilidade de não-estacionariedade pelas séries hidrológicas, isto é, que os valores da série não oscilam ao redor de uma média constante ao longo do tempo (HIPEL; MCLEOND, 1994), comprometendo o planejamento e a operação da infraestrutura hídrica para atendimento aos usos múltiplos (ANA, 2016).

Desta forma a observação a partir do sistema climático da terra se torna preponderante por ser o principal impulsionador natural dos recursos hídricos, além de

muito complexo, especialmente por existirem fatores climáticos externos (KUNDZEWICZ *et al.*, 2018).

Visto que modificações consideráveis ocorreram no ciclo hidrológico devido à influência integrada das mudanças climáticas e das atividades humanas; essas variações acabaram alterando a distribuição de recursos hídricos (CHAHINE, 1992; OKI; KANAE, 2006).

Tem-se então que as mudanças climáticas e suas consequências limitam a capacidade adaptativa dos sistemas de recursos hídricos os quais são transformados via mudança nos usos da terra, urbanização, industrialização, e vários sistemas feitos pelo homem, tais como reservatórios, irrigação e transposição de rios entre bacias hidrográficas que aumentem o acesso humano à água, tornando-os vulneráveis a tais mudanças (AL-KALBANI *et al.*, 2014; MCNEILL *et al.*, 2017; VÖRÖSMARTY *et al.*, 2010).

No âmbito nacional, os cenários apontados pelo Painel Brasileiro de Mudanças do Clima (PBMCI) prevê diminuição na pluviosidade nos meses de inverno em todo país, assim como no verão no leste da Amazônia e nordeste, onde se localiza o estado do Pará e um clima apresentando-se mais quente e mais seco entre os possíveis efeitos deste problema na região leste da Amazônia (AMBRIZZI; ARAUJO, 2014).

Mediante a esse contexto foi reinstituído pelo Decreto Estadual nº 518/2012, o Fórum Paraense de Mudanças Climáticas (FPMC) que aprovou um documento com recomendações para uma agenda de mitigação e adaptação às mudanças climáticas no estado do Pará.

Tais recomendações podem encontrar convergência com o presente estudo, por este apresentar a evolução da sustentabilidade hídrica representada por um índice agregado de sustentabilidade composto pelas dimensões: social, econômica, ambiental e político-institucional, bem como no âmbito da disponibilidade hídrica por meio do índice hidrológico viabilizado pelo balanço hídrico climatológico normal, índice de Falkenmark, índice de criticidade de recursos hídricos e vazões médias e mínimas.

4.2 INDICADORES E ÍNDICES COMO INSTRUMENTOS DE GESTÃO NO CONTEXTO DA SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Para alcançar a sustentabilidade é necessário considerar alguns aspectos referentes às dimensões social, ecológica (ambiental) e econômica, que ofereçam

vantagens tanto no curto, quanto no longo prazo, por ações alternativas de desenvolvimento (MACEDO *et al.*, 2016).

A corrente doutrinária majoritária reconhece três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica, que converge com a proposição levantada na Rio +10, essa com um enfoque muito forte no desenvolvimento sustentável à integração das três dimensões da sustentabilidade (GARCIA; GARCIA, 2016).

Dentre as ações, menciona-se o desenvolvimento de indicadores e índices que oferecem valores sobre o grau de sustentabilidade como apoio para que gestores possam direcionar a sua atenção para as necessidades específicas aos quais os diversos atores locais estão relacionados (BELLEN, 2004; SILVA; LIMA, 2017).

4.2.1 Principais Aspectos

A palavra indicador vem do termo originário do latim *indicatore*, que significa descobrir, apontar, anunciar, estimar, servindo de medida, parâmetro que indica uma tendência do que está acontecendo (HAMMOND *et al.*, 1995).

O que contribui para diversas definições, dentre elas destacam-se as usadas por Holling (1978); Januzzi (2001); Mcqueen e Noack (1988) que o definem como uma medida, que pode ser uma informação relevante de um fenômeno, de um comportamento do sistema ou um aspecto sobre as mudanças que estão se processando.

Diversos estudos sobre identificação de indicadores tende a sugerir que a definição do conjunto de indicadores é a única etapa decisiva do processamento de informações, da qual derivam os resultados da avaliação de sustentabilidade, contudo, outros processos ocorrem entre a definição do conjunto de indicadores relevante e a avaliação de uma situação ou opção (ALLAIN *et al.*, 2018).

Esses indicadores podem aferir a sustentabilidade de um ambiente e/ou um recurso natural, por tornarem as informações mais simplificadas no que se refere as questões complexas, além de melhorar o processo de comunicação de dados de um determinado local em um determinado período (NUNES *et al.*, 2016).

Ressalta-se que a necessidade de consolidar os indicadores de sustentabilidade foi resultado da recomendação da Agenda 21, adotada na Conferência Internacional da Organização das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, cujo objetivo foi traduzir os princípios de desenvolvimento sustentável em práticas a serem

monitoradas pela Comissão de Desenvolvimento Sustentável (MALHEIROS *et al.*, 2008; OECD, 2008; RABELO; LIMA, 2007; SICHE *et al.*, 2007).

O índice revela o estado de um sistema ou fenômeno, isto é, são resultados da combinação de um conjunto de parâmetros associados uns aos outros por uma relação pré-estabelecida, que dá origem a um único valor (MAYNARD *et al.*, 2017).

Nesse contexto, a sustentabilidade pode ser entendida por grandezas, na forma de índices e indicadores, que para Macedo *et al.* (2016), apesar de serem uma ferramenta que permitem a obtenção de informações sobre uma dada realidade, a partir da sintetização de um conjunto complexo de informações, retendo apenas o significado essencial dos aspectos analisados, são muitas vezes empregados erroneamente como sinônimos (SICHE *et al.*, 2007).

A construção de indicadores compostos e índices deve ser transparente e coerente (JENSEN; WU, 2018). Como aplicado nos estudos de Ferreira e Vieira (2018); Rica (2006); Sepúlveda (2008); United Nations (2007), entretanto, não há um consenso sobre quais sistemas devem ser utilizados na análise da sustentabilidade, se o mesmo conjunto de indicadores pode ser aplicado em diferentes escalas, ou em diferentes contextos, sem comprometer a representatividade das singularidades locais, tornando o conceito de sustentabilidade mais objetivo e útil para o planejamento, monitoramento e avaliação de políticas públicas.

Logo a elaboração do índice depende quase exclusivamente da qualidade dos indicadores que o compõe, seguindo alguns critérios, tais como: ser simples, mensurável, relevante e oportuno (ALLAIN *et al.*, 2018; BÖHRINGER; JOCHEM, 2007). Mas, como é difícil dispor de indicadores que tenham todas as propriedades elencadas, é importante garantir a existência de pelo menos algumas delas, para obter o mínimo de consistência nos indicadores propostos.

4.2.2 Indicadores e Índice de Sustentabilidade

Os indicadores são componentes que definem os índices no contexto da sustentabilidade e aparecem como ferramentas capazes de subsidiar o monitoramento da operacionalização do desenvolvimento sustentável, com a função principal a revelação de informações sobre o estado das diversas dimensões (ambientais, econômicas, socioeconômicas, culturais, institucionais, etc.) que compõem o desenvolvimento sustentável do sistema na sociedade (CARVALHO *et al.*, 2015).

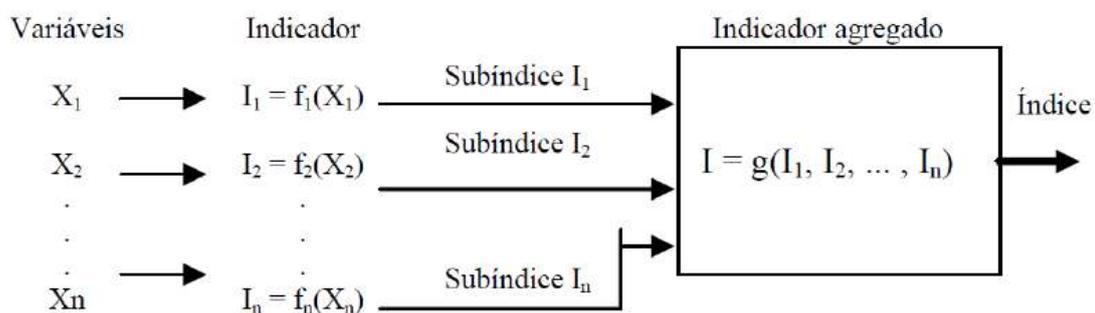
Num indicador de sustentabilidade, alguns fatores devem ser inclusos para que somados possam fornecer um quadro da situação abordada, sendo a identificação de quais variáveis são as mais importantes para uma melhor qualificação da realidade, somado ao peso de cada uma, além de entender como elas se relacionam entre si (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

Os índices se apresentam como instrumentos de mensuração da sustentabilidade, bem como suas principais dimensões e ferramentas, como os indicadores de sustentabilidade, conforme Siche *et al.* (2007).

Enquanto os indicadores de sustentabilidade são instrumentos apropriados para auxiliar à tomada de decisão na implementação de mecanismos de proteção, recuperação e uso racional de recursos hídricos em bacias hidrográficas, permitindo a simplificação no processo de quantificação, análise e comunicação, pelo qual a informação chega ao usuário, facilitando o entendimento de fenômenos complexos e torná-los mensuráveis e compreensíveis (PAULA JUNIOR; POMPERMAYER, 2007; KEMERICH *et al.*, 2001).

Um esquema de fluxo da informação para formulação de indicadores dada por OTT (1978) é representado na Figura 6, em que, a partir das variáveis, estes são agregados e transformados em subíndices, os quais, numa agregação final, compõem um índice geral, tornando-os importantes parâmetros para focar a realidade, dentro de um contexto multidisciplinar, com a finalidade de fornecer informações imprescindíveis para a tomada de decisão (SILVA *et al.*, 2012).

Figura 6 – Fluxo de informações na direção do índice.



Fonte: OTT (1978).

Outro fluxo para se atingir o índice foi estabelecido por Hammond *et al.* (1995), que o denominou de pirâmide de informação, onde relaciona dados primários e indicadores, até atingir um índice, que tem pressuposto no conceito de conhecimento

expresso por uma relação hierárquica entre dados (Data), informação (Information), conhecimento (Knowledge) e sabedoria (Wisdom), que é conhecida como DIKW, hierarquia da informação, hierarquia do conhecimento ou pirâmide do conhecimento (BERNSTEIN, 2009; ROWLEY, 1998; 2007; SANTOS; SOUZA, 2010;).

Com base nessa pirâmide outra estrutura de análise foi desenvolvida por Maranhão (2007) que passou a considerar os indicadores de recursos hídricos, que foi denominada de Pirâmide da Informação na Gestão de Recursos Naturais e a Geração do Conhecimento.

Nesse modelo de pirâmide as posições na base, as decisões são praticamente rotineiras e repetitivas, enquanto as decisões no topo se tornam ímpares por natureza. Entretanto, não mostra todos os principais aspectos dos fluxos de informação e de conhecimento, complementa apenas uma visão sistêmica (MORESI, 2006), Figura 7.

Figura 7 – Pirâmide da informação na gestão de recursos naturais e a geração do conhecimento.



Fonte: Maranhão (2007).

O conjunto de indicadores de recursos hídricos, constitui um importante instrumento que poderá contribuir para a melhoria da gestão desse cenário como proposto por Carvalho e Curi (2015).

Brown; Matlock (2011); Rijsberman (2006) citam indicadores e índices que introduzem requisitos ambientais relacionados com a água, como: Indicador de estresse hídrico de Falkenmark ou índice de estresse hídrico; Indicadores de escassez física e econômica; Índice de Pobreza da Água; Índice de uso relativo de água local e reutilização; Índice de sustentabilidade da bacia hidrográfica; Índice de estresse de fornecimento de água; Índice de impactos do crescimento populacional na disponibilidade de recursos

hídricos e o Índice de avaliação de suprimentos de recursos hídricos usando o indicador de estresse hídrico.

Uma das grandes complexidades ao agregar informações em índices, é como estabelecer um sistema de ponderação que integre dados sem perder o seu significado ou tornar-se muito subjetivo. Antes da agregação, os indicadores devem ser convertidos em grandezas intensivas e padronizados para a mesma referência. O objetivo da padronização é melhor compreender a importância relativa ou a magnitude de cada indicador de um tema/subtema.

Dessa forma esses indicadores classificam o índice (CARVALHO; CURI, 2015) em comensuralistas ou sintéticos que são aqueles que agregam aspectos culturais, políticos e sociais na mensuração do desenvolvimento, como o IBES (Índice de bem-estar econômico sustentável), o LPI (Living Planet Index), o ESI (Environmental Sustainability Index) e Indicador de Pegada Ecológica (Ecological footprint — Ecofootprint) (TAYRA; RIBEIRO, 2006), a Poupança Genuína (Banco Mundial), o Indicador de Progresso Genuíno (Genuine Progress Index) (QUIROGA, 2001).

O índice hidrológico busca mostrar a disponibilidade hídrica a partir do cenário de estresse hídrico. Ohisson (2000) mostrou que o aprendizado que se tira em estudar o desenvolvimento de índices de escassez de água é que eles espelham progressão na percepção do que constitui a real escassez em assuntos hídricos em diferentes fases do tempo. Isso mostra a relação direta da importância entre a disponibilidade de água e o desenvolvimento de uma sociedade em todos os seus aspectos, sejam eles sociais, econômicos, educacionais, saúde, pois remete a segurança hídrica em dimensões seja local ao global.

Dentre as diversas possibilidades de classificação da escassez hídrica, apresenta-se o Índice de Falkenmark, que classifica tanto como de escassez, quanto de estresse hídrico e tem sido talvez a medida mais utilizada do estresse hídrico. Ele é definido como a fração do escoamento anual total disponível para uso humano, com pesquisa aplicada em vários países, além do uso de água por pessoa em cada economia também foi calculado.

4.3 MÉTODOS APLICADOS NA ESTIMAÇÃO DE ÍNDICES AGREGADOS DE SUSTENTABILIDADE E DE ÍNDICE HIDROLOGICO

4.3.1 Índices Agregados

A construção de índices agregados ou compostos tem por finalidade facilitar a compreensão da medição de certos fenômenos, bem como a avaliação e a comparação de sua evolução no tempo ou entre diferentes unidades, e para tanto diversos métodos são aplicados no processo de padronização ou normalização e de ponderação com o objetivo de contribuir com alguns aspectos de um conjunto de dados na geração de um resultado, que segundo Mikulic *et al.* (2015) os pesos influenciam na geração do índice e geralmente, é atribuído mais peso aos indicadores com maior importância ou atenção.

Dentre os diversos métodos estatísticos empregados na determinação e avaliação de variáveis para estimar indicadores e índices agregados de sustentabilidade, bem como em determinar se as variáveis podem ser agrupadas em grupos estatisticamente distintos, têm-se os mais empregados, a soma ponderada ou ponderação igual (PI), análise de componentes principais (PCA), análise fatorial (AF) e análise de *clusters* (CA), dentre outros. Esses métodos foram aplicados em estudos como os de Crispim *et al.* (2019); Dragon e Gorski (2015); Ferreira e Costa (2016); Kumar *et al.* (2009); Roboredo *et al.* (2018); Zghibi *et al.* (2014); Zhu e Wang (2016); Zhu *et al.* (2017).

- Ponderação Igual (PI)

A ponderação igual (Equal Weighting - EW) pode ser usada quando todos os indicadores são considerados igualmente importantes ou quando nenhuma evidência estatística ou empírica suporta um esquema diferente (EUROPEAN COMMISSION, 2020; GAN *et al.*, 2017; GRECO *et al.*, 2019; NARDO *et al.*, 2005; SCHEDERECKER *et al.*, 2019; SOUZA *et al.*, 2020). A soma ponderada também é frequentemente descrita e usada no contexto da estrutura de tomada de decisão ambiental e de sustentabilidade (GRECO *et al.*, 2019; HERMANS *et al.*, 2008; ROWLEY *et al.*, 2012). Esse método tem levantado diversas contestações, devido principalmente, a validade e transparência dos índices utilizando este procedimento (MIKULIC *et al.*, 2015).

Com base nesse método, diversos índices de sustentabilidade foram elaborados, como o Índice Planeta Vivo elaborado pela Sociedade Zoológica de Londres (WWF, 2006; WWF, 2018), Índice de Desenvolvimento Humano criado por Mahbub ul Haq com

a colaboração do economista indiano Amartya Sen pelo Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) em 1990 (PNUD, 2019) e o Índice de Economia Genuína baseado no conceito de renda sustentável, apresentada pelo ecônomo John Hicks (1948) (GROUP, 2015).

- Análise de Componentes Principais (ACP) e Análise Fatorial (AF)

As técnicas multivariadas, análise de componentes principais (Principal Component Analysis - PCA) quanto a análise fatorial (Factor Analysis - FA) são empregadas com o objetivo de reduzir a dimensionalidade dos dados sem perda significativa de informações usando técnicas de transformação linear (DUNTEMAN, 1989; GUEDES *et al.*, 2012; HERMANS *et al.*, 2008).

Na AF os pesos de cada dimensão podem ser calculados a partir das cargas fatoriais, já que essas cargas fatoriais expressam a razão da variância geral do indicador explicada pelos fatores (KHOSLA, 2006; LI *et al.*, 2016; LOPES *et al.*, 2009), além de reduzir o risco de dupla ponderação, o que pode ocorrer no método de ponderação igual (YEHEYIS *et al.*, 2013).

Contudo, o método apresenta algumas desvantagens, dentre elas o significado real das dimensões extraídas usando esses métodos pode ser difícil de definir e a outra desvantagem é que ele só funciona se um número suficiente de indicadores é usado e se eles apresentam um certo grau de correlação (FIGUEIREDO FILHO *et al.*, 2014; JOLLIFFE *et al.*, 2016).

- Benefício da Abordagem da Dúvida (BoD)

O benefício da abordagem da dúvida (Benefit of the Doubt approach - BoD) é uma aplicação da análise por envoltória de dados, em que se atribui pesos mais altos aos indicadores nos quais o desempenho é melhor e pesos mais baixos aos indicadores nos quais o desempenho é pior (CHERCHYE *et al.*, 2007; SHWARTZ *et al.*, 2009).

O método apresenta duas abordagens, a primeira usa modelos de programação linear simples (LP) e a segunda usa a análise envoltória de dados (DEA), a forma como a abordagem do benefício da dúvida foi implementada anteriormente. Em ambos os casos, as restrições são adicionadas para limitar os ajustes de peso a alguma porcentagem dos pesos da linha de base determinados pela política (GAALOUL; KHALFALLAH, 2014; SHWARTZ *et al.*, 2009).

Uma vantagem deste método é que ele pode integrar os processos de ponderação, agregação e formação de índice, além de que os pesos obtidos podem ajudar a definir trade-offs, mitigando algumas das dificuldades decorrentes dos métodos de agregação linear, enquanto a principal desvantagem consiste nos múltiplos resultados potenciais, a incomparabilidade entre eles e baixa transparência são as principais desvantagens desse método (NARDO *et al.*, 2005).

- **Análise de Regressão (AR)**

A análise de regressão (Regression Analysis – RA) é uma técnica multivariada, conhecida como coeficiente de correlação produto-momento ou coeficiente r de Pearson, com o objetivo de avaliar as relações entre um conjunto de variáveis a partir de métodos estatísticos (PISANI JUNIOR *et al.*, 2018; SHIKER, 2012; VERGARA *et al.*, 2017). Por usar a análise de regressão, os pesos podem ser determinados discernindo a relação entre um conjunto de indicadores e uma única medida de resultado (NARDO *et al.*, 2005; SUBRAMANIAN *et al.*, 2007).

Contudo, apresenta algumas limitações que dificultam sua aplicação para indicadores de ponderação, como a multicolinearidade não é aceitável quando se constroem modelos de regressão linear múltipla (ABNT, 2004; ALMEIDA *et al.*, 2017; GRANATO *et al.*, 2014; GUIMARÃES *et al.*, 2017). Essa limitação, de acordo com Mikulic *et al.* (2015) é particularmente problemática nas avaliações de sustentabilidade, em que ocorre a multicolinearidade.

- **Processo de Hierarquia Analítica (AHP)**

A técnica de multicritério do processo de hierarquia analítica (Analytical Hierarchy process - AHP) foi criada por Tomas L. Saaty, na década de 70, com base na matemática e psicologia, atualmente é estruturada para tomada de decisões de múltiplos critérios com base em comparações pareadas de elementos alternativos (FONTANA; MORAIS, 2016; MIKULIC *et al.*, 2015; PIMENTAL *et al.*, 2019; SCHOLL *et al.*, 2015; SILVA *et al.*, 2009b).

O AHP tem sido amplamente utilizado como uma ferramenta de tomada de decisão com múltiplos critérios (ARRANZ-LÓPEZ *et al.*, 2017; FERREIRA *et al.*, 2018a; SAATY, 2008; VAIDYA; KUMAR, 2006) é um método útil para ponderar os indicadores de sustentabilidade (ARNETTE *et al.*, 2010; ROJAS; SHEFFIELD, 2013), em que a correta atribuição destes pesos é, portanto, fundamental para que sejam mantidas

as preferências dos decisores (MACHARIS *et al.*, 2004; NURHAYATI *et al.*, 2018; PINESE JÚNIOR; RODRIGUES, 2012).

As desvantagens do AHP incluem o alto número de comparações entre pares e a exigência de um número parcimonioso de indicadores em cada *cluster* analisado, além do fato de que os indicadores possuem diferentes unidades de medida, o que pode tornar o cálculo do índice inviável (GAN *et al.*, 2017; SCHOLL *et al.*, 2015).

- **Análise de Clusters (AC)**

A técnica multivariada análise de *clusters* (Cluster Analysis – CA) ou simplesmente análise de aglomerado consiste na classificação de grupos de objetos, ou variáveis semelhantes, de modo a reduzir o número de objetos para um número menor de grupos (GAMA *et al.*, 2016; GRAÇAS *et al.*, 2016; GUSBERTI *et al.*, 2014).

A desvantagem é que os resultados dependem da medida escolhida e do algoritmo utilizado. (PRATA; FREITAS, 2007).

4.3.2 Índices Hidrológicos

A construção de indicadores ou índices hidrológicos tem por finalidade apresentar um valor médio de uma variável hidrológica característica de uma região com comportamento homogêneo (REIS *et al.*, 2008; RODRIGUES *et al.*, 2016).

Os métodos mais empregados na estimação são o balanço hídrico climatológico (BHC) e as vazões ecológicas. O conceito de balanço hídrico de modo geral avalia a contabilização de água no solo em um determinado período, permitindo inferir a quantidade de água que entra e sai deste sistema (JUSTI JUNIOR; ANDREOLI, 2015; LOPES *et al.*, 2019; LOPES SOBRINHO *et al.*, 2020; RICCE *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2013; SANTOS *et al.*, 2018).

Na sua estimação são contabilizadas a evapotranspiração potencial, que possibilita estimar a evapotranspiração real, a disponibilidade hídrica, a deficiência hídrica e as fases de reposição e retirada de água no solo (ARAÚJO *et al.*, 2018; NEVES *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2020).

O BHC como unidade de gerenciamento, permite classificar o clima de uma região, realizar o zoneamento agroclimático e ambiental, o período de disponibilidade e necessidade hídrica no solo, além de favorecer ao planejamento integrado dos recursos hídricos (WREGE *et al.*, 2016).

A disponibilidade hídrica de uma bacia pode ser avaliada pelo BHC (NEVES *et al.*, 2018) e pela análise das vazões (CECÍLIO *et al.*, 2018; MORAES *et al.*, 2019), as quais constituem as vazões ecológicas, cujo objetivo é garantir as condições mínimas de manutenção de ecossistemas aquáticos (LONGHI; FORMIGA, 2011).

Sarmiento (2007) identificou 207 metodologias, distribuídas em 44 países, com o objetivo de avaliar a vazão ecológica, classificadas em quatro categorias: hidrológicas, hidráulicas, habitat e holísticas. A curva de permanência é uma técnica bastante difundida para a determinação quantitativa dos recursos hídricos em uma bacia hidrográfica, na escala temporal (ARIAS; SERNA, 2017; DETZEL *et al.*, 2016; FIOREZE *et al.*, 2008; PEREIRA *et al.*, 2014), sua aplicação é apropriada para avaliação de empreendimentos hidroenergéticos, navegação em rios, abastecimento urbano e industrial, definição de vazões ecológicas, definição de sistemas de irrigação, entre outros (MARTINS *et al.*, 2011; PEREIRA *et al.*, 2014), fatores que influenciam na gestão de conflitos pelo uso da água em situação de escassez hídrica (BARROS *et al.*, 2018).

Com a curva de permanência de vazões se obtém a vazão $Q_{95\%}$, que caracteriza a vazão mínima do corpo hídrico, ou seja, é a vazão de permanência que é igualada ou superada em 95% do tempo, conforme Bazzo *et al.* (2017); Silva *et al.* (2015); Uliana *et al.* (2016).

A $Q_{7,10}$ é a vazão com sete dias de duração e período de retorno de 10 anos, correspondendo ao valor anual da menor média de sete vazões diárias consecutivas que pode se repetir, em média, uma vez a cada dez anos, ou seja, apresenta um período de retorno de dez anos (tempo para que ocorra uma vez, em um ano qualquer, uma vazão igual ou inferior à vazão considerada) (SILVA *et al.*, 2006; VESTENA *et al.*, 2012).

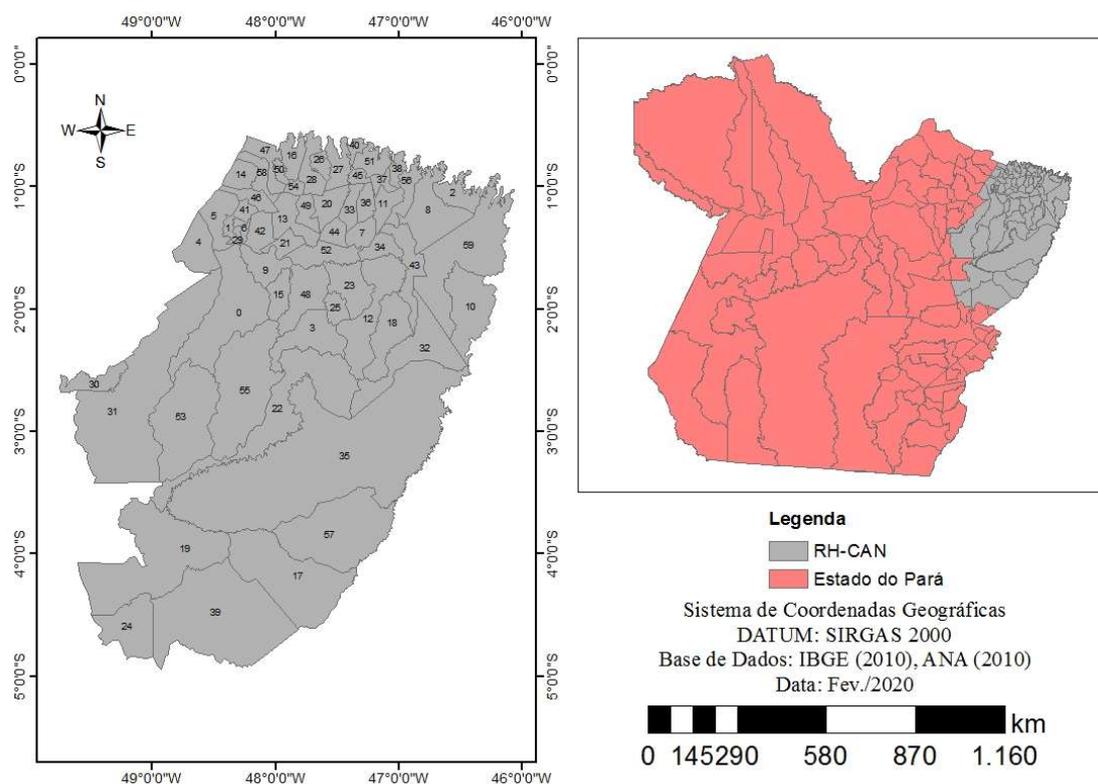
A seleção da menor média de sete dias consecutivos e não do menor valor absoluto da vazão é para não tornar o critério restritivo em demasia, buscando-se um único e menor valor de vazão (PEREIRA *et al.*, 2017), e assim suavizar a série histórica.

4.4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste (RH-CAN) no estado do Pará, foi instituída pela Resolução CERH N° 004 de 03 setembro de 2008, que dispõe da divisão do estado em sete macrorregiões hidrográficas, o Art 2° define a divisão hidrográfica do estado, em sete regiões hidrográficas: Costa Atlântica Nordeste, Tocantins-Araguaia, Xingu, Portel-Marajó, Tapajós, Baixo Amazonas e Calha Norte (PARÁ, 2008).

A RH-CAN abrange parte das regiões hidrográficas nacionais Amazônica, Tocantins e Atlântico Nordeste Ocidental, formada por 67 municípios paraenses, destes 7 também pertencem a outras regiões hidrográficas, o que exigiu a adoção de um critério de seleção dos municípios para o presente estudo. O critério adotado foi a localização da sede municipal pertencer a RH-CAN, que resultou em 60 municípios. A localização da RH-CAN é dada na Figura 8 com os 60 municípios definidos para o estudo.

Figura 8 – Localização da região hidrográfica Costa Atlântica Nordeste - PA.

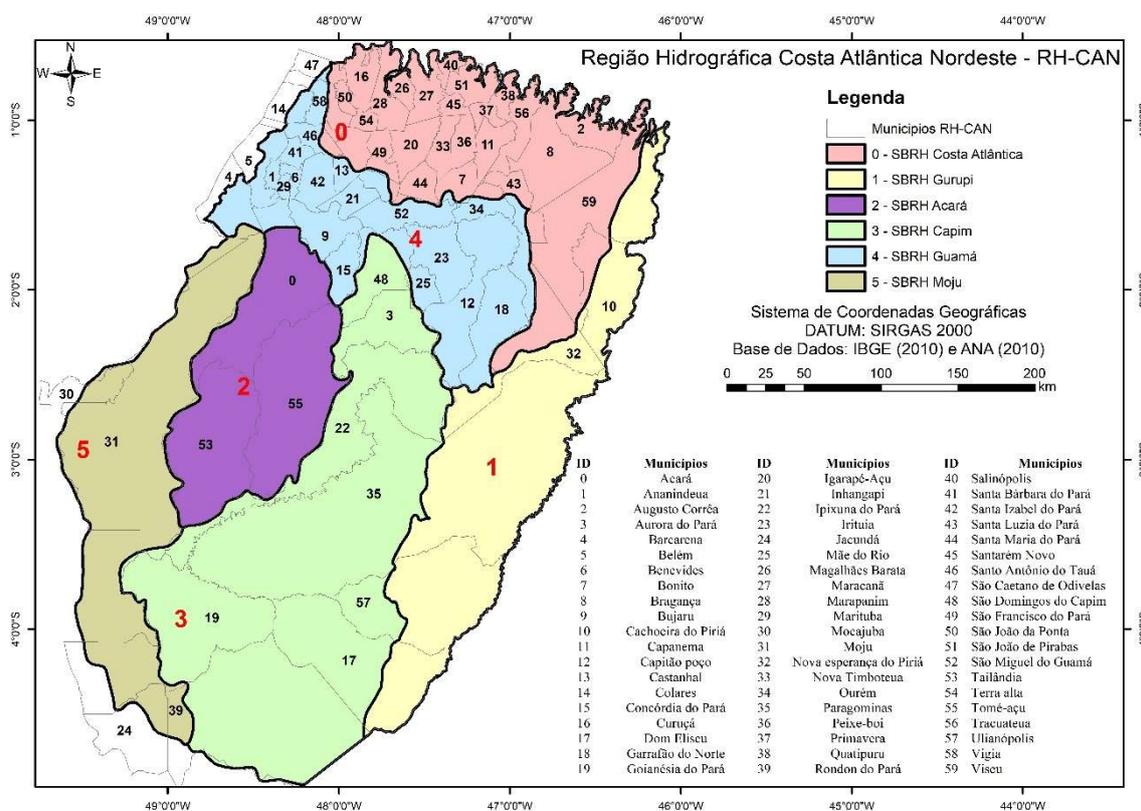


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A RH-CAN está dividida em seis sub-regiões hidrográficas estabelecidas como Unidades Hidrográficas de Planejamento (UPLAN'S), sendo a composição de cada sub-região seguindo o critério da localização da sede municipal, em que, apresentaram a seguinte composição: 1) sub-região hidrográfica do Capim com 4 municípios (Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Goianésia do Pará e Rondon do Pará); 2) Guamá – 20 (Vigia, Cores, Santo Antônio do Pará, Santa Bárbara do Pará, Ananindeua, Marituba, Castanhal, Barcarena, Belém, Inhangapi, Bujaru, São Miguel do Guamá, Capitão Poço, Ourém, São Domingos do Pará, Irituia, Garrafão do Norte, Concórdia do Pará, Mãe do Rio e Benevides); 3) Moju – 3 municípios (Moju, Mocajuba e Jacundá); 4) Costa Atlântica com 26 municípios (Salinópolis, Curuçá, Maracanã, Marapanim, Quatipuru,

Primavera, Terra Alta, Tracuateua, Bragança, Augusto Corrêa, Igarapé-Açu, Peixe-Boi, Capanema, Nova Timboteua, Bonito, Santa Maria do Pará, Santa Luzia do Pará, Cachoeira do Piriá, Nova Esperança do Pará, São Francisco do Pará, Magalhães Barata, São João de Pirabas, Santarém Novo, Santa Isabel do Pará, São João da Ponta e São Caetano de Odivelas); 5) Gurupi - 4 (Viseu, Paragominas, Ulianópolis e Dom Eliseu) e 6) Acará – 3 municípios (Acará, Tomé-Açu e Tailândia). A Figura 9 mostra a RH-CAN com suas sub-regiões e municípios.

Figura 9 – Sub-regiões hidrográficas da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

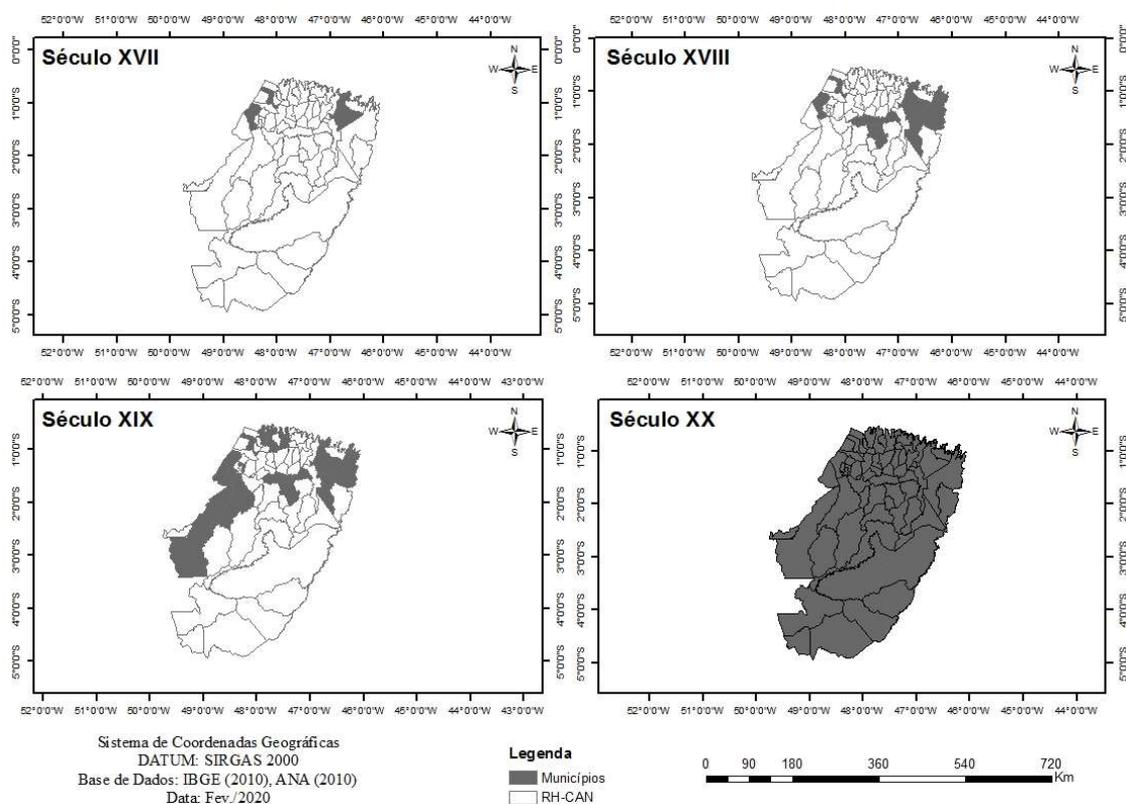
Conforme a Lei nº 6.381/01 e legislação complementar, a RH-CAN ocupa 10,1% do território do estado do Pará correspondendo a 118.683,23 km². Os principais rios que drenam a região são: Guamá, Capim, Acará, Moju, Aiu-Açu, Acará Miri, Camari, Piriá, Gurupi-Miri, Guajará, Rolim, Coaraci-Paraná, Uarim, Caeté, Pirabas, Maracanã, Marapanim, Mojuí e Maguari (PARÁ, 2001).

De acordo com Tavares (2008) os primeiros municípios da RH-CAN datam do século XVII, com a elevação de Bragança em 1613 à categoria de Vila de Bragança; a fundação da capital Belém em 1615 e o município de Vigia no mesmo ano.

No século XVIII outros 4 municípios foram elevados à categoria de vila ou a município, como o município de Irituia, São Miguel do Guamá, Ourém e Viseu. No século XIX, sete outros municípios também ganharam importância e se tornaram vila ou município que foram: Maracanã, Moju, Marapanim, Acará, Benevides, Curuçá e Barcarena (TAVARES, 2008).

Contudo, o crescimento da região nordeste foi mais acentuado no século XX com a fundação dos demais municípios. A Figura 10 mostra a evolução da ocupação da RH-CAN.

Figura 10 – Evolução da formação da RH-CAN



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Quanto aos aspectos climatológicos da RH-CAN a umidade relativa do ar está em torno de 85%, com predominância dos climas “Af” (Clima tropical chuvoso sem estação seca) e “Am” (Clima tropical de monção) segundo a classificação de Köppen, apresentando temperatura média em torno de 26 °C (PRATA *et al.*, 2010).

O período chuvoso da RH-CAN, pode ser considerado o da região nordeste, com início em dezembro se estendendo por mais seis meses e a época menos chuvosa onde predominam as chuvas de caráter convectivo, abrangem os demais meses do ano, o

período de maior estiagem se dá entre os meses de setembro e outubro, com destaque para a precipitação anual superior a 2.000 mm (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010).

Devido sua localização na Amazônia Oriental, onde os sistemas meteorológicos presentes vão desde grandes escalas como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) a de menor escala, contribui para a formação e distribuição das precipitações pluviométricas na região, o que leva a admitir os mesmos sistemas para a RH-CAN (LOPES *et al.*, 2013).

Especificamente nos municípios de Bragança, Tailândia, Moju, Capanema, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Viseu, São Miguel do Guamá, Acará, Capitão-Poço, Vigia, Augusto Corrêa, Salinópolis, Curuçá, Igarapé-Açu, Cachoeira do Piriá, Concordia do Pará, Irituia, São Domingos do Pará, Aurora do Pará, Mocajuba, Tracuateua, Mãe do Rio, Maracanã, Marapanim, Garrafão do Norte, Santa Maria do Pará, São João de Pirabas, Santa Luzia do Pará, São Caetano de Odívelas, Ourém, Bonito, São Francisco do Pará, Nova Timboteua, Quatipuru, Colares, Terra Alta, Primavera, Magalhães Barata, Peixe-Boi, Santarém Novo e São João da Ponta, que também integra a mesorregião nordeste paraense, ocorre a ligação de vários sistemas meteorológicos, favorecendo a incidência de precipitação pluviométrica ao longo do ano, o que pode também ser atribuído a RH-CAN com um todo, que segundo Lopes *et al.* (2013) constituem com outros três municípios a porção a mais chuvosa do estado.

Quanto à geologia da região, o território paraense contém uma grande variedade de terrenos geológicos com idades oscilando do arqueozoico (> 2.500 Ma) ao quaternário recente (tempos atuais) e a geomorfologia é composta por várias rochas que se distinguem conforme a origem em: magmáticas (ígneas ou cristalinas), sedimentares e metamórficas, dado ao aspecto topográfico as altitudes na região hidrográfica são em torno de 100 - 500 metros (MMA, 2007).

De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (PRODES/INPE, 2015), a partir das últimas cinco décadas o processo de desmatamento se acelerou nos municípios de Bragança, Tailândia, Moju, Capanema, Ipixuna do Pará, Tomé-Açu, Viseu, São Miguel do Guamá, Acará, Capitão-Poço, Vigia, Augusto Corrêa, Salinópolis, Curuçá, Igarapé-Açu, Cachoeira do Piriá, Concordia do Pará, Irituia, São Domingos do Pará, Aurora do Pará, Mocajuba, Tracuateua, Mãe do Rio, Maracanã, Marapanim, Garrafão do Norte, Santa Maria do Pará, São João de Pirabas, Santa Luzia do Pará, São Caetano de Odívelas, Ourém, Bonito, São Francisco do Pará, Nova Timboteua, Quatipuru, Colares, Terra Alta, Primavera, Magalhães Barata, Peixe-Boi,

Santarém Novo e São João da Ponta, em virtude da introdução do agronegócio e da mineração, alcançando 56% do território até o ano de 2015, fragiliza a manutenção da biodiversidade e a qualidade de vida das populações locais (COELHO *et al.*, 2018). Contudo, a bacia na totalidade ainda possui parte de seu território com cobertura florestal, todavia a pastagem e a vegetação secundária ocupam áreas expressivas (FERREIRA *et al.*, 2016).

Por ser caracterizada como o local de colonização mais antiga da Amazônia, a RH-CAN apresenta relevante importância (SANTOS *et al.*, 2019) no contexto social, econômico e ambiental do estado.

Dado que o uso e ocupação do solo da RH-CAN, se deu a partir do estabelecimento de diferentes padrões de usos do solo decorrentes de um histórico de expansão do setor agrícola e extrativista no estado, por conta de sua inserção na área de projetos desenvolvimentistas na região (SOUZA, 2018b; WALKER *et al.*, 2010).

Os municípios da porção nordeste da região hidrográfica abrigam a maior densidade demográfica do estado. Conforme, a estimativa da população no ano de 2017 pelo IBGE (2018), a região abrigava 59,74% da população do estado, isto é, 4.998.244 hab., caracterizando-a como a região hidrográfica mais populosa do estado, tendo o município de São João da Ponta o menos populoso com 5.970 hab. e Belém o mais populoso com 1.452.275 hab.

A região hidrográfica possui investimentos intensivos em agropecuária, com o desenvolvimento de atividade de lavoura permanente e temporária, extração vegetal, criação de efetivos de rebanhos (IBGE, 2019). O que contribuiu para que a paisagem dessa região passasse por profundas transformações, como as promovidas por atividades tradicionais, como a agricultura (VIEIRA *et al.*, 2003) itinerante voltada para produção de arroz, feijão, mandioca, milho, malva, algodão, pimenta-do-reino, o extrativismo florestal e animal, e a pecuária (SANTOS *et al.*, 2019).

No contexto amazônico, devido a sua localização estratégica o estado do Pará é o mais desmatado no Brasil, quando se considera o avanço do Arco do Desmatamento, resultante das grandes alterações em suas paisagens naturais decorrentes da expansão agrícola (BRASIL *et al.*, 2014) assim como da distribuição de terras de Reforma Agrária (FARIAS *et al.*, 2018). Além do fogo, devido sua utilização na conversão de vegetação em áreas de pastagens e agricultura (DEVISSCHER *et al.*, 2016).

Além de concentrar o maior PIB do estado, com quatro municípios entre os 10 com os valores mais elevados, assim como também possui municípios com os menores

PIB. Nos anos 2008 e 2009, representou 50% do PIB estadual e nos anos 2010, 2011 e 2012 ficou acima de 45%, essa região apresentou índice de vulnerabilidade social muito alto nos anos 2000 e 2010 (FAPESPA, 2015).

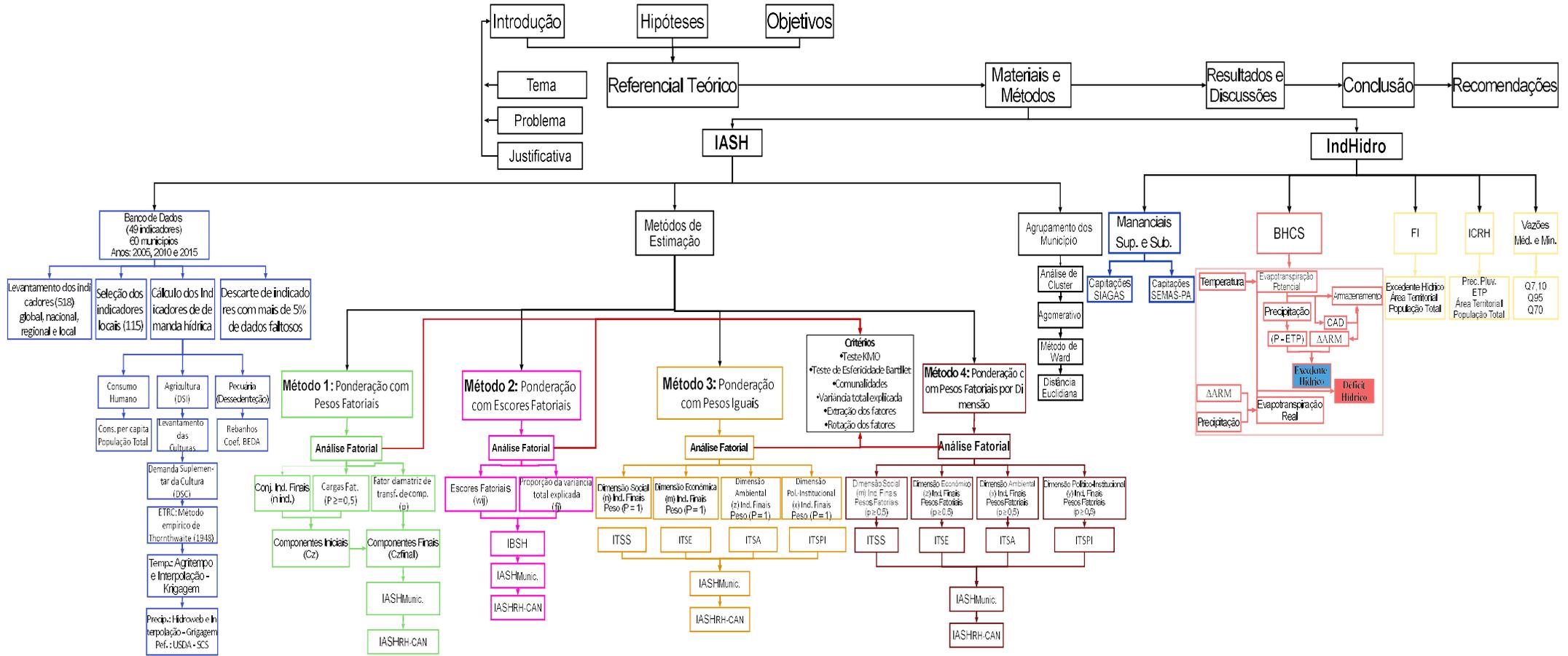
Esses fatos tornam a região Nordeste Paraense heterogênea, tanto em relação ao seu meio biofísico, quanto no processo de ocupação de seu território e apresenta um quadro de municípios com economias deprimidas (SANTOS *et al.*, 2019), logo reflete a realidade da RH-CAN.

6. MÉTODOS

Neste item são apresentados o banco de dados de indicadores secundários com suas fontes de obtenção, além de sua descrição; os indicadores estimados, que são aqueles não disponibilizados, isto é, necessitam de cálculos específicos e os métodos de cálculo dos índices, sendo quatro métodos, para a estimação dos índices agregados de sustentabilidade hídrica ($IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$) como para o índice hidrológico ou índice regional (IndHidro) pautados nos objetivos da pesquisa.

Em que o índice agregado de sustentabilidade hídrica foi adaptado dos estudos de Krajnc e Glavič (2005); Waquil *et al.* (2010); Chaves *et al.* (2013); Dillon e Goldstein (1984); Ferreira, *et al.* (2016); Rabelo e Lima (2007); Silva *et al.* (2016). O índice hidrológico foi adaptado de Rodrigues *et al.* (2016). A Figura 11 mostra o esquema de construção da pesquisa.

Figura 11– Esquema metodológico da pesquisa



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

5.1 ÍNDICE AGREGADO DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

O índice agregado de sustentabilidade hídrica foi estimado para cada município da região hidrográfica (IASH_{Munic.}) e o geral da RH-CAN (IASH_{RH-CAN.}).

5.1.1 Banco de dados para composição do Índice Agregado de Sustentabilidade Hídrica – IASH_{RH-CAN}

Inicialmente foram definidas as dimensões que compõem os IASH_{Munic.} e o IASH_{RH-CAN}, sendo elas social, econômica, ambiental e político-institucional, posteriormente foi realizado o levantamento de diversos indicadores (global, nacional, regional, estadual e local), conforme Benetti (2006); Carvalho e Curi (2015); Carvalho *et al.* (2011a); Cetrulo *et al.* (2013a); El-Gafy (2018); Guimarães (1998); IBGE (2015); Kronemberger *et al.* (2009); Martins e Cândido (2012); OECD (2008); Ribeiro, (2002); SDSN e Stiftung (2016); Teixeira Júnior (2016).

Dos quais foram selecionados os indicadores locais por representarem a realidade de cada um dos 60 municípios da região distribuídos em 206 indicadores sociais, 88 econômicos, 35 políticos-institucionais e 189 ambientais, totalizando 518 indicadores, conforme a Tabela 1.

Tabela 1– Dimensões, temas e indicadores para a estimação de índices de sustentabilidade.

Dimensão							
Social		Econômica		Política / Institucional		Ambiental	
Tema	Indicador	Tema	Indicador	Tema	Indicador	Tema	Indicador
Violência	6	Saúde	4	Economia	9	Saneamento	26
Saúde	38	Ambiental	6	Programas Planos	8	Qualidade da Água	19
Educação	28	Balança Comercial	2	Conselhos	6	Atmosfera	18
Emprego e Renda	27	Saneamento	9	Legislação	4	Floresta	25
Demográfico	18	Dívida	4	Justiça	4	Solo	19
Habitacional	17	Energia	6	Outros	4	Institucional	17
Segurança Pública e Justiça	3	Transporte	8			Energia	5
Infraestrutura	38	Importação	3			Fertilizantes e Defensivos Agrícolas	6
Assistência Social	12	Turismo	4			Fauna e Flora	7
Cultura	11	Investimentos	4			Extratativismo	7
Pobreza e Vulnerabilidade	8	Pecuária	8			Contaminação	4
		PIB	9			Recursos Hídricos	22
		Agricultura	12			Tecnologia	4
		Indústria	1			Ecossistemas	5
		Impostos	2			Unidades de Conservação	5
		Outros	6				
Subtotal	206	Subtotal	88	Subtotal	35	Subtotal	189
	Total				518		

Fonte: Elaborada pela autora (2018).

Devido à ausência de dados para séries longas, foram selecionados os anos com a maior quantidade de informação, no caso, 2005, 2010 e 2015. Essa dificuldade na obtenção de dados também é relatada por Braga *et al.* (2004), que considera ser um problema recorrente, tanto no que se refere à mera disponibilidade desses, quanto à sua qualidade.

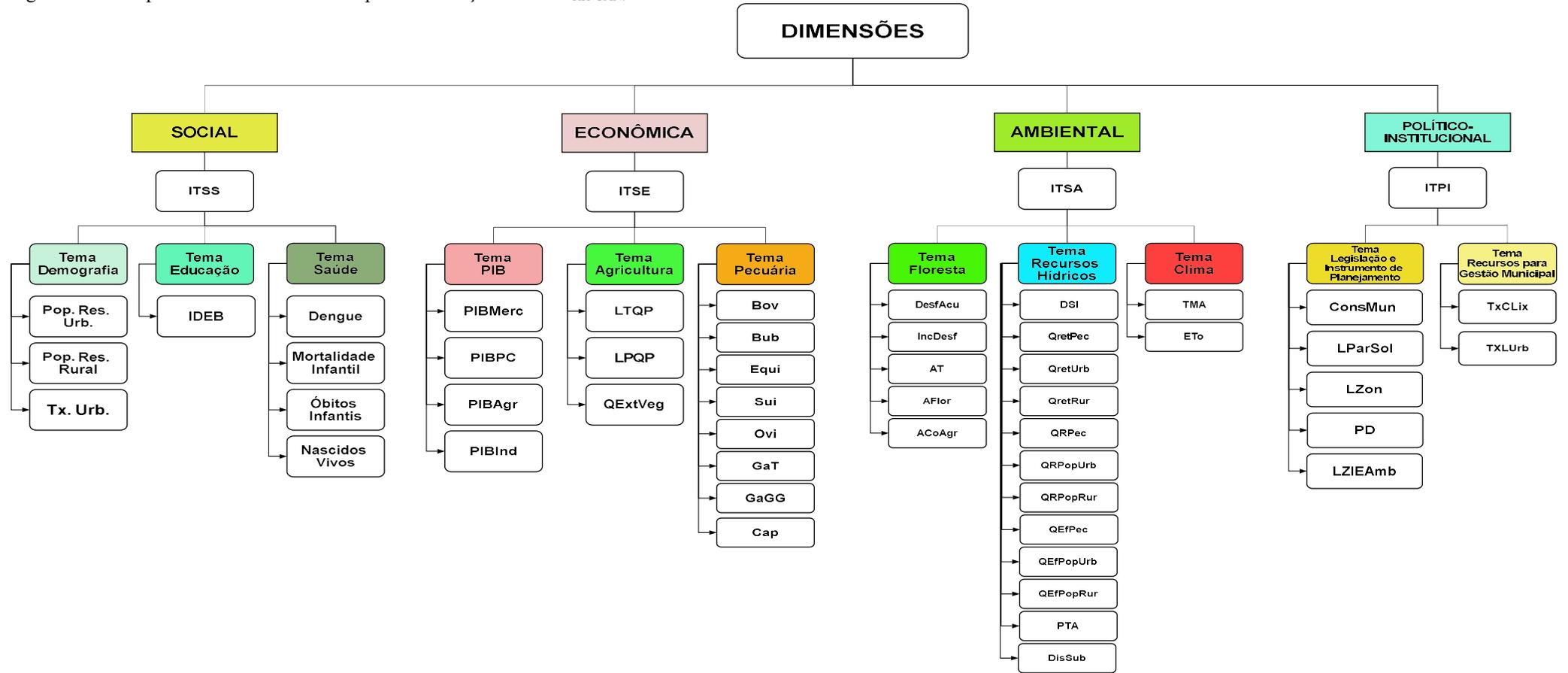
Como os indicadores de sustentabilidade são dinâmicos e variam conforme o objeto de estudo, e embora existam sugestões de indicadores que contemplem as dimensões de sustentabilidade social, econômica, ambiental e político-institucional, não se pode adotá-los sem eles estarem contextualizados na análise a ser realizada (RABELO; LIMA, 2007). O que justifica de certo modo, os diversos sistemas ou matrizes de indicadores existentes. Dado que a avaliação dos indicadores com dados ausentes, foi realizada sob o critério de descarte do indicador, caso ele não tivesse um grande número de observações, estipulado acima de 5% (IBM, 2016).

Os estudos que embasaram a escolha dos indicadores foram: Benetti (2006); Cetrulo *et al.* (2013); Carvalho *et al.* (2015); Carvalho e Curi (2015); Dias (2013); El-Gafy (2018); Sachs *et al.* (2016); Guimarães e Feichas, (2010); IBGE (2015); PNUMA, (2001); Martins e Cândido (2008); Teixeira Júnior (2016); com a introdução dos indicadores de demanda hídrica dos usos consuntivos, humano, agricultura e pecuária, além do indicador oferta (precipitação).

Dessa forma foram selecionados 115 indicadores municipais, que compôs o sistema de indicadores inicial, em que foi formada uma matriz de dados, onde as colunas representam os indicadores observáveis nos anos 2005, 2010 e 2015, também chamados de originais e as linhas, os municípios. Logo a dimensão da matriz de dados inicial foi de 60×115 , no âmbito das dimensões social, econômica, ambiental e político-institucional. A partir de uma análise de verificação do percentual de dados ausentes o conjunto inicial de indicadores foi reduzido em 49 indicadores para os 60 municípios, gerando uma nova matriz de estudo de 60×49 .

Esses indicadores foram classificação conforme os temas: demografia, educação e saúde na dimensão social; PIB, agricultura e pecuária na dimensão econômica; floresta, recursos hídricos e clima na dimensão ambiental; legislação e instrumento de planejamento e recursos para gestão municipal na dimensão político-institucional, que constituíram os índices temáticos de sustentabilidade (ITS), definidos para às quatro dimensões: social (ITSS), econômica (ITSE), ambiental (ITSA) e político-institucional (ITSPI), conforme a estrutura apresentada na Figura 12.

Figura 12 – Escopo com dimensões e temas para formulação do IASH_{RH-CAN}.



Fonte: Adaptado de Rabelo; Lima (2007).

O detalhamento dos indicadores municipais, como tema, código, descrição, justificativa e fonte de obtenção dos dados, é dado nos Quadro 1, Quadro 2, Quadro 3 e Quadro 4, de modo a subsidiar toda a discussão abordada.

Quadro 1 – Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Social.

DIMENSÃO SOCIAL					
Tema	Indicador	Cód.	Descrição	Justificativa	Fonte
Demografia	Pop. Res. Urb (Hab)	PRU	Corresponde às pessoas moradoras nas áreas urbanas isoladas, cujos limites são definidos por lei municipal	Varáveis que causam impacto no desempenho do sistema quanto ao desenvolvimento humano	IBGE - Estimativas de População
	Pop. Res. Rural (Hab)	PRR	Abrange as pessoas moradoras fora dos limites das áreas urbanas, inclusive nos aglomerados rurais		IBGE - Estimativas de População
	Taxa de Urbanização	TxUrb	Indicador que mede o crescimento percentual da população que vive em núcleos urbanos, isto é, percentagem da população da área urbana em relação à população total		IBGE - Estimativas de População
	Mortalidade Geral (Óbitos por residência)	MG	Reflete o número de mortes registradas em uma determinada região		DATASUS
	Óbitos Infantis (Óbitos por residência)	OI	Desaparecimento definitivo dos sinais de vida em qualquer momento posterior ao nascimento. O registro refere-se ao lugar de residência do falecido		Ministério da Saúde (MS/SVS/CGIAE)
	Nascidos Vivos (Nascidos por residência da mãe)	NV	Número de nascimentos ocorridos, independentemente do tempo de gestação, mantém sinais de vida após a separação do corpo materno contados segundo o local de residência da mãe		Ministério da Saúde (MS/SVS/DASIS)
Saúde	Dengue	Deng	Notificações de casos de dengue - Município de residência		Ministério da Saúde (SVS)
Educação	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica: Anos iniciais	IDEB	Índice de desenvolvimento da educação básica (IDEB) agrega o fluxo escolar e as médias de desempenho nas avaliações	Importante condutor de política pública em prol da qualidade da educação	Ministério da Educação

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Quadro 2 – Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Econômica.

DIMENSÃO ECONÔMICA					
Tema	Indicador	Código	Descrição	Justificativa	Fonte
PIB	PIB - A preço de mercado corrente (1.000R\$)	PIBMerc	Indicador igual ao valor adicionado a preço básico, subtraído dos serviços de intermediação financeira indiretamente medidos e adicionado dos impostos sobre produtos, líquidos de subsídios	Interferem nas necessidades básicas de consumo refletindo no desempenho do sistema	IBGE - SIDRA
	PIB - Per capita (1.000R\$)	PIBPC	Produto interno bruto a preço de mercado dividido pela população		
	PIB - Agropecuária (1.000R\$)	PIBAgr	Diferença entre o valor bruto da produção, a preços do produtor, e o consumo intermediário, a preços de mercado		
	PIB - Indústria (1.000R\$)	PIBInd			
Agricultura	L. T. - Quantidade Produzida (Toneladas)	LTQP	Produção obtida de cada produto agrícola no ano de referência da pesquisa		IBGE - SIDRA
	L. P. - Quantidade Produzida (Toneladas)	LPQP			
	Quantidade produzida na extração vegetal (Toneladas)	QExtVeg			IBGE - SIDRA
Pecuária	Efetivo: Bovino (Cabeças)	Bov	Total da espécie existentes, comum ou de raça, em todas as categorias do rebanho, existentes em 31 de dezembro do ano de referência da pesquisa	Revela o desempenho do sistema quanto às pressões da pecuária	IBGE - SIDRA
	Efetivo: Bubalino (Cabeças)	Bub	Total da espécie existente em 31 de dezembro do ano de referência da pesquisa		IBGE - SIDRA
	Efetivo: Equino (Cabeças)	Equi			IBGE - SIDRA
	Efetivo: Suíno – total (Cabeças)	Sui			IBGE - SIDRA
	Efetivo: Caprino (Cabeças)	Cap			IBGE - SIDRA
	Efetivo: Ovino (Cabeças)	Ovi			IBGE - SIDRA
	Efetivo: Galináceos total (Cabeças)	GaT			IBGE - SIDRA
	Efetivo: Galináceos – galinhas (Cabeças)	GaGG			IBGE - SIDRA

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Quadro 3 – Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Ambiental.

DIMENSÃO AMBIENTAL					
Tema	Indicador	Código	Descrição	Justificativa	Fonte
Floresta	Desflorestamento Acumulado (km ²)	DesfAcu	Reflete o processo de destruição das florestas através da ação do homem	Indicadores para a proposição de políticas públicas e para a avaliação da efetividade de suas implementações	INPE – PRODES
	Incremento no Desflorestamento (km ²)	IncDesf			INPE – PRODES
	Área Territorial (km ²)	AT	Extensão territorial do município	Representa toda a extensão territorial do município analisado, considerando as áreas rural e urbana	IBGE – Cidades
	Área de Floresta (km ²)	AFlor	Descreve o quantitativo do território brasileiro de terras públicas com floresta (MMA, 2019)	Relevante por acompanhar a situação dos reservatórios do Brasil em termos de armazenamento de água para subsidiar o processo de gestão dos recursos hídricos	INPE – PRODES
	Área Colhida na Agricultura (km ²)	ACoAgr	Lavoura Permanente: Área ocupada com pés em produção no ano de referência da pesquisa. No caso de culturas temporárias de curta e média duração, corresponde à área plantada	Representa a parcela da área plantada de cada produto agrícola efetivamente colhida na data de referência da pesquisa	INPE – PRODES
Recursos Hídricos	Demanda Suplementar de Irrigação - DSI (m ³ /ha.ano)	DSI	Principais usos consuntivos na RHCAN	Indica o impacto destas atividades no consumo de água do município, refletindo no desempenho do sistema quanto às pressões da agricultura, pecuária, abastecimento humano	Freitas, et. al., (2008)
	Vazão Retirada na Pecuária (m ³ /ano)	QretPec			ANA (2016)
	Vazão Retirada: População Urbana (Milhões de m ³ /hab/ano)	QretUrb			ANA (2016)
	Vazão Retirada: População Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	QretRur			ANA (2016)
	Vazão Retorno na Pecuária (m ³ /ano)	QRPec			
	Vazão Retorno: População Urbana (Milhões de m ³ /hab/ano)	QRPopUrb			ANA (2016)

Continua

DIMENSÃO AMBIENTAL					
Tema	Indicador	Código	Descrição	Justificativa	Fonte
	Vazão Retorno: População Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	QRPopRur			ANA (2016)
	Vazão Efetiva na Pecuária (m ³ /ano)	QEfPec			ANA (2016)
	Vazão Efetiva - Consumo Humano Urbano (Milhões de m ³ /hab/ano)	QEfPopUrb			ANA (2016)
	Vazão Efetiva - Consumo Humano Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	QEfPopRur			ANA (2016)
	Precipitação Total Anual (mm)	PTA	Resultado do somatório da quantidade da precipitação pluviométrica no município durante um dado período de tempo	Indica o desempenho do sistema quanto aos usos consuntivos	Hidro Web - ANA
	Disponibilidade Subterrânea (mm)	DispSub	Corresponde a 33,35% da precipitação pluviométrica, disponível para uso segundo critérios da pegada hídrica		Precipitação : Hidro Web - ANA
Clima	Temperatura	TMA	Temperatura do ar	Influencia na evapotranspiração	Agritempo - EMBRAPA
	Evapotranspiração Anual	ET _o	Definida como a taxa de evapotranspiração a partir de uma cultura de referência hipotética com uma altura de cultivo assumida de 0,12 m, uma resistência de superfície fixa de 70 s/m e um albedo de 0,23	Desempenha um papel importante na estimativa da demanda hídrica das culturas irrigadas	Thornthwait e, (1948)

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Quadro 4 – Detalhamento dos indicadores municipais – Dimensão Político-Institucional.

DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL					
Tema	Indicador	Código	Descrição	Justificativa	Fonte
Legislação e instrumentos de planejamento o no município	Conselho municipal de política urbana, desenvolvimento urbano, da cidade ou similar.	ConsMun	Instrumento de planejamento	Refletem a provisão de água e sua governança. Assim como definem diretrizes para a gestão do solo e do saneamento	IBGE - Cidades
	Lei de parcelamento do solo – existência.	LParSol	Instrumento de gestão		
	Lei de zoneamento ou equivalente – existência.	LZon	Instrumento de gestão		
	Plano diretor - existência	PD	Instrumento de planejamento		
	Legislação sobre zona e/ou área de interesse especial - ambiental	LZIEAmb	Instrumento de gestão		
Recursos para gestão municipal	Taxa de coleta de lixo - existência	TxCLix	Instrumento de planejamento		
	Taxa de limpeza urbana - existência	TxLUrb	Instrumento de planejamento		

Fonte: Elaborado pela autora (2019).

Como os indicadores de demanda hídrica não são disponibilizados em banco de dados oficiais, estes foram estimados por metodologias específicas e representados pelas vazões de retirada, retorno e efetivas, que evidenciam os consumos consuntivos: humano, agricultura e pecuária. Nas estimativas foram consideradas, como vazões de retirada, as vazões captadas; vazões de retorno, as vazões lançadas nos corpos d'água após o seu uso e vazões consumidas (PRUSKI *et al.*, 2007).

1) Vazões de retirada

As vazões de retirada foram estimadas conforme os itens subsequentes, considerando as especificidades dos usos consuntivos: consumo humano, DSI e dessedentação de animais.

- **Demanda Humana**

A demanda humana foi estimada para os três anos de estudo, para os 60 municípios e classificada em duas categorias: demanda urbana correspondente à

população urbana residente no espaço urbano e peri urbano dos municípios e a demanda rural resultante do consumo de água pelas comunidades rurais. As perdas não foram incluídas nas estimativas.

As variáveis empregadas no cálculo da demanda hídrica, foram: população urbana e rural de cada município e os consumos per capita urbano e rural.

Nessas populações foram inseridos todos os habitantes dos municípios, incluindo os trabalhadores das indústrias de transformação, o que descarta o cálculo da demanda industrial de transformação, dado que essa consiste na demanda para consumo dos trabalhadores (ANA, 2019). Ressalta-se que a demanda para a produção industrial é de difícil estimativa, devido à falta de informação e dados.

Na estimativa da demanda potencial de água considerou-se apenas a necessidade de consumo e não as formas de acesso (sistemas de abastecimento ou individual), determinada como o número de habitantes por volume de uso de água per capita, expresso em consumo per capita (Tabela 2) e Equações: (1); (2) e (3) (ANA, 2015).

Tabela 2 – Consumos per capita.

População Urbana		q (l/hab./dia)
<	5000	246
5000	35000	264,2
35000	75000	294,6
>	75000	290,4
População Rural		100

Fonte: ANA (2015).

$$Q_{urb} = Pop_{urb} * q_{urb} \quad (1)$$

$$Q_{rural} = Pop_{rural} * q_{rural} \quad (2)$$

$$Q_{retCH} = Q_{urb} + Q_{rural} \quad (3)$$

Q_{urb} : Demanda de água pela população urbana;

q_{urb} : Consumo de água per capita da população urbana;

Q_{rural} : Demanda de água pela população rural;

q_{rural} : Consumo de água per capita da população rural e

Q_{retCH} : Vazão de retirada de água pela população total.

• Demanda na Pecuária

A demanda de água na pecuária consistiu no consumo para a dessedentação dos animais e na sua estimativa para a RH-CAN, adotou-se o consumo per capita dos animais, com os valores determinados pela metodologia BEDA - Bovinos Equivalentes para

Demanda de Água implementada pela SUDENE em 1980, que pondera a demanda unitária de água para a dessedentação de cada espécie em relação ao bovino, Equação (4).

$$BEDA = bov + equ + asi + \left(\frac{cap+ov}{5}\right) + \left(\frac{sui}{4}\right) \quad (4)$$

Os valores estimados e atualizados de BEDA por rebanho na metodologia são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de BEDA por tipo de rebanho.

	Animais	$q_{(rebanho,animais)}$ (l/cabeça/dia)
Dessedentação de animais	Bovinos/bubalinos	50
	Equinos/Muare/Asininos	40
	Suínos	18,7
	Ovinos e caprinos	10
	Galinhas	0,27
	Outros galináceos	0,22
	Codornas	0,18

Fonte: ANA (2019).

Como a demanda de água na pecuária considerou a necessidade hídrica de cada espécie do efetivo de rebanho na área de estudo (municípios), no cálculo estimou-se a quantidade de animais por efetivo de rebanho multiplicado pelo volume de água necessário (consumo per capita) para cada espécie, logo a demanda de água na pecuária é o somatório destes valores em cada ano de estudo, conforme metodologia aplicada pela ANA (2019). Equação (5).

$$Q_d = \sum Reb_{(rebanho,animais)} * q_{(rebanho,animais)} \quad (5)$$

Q_d : Vazão de retirada animal para determinado município (litros.dia⁻¹);
 Reb : Quantitativo de animais por determinada espécie para determinado município (número de cabeças), calculado pelo BEDA e
 $q_{(rebanho,animais)}$: Coeficiente de retirada animal por dia obtido a partir da matriz de coeficientes técnicos (litros.dia⁻¹ por espécie animal).

• Demanda na Agricultura

A demanda hídrica pelas lavouras cultivadas nos municípios da RH-CAN incidiu na utilização agrícola e constituiu-se da demanda suplementar de irrigação anual (DSI) pelas culturas permanentes e temporárias, em relação as suas respectivas áreas plantadas/colhidas, nos anos 2005, 2010 e 2015.

Diversas são as técnicas para estimar a demanda de água na agricultura, entretanto, para a RH-CAN, o fator decisivo foi a disponibilidade de dados nos anos selecionados. Dessa forma, o método adotado baseou-se na demanda suplementar da cultura¹ (DSC), que considera a contribuição da chuva, conforme metodologia adotada por Freitas et al. (2006); Todorovic; Steduto (2003).

Nessa metodologia consideraram-se apenas as necessidades de água pela cultura, sem considerar as necessidades por ciclo da cultura. O Quadro 5 apresenta as culturas desenvolvidas na RH-CAN.

Quadro 5 – Culturas desenvolvidas na RH-CAN.

Lavoura Permanente	Lavoura Temporária
Abacate	Abacaxi
Banana (cacho)	Arroz (em casca)
Cacau (em amêndoa)	Cana-de-açúcar
Castanha de caju	Feijão (em grão)
Coco-da-baía	Fumo (em folha)
Dendê (cacho de coco)	Malva (fibra) fibra têxteis
Goiaba	Mandioca
Laranja	Melancia
Limão	Milho (em grão)
Mamão	Soja (em grão)
Manga	Tomate
Pimenta-do-reino	

Fonte: SIDRA – IBGE (2018).

Sendo o cálculo da DSC efetuado pela Equação (6), (TODOROVIC; STEDUTO, 2003; FREITAS *et al.*, 2006).

$$DSC_i = ETc_i - Pef_i \quad \text{Para} \quad Etc < Pef, \quad (6)$$

$$\text{Se } Etc > Pef \quad DSC_i = 0$$

DSC_i : Demanda suplementar da cultura no mês i, (mm);

ETc_i : Evapotranspiração da cultura no mês i, (mm);

Pef_i : Precipitação efetiva no mês i, (mm).

Entretanto, como é a demanda suplementar de irrigação que garante que todas as plantas receberão uma lâmina maior ou igual à necessária, para suprir o déficit hídrico,

¹ Demanda ou Irrigação Suplementar: reposição somente da parcela da demanda que a precipitação não pode suprir (FARIA et al., 2000).

Equação (7), (FREITAS *et al.*, 2008). No estado do Pará os métodos de irrigação mais praticados são molhação (outros) e aspersão (SOUZA *et al.* 2012), dessa forma, considerou-se eficiência do sistema igual a 79% para as lavouras permanente e temporária.

$$DSI_i = \frac{DSC_i}{E_a} * 100 \quad (7)$$

DSI_i : Demanda suplementar de irrigação no mês i, (mm);

E_a : Eficiência do sistema de irrigação, (%).

Sendo a demanda suplementar de irrigação anual (DSI_{anual}) o somatório das DSI_i , Equação (8).

$$DSI_{anual} = \sum DSI_i \quad (8)$$

Como observado para a obtenção da DSI foi necessário estimar a evapotranspiração de referência e de cultura, a precipitação efetiva e a temperatura média, como segue:

a) Evapotranspiração de referência (ET_o)

A evapotranspiração de referência (ET_o) representa a quantidade de água a ser utilizada em uma superfície do solo totalmente coberta com grama em crescimento ativo (altura entre 8 e 15 cm) e sem restrição hídrica, isto é, consiste na quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais ou existentes de fatores atmosféricos e umidade do solo (MATZENAUER, 1992).

A estimativa da ET_o foi obtida pelo método empírico de Thornthwaite (1948) com base na temperatura média do ar, dada a dificuldade de obtenção de dados como radiação solar, velocidade do vento dentre outros parâmetros para os municípios da RHCAN, o que representa sua principal vantagem, como destacado por Silva *et al.* (2005).

Esse método foi desenvolvido para condições de clima úmido o que favorece sua aplicação na região em estudo, por apresentar clima equatorial úmido. É um método bastante empregado para fins climatológicos, na escala mensal. O método parte de uma evapotranspiração padrão (ET_p), a qual é a ET para um mês de 30 dias e fotoperíodo N = 12h. De acordo com Hoffmann (2018) a formulação do método é dada pelas Equações (9) e (10).

$$ET_o = 16 * \left(\frac{10T_m}{I}\right)^a \quad (0 \leq T_m < 26,5^\circ) \quad (9)$$

$$ET_o = -415,85 + 32,24 * T_m - 0,43T_m^2 \quad (T_m \geq 26,5^\circ) \quad (10)$$

ET_o : Evapotranspiração de referência (mm mês);

T_m : Temperatura média mensal do ar do mês (°C);

I : Índice que expressa o nível de calor disponível na região, que pode ser índice térmico anual ou índice de calor anual;

a : Constante que varia de local para local.

O valor do índice I depende do ritmo anual da temperatura (preferencialmente com valores normais), considerando o efeito térmico de cada mês calculado pelas Equações (11) e (12), conforme, Hoffmann (2018).

$$I = \sum_{n=i}^{12} (0,2T_a)^{1,514} \quad \text{Para } T_m \geq 0^\circ\text{C} \quad (11)$$

$$a = 0,49239 + 1,7912 * 10^{-2} * I - 7,71 * 10^{-5} * I^2 + 6,75 * 10^{-7} * I^3 \quad (12)$$

i : Mês do ano ($i=1$, janeiro; ...; $i=12$, dezembro);

T_a : Temperatura média anual normal (°C).

Estimada a evapotranspiração de referência (ET_o), calculou-se a evapotranspiração real da cultura (ET_{RC}) como sendo a evapotranspiração nas mesmas condições de contorno da evapotranspiração da cultura de interesse (ET_c) multiplicada pelo coeficiente de cultura (K_c), Equação (13) (ALLEN *et al.*, 1998).

$$ET_{RC} = ET_o * K_c \quad (13)$$

As características da cultura são representadas pelo coeficiente (K_c), próprio de cada cultura e válido para condições de manejo padrão, conforme, Pereira *et al.* (2015). No presente estudo foram adotados os valores de K_c médio apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Coeficientes de cultura (Kc) médio.

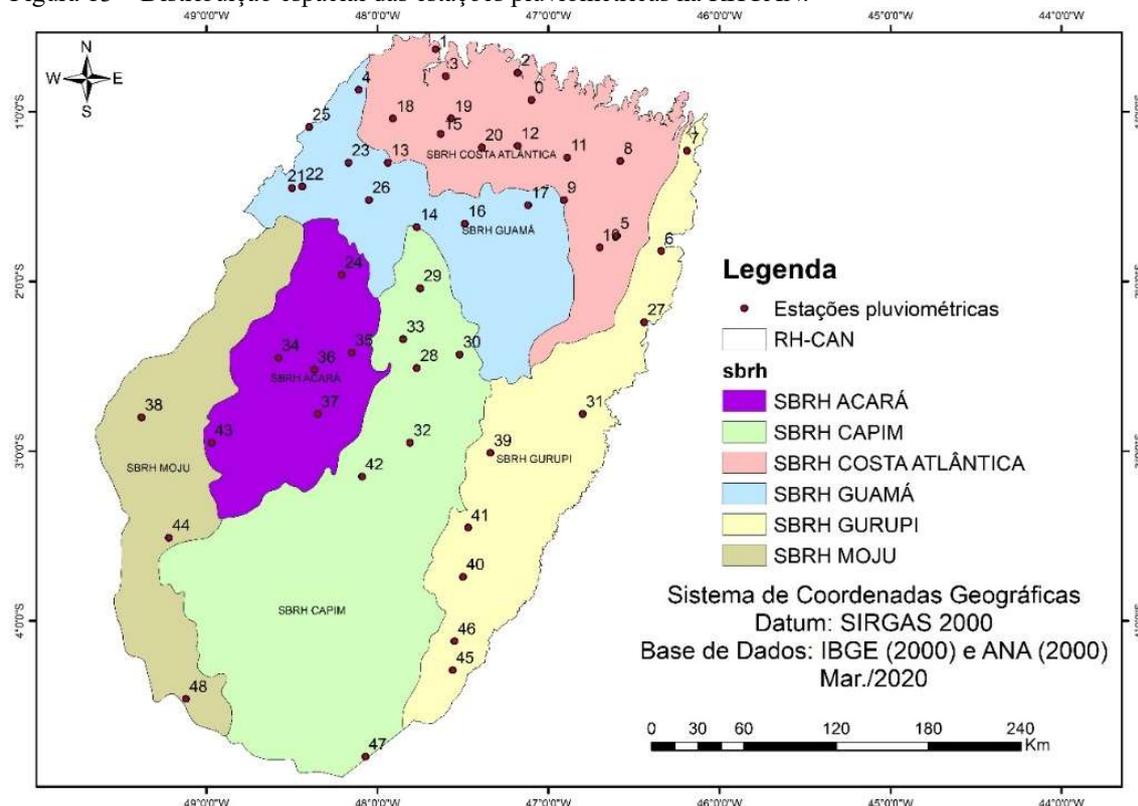
Lavoura Permanente	Kc (médio)	Lavoura Temporária	Kc (médio)
Abacate	0,85	Abacaxi	0,30
Banana (cacho)	1,20	Arroz (em casca)	1,20
Cacau (em amêndoa)	1,05	Cana-de-açúcar	1,25
Castanha de caju	0,55	Feijão (em grão)	1,15
Coco-da-baía	1,00	Fumo (em folha)	0,75
Dendê (cacho de coco)	1,00	Malva (fibra) fibra têxteis	1,10
Goiaba	1,00	Mandioca	1,10
Laranja	0,80	Melancia	1,00
Limão	0,80	Milho (em grão)	1,20
Mamão	1,09	Soja (em grão)	1,15
Manga	1,00	Tomate	1,09
Pimenta-do-reino	1,05		

Fonte: FAO (1998).

b) Precipitação Efetiva (Pef)

A distribuição espacial das 55 estações pluviométricas (Figura 13) foi implementada para obter a representatividade das diferentes sub-regiões hidrográficas da RH-CAN, de modo a evidenciar que todas as sub-regiões hidrográficas são contempladas com estações pluviométricas.

Figura 13 – Distribuição espacial das estações pluviométricas na RHCAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

A estimativa da precipitação efetiva (P_{ef}) foi com base nos registros diários em que foram estimados os valores totais mensais de precipitação nos anos 2005, 2010 e 2015, das estações pluviométricas localizadas nos municípios da RH-CAN (Tabela 4 – Apêndice 1) disponibilizadas na plataforma do HidroWeb - ANA.

O método empregado para estimar a precipitação efetiva (P_{ef}) foi o proposto pelo USDA Soil Conservation Service (USDA-SCS) e desenvolvida por Clarke *et al.* (1998), Equações (14) e (15).

$$P_{ef} = \frac{(P_{total} * (125 - 0,2 * P_{total}))}{125} \quad \text{para } P_{total} < 250 \text{ mm} \quad (14)$$

$$P_{ef} = (125 + (0,1 * P_{total})) \quad \text{para } P_{total} \geq 250 \text{ mm} \quad (15)$$

Foram usados os dados consistidos (tratados) de precipitação pluviométrica total mensal e na ausência destes optou-se por usar os dados brutos (não tratados), visto que é significativa a ausência de estações com dados consistidos no estado do Pará.

Para os meses com ausência de dados e os municípios sem estações pluviométricas localizadas em seus territórios como Ananindeua, Benevides, Bonito, Bragança, Capitão Poço, Colares, Concórdia do Pará, Garrafão do Norte, Goianésia do Pará, Inhangapi, Mãe do Rio, Maracanã, Mocajuba, Nova Esperança do Piriá, Peixe-Boi, Quatipuru, Rondon do Pará, Santa Bárbara, Santarém Novo, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odíveas, São João da Ponta, São Miguel do Guamá, Tomé-Açu e Tracuateua, a precipitação pluviométrica foi determinada pela interpolação das precipitações mensais totais das estações disponíveis na área de estudo, por meio da aplicação do método da Krigagem (KG) ordinária.

Esse método se baseia na formulação estatística da melhor estimativa linear não tendenciosa (DRESSLER, 2009), ou seja, diferenciando de outros métodos de interpolação por estimar uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras, o tratamento da redundância dos dados, a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e o erro associado ao valor estimado (LANDIM, 2004).

Sua escolha foi determinada com base nos estudos realizados por Farias *et al.* (2017); Ghazi *et al.* (2014); Santos e Cunha (2016); Silva *et al.* (2019), por ser o método KG o mais indicado para a análise da distribuição espacial e temporal das precipitações pluviométricas, quando comparado a outros métodos.

O *software* utilizado foi o ArcGis 10.2 versão free trial para a elaboração dos mapas dos totais mensais de precipitações pluviométricas nos 60 municípios, a partir da análise geoestatística e adoção da projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) datum WGS 1984 e fuso 21 sul.

Os dados de entrada foram às coordenadas de localização das estações pluviométricas com os valores das precipitações totais mensais, gerando produtos no formato raster², que resultou no valor estimado da precipitação para os meses sem dados e municípios de interesse.

c) Temperatura Média do Ar

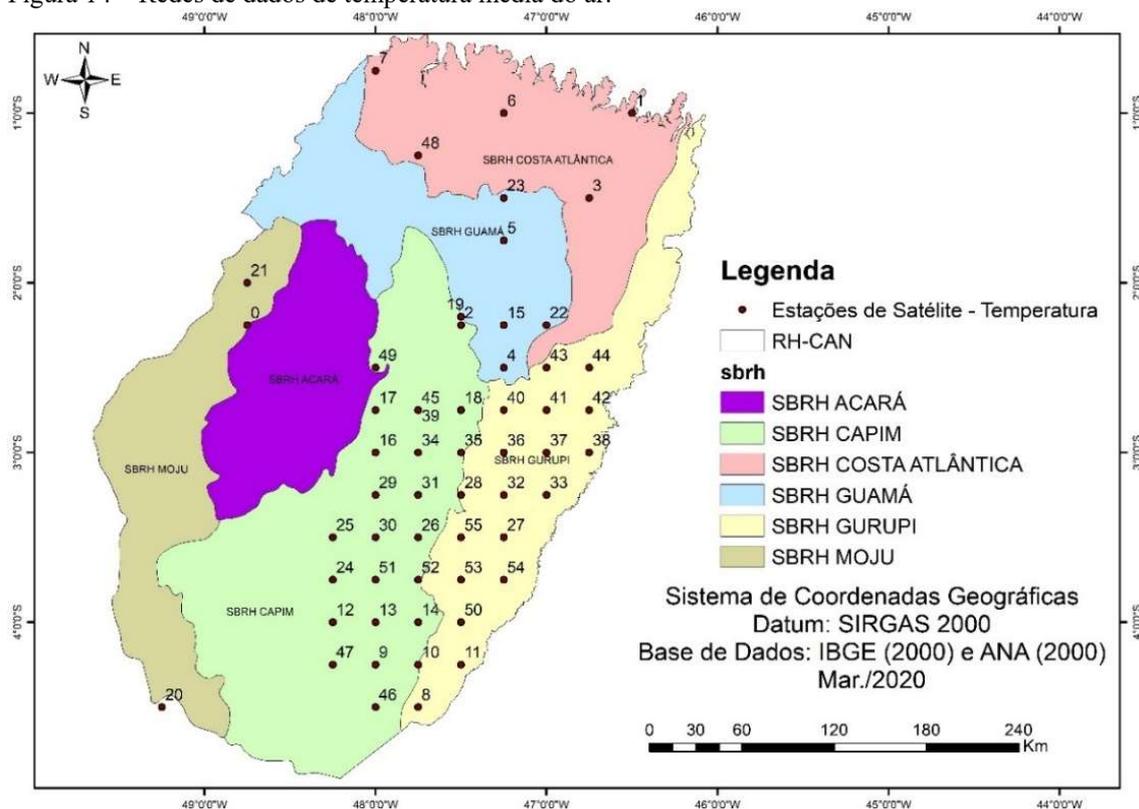
Os dados de temperatura média do ar foram extraídos do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). O Agritempo é um sistema de monitoramento climatológico e meteorológico que produz e permite o acesso, via internet, a boletins e mapas com informações sobre estiagem agrícola, precipitação acumulada, tratamentos fitossanitários, necessidade de irrigação, condições de manejo do solo e de aplicação de defensivos agrícolas.

No sistema os dados disponíveis são do período de 2005 a 2017, contudo, nesse estudo foram usados dos anos 2005, 2010 e 2015. Os dados são transmitidos, via internet por File Transfer Protocol (FTP) e correio eletrônico, como as estações de superfície são mais concentradas na parte longitudinal leste do Brasil, a complementariedade das informações é feita com resultantes de imagens de satélites obtidas da National Aeronautics and Space Administration (Nasa) proveniente da Tropical Rain Meteorological Mission (TRMM) versão 7.0 (BAMBINI *et al.*, 2014), sendo apreseenadas na Tabela 23 do Apêndice 2.

Para os municípios sem dados de temperatura média do ar, foi feita a interpolação da variável, tomando como base os valores dos municípios vizinhos pelo método da Krigagem (KG) ordinária, com o uso do *software* ArcGis 10.2 versão free trial, seguida da aplicação do raster das imagens, com a seleção dos pontos interpolados nas áreas de cada município e calculada a média dos pontos. A Figura 14 mostra a rede de dados de temperatura média do ar na área da região de estudo.

² Formato raster: as informações são armazenadas por matrizes ou grades formadas por células (pixel – menor elemento da imagem) de tamanho igual, e que possuem um determinado valor, cujo tamanho determina o nível de detalhamento da informação (SILVA; MACHADO, 2010).

Figura 14 – Redes de dados de temperatura média do ar.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

2. Vazões de Retorno e Efetiva

A estimativa das vazões de retorno (Q_{retorno}) (vazões lançadas nos corpos d'água após o seu uso) e da efetiva (Q_{ef}) (diferença entre as vazões de consumo e de retorno) para as demandas de usos consuntivos (abastecimento humano, agricultura e pecuária), foi desenvolvida, conforme metodologia aplicada por Pruski *et al.* (2007) em estudo sobre o impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na Bacia do Paracatu, situada no Médio São Francisco-Brasil.

O cálculo da vazão de retorno foi a partir da multiplicação da vazão de retirada pelo coeficiente de retorno característico de cada uso obtido por estudos específicos desenvolvidos pela ANA e o Ministério do Meio Ambiente – MMA (2005) e apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Coeficiente para cálculo de vazão de retorno.

Consumo	Coeficiente (q_{retorno})	Fonte	Descrição
Urbano	0,8	ABNT (1986); (ANA, 2015)	Relação média entre o volume de esgoto produzido e de água efetivamente consumida, sendo o consumo efetivo aquele registrado na micromedição da rede de distribuição de água descartando-se as perdas no sistema de abastecimento, em que parte desse volume efetivo não chega aos coletores de esgoto, pois conforme o consumo perde-se por evaporação, infiltração ou escoamento superficial (SOUZA et al., 2018). A Norma Brasileira 9649 da ABNT recomenda, na falta de valores experimentais, o valor de 0,8 para o coeficiente de retorno.
Rural	0,5	(PRUSKI et al. 2007); (ANA, 2015)	Na consulta à literatura, não foi possível identificar nenhum valor de referência para este coeficiente; entretanto, se acredita que um valor da ordem de 0,5 possa constituir um referencial para início de análise; daí, a vazão de retorno foi considerada igual a 50% da vazão de retirada (PRUSKI et al., 2007; ANA, 2015).
Irrigação	0,2	(ANA, 2015)	Pela natureza do consumo perde-se água por evaporação, infiltração, percolação ou escoamento superficial, não se considerando as perdas ocorridas na condução da água (PRUSKI et al., 2007).
Dessedentação de animais	0,2	(PRUSKI et al. 2007); (ANA, 2015)	Com o intuito de uma estimativa melhor da vazão de retorno que expresse, principalmente, as condições de confinamento (suínos, bovinos, etc.), a vazão pode representar uma parcela expressiva de vazão de retirada, considerou-se o coeficiente de retorno como 20% da vazão de retirada (PRUSKI et al., 2007; ANA, 2015).

A porcentagem hídrica que não retorna ao sistema é a efetivamente consumida, que resulta da diferença entre a vazão de consumo e a vazão de retorno (Q_{retorno}), Equação (16) (ANA, 2019).

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{retirada}} * q_{\text{retorno}} \quad (16)$$

Onde: Q_{retirada} : vazão de retirada e q_{retorno} : coeficiente de retorno.

O cálculo da vazão efetiva (Q_{ef}) para as demandas consuntivas: consumo humano, agricultura e pecuária, nos três anos de estudo, para os 60 municípios, foi a partir da aplicação da Equação (17), (ANA, 2019).

$$Q_{\text{ef}} = Q_{\text{retirada}} - Q_{\text{retorno}} \quad (17)$$

Com todos os indicadores identificados e estimados, observou-se que cada indicador possui uma unidade de medida diferente e o próximo passo é padronizá-los.

2. Padronização dos Indicadores

A padronização consiste numa técnica realizada em função das variáveis para torná-las comparáveis e passíveis de agregação em um indicador sintético dentro de cada

uma das dimensões (FRAINER *et al.*, 2017), ou seja, coloca as variáveis em uma escala de medida comum, sendo recomendado na construção de indicadores que utilizam variáveis de diversos formatos (CENTURIÃO *et al.*, 2020).

Na padronização dos indicadores foram utilizadas unidades de agregação a partir das relações positivas e negativas de cada um deles (RODRIGUES; LIMA, 2017), com a dimensão, presumindo que, se o indicador tem influência positiva ou negativa sobre a sustentabilidade, deve ser analisado separadamente (FRAINER *et al.*, 2017; TEIXEIRA, 2016).

Esse método transforma os indicadores para valores situados entre 0 (pior situação observada) e 1 (melhor situação observada). Este procedimento evita os efeitos de unificação das variâncias e de geração de escores negativos. Logo foram aplicadas as Equações (18) e (19), (SILVA; MARTINS, 2017).

$$\text{Relação Positiva: } I = \frac{X_{obs} - X_{mín}}{X_{máx} - X_{mín}} \quad (18)$$

$$\text{Relação Negativa: } I = \frac{X_{máx} - X_{obs}}{X_{máx} - X_{mín}} \quad (19)$$

I: Indicador padronizado, calculado para cada município;
 X_{obs} : Valor do indicador em cada município;
 $X_{mín}$: Valor mínimo do indicador de todos os municípios;
 $X_{máx}$: Valor máximo do indicador de todos os municípios.

Cabe destacar que a utilização das fórmulas de relação positiva/negativa foi proposta inicialmente pelo IICA para verificação de processo de desenvolvimento sustentável em alguns países da América Latina e utilizada no Brasil por Waquil *et al.* (2010).

Segundo Martins e Cândido (2008); Sepúlveda (2005), quando os indicadores são escolhidos, deve-se definir a relação que cada um apresenta com a temática que se pretende investigar. A relação será positiva, se o aumento no valor do indicador resulta em melhoria e quanto menor, pior este índice; e negativa, se o aumento no valor do indicador resulta em regressão do sistema e quanto menor, melhor será o índice (REGO *et al.*, 2017).

No presente estudo os 49 indicadores municipais foram classificados em positivo ou negativo, conforme a literatura. Os indicadores que não foram identificados no levantamento bibliográfico, foram classificados pela autora, considerando a análise de Rego *et al.* (2017), Quadro 6, Quadro 7 e Quadro 8.

Quadro 6 – Tipo de relação dos indicadores com o IASH_{RH-CAN} na dimensão social.

DIMENSÃO SOCIAL				
Tema	Cód. Ind.	Indicador (Unidade)	Tipo de Relação (+ / -)	Fonte do tipo de relação
	PRT	Pop. Res. Total (Hab)	Positiva	
Demografia	PRU	Pop. Res. Urb (Hab)	Positiva	CARVALHO et al. (2015); TEIXEIRA (2016)
	PRR	Pop. Res. Rural (Hab)	Positiva	
	TxUrb	Taxa de Urbanização	Positiva	
	MG	Mortalidade Geral (Óbitos por residência)	Negativa	Autora (2019)
	OI	Óbitos Infantis (Óbitos por residência)	Negativa	
	NV	Nascidos Vivos (Nascidos por residência da mãe)	Positiva	
	Deng	Notificação de casos de Dengue	Negativa	
Educação	IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica: Anos iniciais	Positiva	Autora (2019)

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Quadro 7 – Tipo de relação dos indicadores com o IASH_{RH-CAN} na dimensão econômica.

DIMENSÃO ECONÔMICA				
Tema	Código	Indicador (Unidade)	Tipo de Relação (+ / -)	Fonte do tipo de relação
PIB	PIBMerc	PIB - A preço de mercado corrente (1.000R\$)	Positiva	BOZZINI, et al. (2018); CARVALHO et al. (2015); TEIXEIRA (2016)
	PIBPC	PIB - Per capita (1.000R\$)	Positiva	
	PIBAgr	Valor adic bruto agropecuária por Município (1.000R\$)	Positiva	
	PIBInd	Valor adic bruto Indústria por Município (1.000R\$)	Positiva	
Agricultura	LTQP	L. T. - Quantidade Produzida (Toneladas)	Negativa	
	LPQP	L. P. - Quantidade Produzida (Toneladas)	Negativa	
	QExtVeg	Quantidade produzida na extração vegetal (Toneladas)	Negativa	
Pecuária	Bov	Efetivo: Bovino (Cabeças)	Negativa	
	Bub	Efetivo: Bubalino (Cabeças)	Negativa	
	Equ	Efetivo: Equino (Cabeças)	Negativa	
	Sui	Efetivo: Suíno – total (Cabeças)	Negativa	
	Cap	Efetivo: Caprino (Cabeças)	Negativa	
	Ovi	Efetivo: Ovino (Cabeças)	Negativa	
	GaT	Efetivo: Galináceos total (Cabeças)	Negativa	
	GaGG	Efetivo: Galináceos – galinhas (Cabeças)	Negativa	

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Quadro 8 – Tipo de relação dos indicadores com o IASH_{RH-CAN} na dimensão ambiental.

DIMENSÃO AMBIENTAL				
Tema	Código	Indicador	Tipo de Relação (+ / -)	Fonte do tipo de relação
Floresta	DesfAcu	Desflorestamento Acumulado (km ²)	Negativo	Autora (2018)
	IncDesf	Incremento (Desflorestamento) (km ²)	Negativo	
	AT	Área Territorial (km ²)	Positivo	
	AFlor	Área de Floresta (km ²)	Positiva	
	ACoAgr	Área Colhida na Agricultura (km ²)	Negativo	
Recursos Hídricos	DSI	Demanda Suplementar de Irrigação - DSI (m ³ /ha)	Negativa	
	QretPec	Vazão Retirada na Pecuária (m ³ /ano)	Negativa	
	QretUrb	Vazão Retirada: População Urbana (Milhões de m ³ /hab/ano)	Negativa	
	QretRur	Vazão Retirada: População Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	Negativa	
	QRPec	Vazão Retorno na Pecuária (m ³ /ano)	Positiva	
	QRPopUrb	Vazão Retorno: População Urbana (Milhões de m ³ /hab/ano)	Positiva	
	QRPopRur	Vazão Retorno: População Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	Positiva	
	QEfPec	Vazão Efetiva na Pecuária (m ³ /ano)	Negativa	
	QEfPopUrb	Vazão Efetiva - Consumo Humano Urbano (Milhões de m ³ /hab/ano)	Negativa	
	QEfPopRur	Vazão Efetiva - Consumo Humano Rural (Milhões de m ³ /hab/ano)	Negativa	
	PTA	Precipitação Total Anual (mm)	Positiva	CARVALHO et al. (2015)
Clima	DispSub	Disponibilidade Subterrânea (mm)	Positiva	Autora (2018)
	TMA	Temperatura	Negativa	
	ETo	Evapotranspiração Anual	Negativa	

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Para os indicadores qualitativos ou binários da dimensão político-institucional (Quadro 9), ou seja, com respostas sim ou não, as equações 18 e 19 não se aplicam, logo a classificação foi adaptada do modelo logit como desenvolvido no estudo de Fernandes (2005) e do modelo aplicado por Silva *et al.* (2015b), que permitiram sua variação no intervalo de 0 (zero) a 1 (um), sendo expressa de forma resumida:

Se resposta for afirmativa (sim) = 1 (relação positiva);

Se resposta for negativa (não) = 0 (relação negativa).

Quadro 9 – Tipo de relação dos indicadores com o IASH_{RH-CAN} na dimensão político-institucional.

DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL				
Tema	Código	Indicador	Tipo de Relação com o IASH _{RH-CAN} (+ / -)	Fonte do Tipo de Relação
Legislação e instrumentos de planejamento no município	ConsMun	Conselho municipal de política urbana, desenvolvimento urbano, da cidade ou similar.	Positiva	Elaborada pela autora a(2018)
	LParSol	Lei de parcelamento do solo – existência.	Positiva	
	LZon	Lei de zoneamento ou equivalente – existência.	Positiva	
	PD	Plano diretor - existência	Positiva	
	LZIEAmb	Legislação sobre zona e/ou área de interesse especial - ambiental	Positiva	
Recursos para gestão municipal	TxCLix	Taxa de coleta de lixo - existência	Positiva	
	TxLUrb	Taxa de limpeza urbana - existência	Positiva	

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

5.1.2 Hierarquização da matriz de dados usando a análise multivariada

O emprego da análise multivariada consistiu na seleção dos indicadores locais municipais finais das quatro dimensões: social, econômica, ambiental e político-institucional, bem como o estabelecimento dos pesos de cada indicador, para estimar o IASH_{Munic.} e o IASH_{RH-CAN} nos anos 2005, 2010 e 2015 para os 60 municípios da RH-CAN e selecionado o método mais adequado para estimar o índice.

A técnica empregada foi a análise multivariada denominada de análise fatorial (AF) para explicar as covariâncias ou correlações entre os indicadores, sendo a extração dos fatores dada pela componente principal com o objetivo de explicar o máximo possível a variância total nos indicadores.

Essa técnica de AF, tem sido empregada nas últimas décadas, com muita frequência na avaliação de dados de monitoramento ambiental, índice de sustentabilidade e índice de qualidade de água entre outros (JOLLIFE; CADIMA, 2016; LOPES *et al.*, 2009).

Em seguida os municípios foram agregados a partir da similaridade dos IASH_{Munic.} pela Análise de *Cluster*, a partir do método de Ward com a distância Euclidiana.

5.1.2.1 Análise Fatorial (AF)

A técnica de análise fatorial (AF) busca evidenciar variáveis latentes (fatores) que influenciam na variabilidade de um grupo ou de todas as variáveis originais, sendo que aquelas que partilham de variâncias comuns (são influenciadas pelas mesmas subjacências) são atribuídas a um mesmo fator (BROWN, 2006; MINGOTI, 2005).

Genericamente, tem-se o seguinte modelo de análise fatorial (AZEVEDO *et al.*, 2003; MINGOTI, 2005), Equação (20):

$$X_i = a_i F + \varepsilon_i \quad (20)$$

$X = (X_1, X_2, \dots, X_m):$	Vetor transposto p-dimensional de variáveis aleatórias observáveis;
$F = (F_1, F_2, \dots, F_m):$	Vetor transposto r-dimensional com ($r < m$) de variáveis não observáveis ou fatores (ou variáveis latentes);
$\varepsilon_i = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n):$	Vetor transposto p-dimensional de erros aleatórios ou fatores únicos, e
$a_i:$	Matriz (p,q) de constantes desconhecidas, chamadas de cargas fatoriais.

Para comparar as correlações simples com as correlações parciais, utilizou-se o teste de Kaiser-Meyer-Okin (KMO) (1974). A validade do modelo é computada pela Equação (21).

$$KMO = \frac{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2}{\sum_{i \neq j} \sum r_{ij}^2 + \sum_{i \neq j} \sum a_{ij}^2} \quad (21)$$

$r_{ij}:$	Para todo $i \neq j$ é o coeficiente de correlação original entre variáveis;
$a_{ij}^2:$	Quadrado dos elementos fora da diagonal da matriz anti-imagem da correlação este corresponde ao coeficiente de correlação parcial.

No teste é válido observar que se a soma dos coeficientes de correlação parcial ao quadrado entre todos os pares de variáveis for pequena quando comparada à soma dos coeficientes de correlação simples ao quadrado, as medidas de KMO serão próximas de 1, indicando não haver nenhuma restrição ao uso do modelo. Valores de KMO inferiores a ($< 0,5$) indicam que o modelo de análise de fatores não é uma boa solução para a base de dados (FÁVERO *et al.*, 2009; JOHNSON; WICHERN, 2008), Tabela 6. Neste estudo adotou-se o valor mínimo de (0,5), conforme (HAIR *et al.*, 2009).

Tabela 6 – Intervalos do teste Kaiser-Meyer-Olkin.

Valor de KMO	Aplicação do modelo
KMO > 0,9	Excelente
0,8 < KMO < 0,9	Ótima
0,7 < KMO < 0,8	Boa
0,6 < KMO < 0,7	Regular
0,5 < KMO < 0,6	Medíocre
KMO < 0,5	Inadequada

Fonte: AZEVEDO et al. (2003).

Para testar se a matriz de correlações é uma matriz identidade e avaliar a possível adequação da análise fatorial, utilizou-se o teste de esfericidade de Bartlett, que é fundamentado na distribuição estatística de quiquadrado e, para que o método de análise fatorial seja adequado, deve-se rejeitar a hipótese nula de que a matriz de correlações é identidade, ou seja, o valor da significância do teste de Bartlett deve ser menor que 0,05 (HAIR, JR. *et al.*, 2005; PINTO *et al.*, 2016). Equação (22).

$$x^2 = - \left[n - 1 - \frac{1}{6} (2p + 5) \right] \sum_{i=1}^p \ln \lambda_i \quad (22)$$

λ_i : Representa a variância explicada por cada fator;

n : Número de observações;

p : Número de variáveis envolvidas no processo.

A validação das variáveis no ajuste do modelo fatorial foi constatada a partir da estimativa da variância de Xi explicada através dos fatores comuns, denominada de comunalidade, que deve ser superior a 0,5. Isto é, expressa a variância referente a cada variável, que pode ser explicada pelos fatores correspondentes desta variável.

O número de componentes extraídos seguiu os preceitos apresentados por Norusis (1990), o qual afirma que se deve considerar somente os componentes com variância superior a 1, e fundamenta-se no fato de que qualquer fator deve explicar uma variância superior àquela apresentada por uma simples variável. Seu valor varia de 0 (zero) a 1 (um). Equação (23).

$$VX_{ij} = \sum C_{ij}^2 \quad (23)$$

VX_{ij} : é a variância referente à variável X_{ij} ;

C_{ij} : representa o valor da componente referente à variável X_{ij} .

Isso significa que VX_{ij} explica a variância contida na variável X_{ij} explicada pelas componentes que compõem o modelo.

A extração dos fatores ocorreu com a aplicação do método da componente principal. De posse da matriz das componentes obtidas na fase de extração, onde o resultado descreve a relação entre os fatores e as variáveis individuais, às vezes, esse resultado é de difícil interpretação como consequência dos valores atribuídos ao fator. Para se equacionar este problema, foi elaborada a rotação de fatores, a qual transforma a matriz inicial em uma de mais fácil interpretação, visto que os novos valores atribuídos aos pesos de cada fator poderão ser distintos dos valores médios, facilitando assim a identificação das variáveis de maior peso (AZEVEDO *et al.*, 2003).

Autores como Norušis (1990) mostraram que a rotação não afeta o valor de ajuste de uma solução de fator. Ou seja, embora a matriz de fatores sofra alterações, a comunalidade e a percentagem de variância total explicada não sofrem alterações.

A rotação dos fatores foi realizada pelo método "Varimax". O método objetiva redistribuir a variância dos primeiros fatores para os demais e atingir um padrão fatorial mais simples e teoricamente mais significativo (HAIR, *et al.*, 2006).

O escore fatorial situa cada observação no espaço dos fatores comuns. Para cada fator f_1 , o i -ésimo escore fatorial extraído é definido por F_{ij} , (CHAVES *et al.*, 2013; DILLON; GOLDSTEIN, 1984; FERREIRA *et al.*, 2016; SILVA *et al.*, 2016). Os fatores F_j , $j= 1, 2, \dots, m$, podem ser representados por uma combinação linear das variáveis padronizadas Z_i , $i= 1, 2, \dots, p$. Para cada elemento amostral k , $k=1, 2, \dots, n$, o seu escore é expresso pela Equação (24).

$$\hat{F}_j = w_{i1}xZ_{1k} + w_{j2}Z_{2k} + \dots + w_{jp}xZ_{pk} \quad (24)$$

Para, $(Z_{1k} Z_{2k} \dots Z_{pk})$ são os valores observados dos Z_i indicadores padronizados para o k -ésimo elemento amostral e os coeficientes w_{ji} , $i=1,2,\dots,p$ são os pesos de ponderação de cada indicador Z_i no fator F_j , denominados de escores fatoriais (MINGOTI, 2005).

Diversos são os métodos de estimação dos escores fatoriais, sendo o método dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP), utilizado neste estudo. O qual considera o modelo fatorial universal, $Z = \beta F + \varepsilon$, este se assemelha a um modelo de regressão linear onde Z representa o indicador dependente, F o vetor de parâmetros, ε os erros aleatórios e β a matriz dos m indicadores explicativos.

De modo que o vetor F possa ser estimado pelo método MQP já que os resíduos em

ε não necessariamente possuem a mesma variância (Mingoti, 2005). Para qualquer elemento amostral $k=1,2,\dots,n$, seu respectivo valor no fator F_j é dado pela fórmula em (25).

$$\widehat{F}_{jk} = (\widehat{\beta}'\widehat{\Psi}^{-1}\widehat{\beta})^{-1} \cdot \widehat{\beta}'\widehat{\Psi}^{-1}Z_k = W_{m \times p}Z_k \quad (25)$$

Onde, conforme MINGOTI (2005), $Z_k = (Z_{1k} Z_{2k} \dots Z_{pk})'$ é o vetor de observações do k -ésimo elemento amostral, e $W_{m \times p}$ é matriz de ponderação que gera os escores fatoriais w_{ji} na Equação (29), com $j=1, 2, \dots, m$, em que os elementos da matriz ($W_{m \times p}Z_k$).

5.1.2.2 Análise de Cluster (CA)

A análise de *cluster* ou análise de agrupamento (CA) aparece como uma alternativa aos métodos de agregação. Embora vários estudos, em áreas distintas que não sejam a avaliação do índice de sustentabilidade, tenham utilizado a CA para agregar diferentes regiões por suas características (LEE *et al.*, 2016), uma metodologia formal são os componentes principais agregados de municípios semelhantes no mesmo grupo e a realização de sua classificação de maneira direta.

Aplicação do método de agrupamento hierárquico de Ward tem a finalidade de agrupar os municípios com base em suas características, sendo a distância euclidiana usada para representar a semelhança e a dissimilaridade dos municípios analisados. A distância euclidiana é comumente utilizada para a análise de variáveis quantitativas e corresponde à distância geométrica no espaço multidimensional entre observações (TERASSI; GALVANI, 2017) e seu cálculo é dada pela Equação (26).

$$d_{ii'} = \left[\sum_{j=1}^p (Z_{ij} - z_{i'j})^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (26)$$

Para: d_{ij} é a observação do i -th município ($i = 1, 2, \dots, n$) em referência a j -ésima variável e frequência absoluta em cada classe ($j = 1, 2, \dots, p$); a distância euclidiana padronizada entre dois municípios i e i' podendo ser definido pela Equação (27). Onde: Z_{ij} , é a variável padronizada:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}}{\delta(X_i)} \quad (27)$$

$\delta(X_i)$: Desvios padrão

\bar{X} : Média da variável j -ésima original.

O método produz um dendrograma, também chamado de árvore de decisão, no qual as amostras semelhantes são agrupadas entre si segundo as variáveis escolhidas. De modo a analisar a distribuição espacial e os padrões de associação espacial (*clusters* espaciais), para tentar responder à seguinte questão: os IASH_{Munic.} são concentrados, dispersos ou aleatoriamente distribuídos espacialmente?

5.1.2.2.1 Validação da Análise de *Cluster*

A validação do método utilizado na execução da análise de agrupamento neste estudo foi realizada com a avaliação do Coeficiente de Correlação Cofenética (r_c) ou (CCC) (HALKIDI *et al.*, 2002a), que mede o grau de ajuste entre o dendrograma elaborado e a matriz de dissimilaridade (CARVALHO *et al.*, 2009).

Esse coeficiente foi definido por Sokal e Rohlf (1962) e consiste no coeficiente r de Pearson, sendo calculado entre índices de similaridade da matriz original e os índices reconstituídos com base no dendrograma.

Quanto maior for o valor de “ r ”, menor será a distorção provocada pelos agrupamentos dos dados (VALENTIN, 2000). Ou seja, o maior CCC possui a capacidade de evidenciar melhor a estrutura dos dados, isto é, a existência de grupos (GOBO *et al.*, 2018) e é expresso pela Equação (28) e \bar{c} e \bar{d} dados pelas Equações (29) e (30), propostas por Bussab *et al.* (1990):

$$r_{cof} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - \bar{c})(d_{ij} - \bar{d})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (c_{ij} - \bar{c})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (d_{ij} - \bar{d})^2}} \quad (28)$$

$$\bar{c} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n c_{ij} \quad (29)$$

$$\bar{d} = \frac{2}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij} \quad (30)$$

C_{ij} : Valor de dissimilaridade entre os indivíduos i e j , obtidos a partir da matriz cofenética;

d_{ij} : Valor de dissimilaridade entre os indivíduos i e j , obtidos a partir da matriz de dissimilaridade.

Contudo, determinar se o valor encontrado é alto ou baixo, não é tarefa fácil, embora, se tenha observado uma tendência nos estudos de utilizar o CCC igual a 0,7 como

limite de aceitação (ALBUQUERQUE; BARROS, 2020; MOREIRA *et al.*, 2016; SARAÇLI *et al.*, 2013; VALENTIN, 2000; VICINI, 2005), nesse estudo adotou-se a faixa de classificação do coeficiente de Pearson (Tabela 7).

Tabela 7 – Categorização para os valores do coeficiente de correlação de Pearson.

Faixas de r	Correlação	Fonte
0,00 a 0,29	Pequenos	(COHEN, 1992)
0,30 a 0,49	Médios	
0,50 a 1,00	Grandes	
0,10 a 0,30	Fraco	(REIDY; DANCEY, 2006)
0,40 a 0,60	Moderado	
0,70 a 1,00	Forte	

5.1.2.2.2 Definição do Número de Grupos

Como o número de grupos a serem formados são desconhecidos e para minimizar esta indefinição, usam-se índices de validação para avaliar os resultados gerados por algoritmos de agrupamento ((HALKIDI *et al.*, 2001, 2002a, 2002b). Assim, os processos de avaliação dos resultados dos *clusters* apresentam quatro componentes principais, dados por Gil *et al.*, (2015):

1. Determinar se há uma estrutura não aleatória nos dados, para evitar tendências nos resultados;
2. Determinar o número de *clusters* iniciais;
3. Avaliar como um resultado de Clustering se ajusta a um determinado conjunto de dados, sendo essa a única informação disponível;
4. Avaliar o quão bem localizados estão os objetos dentro dos *clusters*, conforme as partições obtidas baseadas em outras fontes de dados.

Neste trabalho foram utilizados cinco índices de validação de agrupamento com a finalidade de estimar o número ideal de grupos, os quais foram Pakhira, Bandyopadhyay e Maulik (PBM), Silhouette Simplificado (SIL), Dunn (D), Davies Bouldin (DB) e Xie Beni (XB), a partir de duas vertentes:

- 1) Uns minimizam o seu respectivo coeficiente para um melhor resultado de agrupamento, a citar os coeficientes Davies Bouldin e Xie Beni, e
- 2) Outros maximizam, Dunn, Silhouette e PBM.

Em que o número de grupos da análise de agrupamento foi definido pelos maiores valores gerados por PBM, SIL, D e pelos menores valores estabelecidos por DB e XB. O Quadro 10 apresenta de forma sintetizada os índices de validação.

Quadro 10 – Índices de validação de agrupamentos.

Índice	Descrição	Equação	Fonte
Pakhira, Bandyopadhyay e Maulik (PBM)	Favorece a criação de um grupo reduzido de clusters compactos, com uma grande separação entre, pelo menos, dois clusters	$PBM(k) = \left(\frac{1}{k} * \frac{E_1}{E_k} * D_k\right)^2$	PAKHIRA et al. (2004)
Silhouette Simplificado (SIL)	Calcula um índice para cada amostra que indica o quanto aquela amostra deve pertencer ao cluster.	$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}}$	ROUSSEEUW (1987)
Dunn (D)	Esse índice compara as distâncias intergrupos com o tamanho do grupo mais disperso.	$Dunn = \frac{d_{min}}{d_{max}}$	DUNN (1973)
Davies Bouldin (DB)	Quanto menor o valor do índice melhor, pois isso significa baixas medidas de dispersão intragrupo e grandes distâncias intergrupos.	$DB = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K \max_{k \neq k'} \left(\frac{\delta_k + \delta'_{k'}}{\Delta_{kk'}} \right)$	DAVIES; BOULDIN (1979)
Xie Beni (XB)	Este método avalia a qualidade dos resultados	$Comp = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n \mu_{ki}^m \ v_i - x_k\ ^2$	XIE BENI (1991)

Fonte: Elaborada pela autora (2021).

5.1.3 Determinação do IASH_{RH-CAN}

O IASH_{RH-CAN} permeia na fundamentação da concepção dos indicadores, como indicadores de síntese ou comensuralistas, que buscam uma única unidade de medida, isto é, agregam dados de ordem econômica, ambiental, social e institucional (TAYRA; RIBEIRO, 2006).

Com base nessa fundamentação o IASH_{RH-CAN} consiste em um instrumento de tomada de decisão no processo de planejamento e gestão para medir os níveis de sustentabilidade hídrica da RH-CAN. Sua concepção foi adaptada da Pirâmide da Informação na Gestão de Recursos Naturais e a Geração do Conhecimento que introduziu os indicadores de recursos hídricos, neste estudo representados pela oferta hídrica (disponibilidade - precipitação) e as demandas hídricas (consumos consuntivos - consumo humano, agricultura e pecuária).

Neste estudo foram definidas quatro dimensões - social, econômica, ambiental e político-institucional para mensurar a sustentabilidade hídrica da região, adaptadas do “Indicators of sustainable development: Framework and methodologies” publicado pela ONU (Commission on Sustainable Development, 2001) que é uma referência para a construção de indicadores de desenvolvimento sustentável da Commission on Sustainable Development (CSD) estruturado nessas quatro dimensões e serve de base para a formulação de outros índices.

A exemplo, o Índice de Desenvolvimento Sustentável Brasil: 2004 formulado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que avaliou os níveis de sustentabilidade do Brasil, das Unidades da Federação e dos Municípios e serviu de base para os estudos de Martins e Cândido (2008), na determinação do Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM) brasileiros.

Tem-se ainda o Índice de Desenvolvimento Sustentável desenvolvido pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) (Waquil et al., 2010), que reforçou a relevância das dimensões utilizadas para a definição dos índices temáticos de sustentabilidade (ITS), conforme as dimensões definidas em, social (ITSS), econômico (ITSE), ambiental (ITSA) e político-institucional (ITSPI).

Com base nessas premissas a estimação do $IASH_{RH-CAN}$ sucede à determinação da composição das dimensões que devem ser coerentes com os aspectos regionais da Amazônia, como a pecuária extensiva, desmatamento, queimada, recursos hídricos abundantes, presença de grandes mineradoras, elevada população ribeirinha, recorrentes acidentes ambientais, falta de dados tanto em base primária quanto secundária, baixo fomento em pesquisa para levantamento de dados locais (municípios), dentre outros.

Essas adaptações associadas aos métodos de cálculo fazem com o que $IASH_{RH-CAN}$ se diferencie de outros índices já formulados. A primeira diferença está no fato dele ser a média dos índices agregados municipais ($IASH_{Munic.}$); segundo, os dados dos indicadores são do mesmo ano, diferente do que é usual (dados de diversos anos); terceiro, introdução de indicadores de oferta e demanda hídrica; quarto, foram testados quatro métodos de agregação dos indicadores para estimar o $IASH_{Munic.}$ para então obter o $IASH_{RH-CAN}$ e avaliação do método mais indicado para a região.

De modo que a sequência metodológica proposta neste estudo buscou uma abordagem integrada e sistêmica das ações humanas na formulação do $IASH_{RH-CAN}$ de modo que melhor representasse a realidade, especialmente, poder servir de instrumento de planejamento e gestão para os órgãos ambientais.

Dessa forma, na determinação do $IASH_{RH-CAN}$, foram analisados 49 indicadores para os 60 municípios da RH-CAN nos anos 2005, 2010 e 2015, a partir da aplicação de quatro métodos de agregação de indicadores para a estimação do índice, que foram:

1º) Método de Ponderação com Pesos Fatoriais: neste método aplicou-se a análise fatorial para a obtenção dos indicadores finais e dos componentes/fatores, e pela média ponderada desses componentes obteve-se os $IASH_{Munic.}$. O peso de cada indicador foram os valores das cargas fatoriais. Pela média aritmética dos $IASH_{Munic.}$, determinou-se o $IASH_{RH-CAN}$. e a análise dos resultados foi realizada conforme as dimensões.

2º) Método de Ponderação com Escores Fatoriais: neste modelo aplicou-se a análise fatorial para obtenção dos escores fatoriais para a estimação dos índices brutos de sustentabilidade hídrica (IBSH) para cada município, e pela interpolação desses valores obteve-se os $IASH_{Munic.}$, com a média aritmética dos índices municipais estimou-se o $IASH_{RH-CAN}$. e a análise dos resultados foi realizada conforme as dimensões.

3º) Método de Ponderação com Pesos Iguais: neste método aplicou-se a análise fatorial para a obtenção dos indicadores finais, a estes foi atribuído o peso igual a um, em seguida foram agregados por ITS e calculados pela média aritmética simples, com esses valores estimou-se os $IASH_{Munic.}$ também pela média aritmética simples, para então efetuar nova média aritmética simples desses valores e obter o $IASH_{RH-CAN}$. As análises desses resultados foram realizadas conforme os temas e ITS.

4º) Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão: neste método os indicadores foram agregados por ITS e submetidos a análise fatorial para obtenção dos indicadores finais e das cargas fatoriais que foram usadas como pesos dos indicadores. Os ITS foram estimados pela média aritmética ponderada dos indicadores. Com os resultados dos ITS calculou-se os $IASH_{Munic.}$ com aplicação da média aritmética simples e com os valores dos índices municipais foi calculado o $IASH_{RH-CAN}$, também por média aritmética simples. As análises desses resultados foram realizadas conforme os temas e ITS.

Os *softwares* usados para o tratamento estatístico dos dados foram SPSS V27 versão free trial para a execução da AF e o Rx64 3.6.3 para a agrupamento dos municípios. Os cálculos dos índices municipais e regionais foi no *software* Excel e os mapas com auxílio das bases cartográficas foram tratadas e integradas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) no *software* ArcGis 10.2 versão free trial. A seguir são detalhados os métodos de agregação dos indicadores.

5.1.3.1 Método de Ponderação com Pesos Fatoriais

Método introduzido por Krajnc e Glavič (2005), propõe a agregação de uma série de indicadores, reduzindo-os, a um índice composto, denominado Índice Composto de Desenvolvimento Sustentável (ICDS), assim como o desenvolvido por Waquil *et al.* (2010), que foi construído adotando a metodologia desenvolvida pelo Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura (IICA) que utilizou um procedimento que ajusta os valores das variáveis numa escala com variação cujo valor mínimo é 0 (zero) e o máximo é 1.

Os indicadores foram padronizados a partir da relação positiva ou negativa com a dimensão e o índice, e organizados em um único conjunto de dados, isto é, sem a estrutura das dimensões. Dessa forma os 49 indicadores foram submetidos ao teste de AF, para a avaliação dos padrões existentes entre as correlações, assim como a constatação de relação entre os indicadores de sustentabilidade para a RH-CAN.

Dessa forma a análise estatística foi inicialmente testada com a matriz de dados 60 x 49 (60 municípios e 49 indicadores) para os anos 2005, 2010 e 2015, a partir da aplicação da estatística multivariada, análise fatorial - AF, com a execução de várias simulações com o conjunto de indicadores mediante aos testes de validação Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) até que os resultados fossem $\geq 0,5$ (HAIR *et al.*, 2009) e o de esfericidade de Bartlett $> 0,05$.

Em seguida efetuou-se a análise das comunalidades, nela se observou os indicadores com comunalidade superior a 0,5 e os que apresentaram valores inferiores, foram descartados do modelo e realizada nova simulação. Ainda com base no critério de Kaiser, os autovalores dos fatores devem ser maiores que 1, a matriz de variância total explicada permitiu verificar o grau de explicação atingido por tais fatores, bem como o número de componentes formados.

A extração dos fatores foi pelo método da análise de componente principal (ACP), que gerou as cargas fatoriais de cada indicador por componente e para melhorar a identificação dos componentes com os indicadores e facilitar a interpretação dos dados, esses foram submetidos a uma rotação ortogonal pelo método Varimax com a normalização de Kaiser, para maximizar a variância entre os componentes e alterar a raiz característica sem afetar a proporção da variância total explicada pelo conjunto, como também minimizar o número de indicadores com cargas elevadas sobre apenas um componente (ANDRADE *et al.*, 2007), resultando nos pesos fatoriais finais dos

indicadores, sendo selecionados aqueles com valores $\geq 0,5$. Dessa forma chegou-se no conjunto/sistema de indicadores finais e em seguida foram realizados os cálculos dos $IASH_{Munic.}$ e do $IASH_{RH-CAN}$.

Foram adotados os valores absolutos das cargas fatoriais por permitirem que os resultados fiquem na faixa de 0 (zero) e 1 (um), sendo que os valores elevados dos pesos fatoriais, em módulo, sugerem os indicadores mais significativos em cada fator (GIRÃO *et al.*, 2007).

O cálculo dos $IASH_{Munic.}$ foi efetuado segundo a metodologia desenvolvida por Dias (2013), em que primeiro estimou-se o valor do componente (C_z) pela média aritmética ponderada dos indicadores de cada componente. Equação (31).

$$C_z = \frac{(Ind_1 * P_1) + \dots + (Ind_n * P_n)}{\sum_1^n P_n} \quad (31)$$

C: Componente;

z: Número de componentes gerados;

Ind: Valor padronizado do indicador; n: número de indicadores e

P: Peso/carga fatorial de cada indicador.

Em seguida, cada componente (C_z) foi multiplicado pelo seu respectivo peso (p - fator da matriz de transformação de componente). Esse processo foi realizado para equalizar os resultados, para que os mesmos tivessem uma distribuição mais uniforme. Equação (32).

$$C_{zfinal} = C_z * p \quad (32)$$

A partir dos valores de C_{zfinal} foram estimados os índices agregados de sustentabilidade hídrica municipal ($IASH_{Munic.}$) nos três anos de estudo. Esse índice representa a sustentabilidade hídrica de cada município da RH-CAN e seu cálculo foi introduzido pela Equação (33).

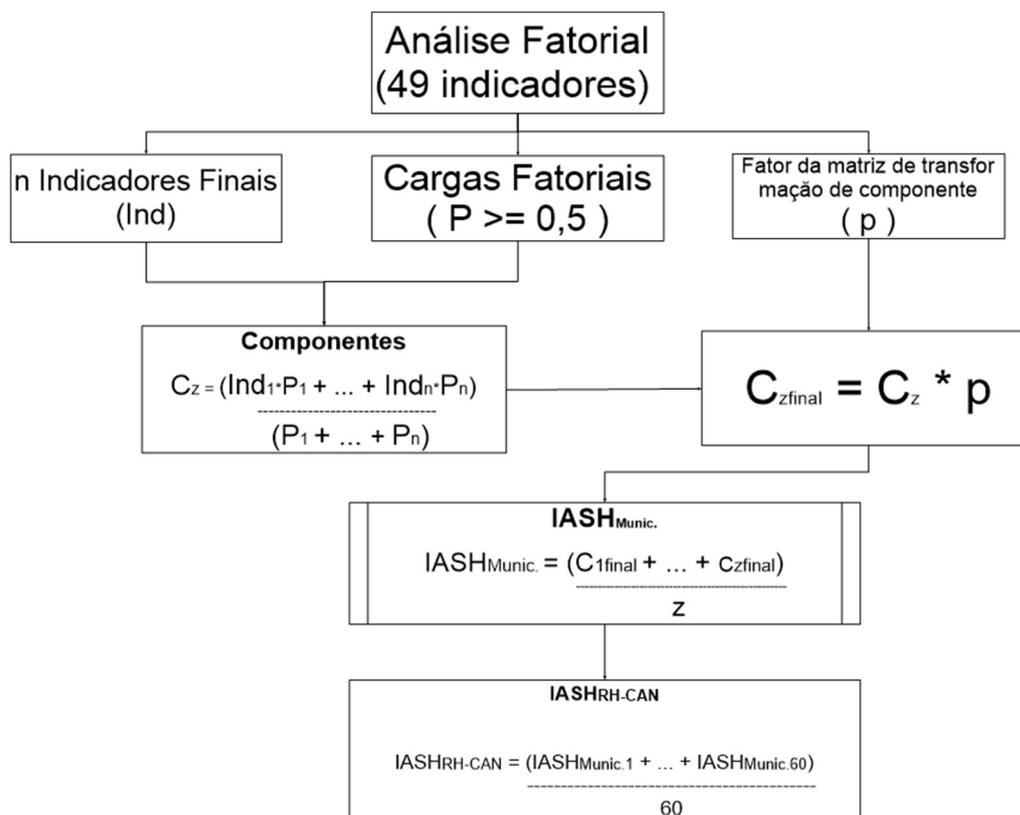
$$IASH_{Munic.} = \frac{\sum C_{zfinal}}{z} \quad \text{Para z igual ao número de componentes finais} \quad (33)$$

Com os valores dos $IASH_{Munic.}$, efetuou-se o cálculo do $IASH_{RH-CAN}$, pela Equação (34).

$$IASH_{RH-CAN} = \frac{\sum IASH_{Munic.}}{60} \quad (34)$$

Logo a estimação do $IASH_{RH-CAN}$ seguiu a sequência de cálculo apresentado na Figura 15, com a definição dos indicadores pela técnica da análise fatorial, a partir da realização de diversas simulações até o atendimento dos critérios do método estatístico.

Figura 15 – Sequência de cálculo do método de ponderação com cargas/pesos fatoriais.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

5.1.3.2 Método de Ponderação com Escores Fatoriais

Nesse modelo aplicou-se a AF para o conjunto dos 49 indicadores, de modo a estimar os índices brutos de sustentabilidade de hídrica (IBSH) referente a cada município da região. Esse índice consiste em uma combinação linear dos escores fatoriais e a proporção da variância total explicada por cada fator em relação à variância dos fatores comuns, em que foi estimada a matriz de escores fatoriais após a rotação ortogonal da estrutura fatorial inicial, conforme Chaves *et al.* (2013); Dillon e Goldstein (1984); Ferreira, *et al.* (2016); Rabelo e Lima (2007); Silva *et al.* (2016).

Foram realizadas diversas simulações até que os testes de KMO atingissem valor $\geq 0,5$ e de Bartlett com correlações entre os indicadores ao nível de significância de 5% e nível descritivo de $p=0,000$, devendo as comunalidades para cada indicador ser $\geq 0,5$, os

que apresentaram valor inferior foram retiradas do modelo e realizada nova simulação até obter o conjunto de indicadores finais.

Em seguida executou-se a extração dos fatores pelo método da análise de componente principal (ACP), em que obteve-se a variância total explicada, sendo o número de fatores definidos com base nos autovalores dos fatores maiores que 1. Nesta etapa também se definiu as cargas fatoriais pela matriz de componente. Essa matriz foi rotacionada pelo método Varimax com normalização de Kaiser, para minimizar o número de indicadores com altas cargas em cada fator. Após a rotação, os escores fatoriais foram obtidos para cada município.

Com os valores dos escores fatoriais padronizados, o IBSH foi calculado para os 60 municípios da RH-CAN, com base na média aritmética ponderada desses escores (MELO; PARRÉ, 2007), em que para um conjunto de n fatores tem-se, n escores fatoriais. Equação (35).

$$IBSH = \frac{\sum_{j=1}^m f_j * w_{ij}}{\sum_{j=1}^m f_j} \quad (35)$$

f_j : Proporção da variância total explicada pelo j -ésimo fator, com $j=1, \dots, m$ (1, ..., 60)

w_{ij} : Valor do j -ésimo escore fatorial associado ao i -ésimo município, com $i=1, \dots, m$ (1, ..., 60)

Estimados os IBSH, calculou-se os $IASH_{Munic.}$ para cada município nos três anos de estudo e ordenados com base nos valores dos índices, Equação (36). Esta equação consiste na interpolação dos valores dos IBSH, com valores entre 0 e 1,00, isto é, o município que apresentou o menor e o maior $IASH_{Munic.}$ Com os valores do $IASH_{Munic.}$ estimou-se o $IASH_{RH-CAN}$, Equação (34).

$$IASH_{Munic.} = \left(\frac{IBSH_i - IBSH_{min}}{IBSH_{max} - IBSH_{min}} \right) \quad 0 \leq IASH_{Munic.} \leq 1 \quad (36)$$

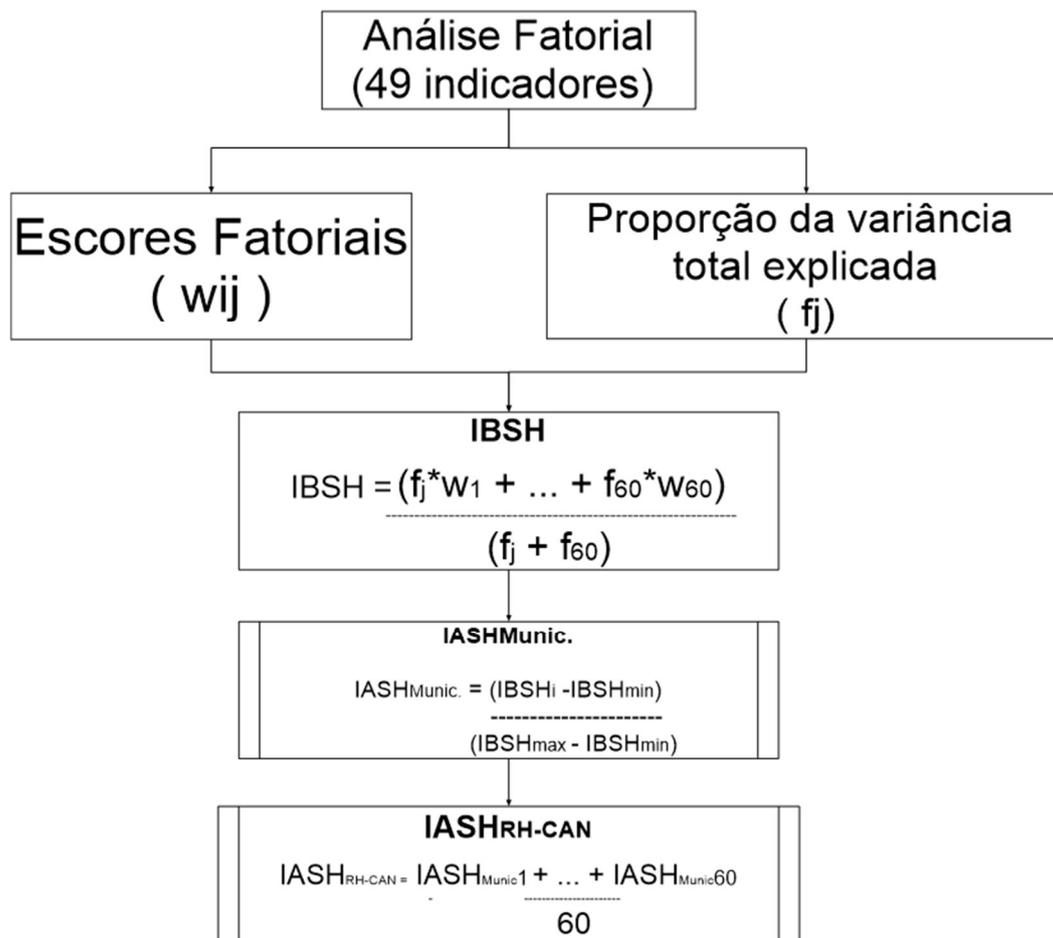
$IBSH_i$: valor do Índice Bruto de Sustentabilidade Hídrica para o i -ésimo município, $i=1, 2, \dots, 60$

$IBSH_{min}$: menor valor do IBSH observado

$IBSH_{max}$: maior valor observado para o IBSH

A Figura 16 mostra a sequência de cálculo para estimar o $IASH_{RH-CAN}$ nos três anos de estudo.

Figura 16 – Sequência de cálculo do método de ponderação com escores fatoriais.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

5.1.3.3 Método de Ponderação com Pesos Iguais

Neste método os indicadores finais foram definidos pela AF, em que foram realizadas simulações até atingir os critérios dos testes KMO ($\geq 0,5$) e Bartlett ($\alpha 5\%$), e das comunalidades ($\geq 0,5$).

Nos cálculos os indicadores finais foram organizados em índices temáticos de sustentabilidade (ITS), conforme as dimensões em ITSS, ITSE, ITSA e ITSPI, em que foi atribuído a cada um deles o peso (P) igual a um, isto é, possuem o mesmo grau de importância na análise da sustentabilidade hídrica da região, para os 60 municípios nos três anos de estudo. Equação (37):

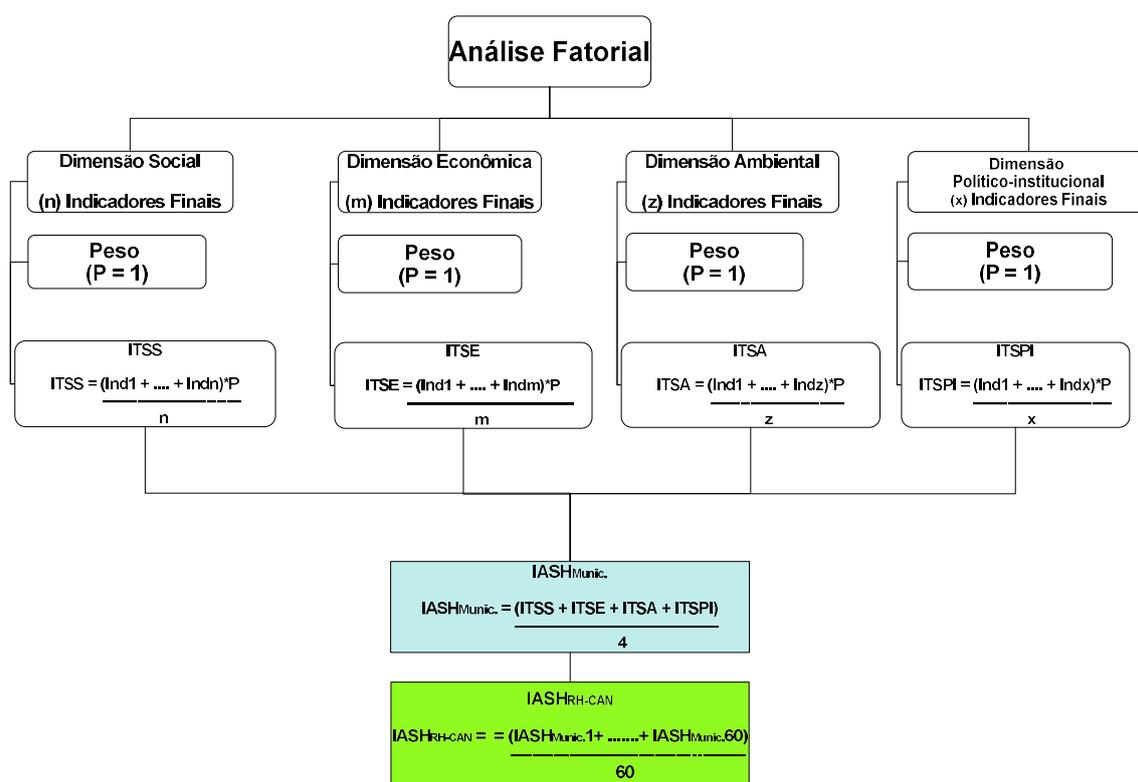
$$ITS_m = \frac{(Ind_1 + \dots + Ind_n) * P}{n} \quad (37)$$

- m: Representa ITSS, ITSE, ITSA e ITSPI
 Ind.: Indicadores padronizados
 n: Número de indicadores.

Dessa forma, o $IASH_{Munic.}$ foi estimado pela média aritmética simples dos quatro índices temáticos de sustentabilidade (ITS) para os 60 municípios em cada ano de estudo, Equação (38). Com os valores dos índices municipais, estimou-se o produto final, o $IASH_{RH-CAN}$, usando-se novamente a Equação (34). O esquema de cálculo é dado na Figura 17.

$$IASH_{Munic.} = \frac{\sum ITS}{y} \quad \text{Para } y \text{ igual ao número de ITS} \quad (38)$$

Figura 17 – Sequência de cálculo do método de agregação com pesos iguais.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

5.1.3.4 Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão

Neste método os 49 indicadores padronizados foram organizados por dimensão e ITS, sendo a AF aplicada para cada dimensão - social, econômica, ambiental e político-institucional, nos três anos de estudo, para obtenção dos indicadores finais, conforme os resultados do teste de adequacidade ($KMO \geq 0,5$), o teste de Bartlett com nível de significância ($\alpha 5\%$), confirmando a presença de correlação entre os indicadores e a explicação das variâncias acumuladas (superiores a 1), que viabilizou selecionar os parâmetros que mais se adequavam para explicar a variabilidade dos dados.

O método de extração dos fatores foi pela ACP que gerou a matriz de componentes com pesos fatoriais superiores ao valor absoluto de 0,5 (ROCHA; PEREIRA, 2016), por serem responsáveis por 25% da variância (PAULO *et al.*, 2008) e devem corresponder a um único componente.

Com os valores dos pesos fatoriais para cada indicador, calculou-se os ITS (Equação (39)), para os 60 municípios, em que os índices $IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$ foram estimados pelas Equações: (38) e (34), respectivamente, para os três anos de estudo.

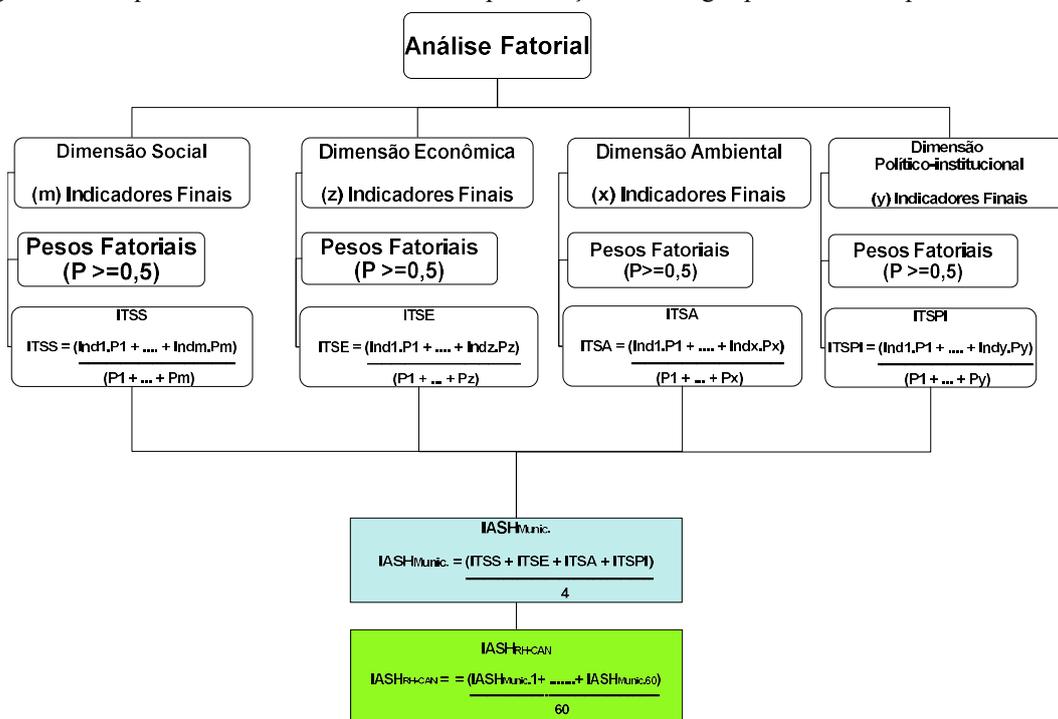
$$ITS_m = \frac{(Ind_1 * P_1) + \dots + (Ind_n * P_n)}{\sum_1^n P_n} \quad (39)$$

- m: Representa ITSS, ITSE, ITSA e ITSPI
 Ind.: Valor do indicador padronizado
 P: Peso fatorial
 n: Igual ao número de indicadores

A

Figura 18 Figura 18 mostra o esquema metodológico adotado para a estimação do $IASH_{RH-CAN}$ nos três anos de estudo.

Figura 18 – Sequência de cálculo do método de ponderação com cargas/pesos fatoriais por dimensão.



Fonte: Elaborada pela autora (2021).

O Quadro 11 mostra o resumo dos quatro métodos de agregação para estimar o $IASH_{RH-CAN}$, onde se nota que, embora a equação que o determina seja a mesma, os procedimentos que o definem são diferentes.

Quadro 11 – Métodos de estimação do IASH_{RH-CAN}.

Método	Indicadores Finais	Pesos	ITS	IASH _{Munic.}	IASH _{RH-CAN}
1. Método de Ponderação com Pesos Fatoriais	AF (n - indicadores)	Cargas Fatoriais (P)	Não se aplica	$C_z = \frac{(Ind_1 * P_1) + \dots + (Ind_n * P_n)}{\sum_1^n P_n}$ $C_{zfinal} = C_z * p$ $IASH_{Munic.} = \frac{\sum C_{zfinal}}{z}$	$IASH_{RHCAN} = \frac{\sum IASH_{Munic.}}{60}$
2. Método de Ponderação com Escores Fatoriais	AF (n - indicadores)	Escores Fatoriais (w_{ij})	Não se aplica	$IBSH = \frac{\sum_{j=1}^m f_j * w_{ij}}{\sum_{j=1}^m f_j}$ $IASH_{Munic.} = \left(\frac{IBSH_i - IBSH_{min}}{IBSH_{max} - IBSH_{min}} \right)$	$IASH_{RHCAN} = \frac{\sum IASH_{Munic.}}{60}$
3. Método de Ponderação com Pesos Iguais	AF (n - indicadores)	P = 1	$ITS_m = \frac{(Ind_1 + \dots + Ind_n) * P}{n}$	$IASH_{Munic.} = \frac{\sum ITS}{4}$	$IASH_{RHCAN} = \frac{\sum IASH_{Munic.}}{60}$
4. Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão	AF (n - Por dimensão)	Cargas Fatoriais (P)	$ITS_m = \frac{(Ind_1 * P_1) + \dots + (Ind_n * P_n)}{\sum_1^n P_n}$	$IASH_{Munic.} = \frac{\sum ITS}{4}$	$IASH_{RHCAN} = \frac{\sum IASH_{Munic.}}{60}$

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

5.1.4 Classificação dos IASH_{Munic.} e IASH_{RH-CAN}

A classificação dos IASH_{Munic.} e do IASH_{RH-CAN}, nos quatro métodos foi sustentada no conceito de sustentabilidade e no nível de sustentabilidade que se busca alcançar, a qual seria a sensata, isto é, a ideal. Neste sentido, adotou-se a classificação proposta por Martins e Cândido (2008), também adotada por Carvalho *et al.* (2015); Macedo *et al.* (2016); Silva e Martins (2017), Tabela 8.

Tabela 8 – Classificação e representação dos índices em níveis de sustentabilidade

Cor	Índice (0-1)	Classificação (Sigla)	Descrição
	0,7501 – 1,0000	Ideal (I)	Identifica o mais alto nível de sustentabilidade, considerando as condições desejadas.
	0,5001 – 0,7500	Aceitável (AC)	Esse nível expressa um sistema próximo à sustentabilidade, alertando os atores sociais e constituindo autoridades para a necessidade de continuar trabalhando para chegar ao resultado ideal.
	0,2501 – 0,5000	Alerta (AL)	Esta condição indica a necessidade de continuar trabalhando para melhorar os níveis dos indicadores, a fim de alcançar pelo menos o nível de estabilidade.
	0,0000 – 0,2500	Estado Crítico (EC)	Indica situação ambientalmente crítica que exige urgentemente a tomada de decisão para corrigir problemas existentes para que a situação crítica não se torne insustentável.

Fonte: Adaptada de Martins e Cândido (2008).

Dessa forma a construção do índice consistiu em transformar o valor observado num quantum que varia de 0 (zero) a 1 (um), partindo do pressuposto que o valor mais próximo de 1 significa a melhor condição de segurança alcançada (segurança sensata - ideal) e o 0 (zero), o desempenho mais desfavorável (segurança não alcançada – estado crítico), conforme as relações pré-estabelecidas.

5.1.5 Avaliação do método de agregação mais adequado para estimar o IASH_{RH-CAN}

Para a avaliação do método de agregação mais adequado, aplicou-se o teste de hipótese de Durbin-Watson (DW) (DURBIN, 1969; 1970) para testar a existência de presença de autocorrelação (SANTANA *et al.*, 2018). Esse teste é o modo mais formal de diagnosticar a correlação serial (PROÏA, 2018), contudo, o teste apresenta algumas limitações, dentre elas, destaca-se que o teste só pode ser utilizado para testar autocorrelações de primeira ordem.

Mediante a essa limitação Vinod (1973) generalizou o teste proposto por Durbin e Watson (1950) possibilitando detectar a presença de autocorrelação de qualquer ordem.

O teste consiste na hipótese nula de que não há presença de correlação serial, A hipótese alternativa é que $\rho \neq 0$, ou, que ρ é monocausal, positivo (ou negativo). O teste de Durbin-Watson é baseado nos resíduos do método de regressão de mínimos quadrados (BARROSO *et al.*, 2012). A estatística de DW é apresentada pela Equação (40) (FIELD, 2009).

$$DW = \frac{\sum(u_t - u_{t-1})^2}{\sum u_t^2} \quad (40)$$

u_t : Termo de erro no período t
 u_{t-1} : Termo de erro no período t – 1

Logo o método de agregação que apresentar, em média o melhor coeficiente de DW será considerado o modelo mais adequado para representar o IASH_{RH-CAN}.

5.2 ÍNDICE HIDDROLÓGICO OU ÍNDICE REGIONAL – IndHidro

O IndHidro consiste no conjunto de elementos hidrológicos, como, balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS), o índice de Falkenmark (FI), o índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) e as vazões médias (Q_{med.}) e mínimas (Q_{min.}).

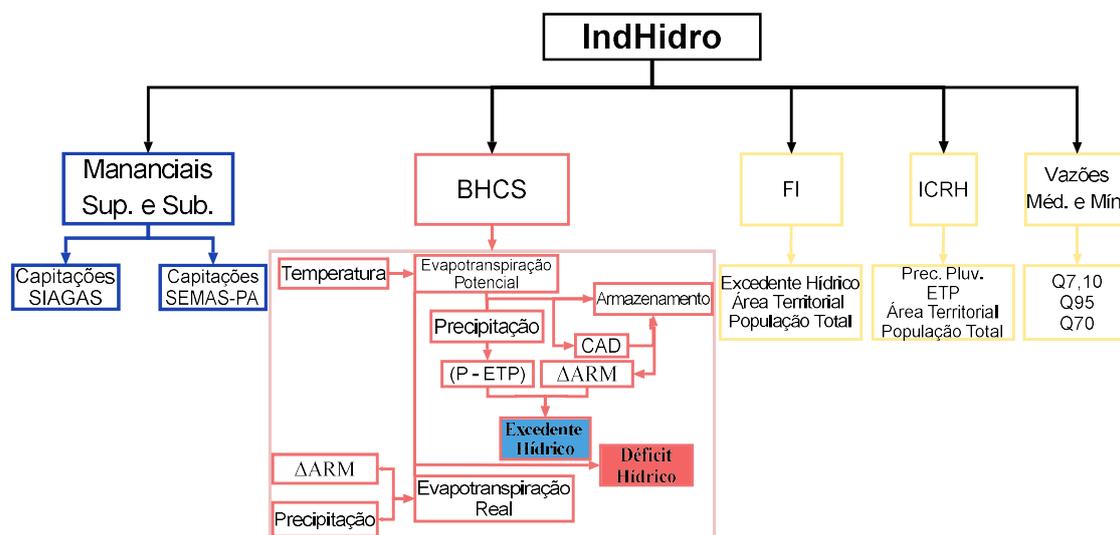
5.2.1 Banco de dados para composição do Índice Hidrológico ou Regional (IndHidro) para a RH-CAN

Para a determinação do IndHidro, foram estimados os indicadores de disponibilidade hídrica para análise da sustentabilidade da RH-CAN, tomando como base a adaptação da metodologia proposta por Rodrigues *et al.* (2016), em que foram quantificados indicadores hidrológicos regionais associados às vazões médias, mínimas e máximas; precipitação média na bacia; balanço hídrico anual, além de suas principais características morfométricas.

Contudo, no presente estudo optou-se pela determinação dos indicadores hidrológicos: balanço hídrico climatológico sequencial (BHCS), o índice de Falkenmark (FI), o índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) e as vazões médias (Q_{med.}) e

mínimas ($Q_{\min.}$), nos anos 2005, 2010 e 2015, para os 60 municípios, exceto a análise das vazões que foi realizada para as SBRH, devido à ausência de estações fluviométricas na maioria dos municípios da RH-CAN. A Figura 19 mostra a estrutura que compõe o IndHidro.

Figura 19 – Estrutura de formação IndHidro.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

As variáveis que compõem cada indicador hidrológico são apresentados no Quadro 12.

Quadro 12 – Composição dos indicadores hidrológicos.

Indicadores Hidrológico	Variáveis	Fonte
BHCS	TMA – temperatura média do ar	AgriTempo - EMBRAPA
	PM – Precipitação Mensal	HidroWeb - ANA
	ETo – Evapotranspiração de Referência	Equação Thornthwaite, (1948)
	CAD – Capacidade de Água Disponível	Andrade (2011); Abreu; Tonello (2015); Jesus (2015); Passo et al. (2017); Rosa et al. (2017)
	Coordenadas geográficas	IBGE - Cidades
	Altitude	IBGE - Cidades
FI	Pop. Total	IBGE - Estimativas de População
	AT – Área Territorial do Município	IBGE
	EXC – Excedente Hídrico	Estimado no BHCS
ICRH	Pop Total	IBGE - Estimativas de População
	AT – Área Territorial do Município	IBGE
	PM – Precipitação Mensal	HidroWeb - ANA
	ETP – Evapotranspiração Potencial	Equação Thornthwaite, (1948)
Vazões	Q _{diárias} – vazões diárias	HidroWeb - ANA

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

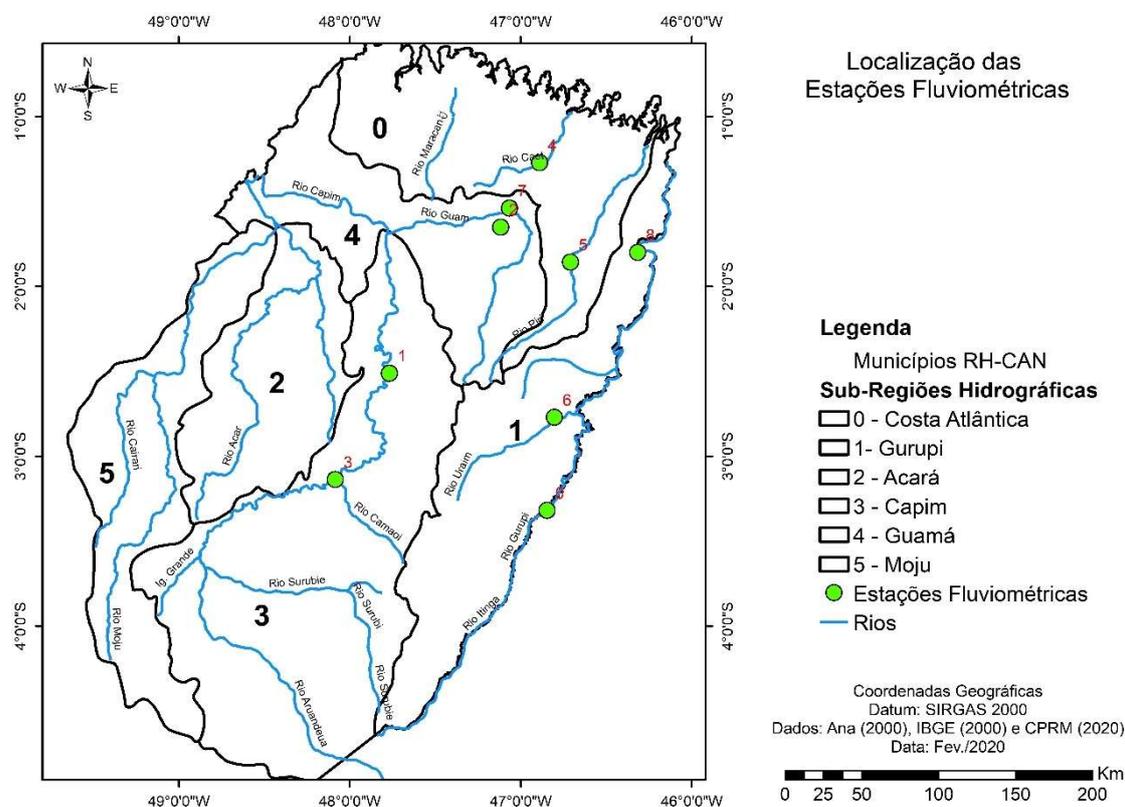
No âmbito da avaliação climatológica e hidrológica, foram considerados os dados de precipitação pluviométrica consistidos e não consistidos obtidos na rede de estações pluviométricas da ANA, as mesmas usadas na determinação do $IASH_{RH-CAN}$, para os anos 2005, 2010 e 2015. Adotou-se o ano hidrológico de janeiro a dezembro, por ser característico da região Amazônica (RODRIGUES *et al.*, 2016).

Os dados de temperatura foram extraídos do banco de dados do Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (Agritempo) da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), os mesmos usados na estimação do $IASH_{RH-CAN}$.

No estudo das vazões foram analisados os dados obtidos das estações fluviométricas disponíveis no site do hidroweb da ANA para os anos 2005, 2010 e 2015 (Tabela 24 – Apêndice 3), exceto a estação ID 5 que não dispõe de dados para o ano 2015. Todas as estações foram submetidas a análise de percentual de falhas no SisCAH.

A distribuição espacial das estações fluviométricas é dada na Figura 20, onde se observa a baixa representatividade nas sub-regiões hidrográficas, em que as SBRH Acará e Moju não contam com o equipamento de medição de vazão.

Figura 20 – Distribuição espacial das estações fluviométricas da ANA, nas sub-regiões hidrográficas da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Conforme o levantamento realizado no site do HidroWeb as estações 31700000 e 31680000 estão localizadas nos municípios São Domingos do Capim e Tomé-Açu, respectivamente, porém, quando georreferenciadas, ficam em Ipixuna do Pará. Ao avaliar em relação a sub-região, tem-se que a estação 31700000 permaneceu na SBRH Capim, mas a estação 31680000 passou a compor a SBRH Capim e dessa forma a SBRH Acará ficou sem estação.

Com o banco de dados elaborado, a etapa seguinte foi determinar o BHCS, FI e ICRH para os 60 municípios da RH-CAN nos três anos de estudo e as vazões médias e mínimas por estação fluviométrica nos três anos de estudo.

5.2.2 Determinação do IndHidro

O IndHidro agrega os indicadores mananciais subterrâneos e superficiais, BHCS, FI, ICRH e Vazões ($Q_{med.}$ e $Q_{min.}$), que permitiu avaliar a disponibilidade hídrica na RH-CAN, constituindo um instrumento auxiliar do planejamento e gestão dos recursos hídricos da região hidrográfica.

6.2.2.1 Mananciais de Abastecimento na RH-CAN

Inicialmente se fez uma caracterização dos usos consuntivos (demandas): consumo humano, pecuária (dessedentação de animais) e agricultura (irrigação), em relação aos recursos hídricos na RH-CAN, a partir do levantamento dos principais mananciais de abastecimento de água nos 60 municípios constituintes da região.

Esse levantamento teve como fonte de pesquisa o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas - SIAGAS na plataforma do Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2011) para identificação da existência de poços, o Atlas de Saneamento de 2015 (ANA, 2015) para identificação do uso do manancial superficial e o site da Secretária Estadual de Meio Ambiente e Sustentabilidade – SEMAS-PA para o levantamento das outorgas em cada município da RH-CAN. Nesse levantamento estão inclusos os usos tanto para consumo humano como para a indústria, pecuária e irrigação.

Esses usos foram georreferenciados a partir do ponto de captação de água outorgado por sub-região hidrográfica de forma a localizar os usos predominantes em cada área de estudo. A outorga foi inscrita no estado do Pará pela Resolução CERH nº 3, de 03/09/2008.

5.2.2.2 Balanço Hídrico Climatológico Sequencial - BHCS

O balanço hídrico climatológico (BHC) viabiliza o gerenciamento integrado dos recursos hídricos, sendo possível classificar o clima, fazer o zoneamento agroclimatológico e ambiental (PASSOS *et al.*, 2017), além de determinar os períodos com excedente e déficit hídrico (SANTOS *et al.*, 2013). Dessa forma, sugere que o planejamento hídrico de uma determinada região seja a base para o manejo integrado dos recursos hídricos, como também permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (SANTOS *et al.*, 2010).

Mas, é necessário a identificação das características climáticas das sub-regiões hidrográficas da RH-CAN, devido à necessidade de geração de informações que subsidiem as atividades de usos consuntivos e não consuntivos na região. Como ferramenta, têm-se os modelos hidrológicos que são eficientes para analisar quantitativamente os processos hidrológicos das bacias hidrográficas e os recursos hídricos regionais (FATICHI *et al.*, 2016).

As principais variáveis de análise usualmente consideradas são: a precipitação, evapotranspiração e escoamento (resultante do escoamento superficial, subterrâneo e retiradas de água por bombeamento) e suas variações no tempo e espaço. Muitas das variáveis climáticas estão introduzidas na evapotranspiração e mesmo na precipitação.

Essas variáveis têm por pressuposto que o balanço hídrico consiste no cômputo das entradas e saídas de água inerentes aos diversos fenômenos do ciclo hidrológico na bacia hidrográfica (RODRIGUES *et al.*, 2016), formado pelos componentes: precipitação (P), evapotranspiração (ET), deflúvio ou escoamento (D) e reservas ou armazenamento (ARM).

Dessa forma, adotou-se o método do balanço hídrico climatológico sequencial para a RH-CAN, por fornecer a caracterização e variação sazonal das condições do BHC (deficiências e excedentes) ao longo do período em questão, visto que tais informações são de grande importância para as tomadas de decisão.

Logo, o conhecimento sobre a distribuição espacial e temporal da disponibilidade hídrica auxilia no estabelecimento de diretrizes para a implementação de políticas de gestão e uso consciente deste recurso (CARVALHO *et al.*, 2019).

O cálculo do BHCS foi a partir da aplicação da metodologia de Thornthwaite; Mather (1955) com estimativa da evapotranspiração potencial pelo método de

Thornthwaite (1948) desenvolvido para a estimação do $IASH_{RH-CAN}$, com o uso da planilha eletrônica do Excel elaborada e disponibilizada por Rolim *et al.* (1998).

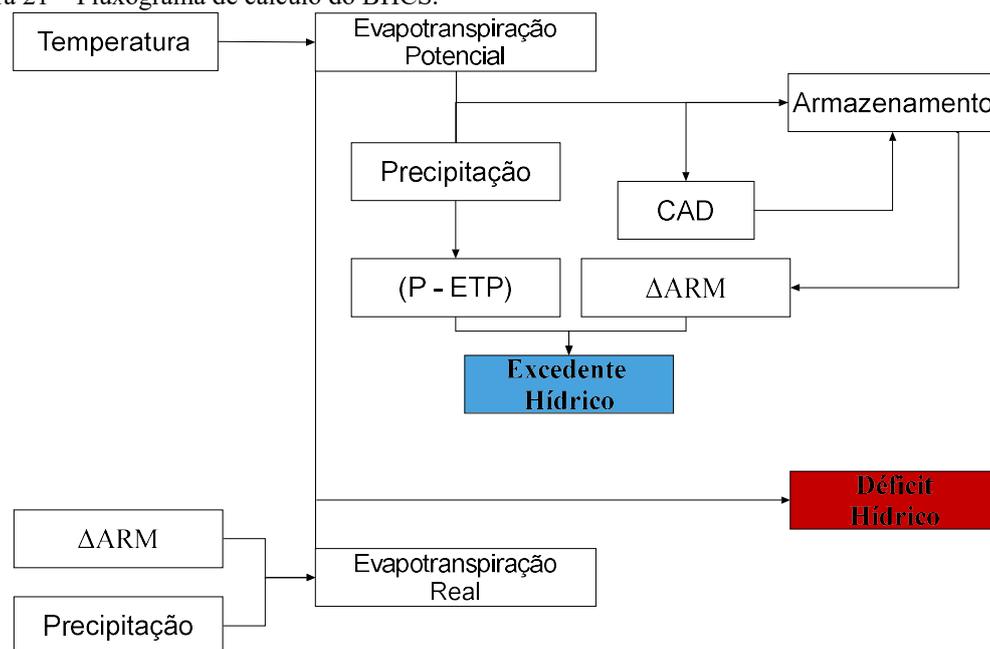
Visto que a proposta de Thornthwaite e Mather apresenta-se mais sensível às variações do regime térmico e hídrico, por considerar, não somente as entradas e saídas de água no sistema, como também àquela armazenada no perfil do solo e passível de ser utilizada nos diversos processos que ocorrem na interface solo-atmosfera (GALVANI, 2008).

Em geral, a temperatura do ar e as precipitações podem ser os principais elementos do clima, pois indicam os níveis energéticos e as disponibilidades hídricas da região (CUNHA; MARTINS, 2009; ROLIM *et al.*, 2007).

O método requer dados mensais de temperatura média do ar, média mensal de precipitação, ETP, coordenadas geográficas, altitude e Capacidade de Água Disponível (CAD), esta última define o armazenamento máximo de água no solo, sendo adotada nos três anos de estudo o valor de referência de 100 mm, conforme estudos desenvolvidos por Andrade (2011); Abreu e Tonello (2015); Jesus (2015); Passo *et al.* (2017); Rosa *et al.* (2017); além do negativo acumulado (NEG.ACUM), do valor do armazenamento (ARM) e da alteração do armazenamento (ALT).

Com estas informações os BCHS dos municípios permitiram deduzir a deficiência hídrica, o excedente hídrico e o total de água retida no solo ao longo do ano. A Figura 21 ilustra o fluxograma de cálculo do BHCS.

Figura 21 – Fluxograma de cálculo do BHCS.



Fonte: Adaptado de Parreira *et al.* (2019).

Dessa forma os cálculos iniciaram pela estimativa da diferença entre a precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial (P-ETP) (MENDONÇA, 1958), dada pela Equação (41).

$$P - ETP_{(n)} = P_{(n)} - ETP_{(n)} \quad (41)$$

Onde: P-ETP: diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial, mantendo-se os sinais positivos (+) e negativos (-); P: precipitação; ETP: evapotranspiração potencial; n: mês de referência do cálculo.

Em seguida considerou-se o primeiro mês com valor de (P-ETP) < 0, após uma sequência de valores positivos de (P-ETP), ou seja, no início da estação seca, adotou-se o valor de 100 mm para o ARM (ARAÚJO *et al.*, 2018; LOPES *et al.*, 2019; OLIVEIRA, 2019); PASSOS *et al.*, 2018; PORTILHO *et al.*, 2011; TERASSI; GALVANI, 2017) e o valor zero para o NEG.ACUM (ROLIM *et al.*, 1998; OLIVEIRA, 2019). A determinação do NEG.ACUM e do ARM, seguiu dois critérios:

1ª) Se (P-ETP) < 0, calcula-se o NEG.ACUM e ARM pelas Equações: (42) e (43).

$$NEG.ACUM_{(n)} = NEG.ACUM_{(n-1)} + P - ETP_{(n)} \quad (42)$$

$$ARM = CAD * \exp\left[\frac{NEG.ACUM}{CAD}\right] \quad (43)$$

Nos meses em que os resultados dos cálculos de ARM foi maior que o CAD, atribuiu-se ao CAD valor máximo de 100 mm (CASSETARI; QUEIROZ, 2020; LOBATO *et al.*, 2018;)

NEG.ACUM: negativo acumulado ao somatório da sequência de valores negativos de P – ETP
 P-ETP: diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial
 n e n-1: sequência de meses.

2ª) Se (P-ETP) ≥ 0, calcula-se primeiro o ARM pela Equação (44) e posteriormente NEG.ACUM pela Equação (45).

$$\Delta ARM_{(n)} = ARM_{(n-1)} + P - ETP_{(n)} \quad (44)$$

$$NEG.ACUM_{(n)} = CAD * \ln \left[\frac{ARM_{(n)}}{CAD} \right] \quad (45)$$

Nesse caso o NEG.ACUM deve ser determinado se existir um próximo período com $(P-ETP) < 0$

NEG. ACUM: Negativo acumulado;
 CAD: Capacidade de armazenamento do solo;
 n: Mês de referência.

Sequencialmente foram obtidas as alterações (ALT), as estimativas da evapotranspiração real (ETR - mm), deficiência hídrica (DEF - mm) e excedente hídrico (EXC - mm), na escala mensal, em conjunto com a representação gráfica completa, com os cálculos conforme estabelecido por Thornthwaite em 1995 (Thornthwaite; Mather, 1955), no Brasil esse roteiro foi implementado por Camargo (1962). Sendo o ALT dada pela Equação (46):

$$ALT_{(n)} = ARM_{(n)} - ARM_{(n-1)} \quad (46)$$

$ALT > 0$, significa reposição e $ALT < 0$, ocorreu retirada de água do solo.

ALT: Alteração de armazenamento;
 ARM: Valor do armazenamento
 n e n-1: Sequência de meses.

No cálculo da evapotranspiração real foi utilizada à Equação (47), nos casos em que o valor de P-ETP foi menor que zero. Nos meses onde $P-ETP \geq 0$, foi adotado para ETR o valor de ETP.

$$ETR_{(n)} = P_{(n)} + |ALT_{(n)}| \quad (47)$$

ETR: evapotranspiração real
 P: precipitação;
 ALT: alteração de armazenamento
 n: mês de referência

No cálculo da deficiência hídrica, que representa o quanto o sistema solo-planta deixou de evapotranspirar, foi utilizada a Equação (48):

$$DEF_{(n)} = ETP_{(n)} - ETR_{(n)} \quad (48)$$

DEF: Deficiência hídrica;
ETP: Evapotranspiração potencial;
ETR: Evapotranspiração real
n: Mês de referência.

A determinação do excedente hídrico, que corresponde à água que não pode ser retida e drena em profundidade, isto é, água gravitacional, utilizou-se a Equação (49), seguindo duas condições:

1. Se $ARM < CAD$: $EXC = 0$
2. Se $ARM = CAD$, tem-se a Equação (49)

$$EXC_{(n)} = (P - ETP_{(n)}) - ALT_{(n)} \quad (49)$$

EXC: excesso de água no solo;
P-ETP: diferença entre a precipitação e evapotranspiração potencial;
ALT: alteração de armazenamento
n: mês de referência.

5.2.2.3 Índice Falkenmark (FI)

O índice de Falkenmark também conhecido como Índice de Estresse Hídrico (Water Stress Index - WSI), tem maior utilização em escala nacional, com a vantagem da maior disponibilidade de dados, porém, as médias nacionais não revelam importantes dados de escassez para escalas locais ou regionais, bem como não refletem importantes variações na demanda entre países (ZENG *et al.*, 2013).

O índice FI foi calculado pela Equação (50), que relaciona os recursos hídricos disponíveis numa dada região (ou país), por ano, com o número de habitantes, independentemente da distribuição temporal e espacial dos recursos hídricos (WSM, 2004).

$$FI = \frac{RHD}{N^{\circ} Hab.} \quad (50)$$

Para: $RHD = EXC * AT$

FI: Índice de Falkenmark ($\text{m}^3/\text{hab.ano}^{-1}$);
 RHD: Recursos hídricos disponíveis (anuais);
 N° hab.: População total (urbana e rural);
 EXC: Excedente hídrico
 AT: Área territorial do município.

A classificação do Índice de Falkenmark (1989) - Water Stress Index-WSI, estabelece níveis de confortabilidade a partir da quantidade de água disponível por habitante, com base nos dados de disponibilidade hídrica (ROCHA *et al.*, 2013a). Esse índice tem sido amplamente aplicado em estudos de avaliação da disponibilidade hídrica (BROWN; MATLOCK, 2011).

Como o FI está associado ao uso per capita, as condições da água em uma área podem ser categorizadas, conforme, Tabela 9.

Tabela 9 – Diferenciação da barreira hídrica proposta por Falkenmark (1989).

Classificação por cor	Índice (m^3 per capita)	Categoria / Condição
	> 1.700	Sem estresse
	1.000-1.700	Estresse
	500-1.000	Escassez
	<500	Escassez Absoluta

Fonte: Adaptado de Falkenmark (1989).

O índice foi aplicado para os 60 municípios, nos anos 2005, 2010 e 2015. No cálculo foi adotada a área territorial e a população total (urbana e rural) de cada município.

5.2.2.4 Índice Criticidade de Recursos Hídricos

A disponibilidade hídrica também foi ser avaliada a partir do Índice de Criticidade de Recursos Hídricos (ICRH), tal índice, uma vez associado à disponibilidade específica de água (DEA) ($\text{m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$), numa certa região ou bacia hidrográfica, revela os problemas de gestão dos recursos hídricos que podem emergir quando a demanda sobrepõe a oferta (ALCAMO, 2000; FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Segundo Hespagnol (2008), disponibilidades hídricas próximas ao valor de $10.000 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ (ICRH 1 e 2) não concorrem para a criação de conflitos significativos como a quantidade de água, ao passo que disponibilidades referentes aos

índices 4 e 5 representam situações de conflitos mais expressivos de uso e de escassez de água. A Tabela 10 mostra a classificação do ICRH a parti do consumo per capita.

Tabela 10 – Índice de Criticidade de Recursos Hídricos (ICRH). Disponibilidade Específica de Água (DEA) e Problemas de Gestão Associados (Falkenmark, Widstrand 1992).

Classificação por cor	ICRH	DEA (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	Problemas na gestão dos recursos hídricos
1	1	Acima de 10.000	Sem ou problemas limitados
2	2	Entre 10.000 e 2.000	Poucos problemas de gestão
3	3	Entre 2.000 e 1.000	Forte pressão sobre os recursos hídricos
4	4	Entre 1.000 e 500	Escassez crônica de água
5	5	Abaixo de 500	Além do limite da escassez

Fonte: Adaptada de Hespanhol (2008).

O ICRH permite uma melhor análise do potencial de uso remanescente das disponibilidades hídrica em uma bacia hidrográfica, seu cálculo se dá a partir da relação entre a demanda e a disponibilidade que pode ser o excedente hídrico, a disponibilidade 75% da vazão de referência (Q₉₅), isto é, a vazão de outorga (ALCAMO *et al.*, 2000), vazão média e a precipitação menos a evapotranspiração (P – ETP) (ROCHA *et al.*, 2013b).

Esse índice tem sido usado estudos em Planos Municipais de Recursos Hídricos, como no estado do Amazonas (AMAZONAS, 2019); Capinas-SP (PMC, 2016), dentre outros.

A European Environment Agency e as Nações Unidas utilizam o Índice de Retirada de Água ou Water Exploitation Index, que é medido pelo quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período (PUPPIN *et al.*, 2019).

No presente estudo, adotou-se a vazão como a água disponível, conforme a metodologia utilizada pela ONU, em que usa a vazão de uma bacia, sem considerar os recursos hídricos subterrâneos (ANA, 2007). Essa escolha se justifica devido à indisponibilidade de estações fluviométricas nos municípios, que inviabilizou a análise na escala municipal.

No cálculo das vazões (Equação 51) foram usados os valore de (P – ETP) determinados no BHCS e a área territorial (ROCHA *et al.*, 2013b), para os 60 municípios nos três anos de estudo.

$$Q = (P - ETP) * AT \quad (51)$$

- Q: Vazão (m³/ano);
 AT: Área territorial (m²);
 P: Precipitação (m/ano).
 ETP: Evapotranspiração potencial

Por fim, com os dados de Q e a população (Pop), obtém-se a disponibilidade hídrica por habitante por ano, Equação (52), de modo a classificar os municípios de segundo o ICRH tendo limite para a classificação de pressão sob recursos hídricos como discutido por Brown e Matloc (2011), $2.000 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ contra $1.700 \text{ m}^3.\text{hab}^{-1}.\text{ano}^{-1}$.

$$DEA = \frac{Q}{Pop} \quad (52)$$

Ressalta-se que todo o excedente hídrico e os valores de (P-ETP) foram contabilizados na estimativa de disponibilidade da região hidrográfica, sem considerar o volume necessário para a manutenção e equilíbrio dos ecossistemas, assim como não foram abordadas as características de qualidade da água, as quais limitam o seu uso conforme as finalidades, e as demandas dos diversos setores usuários, como a agropecuária e a indústria.

5.2.2.5 Vazões Médias e Mínimas

A vazão ecológica é a quantidade de água que deve permanecer no leito dos rios para atendimento das demandas do ecossistema aquático, para preservação da flora e da fauna relacionada ao corpo hídrico (COLLISCHONN *et al.*, 2006; LONGHI; FORMIGA, 2011; MEDEIROS *et al.*, 2011; ROCHA *et al.*, 2015), após as retiradas para atender aos múltiplos usos de recursos hídricos (PINTO *et al.*, 2016b).

O que a difere da vazão remanescente ou residual, é que esta consiste na vazão mínima que deve permanecer no curso de água após a outorga de todos os usos consuntivos, corresponde a um valor fixo mínimo que deve atender a um percentual de uma vazão de referência (BENETTI *et al.*, 2003).

A estimação do índice hidrológico a partir da aplicação das vazões ecológicas foi fundamentada e adaptada das metodologias descritas por Clarke e Tucci (2003); Tucci (2002), adaptada por Reis *et al.* (2008) e Rodrigues (2016). Esses índices hidrológicos são especificados pelas vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{70} e Q_{95} .

Neste estudo adotou-se a categoria hidrológica com aplicação das metodologias de Northern Great Plains Resource Program (NGPRP, 1974) a partir da determinação da curva de permanência de vazões, para os anos 2005, 2010 e 2015 de

vazões naturais e o Método $Q_{7,10}$ desenvolvido por Chiang e Jonhson (1976), (LONGHI; FORMIGA, 2011) para os mesmos anos.

Esse método de determinação ano a ano, baseia-se na hipótese de que um ano hidrológico pode ser analisado como sendo uma realização estatística independente de uma série de ocorrências anuais, por essa abordagem, é possível avaliar o comportamento hidrológico em função da ocorrência de anos secos e úmidos ao longo do tempo e tratar estatisticamente a curva de permanência, tomando-se como variáveis aleatórias cada permanência de vazão que se queira estudar (CRUZ; TUCCI, 2008).

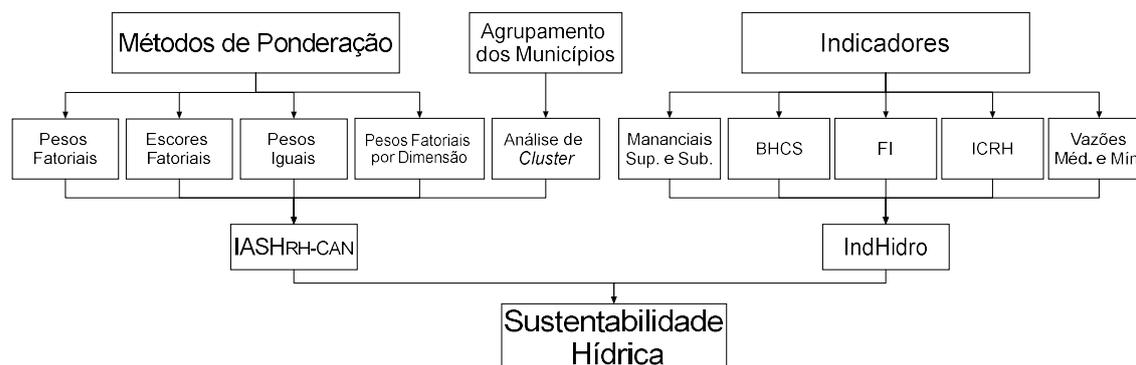
A vazão de permanência Q_{95} é estimada segundo a Instrução Normativa N° 31, de 7 de outubro de 2009 (PARÁ, 2009), Artigo 5º, §3º e Inciso III: Para análise da disponibilidade hídrica e atendimento da vazão solicitada, considera-se como critério de vazão máxima disponível para captação o quantil correspondente a 70% da Q_{95} para o conjunto de usuários da bacia, de modo a garantir uma vazão mínima no rio de 30% da Q_{95} , baseado no critério adotado pela Agência Nacional de Águas (ANA).

Sendo a vazão de referência Q_{95} obtida a partir do método da vazão ecológica, correspondente à vazão $Q_{95\%}$, com a utilização dos valores da curva de permanência para estabelecer as vazões, com uso do *software* SisCAH a partir da construção das curvas de permanência de vazões.

O SisCAH 1.0 é um sistema computacional desenvolvido e disponibilizado pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos (GPRH), vinculado ao Departamento de Engenharia Agrícola (DEA) da Universidade Federal de Viçosa UFV, que permite importar dados dos arquivos obtidos nos sites da ANA e INMET, e a partir destes obtem-se as vazões máximas, mínimas e médias, a curva de permanência, a regularização de vazões, assim como preenchimento e extensão de séries.

Assim, o presente estudo seguiu tais procedimentos metodológicos para a definição dos índices, bem como dos mananciais mais explorados na região, com base nos objetivos de forma a responder à hipótese levantada. Sumarizando a sustentabilidade hídrica da RH-CAN, representada conforme fluxograma da Figura 22.

Figura 22 – Representação esquemática dos procedimentos metodológicos adotados na definição da sustentabilidade hídrica.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 ÍNDICE AGREGADO DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA – IASH_{RH-CAN}

Na estimação do IASH_{RH-CAN} foram aplicados quatro métodos de agregação do sistema de indicadores agrupados nas dimensões - social, econômica, ambiental e político-institucional.

6.1.1 Cálculo do IASH_{RH-CAN}: Método da Ponderação com Pesos Fatoriais

A avaliação dos padrões existentes entre as correlações, assim como a constatação de relação entre os indicadores de sustentabilidade avaliados para a região hidrográfica em estudo, efetuada pelo teste de Kaiser-Meyer-Olkin - KMO, gerou valores que indicaram a existência de correlações parciais entre pares de indicadores, e descartou a hipótese da matriz de correlação ser uma matriz identidade e assim confirmou que os dados foram adequados à aplicação da AF (HAIR *et al.*, 2009).

O teste de esfericidade de Bartlett demonstrou significância e sugeriu correlações entre os indicadores ao nível de 5% e nível descritivo ($p=0,000$), o que justificou a aceitação da hipótese de os indicadores serem correlacionados, assim como foram viáveis de um estudo por AF. A Tabela 11 apresenta os valores do coeficiente de Bartlett e do KMO.

Tabela 11 – Testes de KMO e Bartlett.

Teste de KMO e Bartlett				
Anos		2005	2010	2015
Medida Kaiser-Meyer-Olkin de adequação de amostragem.		0,654	0,527	0,552
Teste de esfericidade de Bartlett	Sig.	0,000	0,000	0,000

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

A determinação das comunalidades foi importante, pois representaram um índice útil, ao avaliar quanto de variância em uma variável particular é explicada pela solução fatorial (SANTANA *et al.*, 2016).

Ainda com base no critério de Kaiser, o qual requer que os autovalores dos fatores sejam maiores que 1, a matriz de variância total explicada permitiu verificar o grau de explicação atingido por tais fatores. Os resultados revelaram dois modelos, um com 10 componentes no ano 2005 e outro com 11 componentes para os anos 2010 e 2015, indicou serem adequados para representar os dados empregados.

Com esses resultados, foram estimados os pesos/cargas fatoriais não rotacionados para cada ano avaliado, em que se verificou o grau de correspondência entre o indicador e o componente, dado que cargas maiores tornam o indicador representativo do componente. Para melhorar a identificação dos componentes com os indicadores e facilitar a interpretação dos dados, os componentes foram submetidos a uma rotação ortogonal pelo método Varimax.

Os pesos fatoriais significativos e com sinais opostos indicaram variação conjunta, porém, em direção oposta. Isto é, indicadores com carga positiva indicam uma relação positiva, o que significa que qualquer alteração de mudanças positivas em cada um deles reflete resultados positivos entre eles e com forte correlação entre si.

A ordem dos fatores revela seu grau de importância, bem como as características inerentes aos mesmos, de modo que com a interpretação do processamento da AF, foi possível qualificar os componentes que quantificam os IASH_{Munic.}, logo o IASH_{RH-CAN} e os indicadores de maior contribuição.

Sendo assim, o componente C1 explica o máximo da variabilidade total dos dados, enquanto o C2, explica o máximo da variabilidade dos dados restantes, não correlacionados com o primeiro; o C3 explica o máximo da variabilidade total restante dos dados, sendo não correlacionada com o primeiro e o segundo componentes e assim sucessivamente (GUEDES *et al.*, 2012).

A Tabela 12 apresenta os pesos fatoriais rotacionados dos indicadores com valor $\geq 0,5$; as comunalidades $\geq 0,5$ e o poder de explicação de cada componente $\geq 1,00$.

Tabela 12 – Cargas Fatoriais após rotação ortogonal.

Matriz de Componente Rotativa - Ano 2005						Matriz de Componente Rotativa - Ano 2010						Matriz de Componente Rotativa - Ano 2015						
Comp.	Dimensão	Ind.	Cargas Fatoriais	Comum.	Autovalor (raiz caract.) - F	Comp.	Dimensão	Ind.	Cargas Fatoriais	Comum.	Autovalor (raiz caract.) - F	Comp.	Dimensão	Ind.	Cargas Fatoriais	Comum.	Autovalor (raiz caract.) - F	
C1	Econ.	Bov	0,937	0,972	11,67	C1	Econ.	Bov	0,946	0,938	8,825	C1	Econ.	Bov	0,906	0,955	10,02	
		Ovi	0,86	0,85				Equ	0,876	0,893				Ovi	0,853	0,965		
		Equ	0,771	0,908				PIBAgr	-0,815	0,87				Sui	0,65	0,816		
		Cap	0,856	0,873				Cap	0,69	0,767				Equ	0,81	0,913		
		PIBAgr	-0,835	0,919				AT	-0,919	0,936				QExtVeg	0,81	0,897		
	Amb.	QretPec	0,936	0,972			DesfAcu	0,955	0,966	AFlor			0,889	0,931				
		AT	-0,935	0,953			Amb.	AF	-0,848	0,864			QretPec	0,812	0,902			
		IncDesm	0,934	0,936			DSI	0,761	0,893	DesfAcu m			0,881	0,959				
		AFlor	-0,933	0,939			QretPec	0,575	0,726	AT			0,905	0,96				
		DesfAcu	0,923	0,947			C2	Econ.	PIBMerc	0,987			0,986	C2	Social	PRU		0,983
DSI	0,816	0,828	PIBInd	0,821	0,979	Deng			-0,963	0,952								
ACoAgr	0,701	0,924	PRU	0,988	0,99	NV			0,939	0,914								
Econ.	PIBMerc	0,984	0,986	Social	NV	0,961			0,938	OI	-0,928	0,876						
	PIBInd	0,761	0,972	Amb.	OI	-0,931			0,877	PIBInd	0,981	0,981						
	NV	0,983	0,983	QretUrb	QretUrb	-0,987		0,99	PIBMerc	0,975	0,987							
	Social	PRU	0,981	0,985	C3	Econ.		Sui	0,682	0,785	Amb.	QretUrb	-0,982		0,985			
	Amb.	Deng	-0,878	0,797				Bub	0,804	0,827	Econ.	LTQP	0,892		0,923			
C2	Social	QretUrb	-0,979	0,98	C3	Amb.		LPQP	0,683	0,622	C3	Amb.	PIBAgr		-0,794	0,822	3,267	
		Econ.	PIBPC	0,939				0,938	Amb.	QretRur			0,619		0,806	DSI		0,723
		Social	OI	-0,903			0,85	Social	Deng	-0,936			0,932	ACoAgr	0,687	0,923		
C3	Pol.-Instit.	LZon	0,7	0,778	C4	Econ.	PIBPC	0,763	0,919	C4	Social	IDEB	-0,508	0,754				
		C4	Social	PRR			-0,766	0,918	C5			Econ.	GaT	0,972	0,966	C4	Pol.-Instit.	LZIEAmb
C4	Amb.			TxUrb	0,663	0,799	C6	Amb.		GaGG	0,966		0,945	C4	Pol.-Instit.			LZon
		C4	Econ.	QretRur	0,758	0,799			C7	Econ.	ETo	0,959	0,957			C5	Pol.-Instit.	LPacrSol
C4	Amb.			IDEB	0,58	0,608	C8	Pol.-			TMA	0,958	0,953	C5	Econ.			PD
		C4	Econ.	Sui	0,505	0,753			C9	Instit.	Ovi	0,907	0,899			C6	Amb.	TxLUrb
C5	Pol.-Instit.			GaG	0,966	0,954	C10	Pol.-Instit.			ACoAgr	0,733	0,967	C5	Econ.			TxCURb
		C5	Econ.	GaT	0,911	0,88			C11	Social	TxClix	0,874	0,892			C6	Amb.	LPQP
C5	Pol.-Instit.			LZIEAmb	0,547	0,749	C11	Social			TxLUrb	0,86	0,898	C7	Econ.			TMA
		C6	Amb.	TMA	0,877	0,903			C9	Pol.-Instit.	LZon	0,577	0,65			C7	Econ.	ETo
C6	Amb.			ETo	0,875	0,945	C10	Pol.-Instit.			QExtVeg	-0,541	0,853	C8	Econ.			GaGG
		C7	Econ.	LTQP	0,866	0,882			C11	Social	PD	0,718	0,706			C8	Econ.	GaT
C7	Econ.			Bub	0,505	0,585	C11	Social			IncDesm	0,682	0,707	C9	Econ.			PRR
		C8	Pol.-Instit.	TxLUrb	0,831	0,839			C11	Social	IDEB	0,932	0,89			C9	Econ.	PIBPC
C8	Pol.-Instit.			TxClix	0,798	0,81	C11	Social			IDEB	0,932	0,89	C10	Econ.			Bub
		C9	Pol.-Instit.	PD	0,764	0,707			C11	Social	IDEB	0,932	0,89			C10	Econ.	Cap
C9	Pol.-Instit.			PD	0,764	0,707	C11	Social			IDEB	0,932	0,89	C11	Amb.			IncrDesm
		C10	Econ.	LPQP	0,905	0,933			C11	Social	IDEB	0,932	0,89			C11	Amb.	IncrDesm
C10	Econ.			QExtVeg	0,71	0,877	C11	Social			IDEB	0,932	0,89	C11	Amb.			IncrDesm

Com os testes KMO, Bartlett e as comunalidades atendidos, atestou-se que a técnica da AF que reduziu em 22% os indicadores em 2005, 29% em 2010 e 24% em 2015, mantendo um percentual acima de 70% dos indicadores iniciais. O Quadro 13 apresenta os conjuntos de indicadores.

Quadro 13 – Indicadores selecionados para estimação do IASH_{RH-CAN}.

DIMENSÃO SOCIAL				
Cód. Ind.	Indicador	2005	2010	2015
PRU	Pop. Res. Urb			
PRR	Pop. Res. Rural			
TxUrb	Taxa de Urbanização			
MG	Mortalidade Geral			
OI	Óbitos Infantis			
NV	Nascidos Vivos			
IDEB	Índice de Desenvolvimento da Educação Básica: Anos iniciais			
Deng	Dengue			
DIMENSÃO ECONÔMICA				
Cód. Ind.	Indicador	2005	2010	2015
PIBMerc	PIB - A preço de mercado corrente			
PIBPC	PIB - Per capita			
PIBAgr	Valor adicional bruto agropecuária por Município			
PIBInd	Valor adicional bruto indústria por Município			
LTQP	L. T. - Quantidade Produzida			
LPQP	L. P. - Quantidade Produzida			
QExtVeg	Quantidade produzida na extração vegetal			
Bov	Efetivo: Bovino			
Bub	Efetivo: Bubalino			
Eq	Efetivo: Equino			
Sui	Efetivo: Suíno – total			
Cap	Efetivo: Caprino			
Ovi	Efetivo: Ovino			
GaT	Efetivo: Galináceos total			
GaGG	Efetivo: Galináceos – galinhas			
DIMENSÃO AMBIENTAL				
Cód. Ind.	Indicador	2005	2010	2015
AT	Área Territorial			
DesfAcu	Desflorestamento Acumulado			
IncDesm	Incremento (Desmatamento)			
AFlor	Área de Floresta			
ACAgr	Área Colhida na Agricultura			
DSI	Demanda Suplementar de Irrigação - DSI			
QretPec	Vazão Retirada na Pecuária			
QretUrb	Vazão Retirada: População Urbana			
QretRur	Vazão Retirada: População Rural			
PTA	Precipitação Total Anual			

Continua

TMA	Temp. Méd Anual			
ETo	Eto Anual			

DIMENSÃO POLÍTICO-INSTITUCIONAL				
Cód. Ind.	Indicador	2005	2010	2015
LZon	Lei de zoneamento ou equivalente - existência			
LParcSol	Lei de parcelamento do solo			
PD	Plano diretor - existência			
LZISAmb	O município possui legislação sobre zona e/ou área de interesse especial - ambiental			
TxCLix	Taxa de coleta de lixo			
TxLUrb	Taxa de limpeza urbana			
RESUMO				
DIMENSÕES	INDICADORES INICIAIS	TOTAL DE INDICADORES MUNICIPAIS		
		2005	2010	2015
SOCIAL	8	7	5	6
ECONÔMICA	15	15	15	15
AMBIENTAL	19	11	11	10
POLÍTICO-INSTITUCIONAL	7	5	4	6
TOTAL	49	38	35	37
% de indicadores iniciais	100	78	71	76
MATRIZ DE DADOS FINAL	-	60 X 38	60 X 35	60 X 37

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

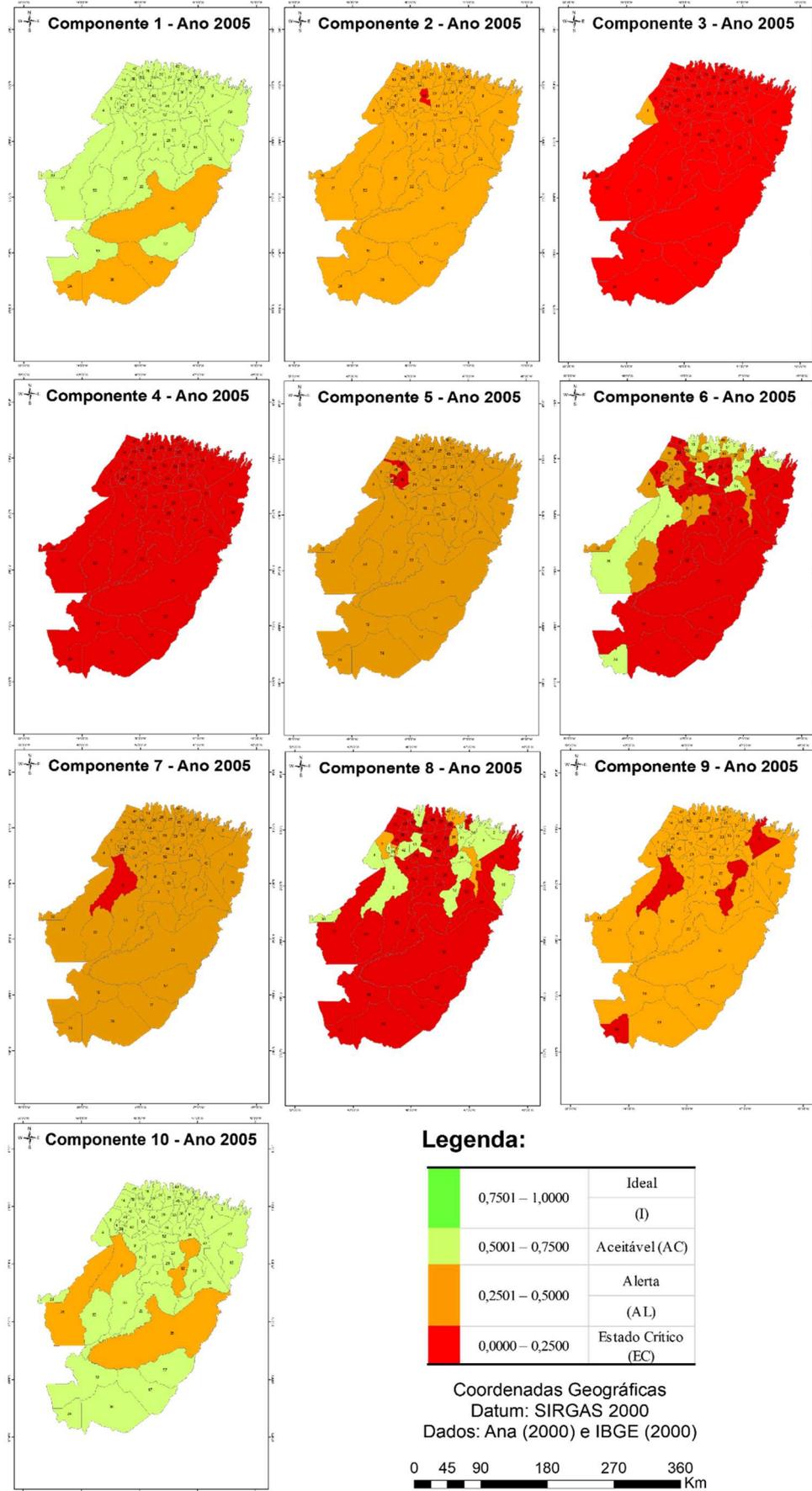
Legenda:

 variáveis que entraram no modelo  variáveis que descartadas no modelo

Antecedendo a análise dos índices $IASH_{Munic.}$ e do $IASH_{RH-CAN}$, foi necessário discutir a contribuição dos componentes e seus indicadores no contexto da sustentabilidade hídrica dos municípios da RH-CAN. Em que a ordem dos componentes gerados revela o seu grau de importância e as características inerentes aos mesmos, conforme a metodologia desenvolvida por Dias (2013), os componentes (C_z) estimados pela Equação (31) e os valores finais desses componentes (C_{zfinal}) pela Equação (32), classificados conforme Martins e Cândido (2008), permitiram verificar como eles influenciaram a dinâmica da sustentabilidade hídrica da região.

Os resultados dos cálculos dos C_{zfinal} para o ano 2005, representados pelos 10 componentes foram espacializados para melhor visualização do desempenho dos municípios em relação aos indicadores dos componentes, Figura 23. Onde se observou que os municípios não atingiram o mais alto nível da sustentabilidade hídrica a “ideal”.

Figura 23 – Espacialização das Componentes do ano 2005.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Verificou-se que no ano 2005, o C1 (indicadores da dimensão econômica: Bov, Ovi, Equ, Cap, PIBAgr e os da dimensão ambiental: QretPec, AT, IncDesm, AFlor, DesfAcu, DSI e ACoAr) e o C10 (indicadores da dimensão econômica: LPQP e QExVeg), foram os que apresentaram nível de sustentabilidade “aceitável”, indicativo de que os municípios estavam próximo da sustentabilidade hídrica, mediante aos indicadores agropecuários na dimensão econômica e os do tema floresta e recursos hídricos na dimensão ambiental.

Esses resultados indicam a necessidade de atenção aos atores sociais e as autoridades para a necessidade de trabalhar para atingir o resultado ideal. Quanto aos demais componentes, muito ainda precisa ser feito, especialmente os indicadores da dimensão político-institucional, que ainda são pouco difundidos nos municípios.

Ao analisar os municípios individualmente, observou-se no C1, Rondon do Pará, Paragominas e Dom Eliseu com classificação no nível “alerta” para a sustentabilidade hídrica. Vale destacar que em 2005 os municípios de Paragominas e Rondon do Pará foram os maiores produtores de bovino na região (1º e 2º colocados respectivamente), Jacundá o 4º e Dom Eliseu o 6º. Os municípios de Acará, Capitão Poço, Moju e Paragominas no componente C10 (dimensão econômica) ficaram também no nível “alerta” o que exige urgência na tomada de decisão para corrigir os problemas existentes para que a situação não se torne mais insustentável.

Na produção de culturas da lavoura permanente na região, Paragominas foi o 1º lugar, Moju o 4º, Capitão Poço o 5º e Acará o 6º, além do expressivo desempenho na extração vegetal. De acordo com estudo realizado por Souza *et al.* (2018) a produção agrícola temporária e permanente, como também produção na pecuária apresentam impactos positivos para a economia dos municípios paraenses.

Pelos resultados dos componentes C2 (indicadores da dimensão econômica: PIBMerc, PIBInd; da social: NV, PRU, Deng e da ambiental: QretUrb), C5 (indicadores da dimensão econômica: GaG, GaTe da político-institucional: LZIEAmb), C7 (indicadores da dimensão econômica: LTQP e Bub) e C9 (indicador da dimensão político-institucional: PD) os municípios foram classificados em situação de “alerta”. Exceto os municípios de São Francisco do Pará no C2; Benevides, Santa Isabel do Pará e Santo Antônio do Tauá no C5; Acará no C7 e C9; enquanto Bragança, Capitão Poço e Jacundá no C9 ficaram no nível “estado crítico” de sustentabilidade.

São Francisco do Pará foi o 2º município em notificação de casos de dengue na RH-CAN, 618 casos. Acará registrou o maior efetivo de bubalino, 2.500 cabeças, o 10º

maior criador de galinha total e o que mais produziu na lavoura temporária, especialmente as culturas do arroz em casca (9 ton), feijão em grão (39 ton), mandioca (72.000 ton), melancia (ton) e milho (405 ton) com uma área colhida de 41.415 ha.

Os municípios de Benevides, Santa Isabel e Santo Antônio do Tauá no (C5) foram os maiores produtores de galinha total e galináceos na região. Santa Isabel do Pará foi o 1º na criação de galináceos total e galinha, Santo Antônio do Tauá o 4º em galináceo total e 3º galináceos galinhas e Benevides o 2º, nesses municípios não foi identificada legislação sobre zona e/ou área de interesse social, voltada para área ambiental, o que implica em impactos severos no futuro com exceção de Santa Isabel do Pará que possui o instrumento de gestão.

No C9 (indicador da dimensão político-institucional: PD), com exceção dos municípios de Bragança, Capitão Poço e Jacundá, os demais municípios possuíam o PD, conforme seus Estatutos da Cidade e Lei Orgânica do Município. O PD é um instrumento de gestão da política de desenvolvimento urbano, além de integrar o processo de planejamento do município, com ele se busca desenvolver os setores socioeconômico e ambiental dos municípios, daí sua importância na sustentabilidade hídrica dos municípios, logo da região hidrográfica.

Os componentes C3 (indicadores da dimensão econômica: PIBPC, da social: OI e da político-institucional: LZon) e C4 (indicadores da dimensão social: PRR TxUrb e IDEB, da econômica: Sui e da Ambiental: QretRur) apresentaram “estado crítico” de sustentabilidade, quanto aos indicadores das dimensões que o compõem. Apenas o município de Barcarena no C3 ficou em “alerta”, pois apresentou uma dinâmica peculiar a da região, concentrou o maior PIB per capita (R\$ 37.870,00) (IBGE; SIDRA, 2005).

É válido destacar que o PIB per capita quanto maior, mais demonstra como o município é desenvolvido. Entretanto, Barcarena nesse mesmo ano registrou o maior número de óbitos infantis (472 casos). Em relação ao instrumento de gestão o município conta com Lei de Zoneamento que restringe o modelo de estrutura a ser construída em um dado local, as quais podem ser, normalmente, residenciais, comerciais, industriais ou mistas.

O componente C6 (indicadores da dimensão ambiental: TMA e ETo) apesar de ter ficado no nível “alerta”, 45% dos municípios estavam no nível “estado crítico”, ou seja, 55% dos municípios estavam fora do nível “estado crítico” em relação aos indicadores que o compõe.

Como esse componente foi representado por indicadores da dimensão ambiental temperatura e evapotranspiração, ele revelou as menores médias de temperatura do ar em torno de 23°C, logo as mais baixas evapotranspiração, o que evidencia uma relação positiva com a manutenção da sustentabilidade hídrica em torno de indicadores climáticos.

O componente C8 (indicadores da dimensão político-institucional: TxLUrb e TxCLix) conforme os indicadores de sua formação, revelou que 63% dos municípios da RH-CAN estavam no nível “estado crítico”, 10% em “alerta” e 27% no “aceitável”. A classificação desses 16 municípios no nível “aceitável” para a sustentabilidade hídrica pode ser atribuída ao fato de todos os municípios naquele ano possuírem instrumento de tributos de gestão voltados para limpeza pública urbana, como as taxas de limpeza urbana e a de coleta de lixo, geralmente incorporados ao imposto predial e territorial urbano (IPTU), sendo que a sua arrecadação fica no próprio município e deve ser investido em suas melhorias.

Os 6 municípios no nível “alerta” tinham somente um tributo, como Benevides e Santa Luzia do Pará, que na época aplicavam a taxa de coleta de lixo, enquanto Belém, Peixe-Boi, Salinópolis e São João de Pirabas apenas cobravam a taxa de limpeza urbana.

De forma geral a variação no comportamento dos indicadores refletiu diretamente na sustentabilidade hídrica dos locais, em que um município pode apresentar estado aceitável em dado componente e crítico em outro. No conjunto eles refletem nos resultados dos índices $IASH_{Munic.}$ e $IASH_{RH-CAN}$.

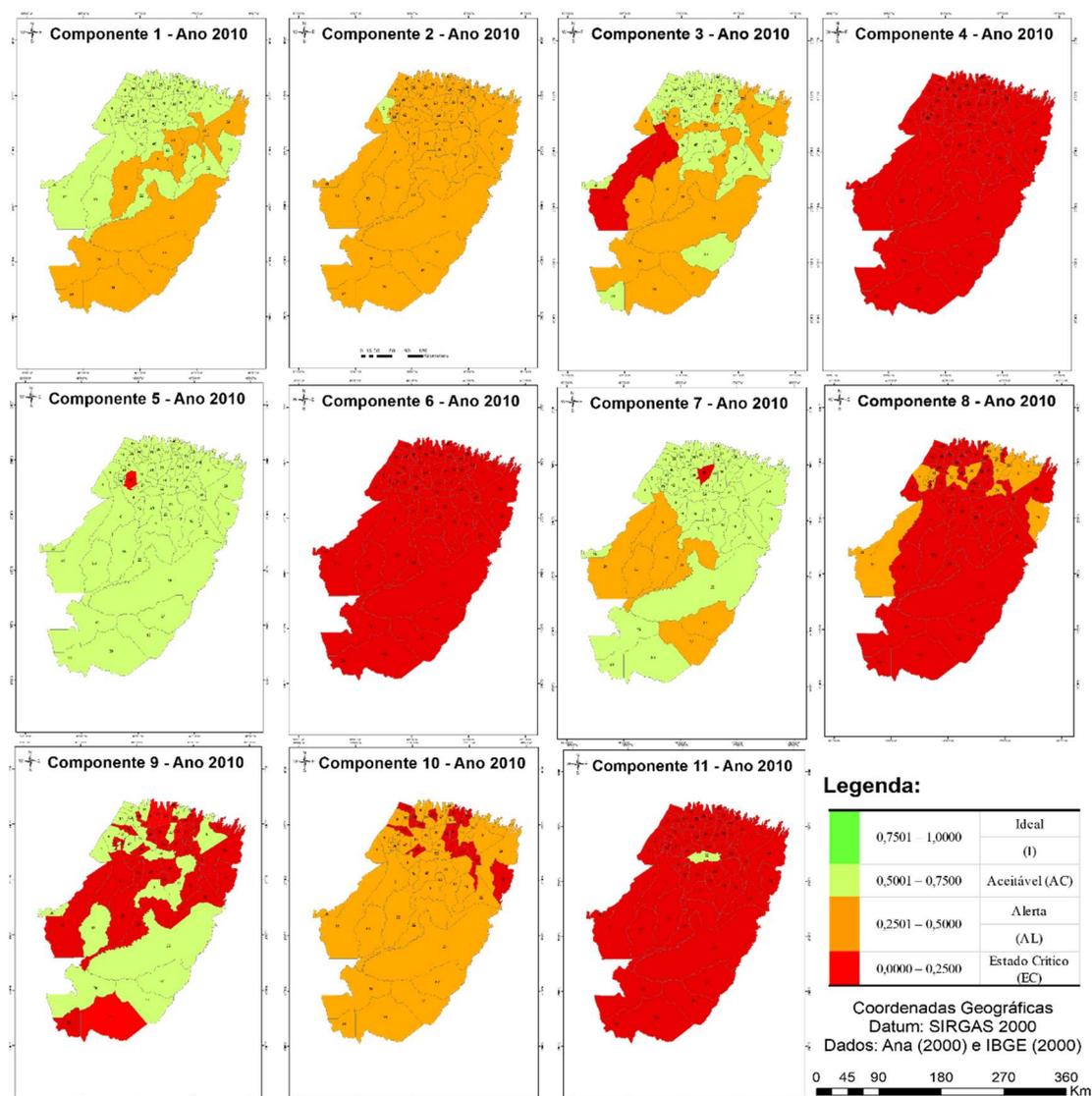
Para o ano 2010 os resultados dos cálculos dos C_{zfinal} obtidos pela Equação (32) geraram revelam que os indicadores não evoluíram de 2005 para 2010, pois os valores médios dos componentes foram abaixo de 0,750, revelando que os municípios não atingiram a sustentabilidade hídrica “ideal”. Os municípios foram classificados em função dos componentes, conforme a escala de Martins; Cândido (2008) e espacializados (Figura 24) que pelas cores associadas ao índice de sustentabilidade se observa que municípios embora distantes geograficamente, apresentaram resultados semelhantes.

O componente C1 (indicadores da dimensão econômica: Bov, Equi, PIBAg, Cap e da ambiental: AT, DesfAcum, AF, DSI e Qretpec) manteve alguns dos indicadores de 2005 e apresentou 13 municípios em estado de alerta, dez a mais comparado a 2005. Da mesma forma o C2 (indicadores da dimensão social: PRU, NV,

OI; da econômica: PIBMerc, PIBInd, e da ambiental: QretUrb), mas não evoluiu significativamente, apenas o município de Belém passou para o nível “aceitável”.

No C5 (indicadores da dimensão econômica: Gat e Gagg) os municípios foram classificados no nível “aceitável” exceto Santa Isabel do Pará que apresentou nível “crítico”. A Figura 24 mostra a espacialização dos componentes conforme o coronário dos níveis de sustentabilidade hídrica adotado.

Figura 24 – Espacialização das Componentes - Ano 2010.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

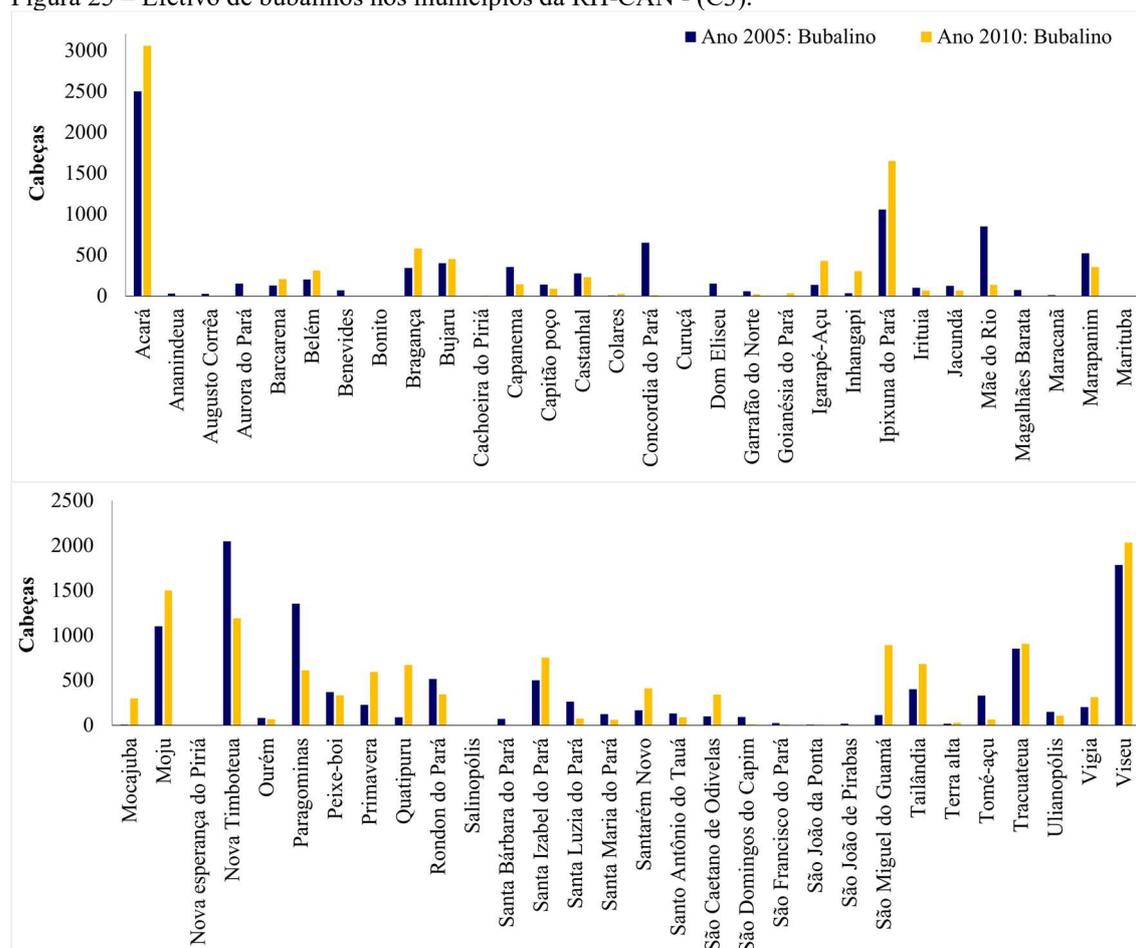
Nesse ano, dentre as 11 componentes, cinco revelaram os municípios no nível “crítico” para a sustentabilidade hídrica, conforme os indicadores que os compõem, como o C4 (indicadores da dimensão social dengue e da econômica PIBPC) e C6 (indicadores da dimensão ambiental: ETo e TMA) ambos com 100% dos municípios;

C8 (indicadores da dimensão político-institucional: TxCLix e TxLUrb) com 77%; C9 (indicadores da dimensão político-institucional: LZon e QExtVeg) com 65% e C11 (indicador da dimensão social: IDEB) com 98% dos municípios, o que remete a necessidade de melhoria nesses indicadores, logo nas suas dimensões.

Embora os municípios nos componentes C3 (indicadores da dimensão econômica: Sui, Bub, LPQP e da ambiental: QretRu) e C7 (indicadores da dimensão econômica: Ovi e da ambiental: ACoAgr) tenham sido classificados no nível “aceitável”, os valores ficaram próximos ao limite mínimo da classificação, o que indica que qualquer mudança em um dos indicadores, vai influenciar o resultado.

Dentre os indicadores do C3 o efetivo de bubalinos foi que aumentou, com mais expressividade nos municípios de Acará, Ipixuna do Pará, Moju, Primavera, Quatipuru, Santarém Novo, São Caetano de Odivelas e São Miguel do Guamá (Figura 25).

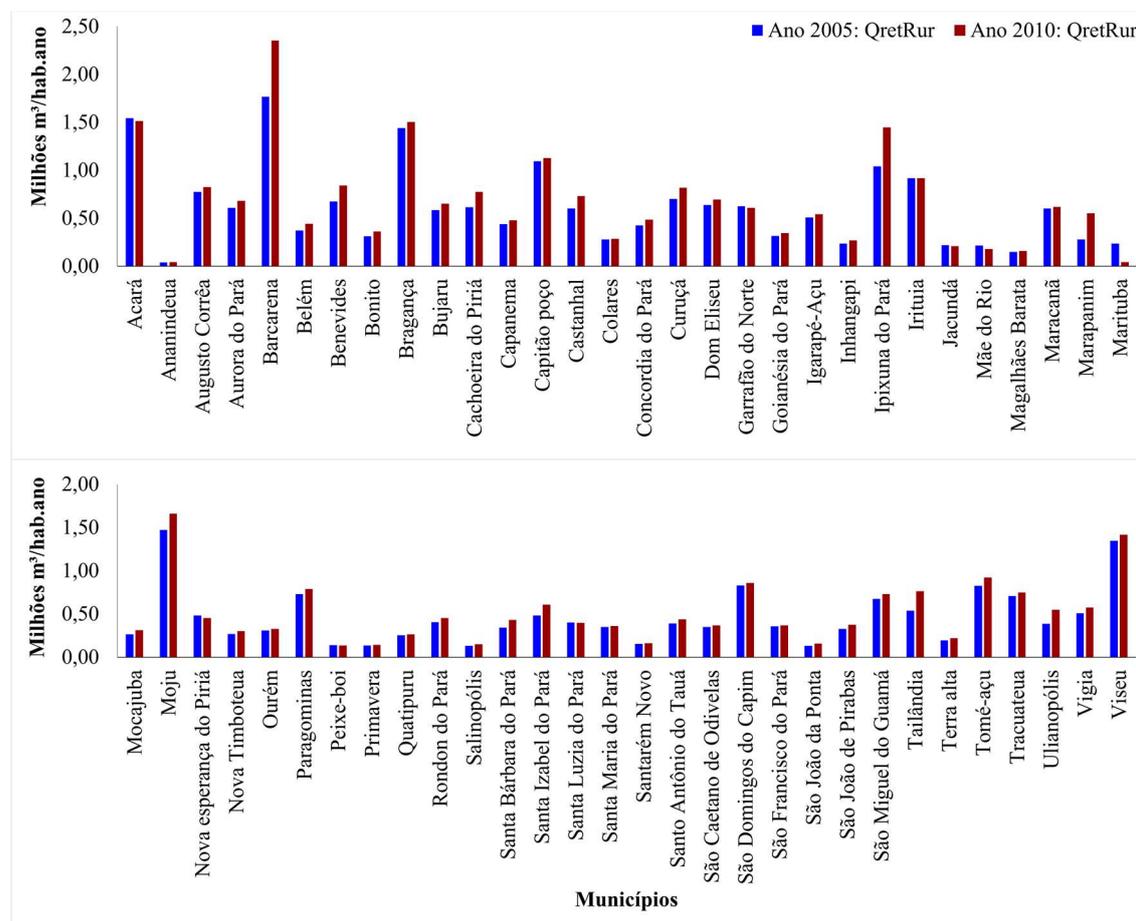
Figura 25 – Efetivo de bubalinos nos municípios da RH-CAN - (C3).



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Outro indicador a destacar é a QretRur que aumentou (Figura 26) em 93% dos municípios, contudo, nessa análise não se considerou a forma de distribuição de água, mas a necessidade humana, ou seja, todos os habitantes consomem água de alguma forma.

Figura 26 – Retirada de água para consumo humano rural.

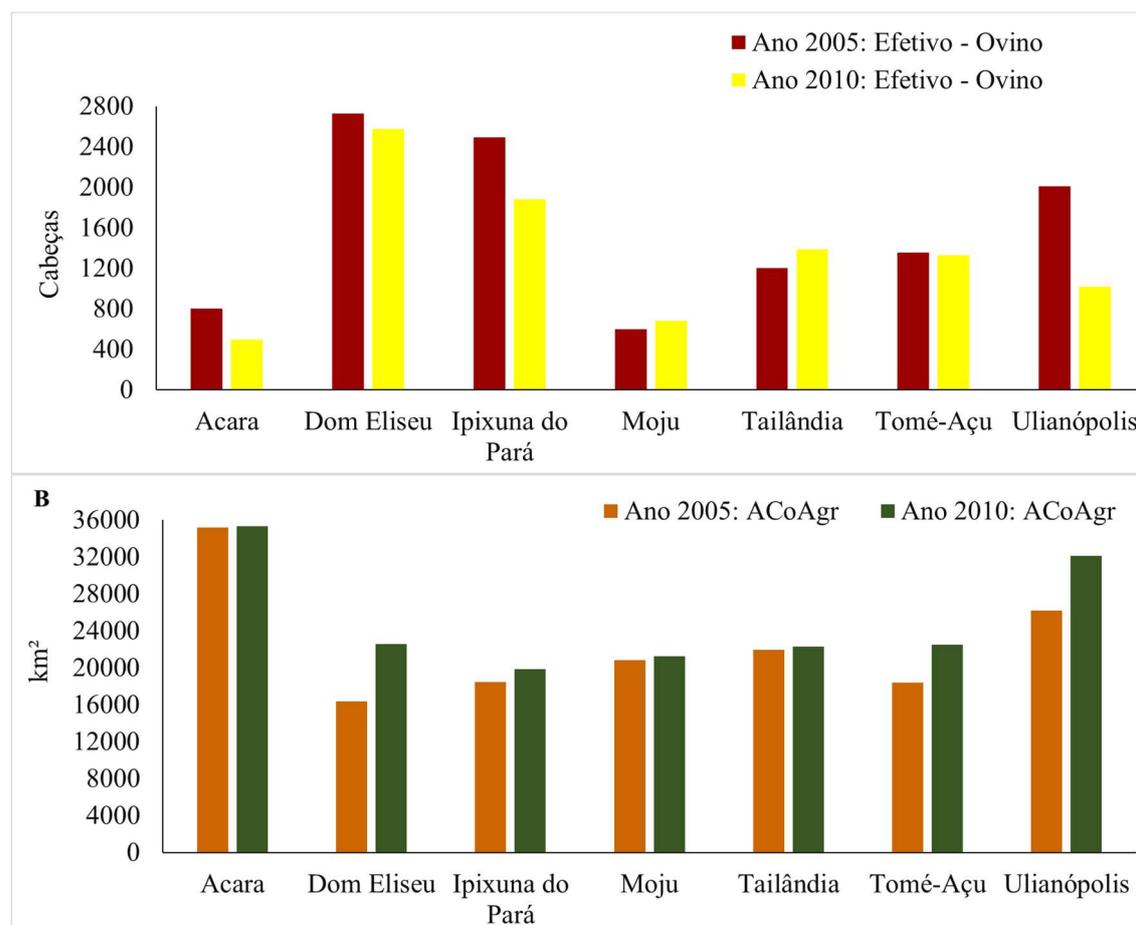


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

No componente C7 (indicadores da dimensão econômica: Ovi e da ambiental: ACoAgr), destacaram-se os municípios Acará, Dom Eliseu, Ipixuna do Pará, Moju, Tailândia, Tomé-Açu e Ulianópolis classificados no nível “alerta”, neles conforme a Figura 27 (A), se observa a diminuição do efetivo de ovino, exceto nos municípios de Moju e Tailândia, enquanto na Figura 27 (B) verifica-se que não ocorreu uma intensificação da área colhida, isso implica no crescimento da produção que depende da expansão da área cultivada e do aumento da produtividade.

Essa situação indica que a variação num indicador pode influenciar em outros, dando a ideia de uma troca ou compensação no consumo.

Figura 27 – Evolução dos indicadores do C7 para os municípios com nível “alerta”.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O município de Igarapé-Açu foi o único no nível “estado crítico”, nele houve um aumento no efetivo de suíno e na área colhida na agricultura (lavoura temporária e a permanente). As culturas produzidas no ano 2005 foram: na lavoura temporária - abacaxi, arroz em casca, feijão, mandioca, melancia e milho, e na lavoura permanente as culturas de coco, dendê, laranja, limão, maracujá, mamão e pimenta-do-reino, sendo a produção do dendê, da pimenta-do-reino e da mandioca que elevaram as áreas plantadas/colhidas.

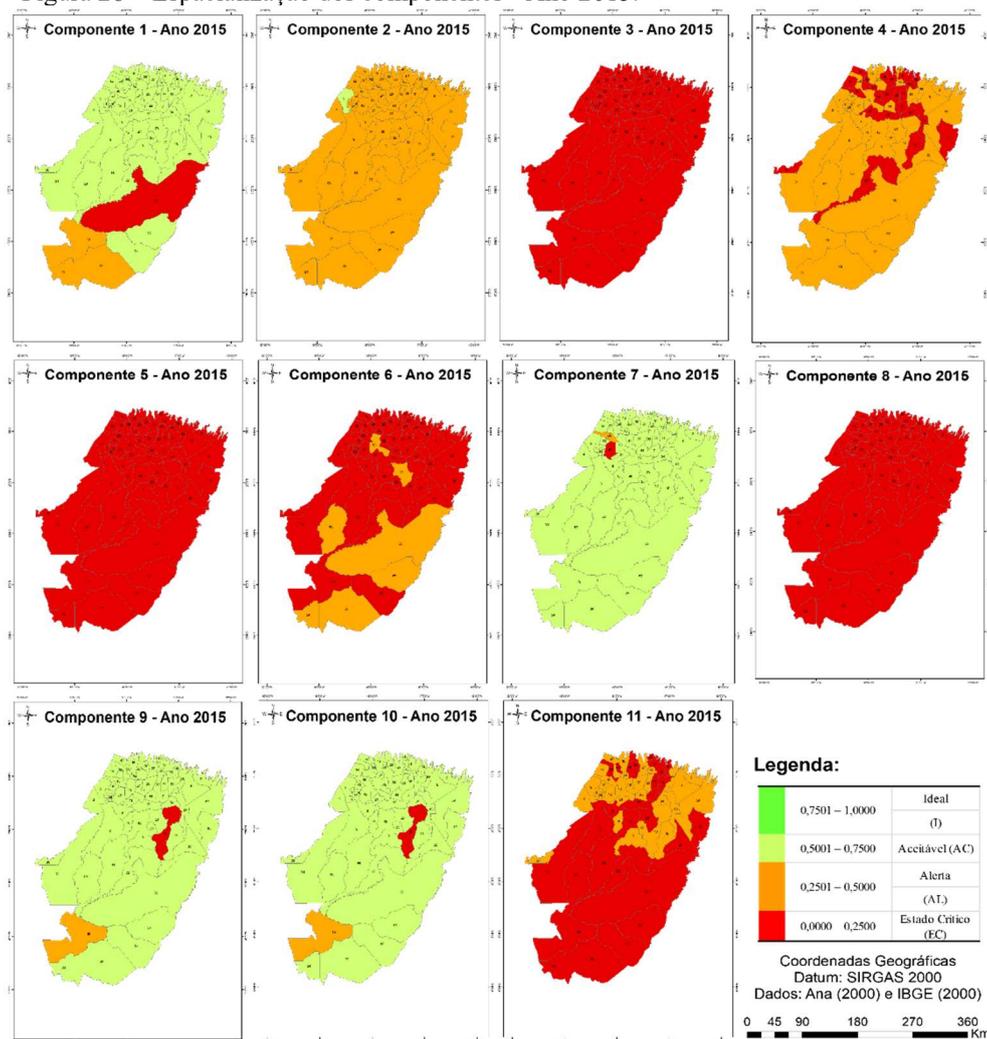
Segundo Vieira *et al.* (2007), no município de Igarapé-Açu a agricultura familiar é bastante desenvolvida, sendo a lavoura da mandioca a mais praticada, pelo fato de ser rústica e de fácil cultivo, além de contribuir na alimentação.

No C10 (indicadores da dimensão ambiental: IncDesm e da político-institucional: PD) os municípios ficaram no nível “alerta”, exceto Bonito, Cachoeira do Piriá, Inhangapi, Magalhães Barata, Nova Timboteua, Ourém, Peixe-Boi, Primavera, Quatipuru, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São João da Ponta, São João de Pirabas e Terra Alta, que ficaram no “estado crítico” de sustentabilidade hídrica.

O município de São João de Pirabas teve o maior incremento no desflorestamento 200 km², Terra Alta o 2º com 171 km² e Cachoeira do Piriá o 5º que apesar de ter diminuído ainda foi elevado com 56,20 km². São João da Ponta, Bonito, Magalhães Barata, Peixe-Boi e São Caetano de Odivelas apresentaram um incremento no desflorestamento de 1 a 2 km², os demais municípios conseguiram zerar o desflorestamento. Na dimensão político-institucional nenhum município contava com o instrumento de gestão, plano diretor (PD).

Para o ano de 2015, um novo cenário é apresentado pelos componentes para os municípios da RH-CAN, de modo que os componentes foram espacializados e classificados quanto aos níveis da sustentabilidade hídrica, que resultou na Figura 28. Embora os municípios no C1 tenham melhorado as condições de sustentabilidade em função dos indicadores que o compõem no ano de 2015 em relação a 2010, o município de Paragominas permaneceu no nível “estado crítico”.

Figura 28 – Espacialização dos componentes - Ano 2015.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

A análise do C1 (indicadores da dimensão econômica: Bov, Ovi, Sui, Equ, e QExtVeg e da ambiental: AF, QretPec, DesfAcum e AT) mostrou que 93% dos municípios obtiveram classificação no nível “aceitável” de sustentabilidade. Os do C7 (indicadores da dimensão econômica: GaGG e GaT) e C10 (indicador da dimensão econômica: Cap) apresentaram os melhores resultados, mas não atingiram o nível “ideal” da sustentabilidade.

Os componentes C4 (indicadores da dimensão político-institucional: LZIEAmb, LZon, LParcSol e PD), C5 (indicadores da dimensão econômica: LPQP e da político-institucional: TxCLix e TxLUrb) e C8 (indicadores da dimensão social: PRR e da econômica: PIBPC) apresentaram os menores valores, esse resultado revela que os indicadores da dimensão político-institucional não foram implementados e sua ausência impossibilita que os municípios atinjam o nível máximo da sustentabilidade hídrica.

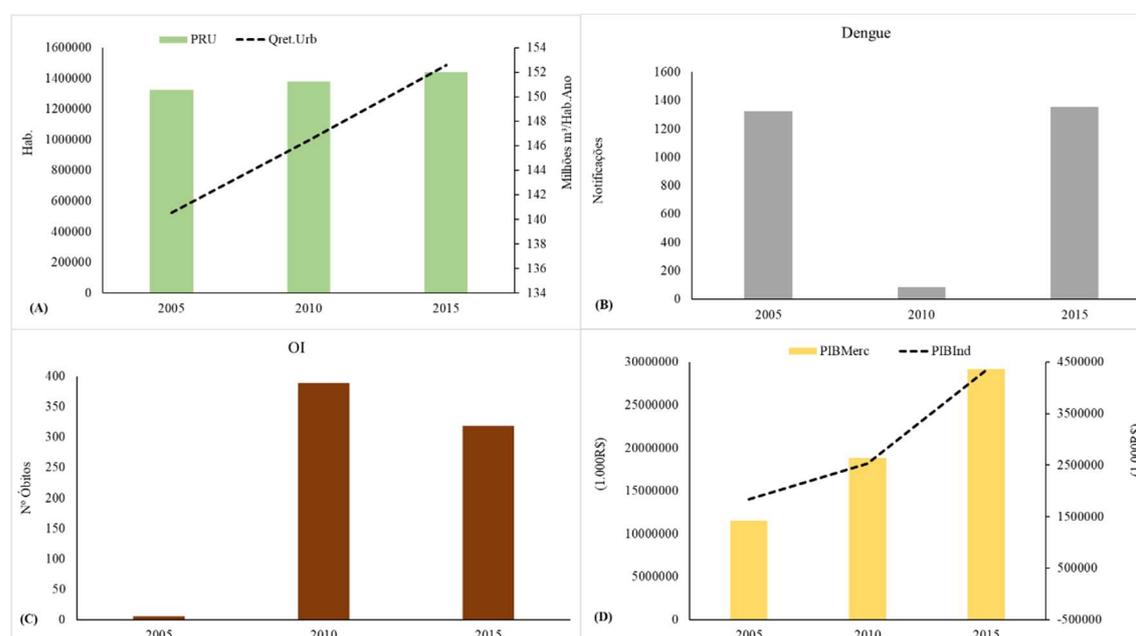
Nota-se ainda que nos componentes C3 (indicadores da dimensão social: IDEB, da econômica: LTQP e PIBAgr e da ambiental: DSI eACoAgr) C5, C6 (indicadores da dimensão ambiental: TMA e Eto), C8 (indicadores da dimensão social: PRR e da econômica: PIBPC) e C11 (indicador da dimensão ambiental: IncrDesm) ficaram no nível “estado crítico”. Enquanto o C2 (indicadores da dimensão social: PRU, Deng, NV e OI), C4 (indicadores da dimensão político-institucional: LZIEAmb, LZon, LParcSol e PD) e C9 (indicador da dimensão econômica: Bub) foram classificados no nível “aceitável”, da mesma forma o C1, e C7. Esses resultados mostram que os municípios precisam melhorar o desempenho dos indicadores.

Os municípios nos componentes C3, C5 e C8 revelaram “estado crítico” para a sustentabilidade hídrica, ou seja, os indicadores - quantidade produzida na lavoura permanente, efetivos de bubalino e suíno, vazão de retirada de água para o consumo rural no C3; efetivos de galináceos total e galinhas no C5 e taxas de coleta e limpeza de lixo no C8. Destes, a quantidade produzida na lavoura permanente, efetivos de galináceos total e galinha, e vazão de retirada para o consumo humano rural registraram um leve aumento em seus valores.

Nos componentes C2 (indicadores da dimensão social: população residente urbana, dengue, nascidos vivos, óbitos infantis; econômica: PIB industrial, PIB de mercado e ambiental: vazão de retirada de água para o consumo humano urbano) e C9 (indicador da dimensão social: efetivo de bubalinos) os municípios foram classificados no nível “alerta”, com exceção de Belém no C2 que apresentou nível “aceitável”, Tracuateua e Vigia no C9 evidenciaram o nível “estado crítico”.

A análise desses municípios a partir dos indicadores que integram os componentes, se observa que em Belém os indicadores que apresentaram relação positiva com o índice, melhoraram seu desempenho, como o crescimento da população urbana, mas com reflexo na demanda de água para o consumo humano, que pressiona o sistema (Figura 29 – A). Os casos de dengue (Figura 29 - B) aumentaram e os de óbitos infantis (Figura 29 - C) diminuíram, ambos possuem relação negativa com os índices, enquanto os indicadores relativos à economia melhoraram (Figura 29 – D). Isso mostra que os indicadores OI e Qret.Urb foram os que mais influenciaram nos resultados.

Figura 29 – Evolução dos indicadores do C2 para o município de Belém.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

No componente C4 (lei de zoneamento de interesse especial ambiental, lei de zoneamento, lei de parcelamento do solo e plano diretor) observa-se elevado número de municípios no nível de “alerta”, contudo, se manteve uma quantidade de municípios no nível “crítico” com valores relativamente baixos (Bonito, Cachoeira do Piriá, Colares, Garrafão do Norte, Igarapé-Açu, Inhangapi, Ipixuna do Pará, Magalhães Barata, Maracanã, Nova Timboteua, Ourém, peixe-Boi, Quatipuru, Santa Luzia do Pará, Santo Antônio do Tauá, São Caetano de Odivelas, São Francisco do Pará, São João da Ponta, São João de Pirabas, São Miguel do Guamá e Terra Alta) e são os que revelaram ausência dos instrumentos de gestão.

Os municípios no C6 (TMA e ETo) foram classificados em níveis “alerta” a “estado crítico”, neste somam 23. Nesse componente o indicador TMA não apresentou

variação expressiva em relação a 2010, diferente da comparação com 2005. Em 2015 ocorreu um aumento da ETo em relação ao ano anterior (2010), mas que não superou o primeiro ano (2005), dada a importância da evapotranspiração para o uso eficiente da água.

Os componentes C7 (GaGG e GaT) e C9 (efetivo de bubalinos) ambos formados por indicadores da dimensão econômica, relativos à pecuária, revelaram os melhores resultados para os municípios, nível de sustentabilidade hídrica “aceitável”, exceto o município de Santo Antônio do Tauá que ficou no nível “alerta” e Santa Isabel do Pará no nível “estado crítico”. No C9 os municípios de Goianésia do Pará registraram nível “alerta” e Capitão Poço nível “estado crítico”.

Os municípios em “estado crítico”, como o de Santa Isabel do Pará e Capitão Poço no C10 foi resultado do aumento do efetivo de galináceo galinha e de caprino, respectivamente. Não diferente dos C4 e C6, no C11 46,67% dos municípios registraram nível “estado crítico” e os 53,33% ficaram no nível “alerta”, esse componente revelou a situação dos municípios em função de um único indicador, incremento no desmatamento.

Em estudo desenvolvido por Tamasauskas *et al.* (2016) nas bacias dos rios Caripi e Igarapé Açu nos municípios de Marapanim e Igarapé-Açu, respectivamente, evidenciaram que a sustentabilidade hídrica depende inteiramente da análise de fatores integrados, onde o desmatamento e o reflorestamento, podem afetar os processos hidrológicos e influenciar a disponibilidade hídrica, logo da importância do indicador incremento no desmatamento no C11.

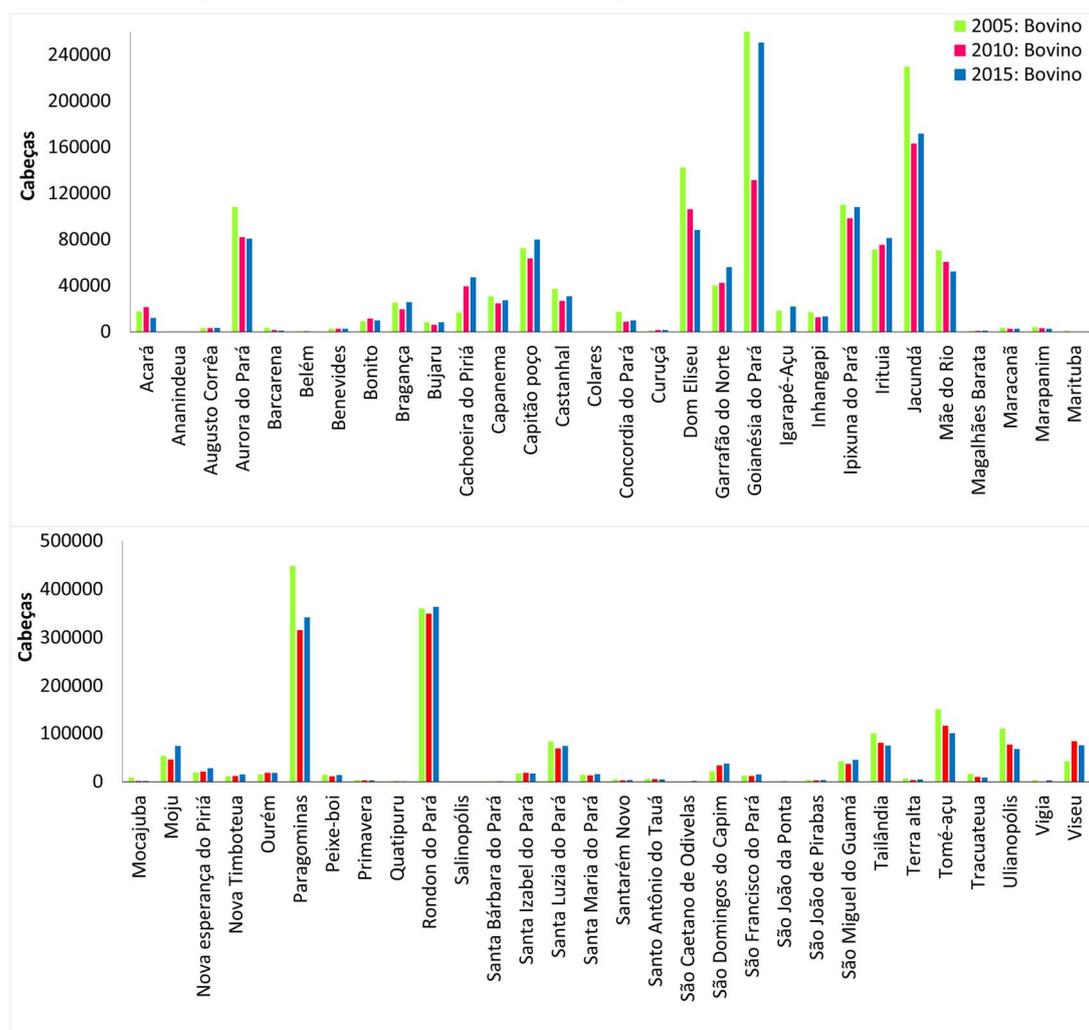
Observa-se a importância do desmatamento, como evidenciado no estudo de Vale e Bordalo (2016) na bacia hidrográfica do Rio Apeú localizada entre os municípios de Castanhal, Santa Isabel e Inhangapi, que demonstrou a associação entre o desmatamento e à fragilidade dos solos, ao comportamento das chuvas, ao pisoteio do gado, às explorações de areais, piçarras e pedras e ao solo exposto, bem como a necessidade de implementação de uma política que prime pela efetiva gestão descentralizada e participativa.

Segundo o estudo realizado por Rivero *et al.* (2009), a pecuária bovina é a atividade mais fortemente correlacionada com desmatamento para os municípios da Amazônia, ele encontrou um coeficiente de correlação de 0,7345 entre o número de cabeças de gado e o desmatamento. Resultado similar foi identificado no presente estudo 0,87 nos três anos de estudo.

O desmatamento ou desflorestamento, na Amazônia brasileira, tem como principais causas diretas a pecuária, a agricultura de larga escala e a agricultura de corte e queima, visto que o desmatamento é um indicador do avanço das atividades agrossilvipastoris e da ocupação antrópica, em geral, nas áreas recobertas por florestas no Norte do Brasil (NEVES *et al.*, 2014).

Destaca-se que a região nordeste paraense é onde se concentra o maior índice de desflorestamento da Amazônia brasileira, sendo que os municípios Rondon do Pará, Tailândia, Paragominas, Dom Eliseu e Ulianópolis além de integrarem o arco do desmatamento estão entre os municípios com o maior rebanho bovino do estado e com as maiores taxas de desmatamento (CABRAL; GOMES, 2013). A Figura 30 mostra os efetivos de bovinos por município da RH-CAN.

Figura 30 – Desempenho do efetivo de bovino nos municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os municípios que foram os maiores criadores de bovino se observou que seus

efetivos reduziram nos anos 2010 e 2015 comparados a 2005. De modo que Goianésia do Pará, Jacundá, Paragominas e Rondon do Pará apresentaram os melhores resultados no setor nos três anos, mas não superaram o do ano 2005. Contudo, municípios que antes não tinham essa atividade tão expressiva como Cachoeira do Piriá, Moju e Viseu se mostraram bastante promissores.

O desenvolvimento da pecuária em especial a leiteira vem evoluindo substancialmente nas três últimas décadas na Amazônia, a partir da implantação de agroindústrias em regiões de fronteira, devido à possibilidade de ser desenvolvida em sistemas produtivos mistos (carne e leite), capacidade de gerar produção e renda, além da disponibilidade de políticas de crédito de fomento (SOARES *et al.*, 2019).

Nesse contexto, municípios como Ipixuna do Pará, Aurora do Pará e Mãe do Rio se destacaram na pecuária bovina de corte e de leite (Alves *et al.*, 2017), assim como Paragominas e Rondon do Pará (SOARES *et al.*, 2019).

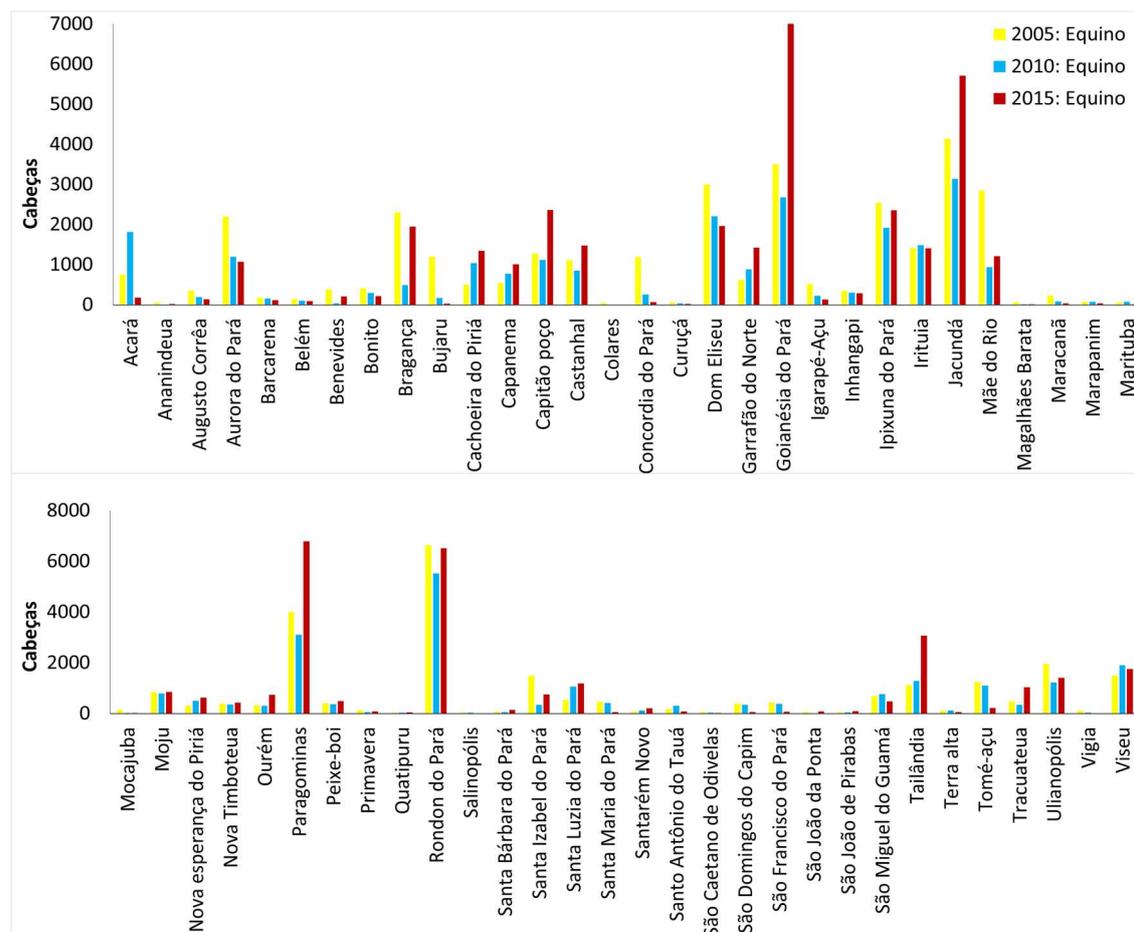
Em Dom Eliseu, Ipixuna do Pará e Tomé Açu, o setor agropecuário, contribuiu com 19% na composição do valor adicionado da região do Capim (região de integração - divisão político administrativa estadual), sendo a pecuária com 43%. Goianésia do Pará tem como principal atividade a pecuária (PARÁ, 2019), da mesma forma o município de Jacundá a pecuária extensiva, além de integrar o arco do desmatamento (AMAZÔNIA, 2020).

Em 2015 o estado do Pará teve o quinto maior rebanho nacional e o segundo da região norte, contudo nele existe uma grande heterogeneidade nos sistemas de produção, os 24 municípios com classificação nível muito baixo estão localizados no nordeste paraense e no Arquipélago de Marajó, regiões onde predominam, respectivamente, a agricultura de subsistência e sistemas pecuários extensivos, com uso de pastagens nativas (SANTOS *et al.*, 2017).

Dos municípios da RH-CAN somente o município de Paragominas obteve sistemas de produção com maior nível. De modo geral os municípios da região, não constam na lista dos maiores detentores de efetivo de bovino do estado, com exceção de Paragominas (LÁU, 2006).

Diferente do desempenho do efetivo de bovino, o equino foi uma das espécies que se destacou em 2015 (Figura 31), os municípios de Goianésia do Pará, Jacundá e Paragominas apresentaram os maiores efetivos.

Figura 31 – Desempenho do efetivo de equino nos municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Distinta das dinâmicas territoriais do dendê e da soja, a pecuária no estado do Pará não apresenta áreas em que a atividade tenha sido finalizada, mas, os dados apontam para a dinâmica de crescimento do rebanho, que muitas vezes dá-se a ritmo acelerado; outras se mantêm mais regular, com pouca variação entre crescimento e declínio; contudo, existem aquelas em que esse ritmo apresentou um considerável declínio, ainda que haja manifestações diversas desse processo (MIRANDA *et al.*, 2016).

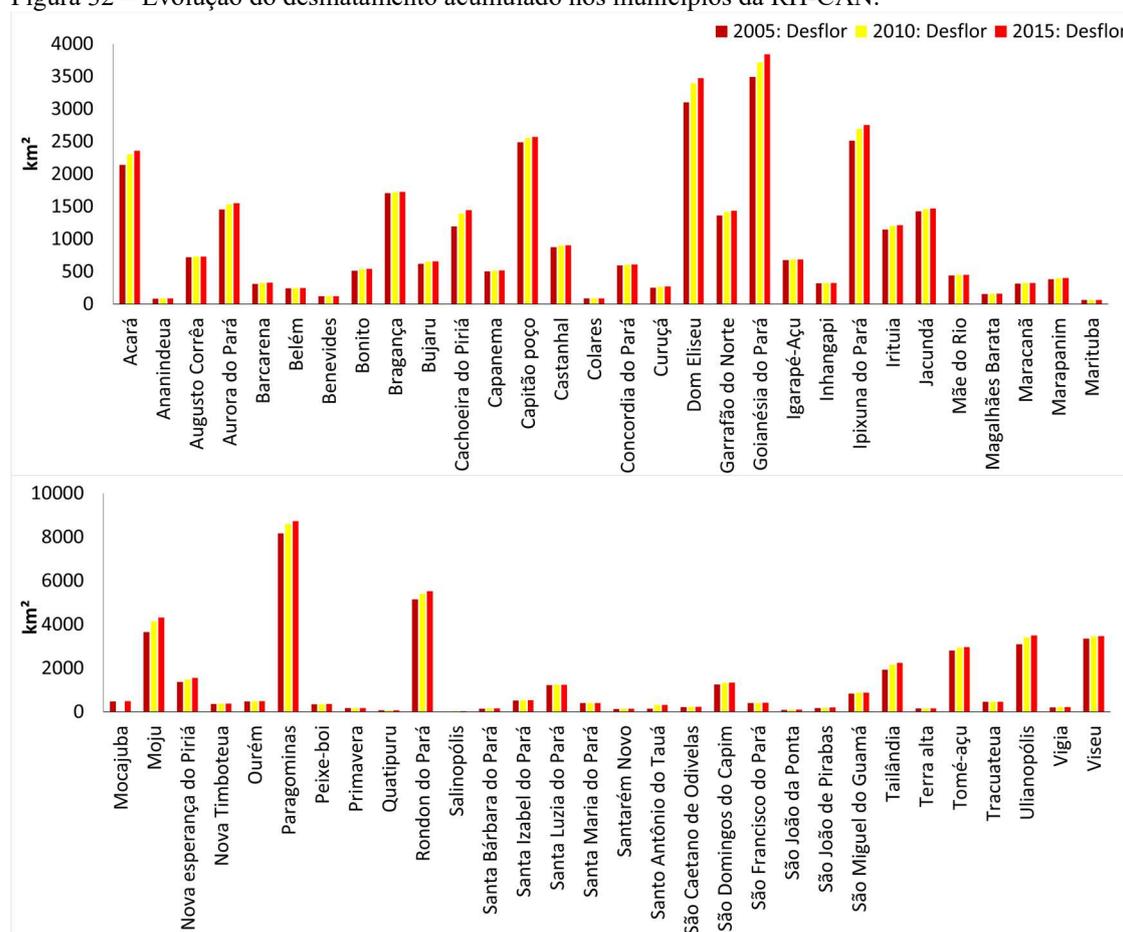
Estudos evidenciaram que os índices de desmatamento na primeira década do ano 2000 teve uma queda após o ano de 2004 nos principais estados (Mato Grosso, Pará e Rondônia) da Amazônia Legal, fato este atribuído as políticas do governo que implementaram planos que foram fundamentais para a redução do desmatamento em 2004 (PPCDA) e em 2008 (Plano Amazônia Sustentável - PAS), que atingiram uma redução em mais de 25% até 2010 (CASTELO, 2015), se mantendo em 2015 (MELLO, 2017), conforme fase III do PPCDAm 2012 a 2015.

Em estudo realizado por Coelho *et al.* (2018) na Mesorregião Nordeste Paraense em que considerou apenas a área desmatada até o ano de 2008, a classe denominada de ‘pasto’ correspondeu a 41,4%, que foi explicado pelo modelo de produção adotado na região, que se baseia em criação de bovinos de forma extensiva, revelando a relação da atividade da pecuária com o desmatamento.

Somam para o desmatamento a grande diversidade de atividades que adicionam para a relevância desses dados, acentuando atividade da indústria madeireira, a monocultura e a agropecuária (CORDEIRO *et al.*, 2017; DAMIANI *et al.*, 2020; PRATES; BACHA, 2011). Embora haja indicação que o impacto hidrológico do desmatamento seria menor que o imaginado, o oposto é verdadeiro (FEARNSIDE, 2020) e atenção deve ser dada ao problema.

A Figura 32 mostra os resultados do desmatamento na RH-CAN nos três anos de estudo, onde se destacaram os municípios de Acará, Capitão-Poço, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Igarapé-Açu, Paragominas, Moju e Rondon do Pará com aumento da área desmatada em cada ano de estudado.

Figura 32 – Evolução do desmatamento acumulado nos municípios da RH-CAN.

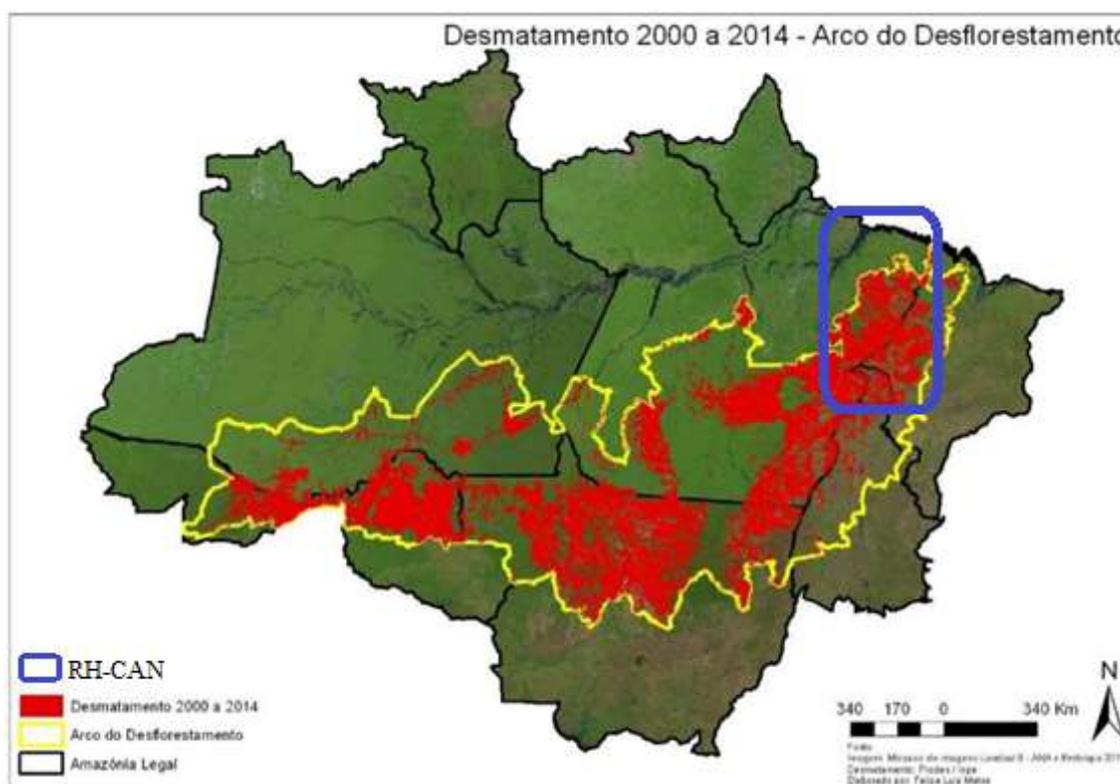


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Observa-se que o desempenho do indicador DesFlor tem relevância na sustentabilidade hídrica, visto que pode interferir nos processos hidrológicos e biogeoquímicos da região.

De modo a destacar que os municípios Dom Eliseu, Paragominas, Rondon do Pará e Tailândia além da atividade pecuária, também são produtores de soja e compõem a lista dos municípios do arco do desmatamento, sendo a pecuária extensiva uma das responsáveis pelo desmatamento (LÁU, 2006). A Figura 33 mostra a área desmatada na RH-CN inseridas no arco do desmatamento.

Figura 33 – Desmatamento na RH-CAN no arco do desmatamento.



Fonte: Adaptado de (MATOS, 2016).

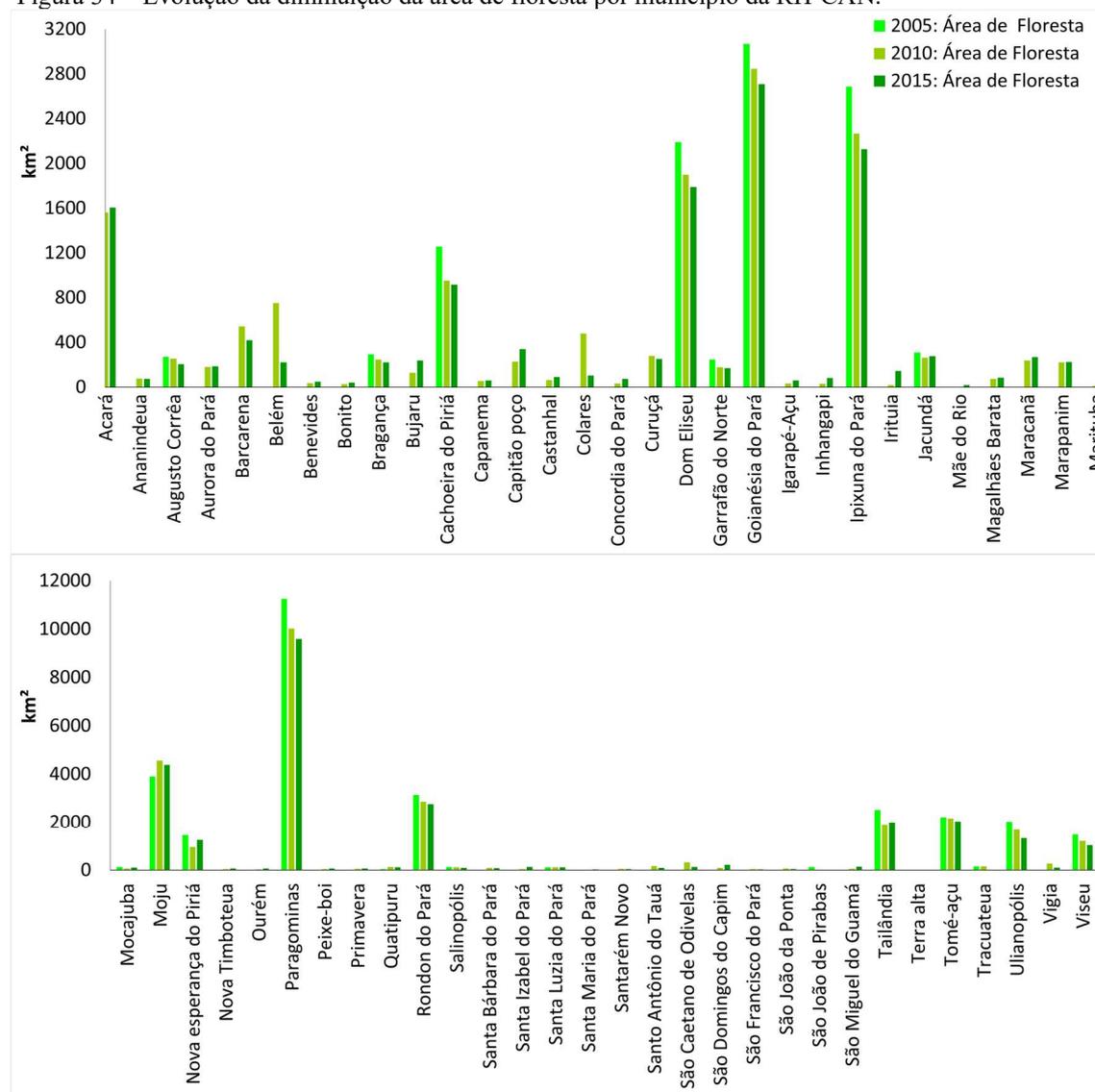
Com o desmatamento emergem consequências que interferem não apenas nos aspectos ambientais, pois, no momento, em que o equilíbrio do ambiente é perturbado, seus efeitos repercutem nos aspectos produtivos da sociedade (EVANGELISTA, 2011), além da diminuição da área de floresta, como registradas na região no período de estudo em que o município de Paragominas foi o mais atingindo.

Estudo realizado por Dias *et al.* (2018) na bacia do Rio Capim, composta pelos municípios São Domingos do Capim, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas, Ulianópolis, Goianésia do Pará, Dom Eliseu e Rondon do Pará, no período de 2004-

2014, mostrou uma redução nas classes desmatamento e área de floresta, enquanto as classes como mosaico de ocupações, agricultura e pastagem tiveram incremento no período estudado.

Embora os dados da área de floresta não sejam reflexos apenas do desmatamento por corte raso (CAMARA *et al.*, 2013), pela Figura 34 observa-se que a área de floresta remanescente na maioria dos municípios tende a diminuir ao passar dos anos, especialmente nos municípios com as maiores taxas de desmatamento.

Figura 34 – Evolução da diminuição da área de floresta por município da RH-CAN.

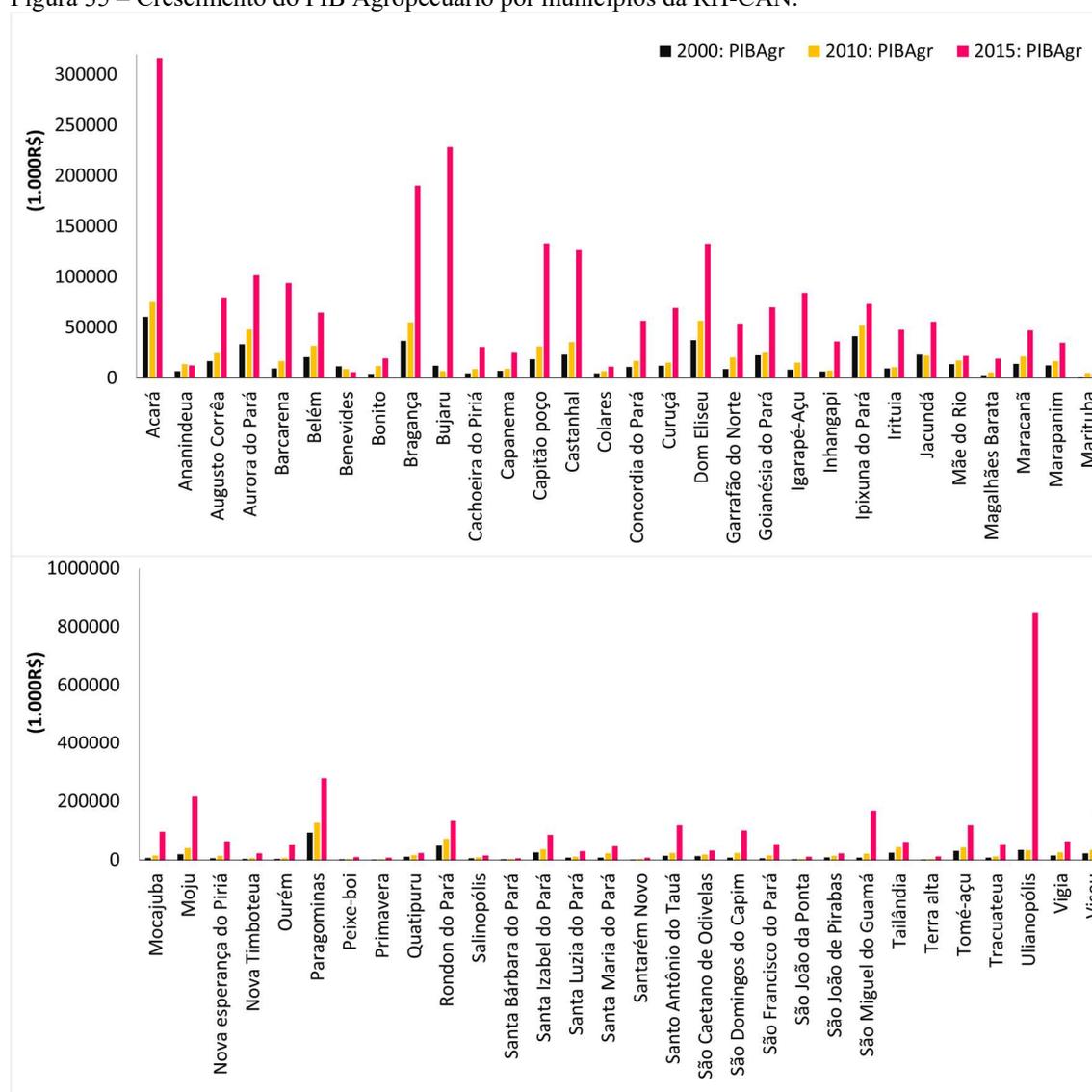


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Esses resultados de desmatamento e de redução da área de floresta podem ser relacionados também aos investimentos no setor agropecuário pelo PIBAgr por

município, como observado na Figura 35, especialmente, os municípios Acará, Bragança, Bujaru, Dom Eliseu, Moju, Paragominas e Ulianópolis.

Figura 35 – Crescimento do PIB Agropecuário por municípios da RH-CAN.



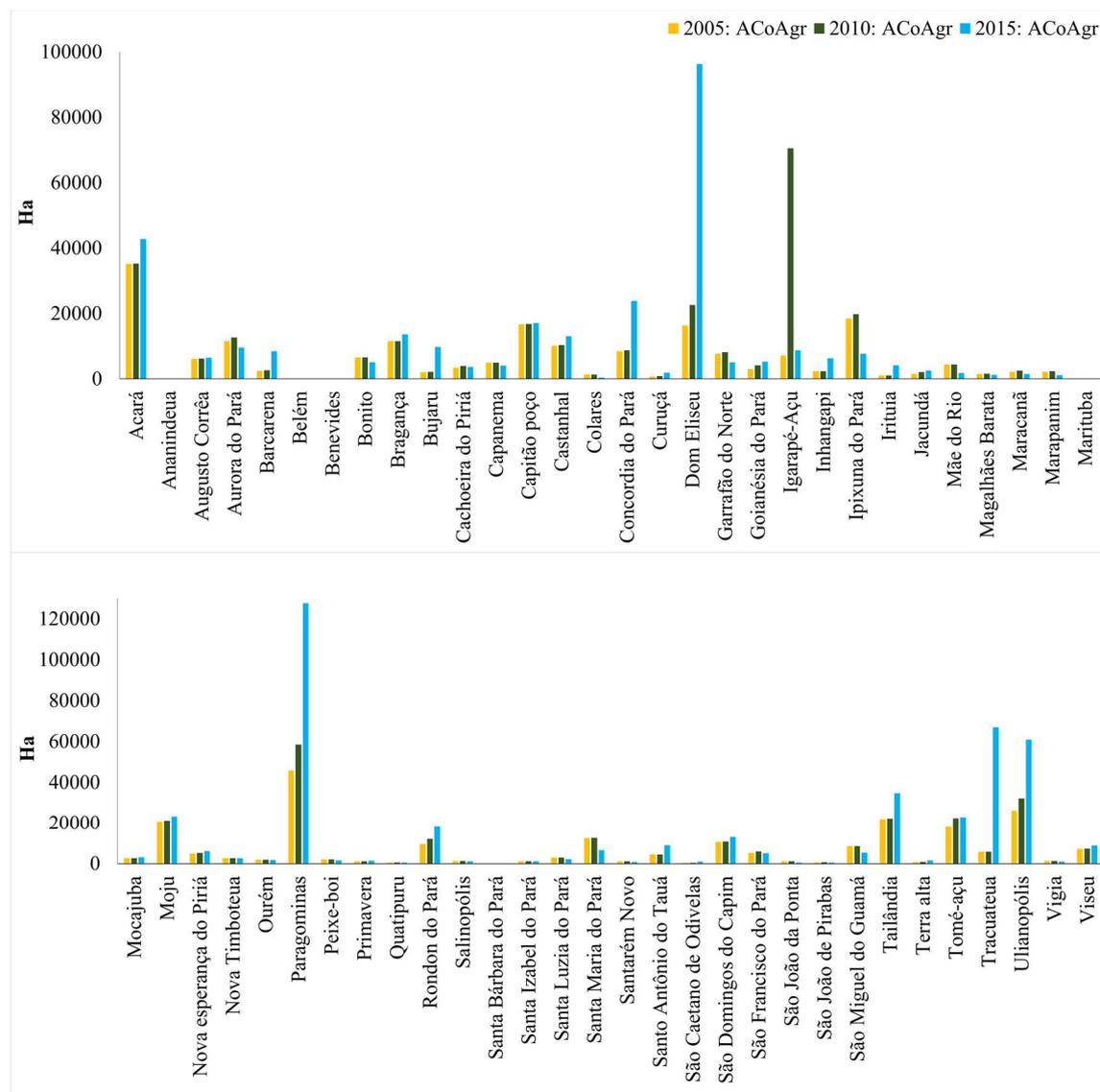
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Contudo, na Amazônia Legal as causas principais da ocupação econômica são a expansão da malha rodoviária e o crescimento populacional, sendo a atividade agropecuária a principal causa imediata do processo de desmatamento (MELLO; ARTAXO, 2017).

Outro indicador relevante foi a área colhida na agricultura (ACoAgr), que, conforme a Figura 36, os municípios de Concórdia do Pará, Dom Eliseu, Paragominas, Tailândia, Tracuateua e Ulianópolis apresentaram crescimento desse indicador. Barcarena e Bujaru também tiveram suas áreas colhidas aumentadas, porém em menor

proporção as anteriores, enquanto Igarapé-Açu e Ipixuna do Pará registraram diminuição.

Figura 36 – Evolução da área colhida na agricultura nos municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

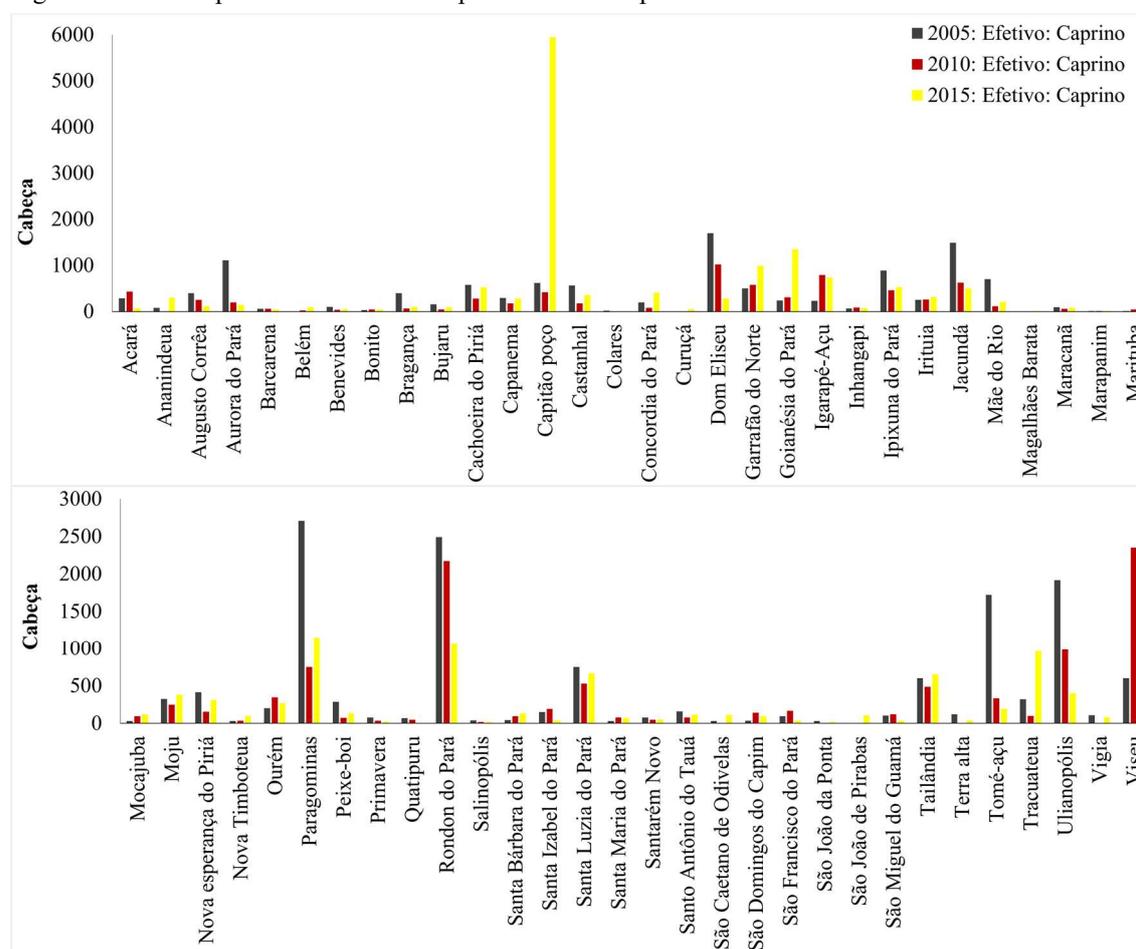
O indicador efetivo de caprino em 2010 apresentou diminuição no número de cabeças na maioria dos municípios. Em 2015 registrou aumento, mas não superou o ano de 2005, com exceção de Capitão Poço que o aumento foi expressivo comparado a 2010.

No Brasil a atividade de criação de caprinos está vinculada, principalmente, a agricultura familiar, quando comparados à bovinocultura, é uma atividade que exige uma menor necessidade de investimentos para implantação e manutenção, possuindo grande relevância para economia (SANTOS, 2019).

Dentre os três maiores rebanhos de caprinos localizados fora da região Nordeste, um deles está no Pará (81.546 cabeças) e os outros dois no Paraná e Minas Gerais (MAGALHÃES *et al.*, 2020).

A criação de ovino e caprinos no estado do Pará se deu, principalmente, pela produção rural familiar e inseridos nesse contexto, destacam-se os municípios de Castanhal (HELMER *et al.*, 2020), Capanema (MELO *et al.*, 2020), Bragança (GALVÃO *et al.*, 2020). A Figura 37, mostra o efetivo de caprino por município da RH-CAN.

Figura 37 – Desempenho do efetivo de caprino nos municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O efetivo de caprino na RH-CAN, apresentou crescimento na maioria dos municípios, sendo Capitão Poço com o maior efetivo em 2015, enquanto Paragominas, Rondon do Pará, Tomé-Açu e Ulianópolis que em 2005 eram os maiores criadores, registraram redução do indicador.

Em estudo realizado na bacia do Rio Benfica, no município de Benevides, Alves *et al.* (2019) identificaram problemas ambientais associados ao uso e ocupação do solo, como: erosão, assoreamento, desmatamento, degradação do recurso hídrico, danos causados pela degradação do solo, principalmente, os resultantes do descarte inadequado de resíduos sólidos, da mesma forma os efluentes sem o devido tratamento, que resultam em contaminação dos corpos hídricos.

Braga *et al.* (2019), afirmam que na bacia hidrográfica do Rio Moju as áreas de floresta convertidas em pastagem e área antropizada foram decorrentes de demandas econômicas (inter)nacionais, que ocasionou alterações na paisagem da região.

No município de Marapanim Alves *et al.* (2018) observaram alteração em relação ao uso e ocupação do solo na região da água doce – zona rural, entre os anos 2008 a 2010, que corresponderam a área mais populosa do município e onde se concentrou o maior número de agricultores itinerantes, e sugeriram que essa alteração ocorreu em função da ação destes trabalhadores no local.

Na sub-bacia do Rio Apeú situada entre os municípios de Castanhal, Santa Isabel do Pará e Inhangapi, Silva *et al.* (2020) identificaram cinco classes de uso e ocupação: vegetação densa, vegetação secundária, vegetação rasteira (formada por pastagens e culturas), solo exposto (composta por áreas urbanas e solo sem cobertura vegetal) e corpos d'água (lagos e açudes). Dessas, a vegetação rasteira e solo exposto predominaram na sub-bacia.

Na bacia do Rio Igarapé-Açu localizada nos municípios de Igarapé-Açu e Marapanim, dentre os usos da terra de modo geral estabelecidos destacaram-se: a agropecuária (com predominância da atividade agropecuária representada pela pecuária bovina e extensiva, além do cultivo de dendê), uso urbano, agricultura familiar e disposição inadequado do lixo, essas formas de uso no interior da bacia conflitaram com às áreas definidas como de preservação permanente (SANTOS *et al.*, 2019).

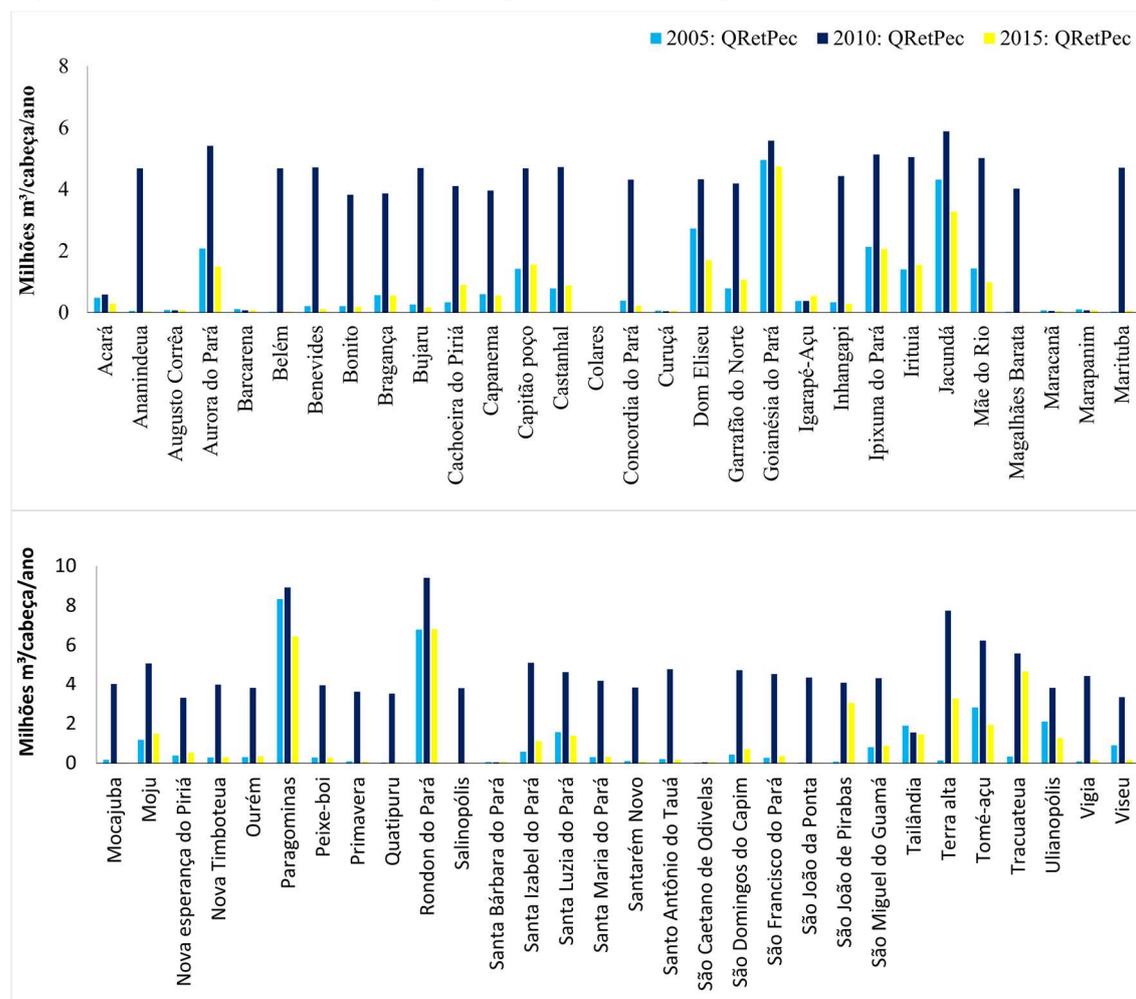
Santos e Lima (2018) observaram na bacia do Rio Caeté mudanças no uso e cobertura do solo nos períodos 2004 a 2010 e de 2010 a 2014, com intensa expansão das áreas de pastagem, que resultou no desmatamento de cerca de 18.047,74 ha de florestas nativas.

Da mesma forma Costa *et al.* (2015) identificaram na bacia do Rio Peixe-Boi na cidade de Peixe-Boi modificações resultantes, principalmente, pela agricultura e pecuária, com a criação de vários pastos para criação de animais.

O desenvolvimento da pecuária requer vazão de retirada de água para a dessedentação dos efetivos de animais, ela é mais influenciada pelo efetivo de bovino e bubalino que são os maiores consumidores de água e também foram os mais presentes na região nos três a de estudo. Associada a demanda pela agricultura que foi a maior consumidora, juntos configuraram os maiores consumidores de água na RH-CAN, seguidos da demanda de água para o consumo humano.

Dessa forma, se observa na Figura 38, o ano 2010 com as maiores demandas de água em todos os municípios, em 2015 somente os municípios, Goianésia do Pará, Jacundá, Paragominas, Rondon do Pará e Tracuateua registraram as maiores demandas, porém inferiores a 2010. Esse cenário de redução na demanda de água para a manutenção da sustentabilidade hídrica é favorável ao sistema hídrico.

Figura 38 – Evolução da demanda de água na pecuária nos municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Assim a análise do conjunto de indicadores por componente nos três anos de estudo se mostrou adequada para a determinação dos índices $IASH_{Munic}$ (Equação 33) e

IASH_{RH-CAN} pela Equação (34), classificados conforme a escala de sustentabilidade proposta por Martins e Cândido (2008) e apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 – Valores do IASH_{Munic.} e do IASH_{RH-CAN}

Municípios	IASH _{Munic.}					
	Ano 2005	Classificação	Ano 2010	Classificação	Ano 2015	Classificação
Acará	0,3222	AL	0,2431	EC	0,3348	AL
Ananindeua	0,413	AL	0,3213	AL	0,3389	AL
Augusto Corrêa	0,4242	AL	0,3281	AL	0,3378	AL
Aurora do Pará	0,2878	AL	0,3564	AL	0,3371	AL
Barcarena	0,4417	AL	0,3571	AL	0,3471	AL
Belém	0,3805	AL	0,4047	AL	0,3477	AL
Benevides	0,3506	AL	0,3139	AL	0,3375	AL
Bonito	0,3188	AL	0,2611	AL	0,2978	AL
Bragança	0,3354	AL	0,3755	AL	0,3268	AL
Bujaru	0,3115	AL	0,2827	AL	0,3307	AL
Cachoeira do Piriá	0,3894	AL	0,2937	AL	0,3042	AL
Capanema	0,4362	AL	0,3225	AL	0,3242	AL
Capitão poço	0,3032	AL	0,3255	AL	0,2698	AL
Castanhal	0,3942	AL	0,3803	AL	0,3406	AL
Colares	0,3483	AL	0,3733	AL	0,3298	AL
Concordia do Pará	0,3243	AL	0,2827	AL	0,3275	AL
Curuçá	0,4402	AL	0,3453	AL	0,3255	AL
Dom Eliseu	0,282	AL	0,3225	AL	0,2961	AL
Garrafão do Norte	0,3053	AL	0,278	AL	0,3060	AL
Goianésia do Pará	0,3035	AL	0,3266	AL	0,2921	AL
Igarapé-Açu	0,3207	AL	0,268	AL	0,2995	AL
Inhangapi	0,332	AL	0,2677	AL	0,2924	AL
Ipixuna do Pará	0,2792	AL	0,2651	AL	0,2954	AL
Irituia	0,3197	AL	0,2831	AL	0,3506	AL
Jacundá	0,2988	AL	0,2763	AL	0,3330	AL
Mãe do Rio	0,3113	AL	0,3435	AL	0,3247	AL
Magalhães Barata	0,3765	AL	0,2718	AL	0,2970	AL
Maracanã	0,3724	AL	0,2939	AL	0,3049	AL
Marapanim	0,3284	AL	0,2914	AL	0,3117	AL
Marituba	0,4123	AL	0,3438	AL	0,3311	AL
Mocajuba	0,4175	AL	0,3818	AL	0,3153	AL
Moju	0,3155	AL	0,2791	AL	0,3170	AL
Nova esperança do Piriá	0,3114	AL	0,2871	AL	0,3273	AL
Nova Timboteua	0,3147	AL	0,3197	AL	0,2893	AL
Ourém	0,4364	AL	0,3027	AL	0,3193	AL
Paragominas	0,2448	EC	0,3189	AL	0,2678	AL
Peixe-boi	0,3598	AL	0,2662	AL	0,2837	AL
Primavera	0,4026	AL	0,3025	AL	0,2813	AL
Quatipuru	0,3452	AL	0,2681	AL	0,2975	AL
Rondon do Pará	0,271	AL	0,2745	AL	0,2952	AL
Salinópolis	0,3827	AL	0,2933	AL	0,3437	AL
Santa Bárbara do Pará	0,3352	AL	0,3806	AL	0,3417	AL
Santa Izabel do Pará	0,3669	AL	0,2996	AL	0,2818	AL
Santa Luzia do Pará	0,3824	AL	0,262	AL	0,2835	AL
Santa Maria do Pará	0,3651	AL	0,2894	AL	0,3326	AL
Santarém Novo	0,3376	AL	0,2932	AL	0,3272	AL
Santo Antônio do Tauá	0,3152	AL	0,2456	EC	0,2884	AL
São Caetano de Odivelas	0,3362	AL	0,3303	AL	0,2850	AL
São Domingos do Capim	0,3303	AL	0,2819	AL	0,3175	AL
São Francisco do Pará	0,3578	AL	0,2881	AL	0,3003	AL
São João da Ponta	0,351	AL	0,2696	AL	0,2949	AL
São João de Pirabas	0,4079	AL	0,3465	AL	0,3187	AL
São Miguel do Guamá	0,3136	AL	0,3945	AL	0,3157	AL
Tailândia	0,2665	AL	0,3159	AL	0,3642	AL
Terra alta	0,3401	AL	0,2498	EC	0,2743	AL
Tomé-açu	0,2904	AL	0,2696	AL	0,2943	AL
Tracuateua	0,4187	AL	0,314	AL	0,2831	AL
Ulianópolis	0,2768	AL	0,3365	AL	0,3265	AL
Vigia	0,3347	AL	0,3468	AL	0,3018	AL
Viseu	0,2992	AL	0,2551	AL	0,2744	AL
IASH_{RH-CAN}	0,3448	AL	0,3077	AL	0,3123	AL

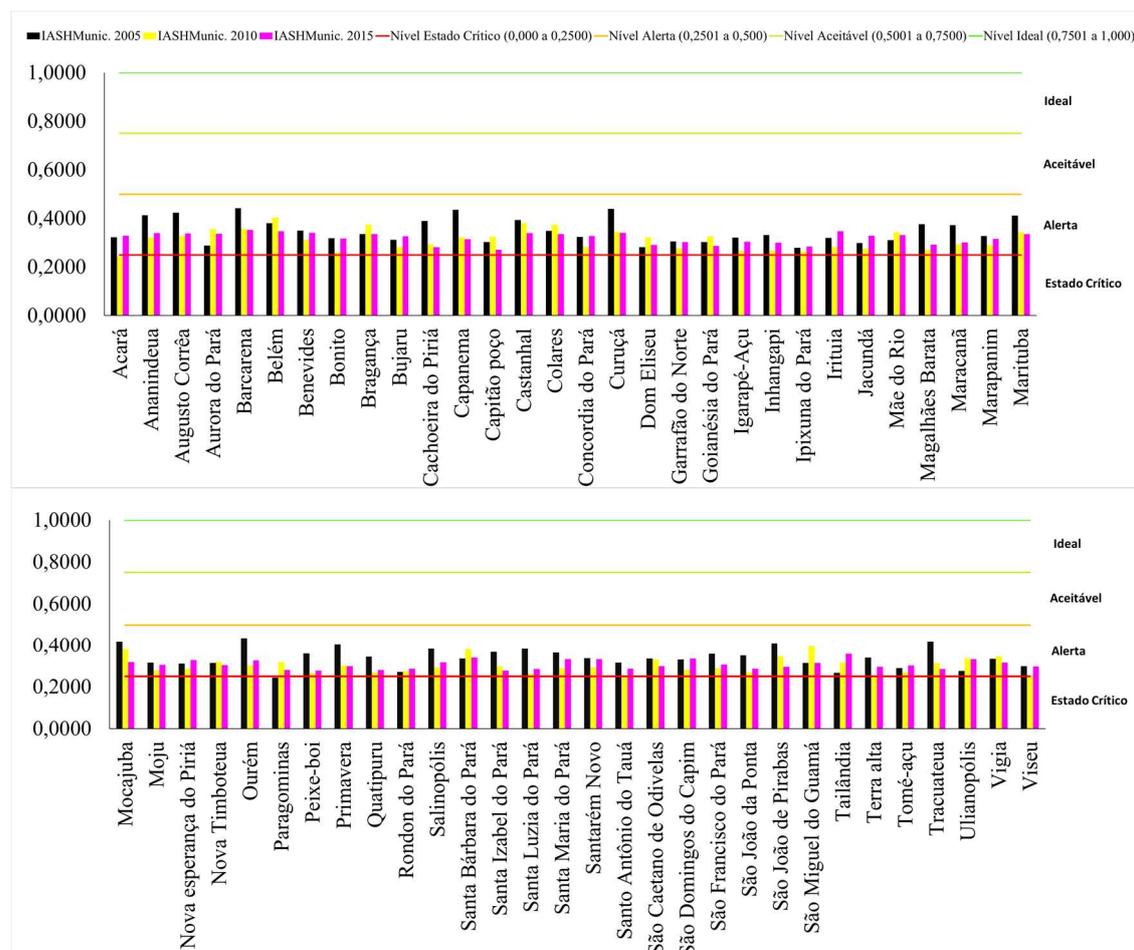
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Observa-se que nenhum município atingiu o nível “ideal” da sustentabilidade hídrica nos três anos analisados e sinaliza alerta aos gestores locais para a necessidade de planejar estratégias que favoreçam a melhoria das condições do desenvolvimento local.

Dos 60 municípios da região, 43% dos municípios em 2005 apresentaram o índice agregado municipal ($IASH_{Munic.}$) a cima da média da RH-CAN que foi 0,3448. Em 2010 embora o índice tenha diminuído ($IASH_{RH-CAN} = 0,3077$), 45% dos municípios ficaram acima dessa média e em 2015 o índice médio da região cresceu ($IASH_{RH-CAN} = 0,3123$) e um maior percentual de municípios (52%) ficou acima dessa média.

Pela análise gráfica (Figura 39) dos $IASH_{Munic.}$, observa-se que nos três anos, os municípios ficaram entre os níveis “estado crítico” e “alerta”, o que torna claro a necessidade de gestão e execução de projetos socioeconômico e ambientais eficientes, dado que são os indicadores dessas dimensões que mais influenciaram os índices.

Figura 39 – $IASH_{Munic.}$ dos municípios da RH-CAN.



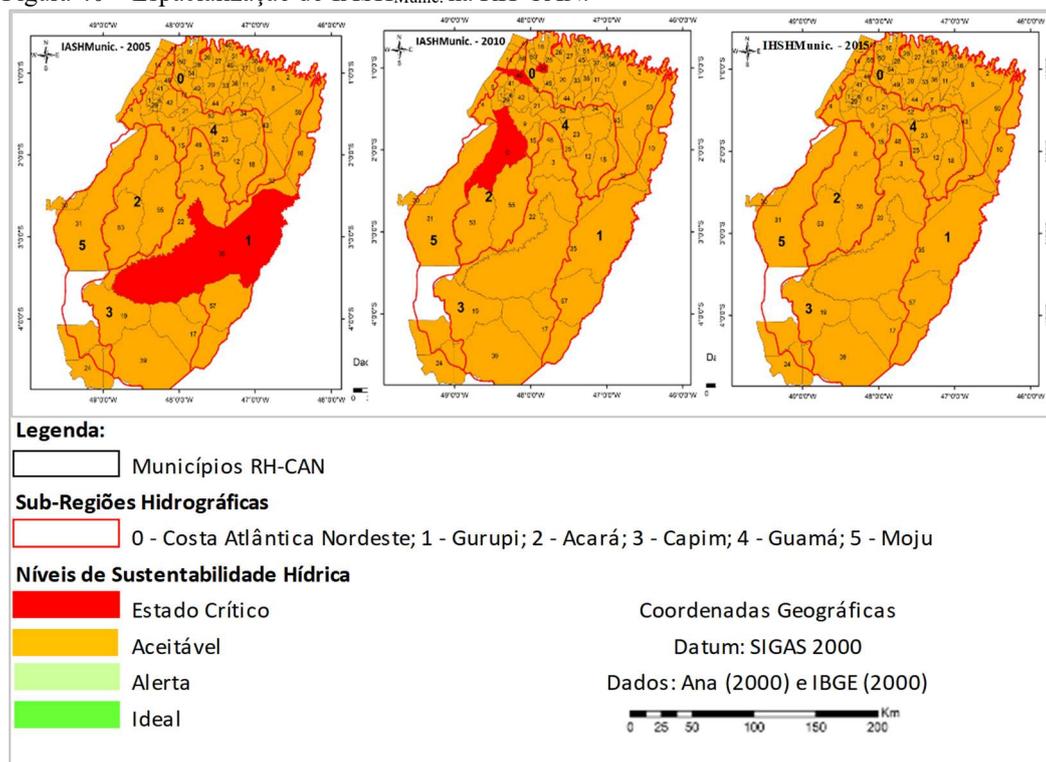
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Esses resultados mostram que qualquer melhoria, por mínima que seja nos indicadores reflete diretamente nos índices, mesmo não sendo o objetivo desse estudo analisar o uso e ocupação do solo da RH-CAN, mas os indicadores refletem os resultados dessa ação. A partir deles observou-se uma intensa dinâmica de uso e ocupação da região, marcada por atividades potencialmente degradadoras que refletem diretamente na disponibilidade hídrica, especialmente a agropecuária que é a maior consumidora de água na região.

Ao aplicar o barômetro da sustentabilidade em alguns municípios no estado do Pará nos anos 2000 e 2010, Vale *et al.* (2019) verificaram que os municípios, Aurora do Pará, Dom Eliseu, Garrafão do Norte, Moju, Paragominas, Rondon do Pará e Ulianópolis atingiram o nível potencialmente insustentável, enquanto Concórdia do Pará e Tailândia ficaram no nível, sustentabilidade intermediária.

Embora o nível de sustentabilidade hídrica atingido pela maioria dos municípios tenha sido “alerta”, têm-se que Tailândia, Irituia, Belém, Barcarena, Salinópolis, Santa Bárbara do Pará, Castanhal, Ananindeua, Augusto Corrêa e Benevides foram os mais bem colocados em função dos valores do $IASH_{Munic.}$, já Viseu, Terra Alta, Capitão Poço e Paragominas, obtiveram os índices mais baixos. A Figura 40, mostra a RH-CAN em relação ao $IASH_{Munic.}$.

Figura 40 – Espacialização do $IASH_{Munic.}$ na RH-CAN.



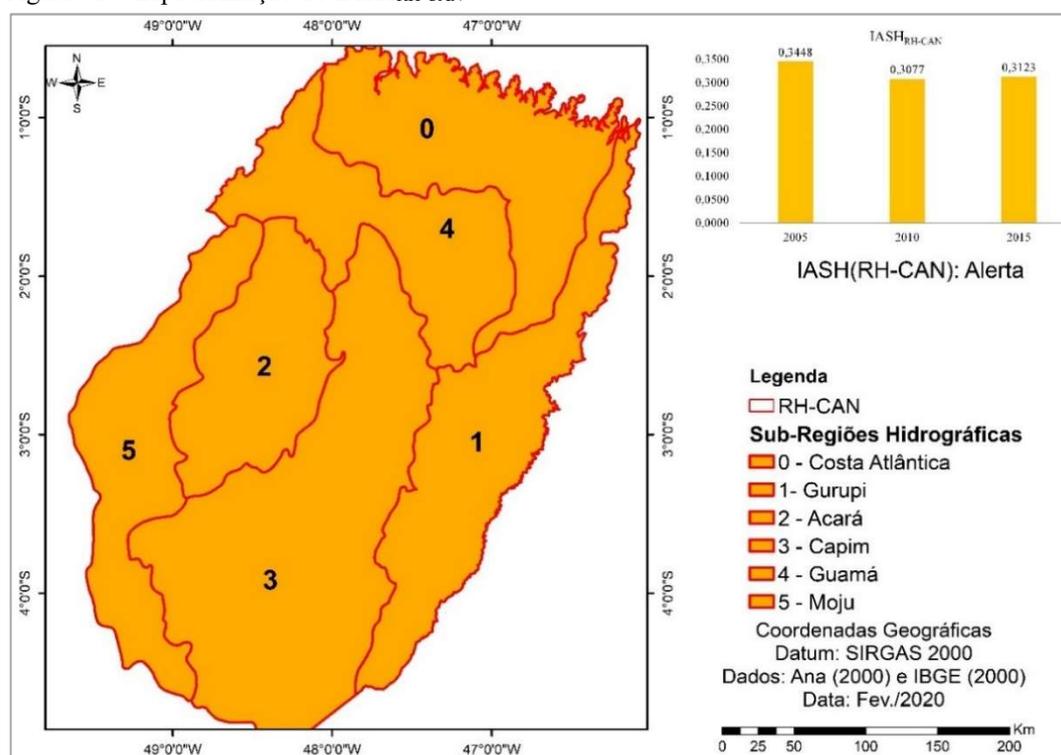
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Dentre os municípios, Paragominas despertou atenção por ser um dos mais desenvolvidos da região, mas não conseguiu elevar o valor do índice agregado de sustentabilidade hídrica. Os níveis de sustentabilidade atingidos foram: ano 2005 - “crítico” ($IASH_{Munic.} = 0,2448$), 2010 e 2015 - “alerta” ($IASH_{Munic.} = 0,3189$ e $IASH_{Munic.} = 0,2802$) respectivamente. Esses resultados mostram que melhorias significativas nos indicadores não foram de fato efetivadas ao longo do tempo.

Esses cenários se devem as principais atividades praticadas no município como a criação de gado bovino, exploração de madeira, manejo florestal, reflorestamento, cultivo de soja (e outros grãos) e a mineração de bauxita (Paragominas, 2017), embora o município tenha melhorado muito com a adoção do programa municípios verdes, mas precisa prover usos mais racionais da terra e dos recursos hídricos.

No contexto geral o $IASH_{RHC-AN}$ (Figura 41) nos três anos de estudo ficou no nível “alerta”, porém 2005 foi o ano que obteve o maior valor (0,3448), em 2010 o menor (0,3077) e em 2015 um pequeno aumento (0,3123). O que demonstram a importância da definição de indicadores que retratem de fato as condições de sustentabilidade hídrica nos municípios. Segundo o IPEA (2010) não existe no Brasil nenhuma proposta sistematizada de produção de indicadores de sustentabilidade.

Figura 41 – Espacialização do $IASH_{RH-CAN}$.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

No entanto, nota-se que a sustentabilidade hídrica está longe do nível “ideal”, pois existem indícios de ineficiência da gestão pública acerca de alguns indicadores de ambas as dimensões, além da carência de planejamento mais eficiente para garantir a sustentabilidade, dentre outros aspectos evidenciados nas dimensões investigadas.

Logo, diversas são as dificuldades em considerar indicadores sociais, econômicos, ambientais e políticos-institucionais em estudos dessa natureza, esses resultados se mostraram satisfatórios, já que tratar a incomensurabilidade, ou ainda agrupar informações de natureza diversa dos indicadores, bem como incluir indicadores-chave ao contexto específico em análise pode trazer resultados relevantes e capazes de subsidiar a elaboração de políticas públicas sustentáveis, principalmente, no contexto da sustentabilidade hídrica, de modo a alcançar a segurança hídrica e que necessitam de maior atenção e discussão por parte de todos os atores sociais e institucionais.

6.1.2 Cálculo do IASH_{RH-CAN}: Método de Ponderação com Escores Fatoriais

Neste método para determinar os resultados dos índices municipais (IASH_{Munic.}) e o regional (IASH_{RH-CAN}), foi necessário atender alguns critérios, como o cálculo da matriz de correlação para a base de dados inicial, a extração dos fatores iniciais, a rotação dos fatores e o cálculo dos escores fatoriais, onde, são os escores fatoriais (resultado da agregação dos indicadores), os elementos mais importantes para a análise dos índices, pois permitem efetuar o ranqueamento dos municípios.

Dessa forma a avaliação da matriz de correlação e a adequacidade do modelo, foi confirmada pelos testes KMO ($\geq 0,5$) e o de esfericidade de Bartlett ($p = 0,000$). O teste da comunalidade foi aplicado, até atingir o critério base ($\geq 0,5$) para excluir ou não o indicador da base de dados iniciais, além da análise da variância total explicada (≥ 1). Desta forma considerou-se o mesmo conjunto de dados finais do primeiro método (Método de Ponderação com Pesos Fatoriais) nos três anos de estudo.

A análise dos resultados dos escores fatoriais revelou valores negativos, que indicaram contribuição negativa dos municípios para a formação dos fatores, já os escores positivos indicaram que os municípios apresentaram padrões homogêneos para os indicadores. Todos os municípios apresentaram valores negativos para mais de um fator, exceto Ananindeua que apresentou todos os valores positivos.

Dada a importância dos indicadores para a sustentabilidade hídrica dos municípios, estes impõem desafios aos gestores no sentido de melhorar a gestão hídrica

local. Visto que os resultados dos fatores expressam a situação das dimensões em cada município.

No Quadro 14, tem-se a composição dos fatores e os municípios com os melhores e piores resultados nos três anos de estudo, onde se constatou que os fatores apresentaram a mesma composição dos componentes no método de agregação com pesos fatoriais, o que evidenciou a importância das dimensões econômica e ambiental, pois integraram a maioria dos fatores nos três anos de estudo. A dimensão ambiental engloba indicadores que dizem respeito ao uso dos recursos naturais e degradação ambiental, distribuídos nos temas: floresta, recursos hídricos e clima. Enquanto na dimensão econômica os indicadores tratam do desempenho econômico-financeiro e dos processos produtivos, nos temas: PIB, agricultura e pecuária.

A análise dos fatores serve também como guia para os municípios adotarem medidas que auxiliem na melhoria da sustentabilidade hídrica local, da mesma forma para o estado no âmbito regional, por permitir atuar no conjunto de indicadores que definem as dimensões de sustentabilidade em especial a hídrica.

O ranqueamento dos municípios foi determinado pela Equação (36) e apresentado na Tabela 14 que mostra a situação dos municípios da região, conforme, os níveis de sustentabilidade hídrica. Como pode ser percebido os resultados indicaram que, no ano de 2005, mais da metade (68,33%) dos 60 municípios da região se encontravam no nível “aceitável”; 25,00% no nível “alerta”; 3,33% no nível “estado crítico” e apenas 3,33% chegaram no nível “ideal” da sustentabilidade hídrica.

Ordenado por Município		Composição dos Fatores no Ano 2010			Município		Composição dos Fatores no Ano 2015			Município	
Ordenado por	Pior	Fator	Dimensão	Indicadores	Melhor	Pior	Fator	Dimensão	Indicadores	Melhor	Pior
Paragominas	Paragominas	F1	Econômica e ambiental	Bov, Equ, PIBAgr, Cap, AT, DesfAcu, AF, DSI e QretPec	Benevides	Paragominas	F1	Econômica e ambiental	Bov, Ovi, Sui, Equ, QExtVeg, AFlor, QretPec	Ulianópolis	Paragominas
Ulianópolis	Ulianópolis	F2	Econômica, social e ambiental	PIBMerc, PIBInd, PRU, NV, OI e QretUrb	Belém	Igarapé-Açu			DesfAcum e AT		
Capitão Poço	Capitão Poço	F3	Econômica e ambiental	Sui, Bub, LPQP e QretRur	Paragominas	Acará	F2	Social, econômica e ambiental	PRU, Deng, NV, OI, PIBInd, PIBMerc e QretUrb	Belém	Santa Maria do Pará
Moju	Moju	F4	Social e econômica	Deng e PIBPC	Barcarena	Tailândia	F3	Social, econômica e ambiental	LTQP, PIBAgr, DSI, ACoAgr e IDEB	Goianésia do Pará	Ulianópolis
Santa Isabel do Pará	Santa Isabel do Pará	F5	Econômica	GaT e GaGG	Ulianópolis	Santa Isabel do Pará	F4	Político-institucional	LZIEAmb, LZon, LPacrSol e PD	Tracuateua	Cachoeira do Piriá
Ulianópolis	Ulianópolis	F6	Ambiental	ETo e TMA	Benevides	Curuçá	F5	Econômica e Político-institucional	TxLUrb, TxCUrb e LPQP	Tailândia	Tracuateua
Acará	Acará	F7	Econômica e ambiental	Ovi e ACoAgr	Goianésia do Pará	Igarapé-Açu	F6	Ambiental	TMA e ETo	Tailândia	Dom Eliseu
Goianésia do Pará	Goianésia do Pará	F8	Político-institucional	TxCLix e TxLUrb	São João de Pirabas	Ulianópolis	F7	Econômica	GaGG e GaT	Colares	Santa Isabel do Pará
Jacundá	Jacundá	F9	Político-institucional e econômica	LZon e QExtVeg	Paragominas	Rondon do Pará	F8	Econômica e ambiental	PRR e PIBPC	Barcarena	Dom Eliseu
Tailândia	Tailândia	F10	Político-institucional e Ambiental	PD e IncDesm	Viseu	Terra Alta	F9	Econômica	Bub	Benevides	Tracuateua
		F11	Social	DEB	São Miguel do Bonito	Bonito	F10	Econômica	Cap	Paragominas	Capitão Poço

Tabela 14 – Índice agregado de sustentabilidade hídrica municipal (IASH_{Munic.}), nível de sustentabilidade hídrica (SH) e Classificação dos municípios da RH-CAN.

Ano 2005				Ano 2010				Ano 2015			
Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação
Belém	1	I	1º	Belém	1,0000	I	1º	Belém	1	I	1º
Barcarena	0,8371	I	2º	Barcarena	0,7140	AC	2º	Ananindeua	0,6073	AC	2º
Ananindeua	0,7349	AC	3º	Benevides	0,6490	AC	3º	Barcarena	0,5111	AC	3º
Marituba	0,6393	AC	4º	Ananindeua	0,6249	AC	4º	Marituba	0,4948	AL	4º
Salinópolis	0,6367	AC	5º	São Miguel do Guamá	0,5577	AC	5º	Castanhal	0,4892	AL	5º
Vigia	0,6327	AC	6º	Augusto Corrêa	0,5471	AC	6º	Benevides	0,4755	AL	6º
Magalhães Barata	0,6237	AC	7º	Bujaru	0,5348	AC	7º	Tailândia	0,4716	AL	7º
São João de Pirabas	0,6148	AC	8º	Colares	0,5319	AC	8º	Santa Bárbara do Pará	0,464	AL	8º
Castanhal	0,6112	AC	9º	Maracanã	0,5297	AC	9º	Salinópolis	0,4608	AL	9º
Capanema	0,6099	AC	10º	Santa Bárbara do Pará	0,5249	AC	10º	Irituia	0,4605	AL	10º
Colares	0,6087	AC	11º	Castanhal	0,5237	AC	11º	Bujaru	0,4535	AL	11º
São Francisco do Pará	0,6081	AC	12º	Mocajuba	0,5206	AC	12º	Curuçá	0,4527	AL	12º
Quatipuru	0,606	AC	13º	Capanema	0,5137	AC	13º	Marapanim	0,4483	AL	13º
Mocajuba	0,6056	AC	14º	Salinópolis	0,5115	AC	14º	Vigia	0,4475	AL	14º
Ourém	0,6034	AC	15º	Santarém Novo	0,5109	AC	15º	Santarém Novo	0,4431	AL	15º
Peixe-boi	0,602	AC	16º	Marituba	0,5095	AC	16º	Colares	0,443	AL	16º
Primavera	0,6009	AC	17º	São João de Pirabas	0,5058	AC	17º	Capanema	0,4416	AL	17º
São João da Ponta	0,5987	AC	18º	Primavera	0,5045	AC	18º	Concordia do Pará	0,4364	AL	18º
Curuçá	0,5977	AC	19º	Peixe-boi	0,4992	AL	19º	Bonito	0,4359	AL	19º
Maracanã	0,5969	AC	20º	Ourém	0,4974	AL	20º	Mãe do Rio	0,4356	AL	20º
Santa Bárbara do Pará	0,5949	AC	21º	São Caetano de Odivelas	0,4963	AL	21º	Augusto Corrêa	0,4312	AL	21º
Santarém Novo	0,5904	AC	22º	Curuçá	0,4959	AL	22º	Acará	0,4226	AL	22º
Terra alta	0,5866	AC	23º	Bragança	0,4918	AL	23º	Bragança	0,4215	AL	23º
Santa Maria do Pará	0,5866	AC	24º	Mãe do Rio	0,4880	AL	24º	Ourém	0,4214	AL	24º

Continua

Ano 2005				Ano 2010				Ano 2015			
Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação
São Caetano de Odivelas	0,5801	AC	25º	Nova Timboteua	0,4869	AL	25º	Santo Antônio do Tauá	0,4213	AL	25º
Marapanim	0,5768	AC	26º	Tracuateua	0,4861	AL	26º	Santa Maria do Pará	0,4205	AL	26º
Inhangapi	0,5742	AC	27º	São João da Ponta	0,4857	AL	27º	São Domingos do Capim	0,4185	AL	27º
Augusto Corrêa	0,5731	AC	28º	Marapanim	0,4855	AL	28º	Ulianópolis	0,417	AL	28º
Tracuateua	0,5697	AC	29º	Magalhães Barata	0,4837	AL	29º	São Miguel do Guamá	0,4125	AL	29º
Nova Timboteua	0,5684	AC	30º	Vigia	0,4834	AL	30º	Mocajuba	0,412	AL	30º
Bonito	0,5582	AC	31º	Santa Maria do Pará	0,4814	AL	31º	Nova esperança do Piriá	0,4115	AL	31º
São Miguel do Guamá	0,557	AC	32º	Inhangapi	0,4730	AL	32º	Primavera	0,4109	AL	32º
Igarapé-Açu	0,5496	AC	33º	São Francisco do Pará	0,4705	AL	33º	Igarapé-Açu	0,4066	AL	33º
Concordia do Pará	0,5386	AC	34º	Quatipuru	0,4650	AL	34º	Aurora do Pará	0,4024	AL	34º
Santo Antônio do Tauá	0,5372	AC	35º	Concordia do Pará	0,4639	AL	35º	São Caetano de Odivelas	0,3982	AL	35º
Benevides	0,5295	AC	36º	Bonito	0,4635	AL	36º	Magalhães Barata	0,3978	AL	36º
São Domingos do Capim	0,5287	AC	37º	Ulianópolis	0,4475	AL	37º	São Francisco do Pará	0,397	AL	37º
Santa Luzia do Pará	0,5256	AC	38º	Nova esperança do Piriá	0,4474	AL	38º	São João de Pirabas	0,3968	AL	38º
Bujaru	0,5209	AC	39º	Santa Luzia do Pará	0,4436	AL	39º	Peixe-boi	0,3956	AL	39º
Cachoeira do Piriá	0,5121	AC	40º	Cachoeira do Piriá	0,4409	AL	40º	Quatipuru	0,3955	AL	40º
Mãe do Rio	0,5089	AC	41º	São Domingos do Capim	0,4401	AL	41º	São João da Ponta	0,3938	AL	41º
Irituia	0,506	AC	42º	Irituia	0,4375	AL	42º	Maracanã	0,3934	AL	42º
Nova esperança do Piriá	0,5019	AC	43º	Aurora do Pará	0,4311	AL	43º	Inhangapi	0,393	AL	43º

Continua

Ano 2005				Ano 2010				Ano 2015			
Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação	Municípios	IASH _{Munic.}	SH	Classificação
Bragança	0,4994	AL	44°	Santo Antônio do Tauá	0,4274	AL	44°	Jacundá	0,3921	AL	44°
Garrafão do Norte	0,4983	AL	45°	Terra alta	0,4259	AL	45°	Cachoeira do Piriá	0,3876	AL	45°
Jacundá	0,4773	AL	46°	Garrafão do Norte	0,4188	AL	46°	Garrafão do Norte	0,3866	AL	46°
Tailândia	0,4552	AL	47°	Capitão poço	0,3918	AL	47°	Nova Timboteua	0,384	AL	47°
Ulianópolis	0,4519	AL	48°	Igarapé-Açu	0,3738	AL	48°	Terra alta	0,3736	AL	48°
Santa Izabel do Pará	0,4457	AL	49°	Jacundá	0,3474	AL	49°	Capitão poço	0,3636	AL	49°
Capitão poço	0,4302	AL	50°	Tailândia	0,3435	AL	50°	Santa Izabel do Pará	0,3578	AL	50°
Aurora do Pará	0,4299	AL	51°	Tomé-açu	0,3198	AL	51°	Viseu	0,3539	AL	51°
Acará	0,428	AL	52°	Goianésia do Pará	0,3003	AL	52°	Santa Luzia do Pará	0,3403	AL	52°
Viseu	0,419	AL	53°	Ipixuna do Pará	0,2964	AL	53°	Moju	0,3328	AL	53°
Goianésia do Pará	0,4062	AL	54°	Dom Eliseu	0,2903	AL	54°	Tracuateua	0,3294	AL	54°
Moju	0,4059	AL	55°	Santa Izabel do Pará	0,2815	AL	55°	Tomé-açu	0,3264	AL	55°
Tomé-açu	0,382	AL	56°	Acará	0,2444	EC	56°	Ipixuna do Pará	0,3076	AL	56°
Dom Eliseu	0,3652	AL	57°	Viseu	0,2409	EC	57°	Goianésia do Pará	0,2742	AL	57°
Ipixuna do Pará	0,3522	AL	58°	Moju	0,2356	EC	58°	Dom Eliseu	0,2137	EC	58°
Rondon do Pará	0,2301	EC	59°	Rondon do Pará	0,1232	EC	59°	Rondon do Pará	0,2069	EC	59°
Paragominas	0	EC	60°	Paragominas	0,0000	EC	60°	Paragominas	0	EC	60°
IASH_{RH-CAN}	0,5387	AC		IASH_{RH-CAN}	0,4527	AL		IASH_{RH-CAN}	0,4099	AL	

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para fins de comparação e análise das mudanças e evoluções na busca pela sustentabilidade hídrica pelos municípios da RH-CAN, passados cinco anos (2010), observou-se um agravamento na manutenção ou busca pela sustentabilidade hídrica dos municípios, tendo em vista um maior percentual de municípios no nível “alerta” (61,67%) e “crítico” (8,33%), enquanto os percentuais nos níveis “aceitável” e “ideal” diminuíram para 28,33% e 1,67%, respectivamente.

Passados mais cinco anos (2015), constatou-se um declínio ainda mais elevado pela busca e manutenção da sustentabilidade hídrica, onde 90,00% dos municípios ficaram no nível “alerta”, 5,00% no “estado crítico”, 3,33% alcançaram o nível “aceitável” e apenas 1,67% o nível “ideal”.

No grupo dos 10 primeiros municípios (G10+) com as melhores classificações para sustentabilidade hídrica, Belém se manteve no 1º lugar nos três anos; Barcarena que ocupava o 2º em 2005, passou para o 3º no último ano; Ananindeua passou do 3º em 2005 para o 4º em 2010 e em 2015 obteve a sua melhor classificação, o 2º lugar.

Na análise da sustentabilidade e desigualdade socioambiental intramunicipal em Belém, realizada por Pereira e Vieira (2018), os resultados mostraram que apesar da cidade de Belém apresentar os melhores indicadores de bem-estar humano e ambiental da Região Metropolitana de Belém (RMB), a avaliação mostrou que esses índices variam e apresentam um comportamento socioespacial distinto, que pode ser comparado aos resultados obtidos no presente estudo.

Em estudo sobre a sustentabilidade do município de Barcarena pelo Barômetro da Sustentabilidade, desenvolvido pela FAPESPA (2017) o município obteve a classificação “Intermediário”, resultado semelhante ao verificado neste estudo.

Os municípios de Salinópolis, Magalhães Barata, Capanema, São João de Pirabas e Vigia que estavam no G10+ em 2005, nos anos seguintes saíram do grupo, exceto Salinópolis que ocupava a 9ª colocação em 2015. Os municípios que mais regrediram no ranqueamento foram São João de Pirabas que em 2005 estava na 8ª posição e em 2015 passou para o 38º lugar e Magalhães Barata passou do 7º em 2005 para o 36º lugar em 2015.

Constituem o grupo dos 10 municípios com os IASH_{Munic.} mais baixos (G10-) em 2005, Aurora do Pará, Acará, Viseu, Goianésia do Pará, Moju, Tomé-Açu, Dom Eliseu, Ipixuna do Pará, Rondon do Pará e Paragominas. Em 2010, Aurora do Pará, Tomé-Açu, Goianésia do Pará, Dom Eliseu e Ipixuna do Pará melhoraram na classificação, porém permaneceram no G10-, exceto Aurora do Pará que saiu do grupo, sua colocação

passou para o 43º lugar, enquanto Santa Isabel do Pará que ocupava a 49º colocação passou a ser o 55º colocado. Em 2015, os municípios de Santa Luzia e Tracuateua passaram a integrar o G10-, enquanto Aurora do Pará e Acará melhoraram de posição.

Cardoso *et al.* (2016) analisaram o nível de sustentabilidade do município de Moju a partir do Barômetro da Sustentabilidade e os resultados mostraram o nível de “potencialmente insustentável” com poucos avanços socioeconômicos e ambientais o que comprometeu a recepção de políticas públicas.

Em estudo desenvolvido por Lameira *et al.* (2015) em que analisaram o nível de sustentabilidade de seis municípios integrantes do Polo do Dendê (Concórdia do Pará, Igarapé-Açu, Acará, Tomé-Açu, Tailândia e Moju), a partir do Barômetro da Sustentabilidade os resultados mostraram que os municípios ocupavam posições intermediárias e potencialmente insustentáveis, no que se refere a fragilidade socioeconômica e ambiental da região estudada.

Os municípios de Rondon do Pará e Paragominas se mantiveram na mesma posição nos três anos analisados, em que Paragominas foi o único município a registrar valor zero para o $IASH_{Munic.}$ em todos os anos, ou seja, se obteve o nível “estado crítico” de sustentabilidade hídrica, que é o pior valor na escala de sustentabilidade. Oliveira (2012) avaliou o desenvolvimento recente no município de Paragominas a partir do Índice de Sustentabilidade Municipal nos anos 2000 e 2010, em que os resultados permitiram concluir que os índices de sustentabilidade do município não eram satisfatórios, assim como evidenciado na presente pesquisa.

Souza *et al.* (2020a) avaliaram os níveis de sustentabilidade dos municípios da mesorregião do Nordeste Paraense, mediante o cálculo do Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM) e constataram que 94% dos municípios analisados foram classificados no nível “alerta”, que demonstrou a necessidade de políticas públicas mais adequadas ao favorecimento do desenvolvimento sustentável, resultado também evidenciado na presente pesquisa.

Destaca-se que em 2005 nas dimensões econômica e político-institucional os municípios de Paragominas e Rondon do Pará foram os maiores produtores de bovino na região (1º e 2º colocados respectivamente), Jacundá o 4º e Dom Eliseu o 6º. Benevides, Santa Isabel e Santo Antônio do Tauá foram os maiores produtores de galinha total e galináceos na região. Santa Isabel do Pará foi o 1º na criação de galináceos total e galinha, Santo Antônio do Tauá o 4º em galináceo total e 3º galináceos galinhas e Benevides o 2º, em contrapartida, são municípios sem a existência de legislação sobre zona e/ou área de

interesse social, voltada para área ambiental, implicando em impactos severos no futuro com exceção de Santa Isabel do Pará.

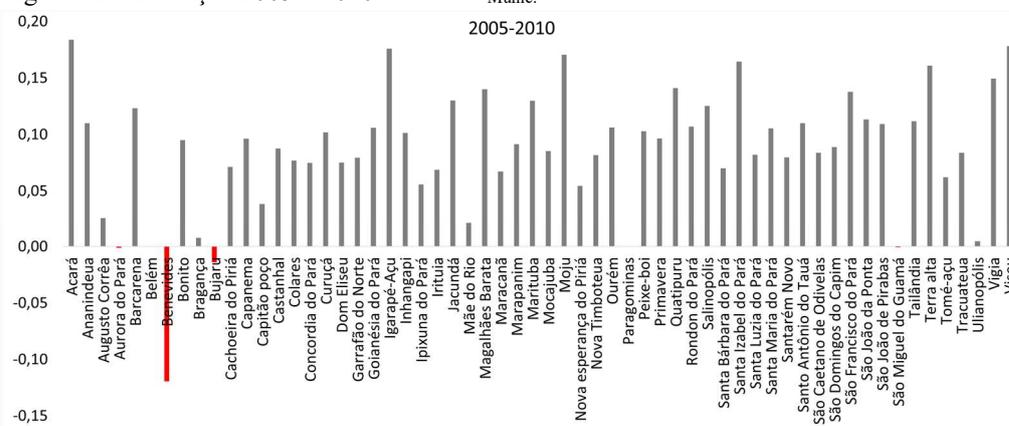
Na produção de culturas da lavoura permanente na região, Paragominas foi o 1º colocado, Moju o 4º, Capitação Poço o 5º e Acará o 6º, além do expressivo desempenho na extração vegetal. Segundo estudo realizado por Souza *et al.* (2018) a produção agrícola temporária e permanente, como também produção na pecuária apresentaram impactos positivos para a economia dos municípios paraenses.

O resultado do Barômetro da Sustentabilidade desenvolvido por Pereira *et al.* (2017) mostrou que os municípios de Belém, Ananindeua e Marituba, foram classificados com nível de sustentabilidade intermediário e Benevides, Castanhal, Santa Bárbara do Pará e Santa Isabel do Pará estavam potencialmente insustentáveis.

Essas alterações ocorreram devido às variações nos escores dos fatores das dimensões. De modo geral, tem-se para os três anos os municípios que estavam próximo da sustentabilidade hídrica, mediante aos indicadores agropecuários na dimensão econômica e os do tema floresta e recursos hídricos na dimensão ambiental. Esse cenário indicou atenção aos atores sociais e as autoridades para a necessidade de continuar trabalhando para atingir o resultado ideal.

Com os resultados para os três anos de estudo (2005, 2010 e 2015) foi possível elaborar a Figura 42, nela consta a diferença entre os índices nos anos 2005 e 2010 destacando os municípios que melhoraram ou pioraram com relação ao IASHMunic., os municípios destacados na cor “vermelho” são aqueles que apresentaram evolução na busca pela sustentabilidade, isto é, ocorreu um aumento no valor do IASHMunic. em 2010 em relação a 2005.

Figura 42 – Evolução 2005 – 2010 dos IASHMunic..

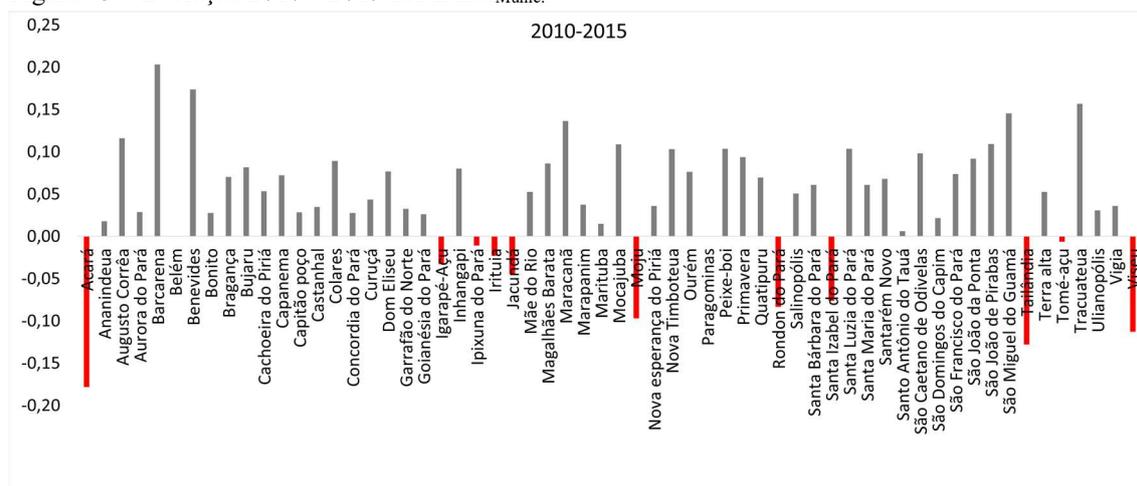


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Nela se observou que 97% dos municípios tiveram os piores desempenhos no sentido da evolução para alcançar a sustentabilidade, somente os municípios, Aurora do Pará, Benevides, Bujaru, São Miguel do Guamá e Ulianópolis apresentaram a melhor variação (negativa), ocasionado pelo aumento no valor do índice e os demais registram redução (variação positiva), sendo Acará com a pior variação.

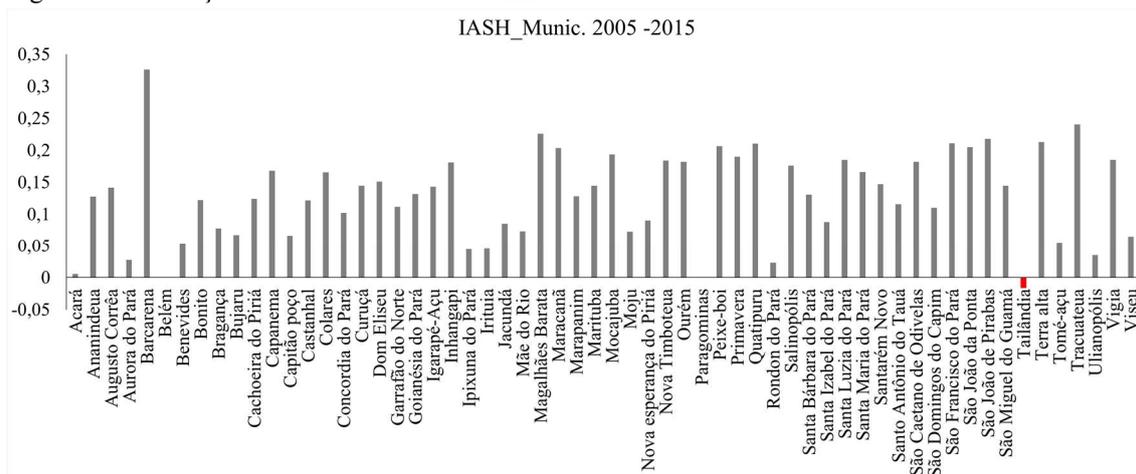
Ao considerar o intervalo entre 2010 e 2015 (Figura 43), observa-se uma redução no percentual de municípios com os piores resultados, 82%, em que os municípios de Acará, Igarapé-Açu, Ipixuna do Pará, Irituia, Jacundá, Moju, Rondon do Pará, Santa Isabel do Pará, Santo Antônio do Tauá, Tailândia e Tomé-Açu registraram evolução no sentido de atingir a sustentabilidade, desses, Acará apresentou o melhor desempenho, pois o valor do IASH_{Munic.} em 2015 foi maior que em 2010.

Figura 43 – Evolução 2010 – 2015 dos IASH_{Munic.}.



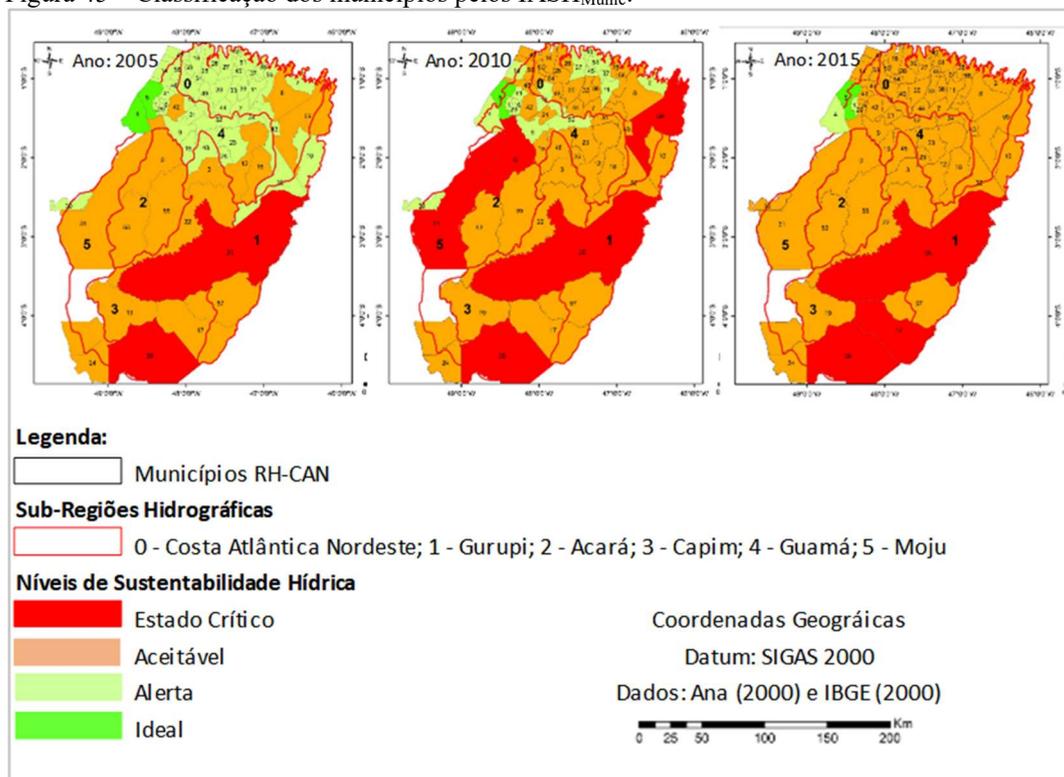
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Ao elevar a escala de tempo para 10 anos (2005 a 2015), Figura 44, observa-se 98% dos municípios com os piores desempenhos, apenas Tailândia conseguiu melhorar o valor do índice. Esses resultados mostraram a importância de analisar os índices de sustentabilidade anualmente e não pela média da série de anos e nem com um conjunto de indicadores de diferentes anos. Bem como expõem a fragilidade dos municípios quanto aos indicadores das dimensões social, econômica, ambiental e político-institucional.

Figura 44 – Evolução 2005 – 2015 dos IASH_{Munic.}.

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Conforme os resultados para os respectivos anos, 2005, 2010 e 2015 (Figura 45) foi possível espacializar os índices municipais, segundo os níveis de sustentabilidade hídrica e observar que a sub-região hidrográfica do Guamá (4), foi a que apresentou o melhor nível de sustentabilidade hídrica em 2005, seguida da sub-região Costa Atlântica (0). As sub-regiões Gurupi (1) e Moju (5) concentram os municípios no nível “estado crítico” em 2010 e a sub-região do Gurupi foi a que se mostrou mais frágil com os municípios em “estado crítico” nos três anos de estudo.

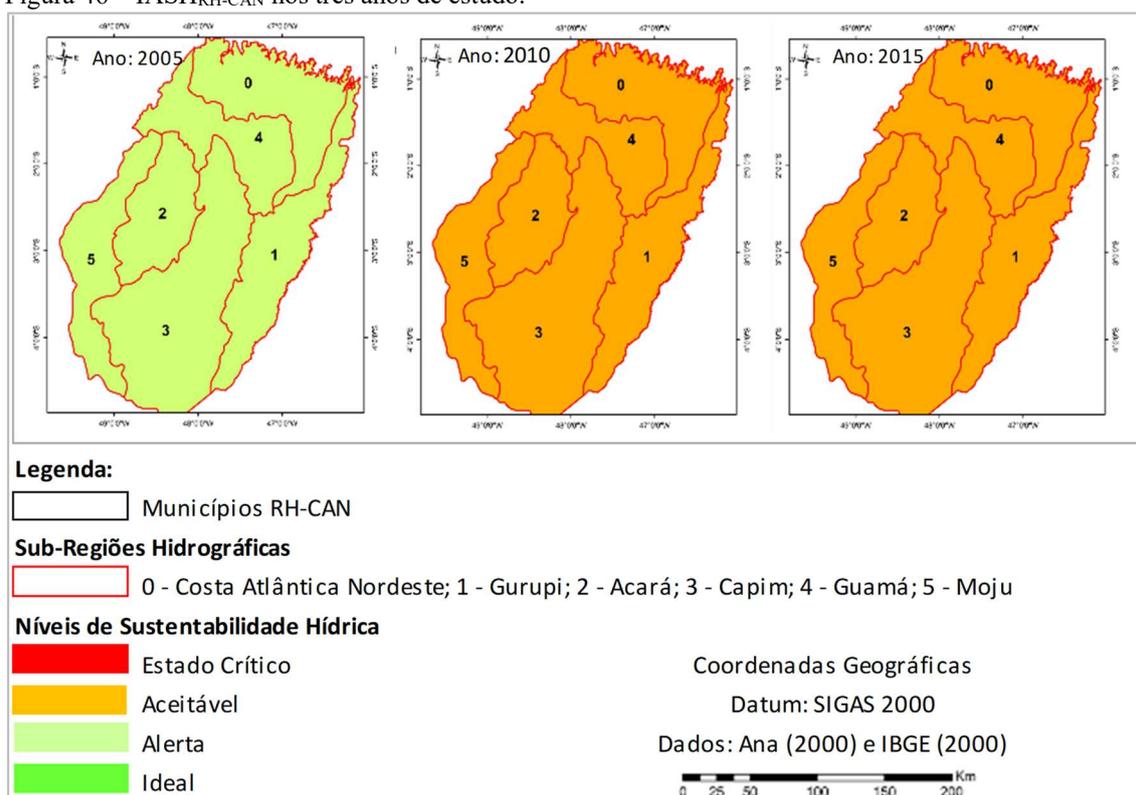
Figura 45 – Classificação dos municípios pelos IASH_{Munic.}

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os municípios que apresentaram alguma evolução nos anos de estudo, isto é, conseguiram subir de nível estão localizados nas SBRH Costa Atlântica, Acará, Guamá e Moju. O baixo desempenho dos municípios em relação à sustentabilidade hídrica tende para um baixo desempenho no processo local. Indicando, portanto, que não houve melhoria significativa nos indicadores analisados.

Ao considerar os resultados dos $IASH_{Munic.}$, que retrataram o nível de sustentabilidade hídrica de cada município nos três anos de estudo e ao aplicar a Equação (34), obteve-se o índice da região ($IASH_{RH-CAN}$), Figura 46. Nela se observa que a região no 2005 apresentou o melhor resultado, sustentabilidade “aceitável”, esse resultado não se manteve nos anos seguintes e sinalizam, a necessidade de melhorias para se atingir a sustentabilidade “ideal”. Ou seja, ainda há muito a se fazer, desde questões de aplicação e efetivação da legislação como sua fiscalização.

Figura 46 – $IASH_{RH-CAN}$ nos três anos de estudo.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Esses resultados ainda revelaram a necessidade dos gestores em focar nos municípios, desde que seja para fortalecer melhorias baseadas não somente em ações referentes a economia e ao meio ambiente, como também nas ações sociais.

Como sugerido por Castro (2007) para ser atingido o desenvolvimento sustentável na Amazônia, faz necessário um modelo de produção e ocupação que minimize os impactos ambientais negativos e o desperdício de recursos, de forma a respeitar os climas e as populações locais, bem como desenvolva e explore racionalmente as riquezas existentes.

Por fim, os resultados para os três anos de estudo não se mostraram ideais com relação à sustentabilidade hídrica da RH-CAN, onde apenas as SBRH Costa Atlântica e Guamá foram as que apresentaram melhor desempenho, isso aponta para a heterogeneidade do processo de busca e manutenção da sustentabilidade na região.

6.1.3 Cálculo do IASH_{RH-CAN}: Método da Ponderação com Pesos Iguais

O conjunto de indicadores de sustentabilidade hídrica deve fornecer meios para o acompanhamento do modelo de desenvolvimento sustentável em diversas dimensões, e para isso deve oferecer um panorama amplo de informações necessárias ao conhecimento da realidade da localidade estudada (BARBOSA; MACEDO, 2020).

Dessa forma, aplicou-se o índice agregado de sustentabilidade hídrica para a avaliação da sustentabilidade dos municípios da RH-CAN. Onde se tem no âmbito da dimensão social, também denominada de índice temático de sustentabilidade social (ITSS), os municípios com baixo desempenho, apenas 10% obtiveram um nível “aceitável” no ano 2005; 5% em 2010 e 12% em 2015.

Apesar do aumento no percentual de municípios no nível “aceitável”, muito precisa ser feito para que a região alcance o potencial de convergência para o nível “ideal” de sustentabilidade hídrica. Para que esse processo de convergência se torne realidade, espera-se que as gestões públicas busquem o aprimoramento da oferta de serviços básicos de saúde e educação, promovendo as garantias e direitos essenciais da população (MACEDO *et al.*, 2016).

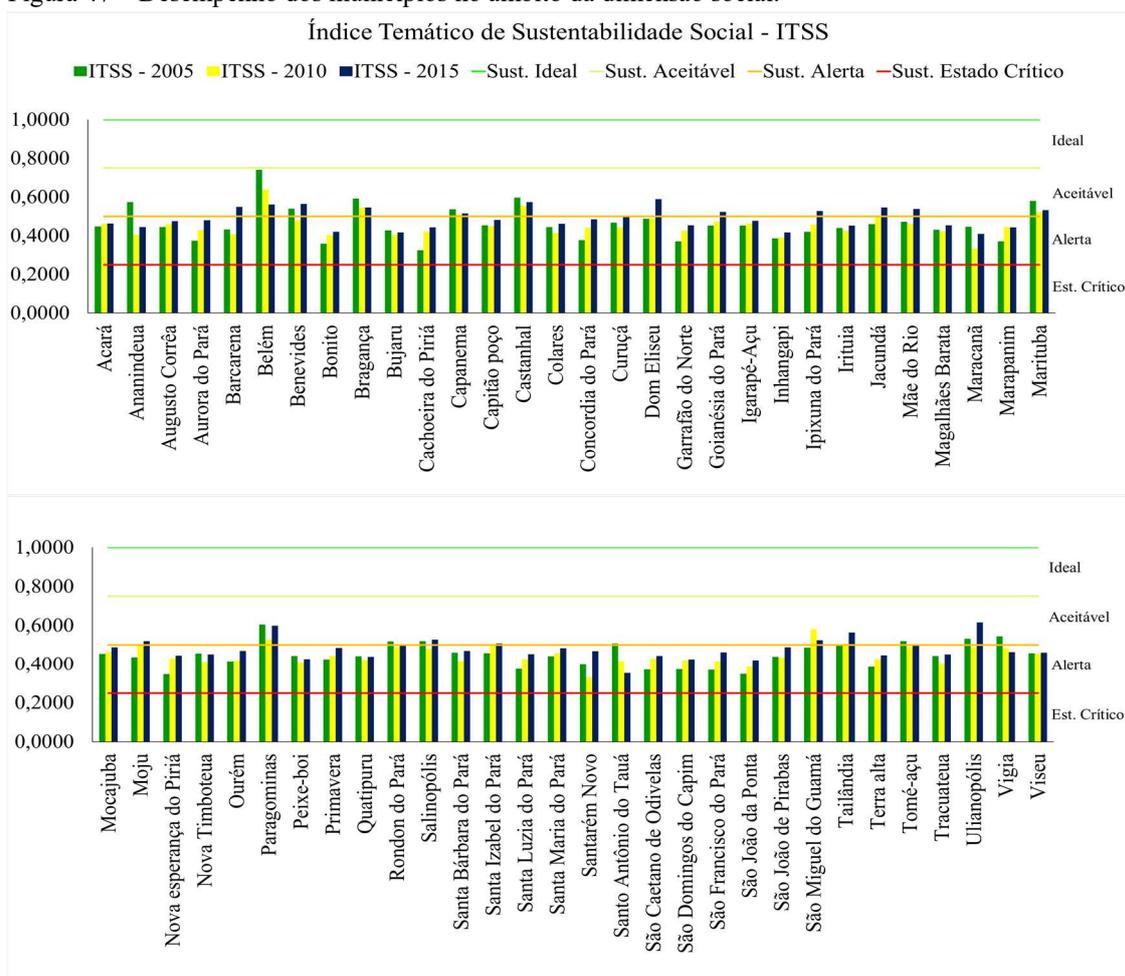
Nessa dimensão social a dinâmica populacional (população rural e urbana) registrou crescimento na região, em 2005, somavam 3.798.723 hab., em 2010 chegou a 4.137.352 hab. e passou para 4.573.150 hab. em 2015. Contudo, percebe-se que nem todos os municípios da região seguiram esse ritmo de crescimento, como Peixe-Boi, Santa Bárbara do Pará, Santa Luzia do Pará, São Miguel do Guamá e Tracuateua tiveram uma redução da população urbana no decorrer dos três anos, Já Ourém, Quatipuru, Santarém

Novo, São João da Ponta, São João de Pirabas e Terra Alta registraram diminuição das populações urbana e rural.

Consequentemente, esses resultados refletem na taxa de urbanização, com um aumento da concentração da população nas áreas urbanas, principalmente, em municípios da Região Metropolitana de Belém (RMB), como Belém, Ananindeua e Castanhal, que também repercutem no número de nascidos vivos e óbitos infantis. Da mesma forma o IDEB também apresentou bons resultados, no contexto da região hidrográfica.

Na Figura 47 se observa o desempenho dos municípios no índice temático de sustentabilidade social – ITSS, calculados pela Equação (37), que está relacionado à qualidade de vida da população, pois envolve demografia, saúde e educação. Os municípios com os melhores resultados foram: Belém (2005 e 2010) com ITSS de 0,7405 e 0,6376, respectivamente; em 2015 Ulianópolis com 0,6164 e os municípios em última colocação foram: Cachoeira do Piriá (0,3250) em 2005, Santarém novo (0,3307) em 2010 e Santo Antônio do Tauá com 0,3523 em 2015.

Figura 47 – Desempenho dos municípios no âmbito da dimensão social.

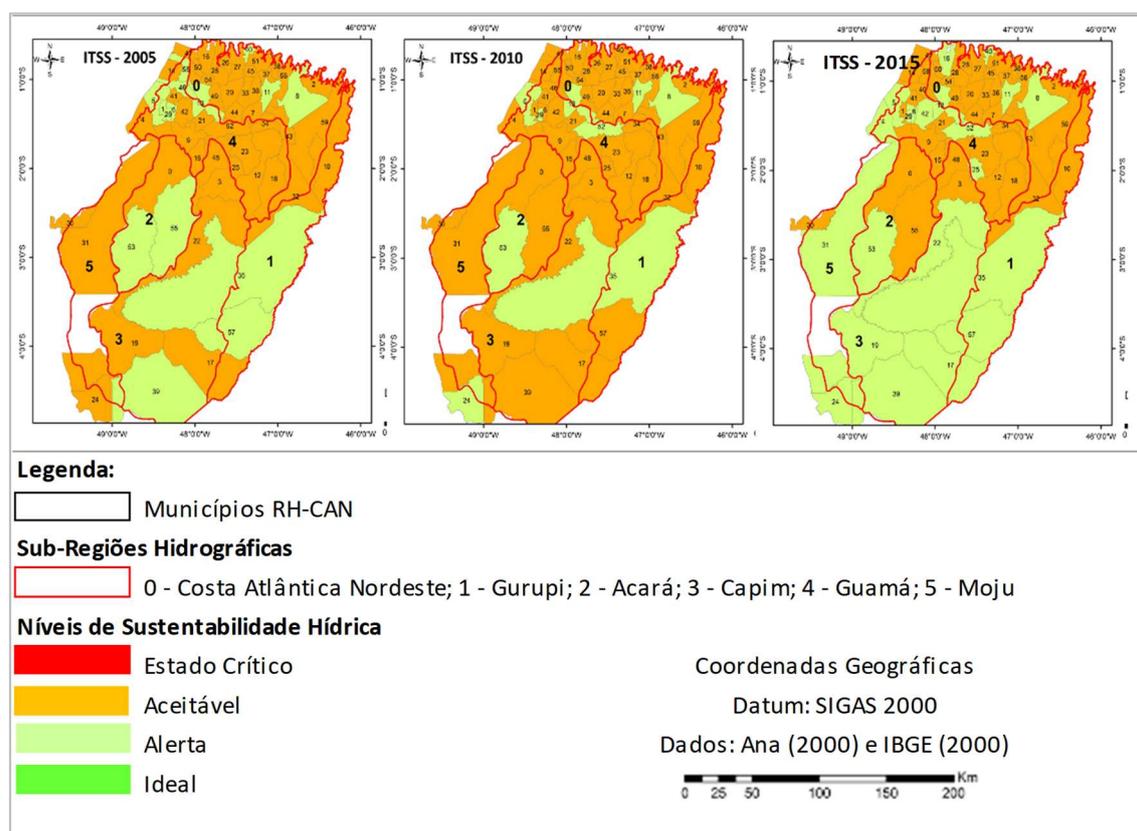


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Os municípios de Ananindeua, Belém, Bragança, Capanema, Castanhal, Maracanã, Marituba, Santo Antônio do Tauá, Tomé-Açu e Vigia, não conseguiram bom desempenho, atribuindo-se ao aumento do indicador, notificação de casos de dengue, que permite avaliar se os municípios estão caminhando para a vulnerabilidade social, ou não.

Os municípios foram espacializados, conforme os resultados dos ITSS, Figura 48, onde se observa uma concentração de municípios no nível “alerta” nas sub-regiões hidrográficas Costa Atlântica, Guamá e Acará, principalmente, no último ano avaliado, enquanto os municípios no nível “aceitável” estão na SBRH Gurupi, Capim e Moju, fato que pode ser atribuído aos municípios terem melhorado os indicadores, tanto os positivos quanto os negativos, isto é, os positivos aumentaram e os negativos diminuíram.

Figura 48 – Espacialização e classificação dos municípios - ITSS.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O nível “alerta” indica uma distribuição espacial desigual da população na região, ocasionada pela maior concentração da população nas áreas geográficas próximas à capital Belém.

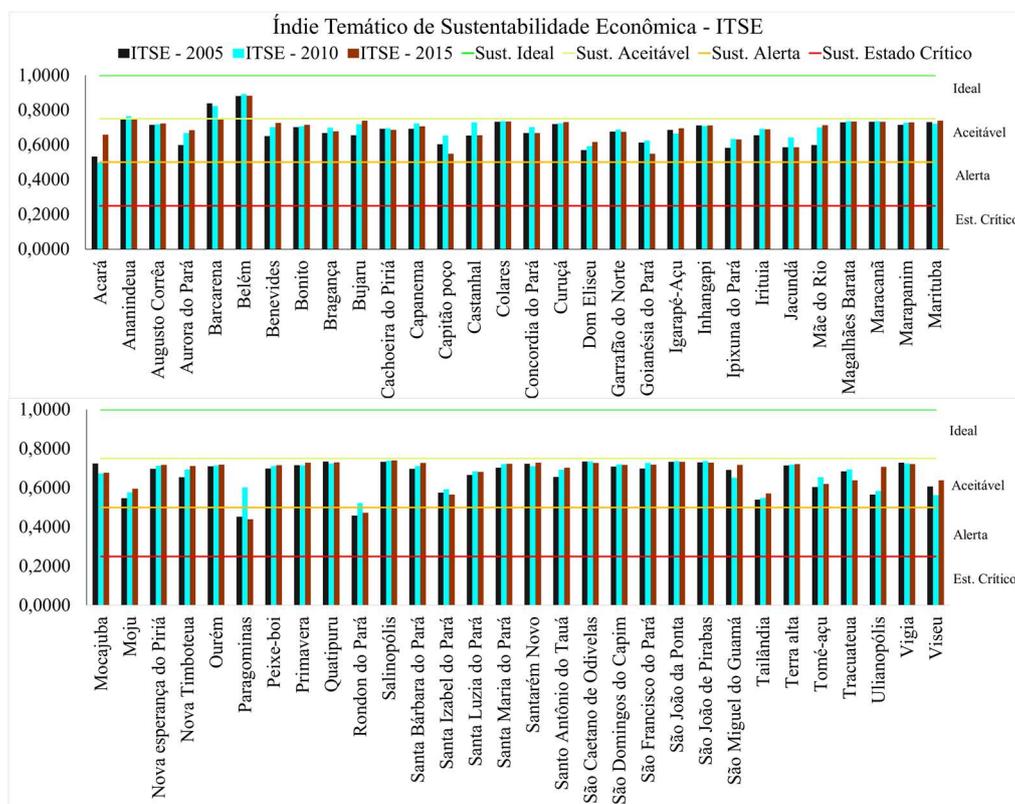
No âmbito da dimensão econômica o índice temático de sustentabilidade econômica – ITSE, definido pela Equação (37), enfatizou o potencial dos municípios da

RH-CAN frente ao objetivo da sustentabilidade por meio da capacidade de inovar, de diversificar e de articular racionalmente os recursos naturais e econômicos como o PIB e agropecuária, interagindo e respeitando as condições das dimensões social, ambiental e político-institucional.

A região apresentou nesses três anos, significativa evolução dos indicadores do tema PIB, as quantidades produzidas nas lavouras temporárias e permanentes, efetivos de bovino, bubalinos, equinos, caprinos e ovinos. Já a quantidade produzida na extração vegetal e os efetivos de ovino, galináceos diminuíram.

Nesse contexto, observa-se pela Figura 49, que os indicadores econômicos mostraram que, apesar do dinamismo econômico da região, os municípios mantiveram o seu desempenho econômico. Contudo, os investimentos aplicados evidenciam disparidades no contexto real entre os municípios. Ainda se demonstra que no ano 2005, 92% dos municípios atingiram o nível “aceitável” nesse índice temático e apenas 3% o nível “ideal”; nos anos seguintes de estudo, observa-se uma discreta evolução. Os indicadores econômicos demonstraram grandes disparidades acerca do desempenho econômico entre os municípios da região.

Figura 49 – Desempenho dos municípios, conforme ITSE.

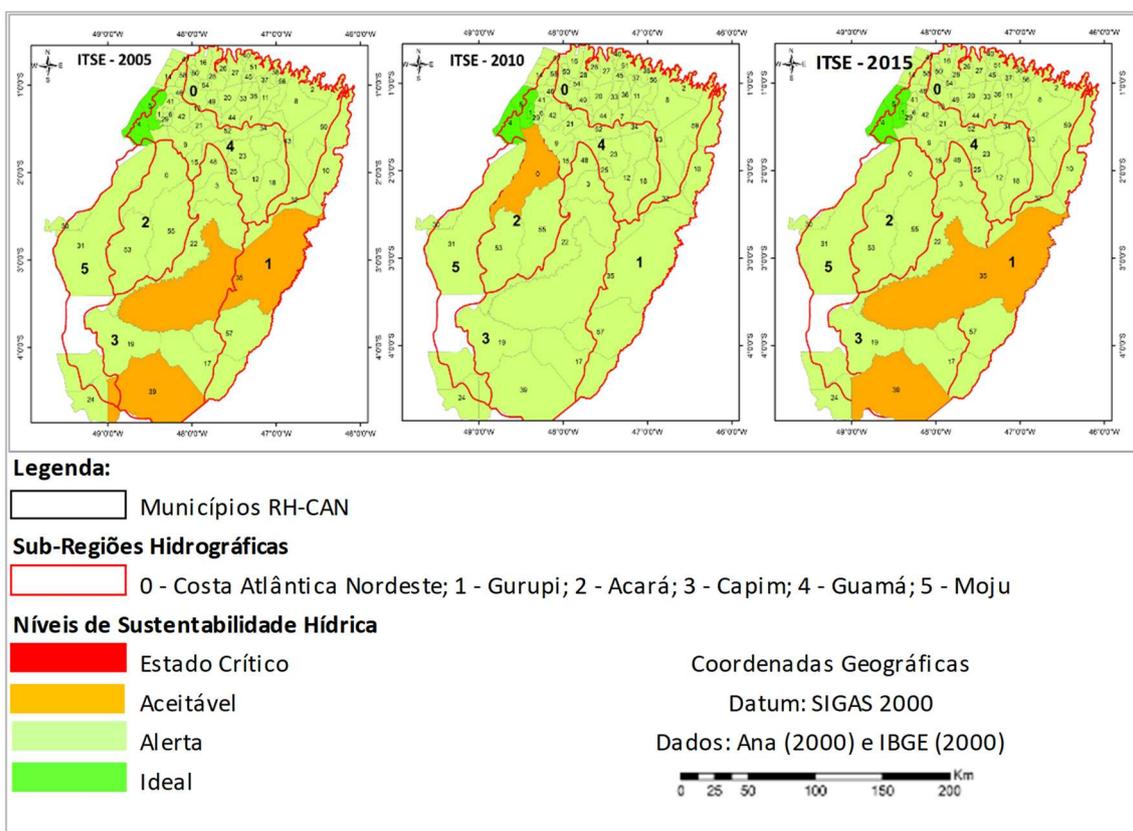


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Embora os municípios tenham apresentado um comportamento de crescimento, somente os municípios de Belém e Barcarena atingiram o nível “ideal” de sustentabilidade nos três anos estudados, já Ananindeua atingiu esse nível somente nos dois últimos anos.

Pela Figura 50 observa-se que os municípios de Rondon do Pará localizado na sub-região hidrográfica do Capim e Paragominas que tem seu território nas sub-regiões hidrográficas Gurupi e Capim, apresentaram retrocesso, com registros do ITSE em 2005 no nível “alerta”, com o melhor resultado em 2010 no nível “aceitável”. Enquanto, os municípios no nível “ideal” estão localizados na sub-região hidrográfica Guamá.

Figura 50 – Espacialização e classificação dos municípios, conforme o ITSE.



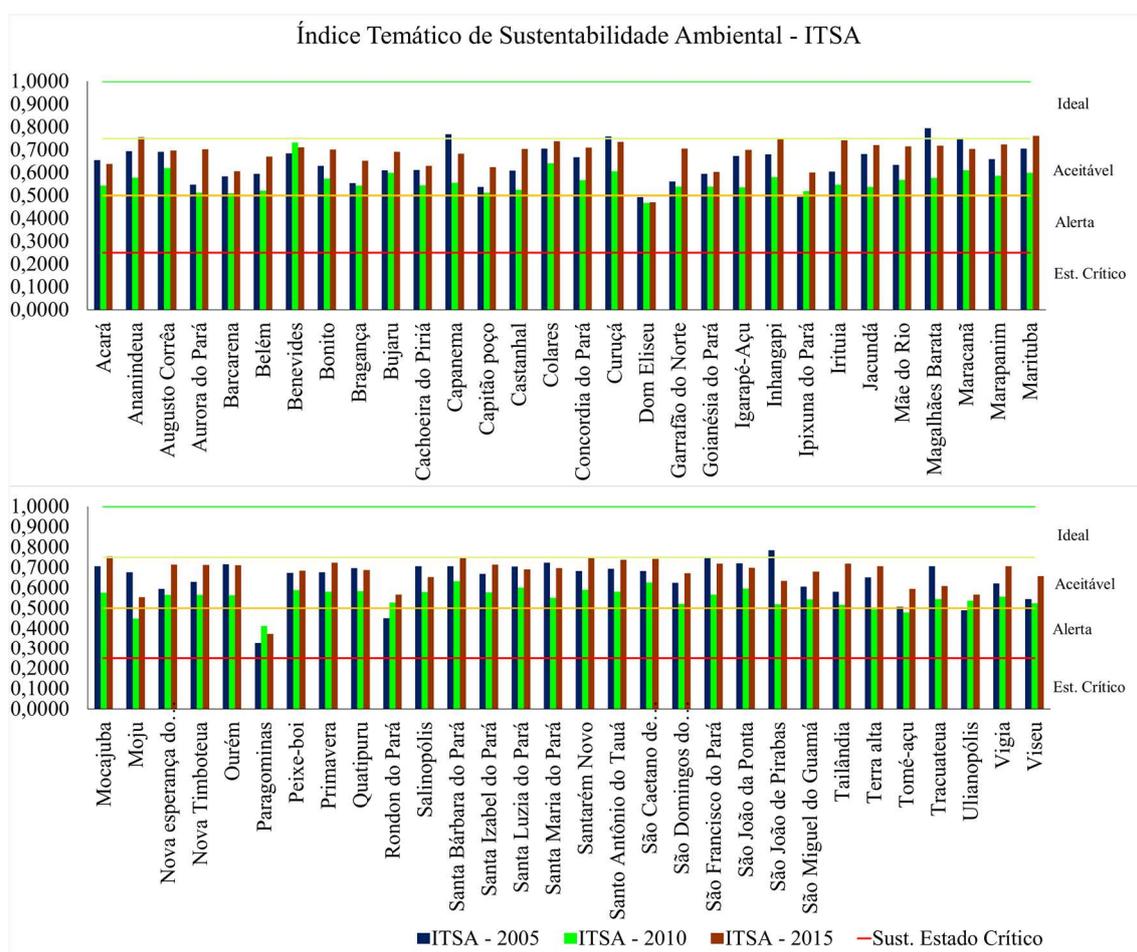
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Na dimensão ambiental o índice temático de sustentabilidade ambiental – ITSA estimado pela Equação (37), correspondeu a relação direta antrópica versus recursos naturais da RH-CAN, neste estudo representada pelos temas floresta, recursos hídricos e clima. Dessa forma, os resultados mostraram que apesar da significativa melhoria dessa dimensão, não foi o suficiente para que os municípios atingissem o nível “ideal” de sustentabilidade hídrica.

No contexto geral da RH-CAN tem-se que os indicadores ambientais aumentaram no decorrer dos três anos de estudo, porém, a maioria desses, apresenta relação negativa com a dimensão, logo com o índice, que compromete a sustentabilidade hídrica.

Na Figura 51, têm-se os valores mais baixos para o ITSA em 2010 para a maioria dos municípios, exceto Benevides que apresentou o melhor resultado. Em 2015, tem-se a evolução dos municípios, conforme os indicadores que compõem o ITSA, onde, Ananindeua, Marituba, Mocajuba e Santa Bárbara do Pará, conseguiram o nível mais alto da sustentabilidade hídrica “ideal”. Moju, Tomé-Açu e Tracuateua também melhoraram, passaram para o “aceitável”, já Paragominas e Dom Eliseu permaneceram em “alerta”.

Figura 51 – Desempenho dos municípios, conforme o ITSA.

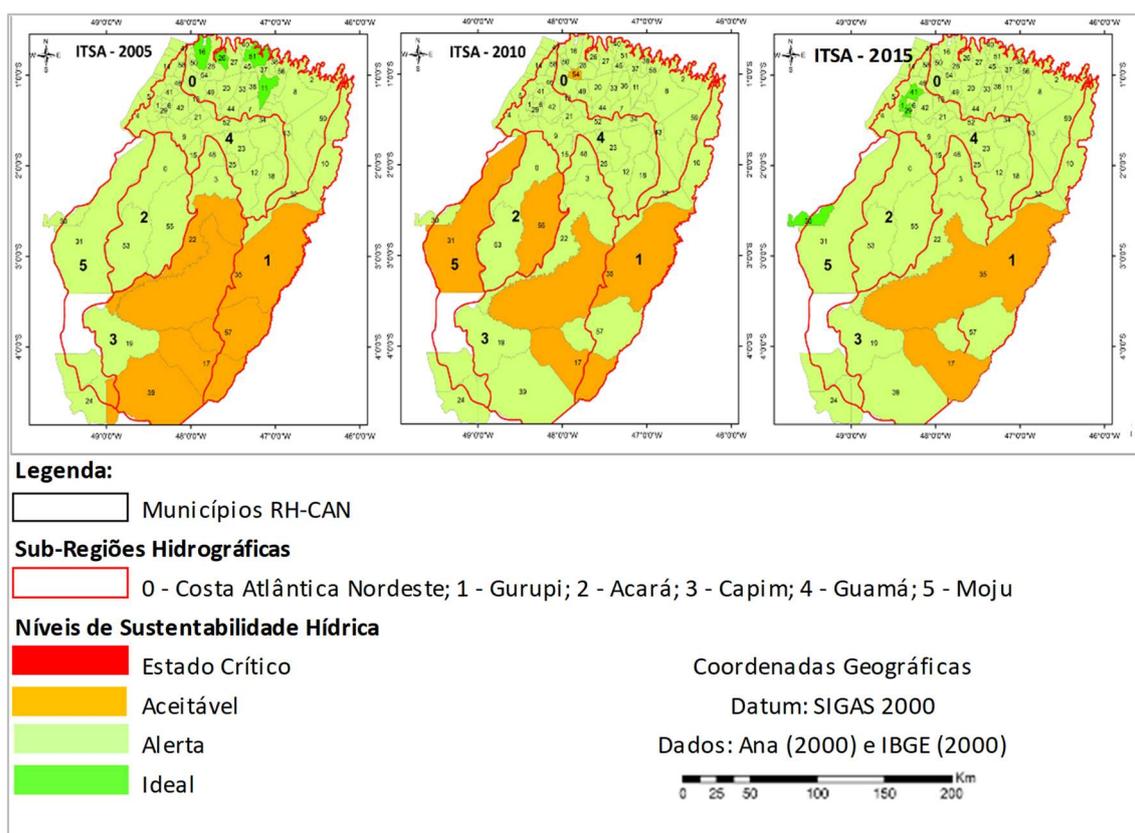


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Pela Figura 52, que apresenta a classificação dos municípios no índice temático, conforme o coronário de sustentabilidade proposto, observam-se os municípios que atingiram o nível “ideal” em 2005 estão localizados na sub-região hidrográfica Costa

Atlântica, enquanto os municípios no nível “alerta” pertencem as sub-regiões hidrográficas Guamá e Gurupi. Em 2010 o cenário mudou e nenhum município atingiu o nível “ideal” e em 2015, apenas Ananindeua, Marituba, Mocajuba e Santa Bárbara do Pará atingiram o nível “ideal”. Embora a maioria dos municípios da RH-CAN tenham melhorado nessa dimensão, apenas 18,33% dos municípios atingiram o nível “ideal”, 35% revelou o nível “aceitável”, em “alerta” 23,33% e em estado crítico 23,33%.

Figura 52 – Espacialização e classificação dos municípios, conforme ITSA.



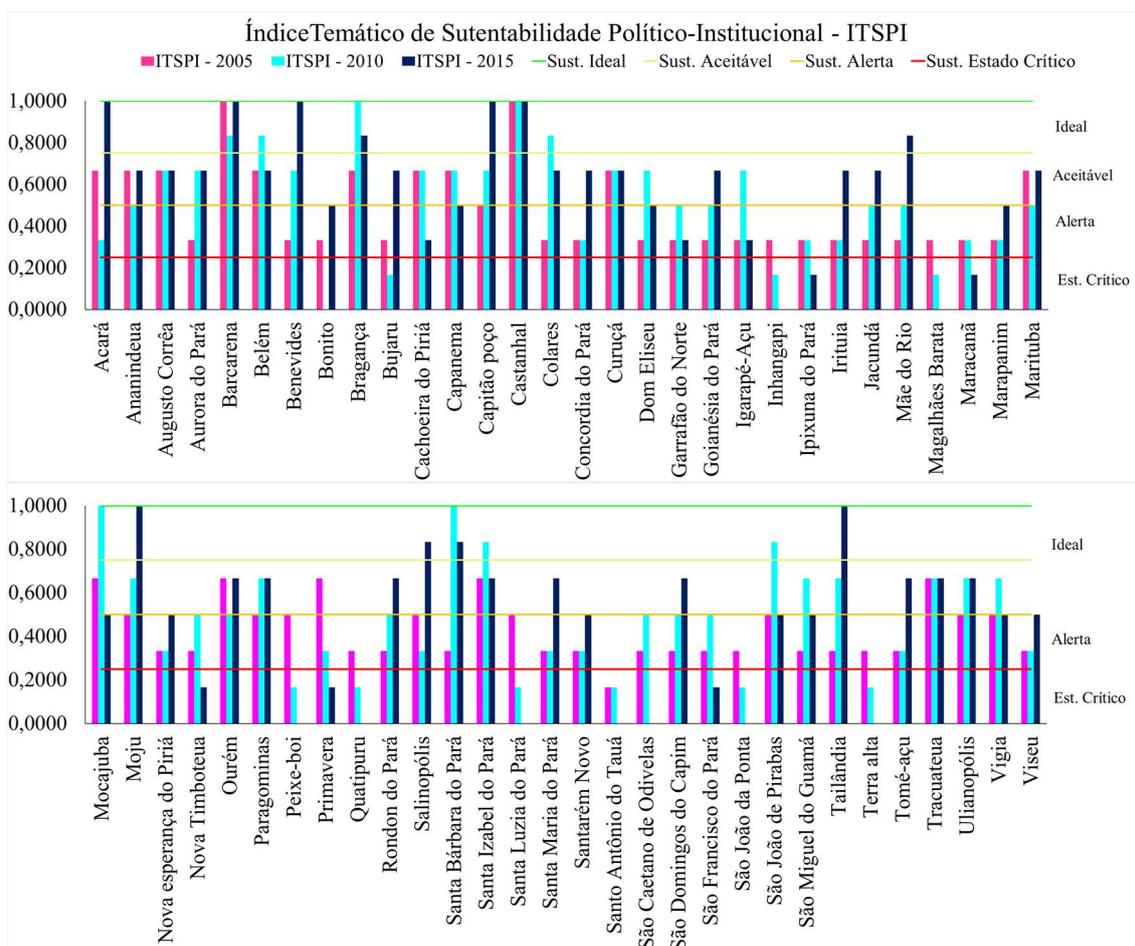
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Esses resultados evidenciam que a RH-CAN, apesar de apresentar algumas deficiências municipais, tem uma atuação de conservação do meio ambiente aceitável na faixa dos 90%, visto que apenas 6,97% dos municípios estão no nível “ideal”.

Quanto aos indicadores relacionados ao índice temático de sustentabilidade político-institucional – ITSPI, calculado pela Equação (37), eles ofereceram informações a respeito ao processo de conhecimento das pessoas nos quesitos da orientação política, da capacidade participativa e dos esforços realizados enquanto contribua às mudanças necessárias à implementação dos objetivos do desenvolvimento sustentável, logo, a sustentabilidade hídrica da RH-CAN.

Pela Figura 53 observa-se que apenas os municípios de Barcarena e Castanhal atingiram o nível “ideal” com o valor máximo (1,0000) em 2005; em 2010 Barcarena teve o valor reduzido a 0,8333 e Castanhal manteve o resultado, além dos municípios de Mocajuba, Santa Bárbara do Pará e Bragança atingiram também esse valor. Em 2015 Castanhal conseguiu se manter e Barcarena voltou a valor inicial, contudo outros municípios atingiram o nível “ideal” com valor igual a 1,0000 que foram Acará, Benevides, Tailândia, Capitão Poço e Moju.

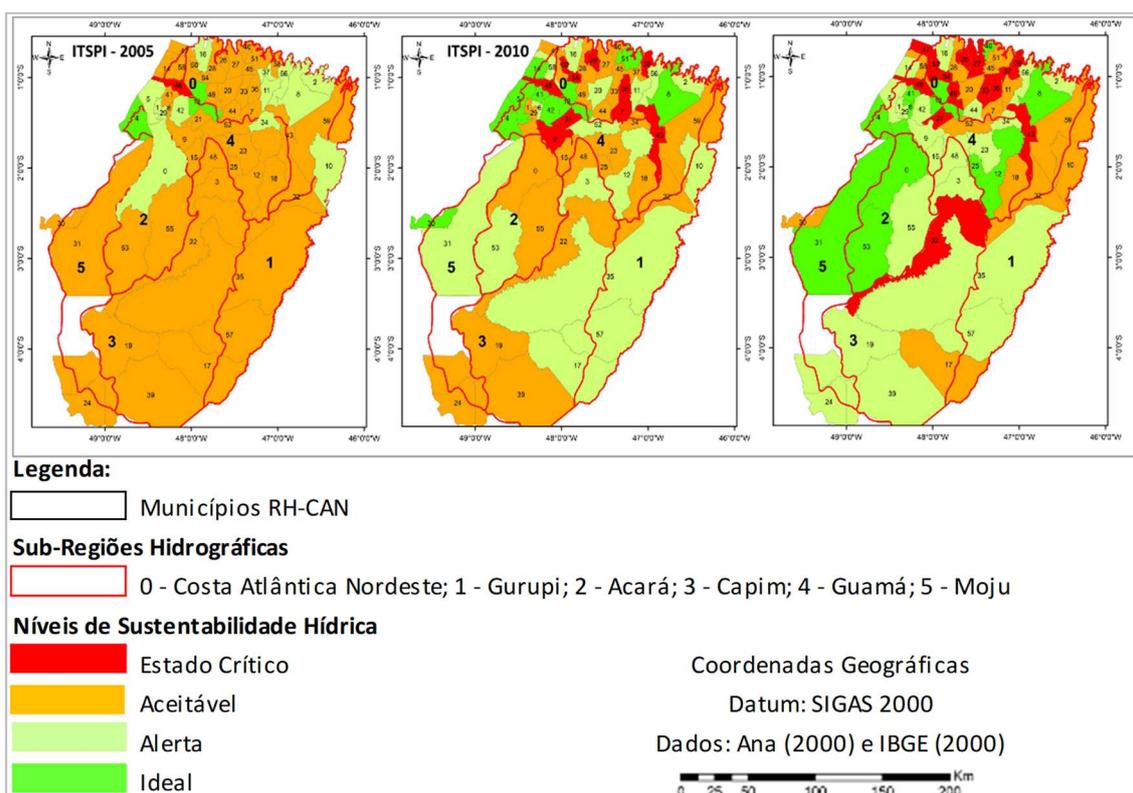
Figura 53 – Desempenho dos municípios, conforme o ITSPI.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Nessa dimensão os resultados do índice temático, conforme o coronário da sustentabilidade adotado é apresentado na Figura 54, onde têm-se os municípios classificados nos níveis mais baixos da sustentabilidade hídrica “alerta” e “estado crítico” localizados na SBRH Costa Atlântica, nos anos 2010 e 2015. Os municípios das SBRH Acará e Moju apresentaram os melhores resultados – “aceitável” e “ideal”.

Figura 54 – Espacialização e classificação dos municípios, conforme ITSPI.

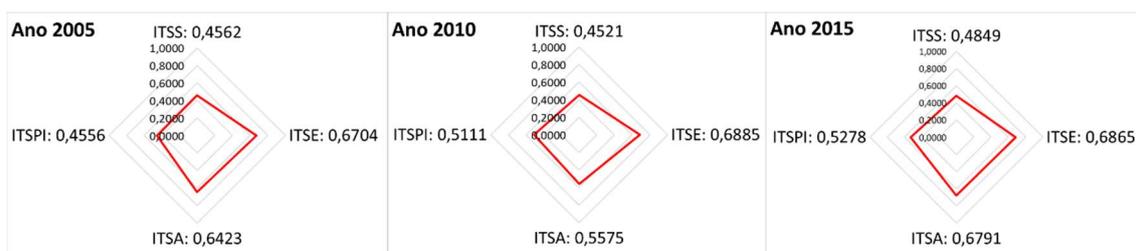


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Embora tenha sido o ITS que mais agregou municípios no nível “ideal” em 2015, esse resultado ainda revela as fragilidades das instituições dos municípios da RH-CAN, em especial, no que concerne a legislação e instrumentos de planejamento no município, com exceção ao instrumento plano diretor que a maioria dos municípios possui. No entanto, a precariedade dos recursos para gestão municipal é uma realidade, que reflete na baixa participação política da população e a falta de concessão dos meios necessários para o exercício da cidadania e da justiça social.

Observa-se no gráfico da Figura 55, o desempenho dos índices temáticos de sustentabilidade hídrica na RH-CAN, com os melhores desempenhos os índices ITSE e ITSA nos três anos analisados, nível “aceitável”. O ITSS apresentou a situação mais desfavorável, nível “alerta”. O ITSPI apresentou evolução em 2005 ficou no nível “alerta”, nos anos seguintes passou para o “aceitável”.

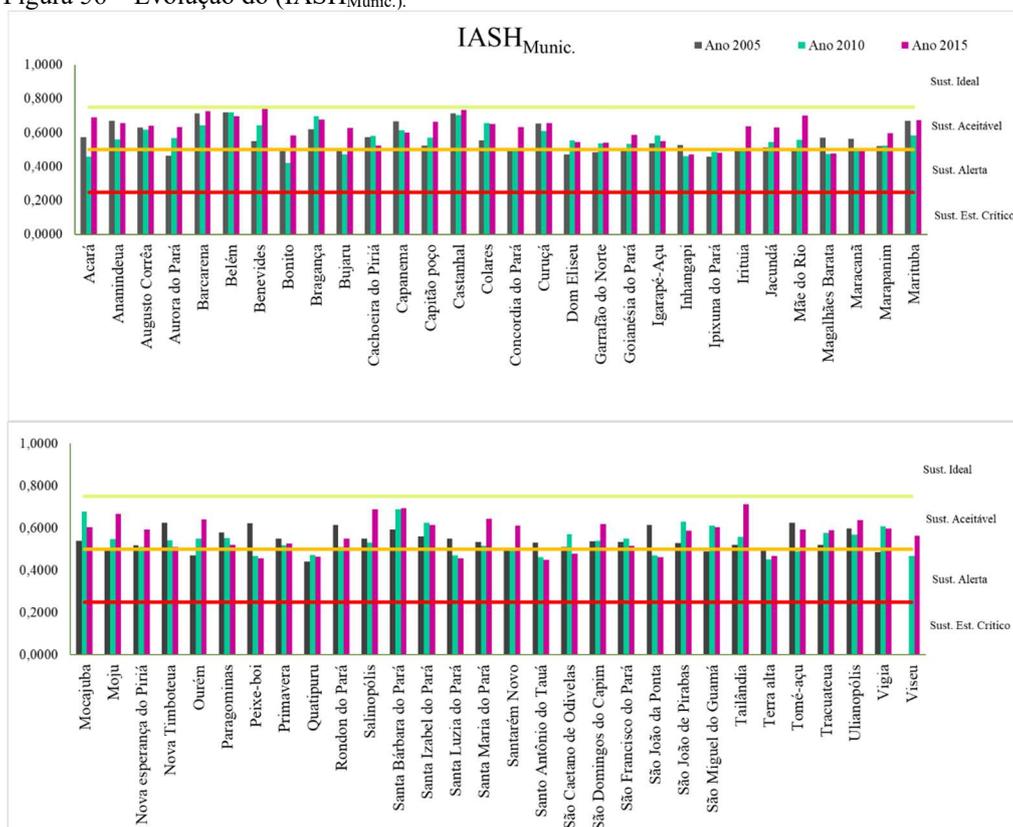
Figura 55 – Radar dos índices temáticos de sustentabilidade.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

De maneira geral assegura-se que os índices temáticos relacionados aos aspectos social e político-institucional são os que precisam de mais ações em busca de melhorias, visto que nelas existem entraves consideráveis relacionados à sustentabilidade hídrica da região estudada.

Os dados foram trabalhados em conjunto a partir da Equação (38) para a determinação dos índices municipais ($IASH_{Munic.}$), e são apresentados na Figura 56, onde os resultados mostram que o município de Benevides foi o único que atingiu o nível “ideal”, contudo 48,33% dos municípios apresentaram resultado acima da média da região em 2005 (0,5398); 30% em 2010 (0,5773) e 41,67% em 2015 (0,620), isto é, a maioria dos municípios estava no nível “aceitável” para a sustentabilidade hídrica.

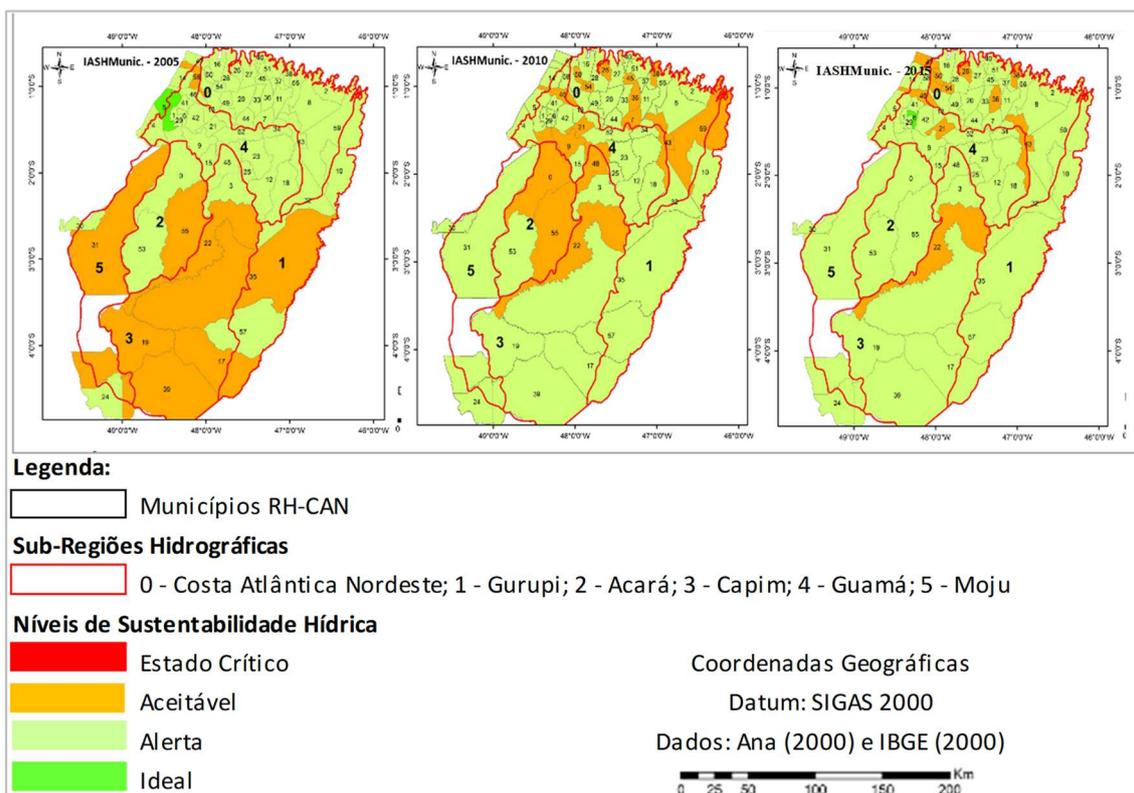
Figura 56 – Evolução do ($IASH_{Munic.}$).

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Esses resultados chamam a atenção para a situação de fragilidade em relação à sustentabilidade hídrica que alguns municípios enfrentam, e expõem a necessidade de intervenção a partir de políticas de gestão hídrica.

Os municípios foram espacializados (Figura 57), conforme o coronário da classificação dos níveis de sustentabilidade a partir dos resultados dos IASHMunic. Nela se observa a concentração dos municípios no nível “alerta” nas SBRH Gurupi, Acará, Moju e Capim em 2005, e constitui a porção mais fragilizada da região nesse ano. Esse método, comparado aos dois primeiros, foi o que mostrou melhor cenário para a sustentabilidade hídrica da região, onde se observa mais municípios no nível de sustentabilidade “aceitável”, comparado aos dois primeiros métodos de agregação dos indicadores, contudo, não significa ser o que melhor representa de fato a situação da região.

Figura 57 – Classificação do IASH_{Munic}.



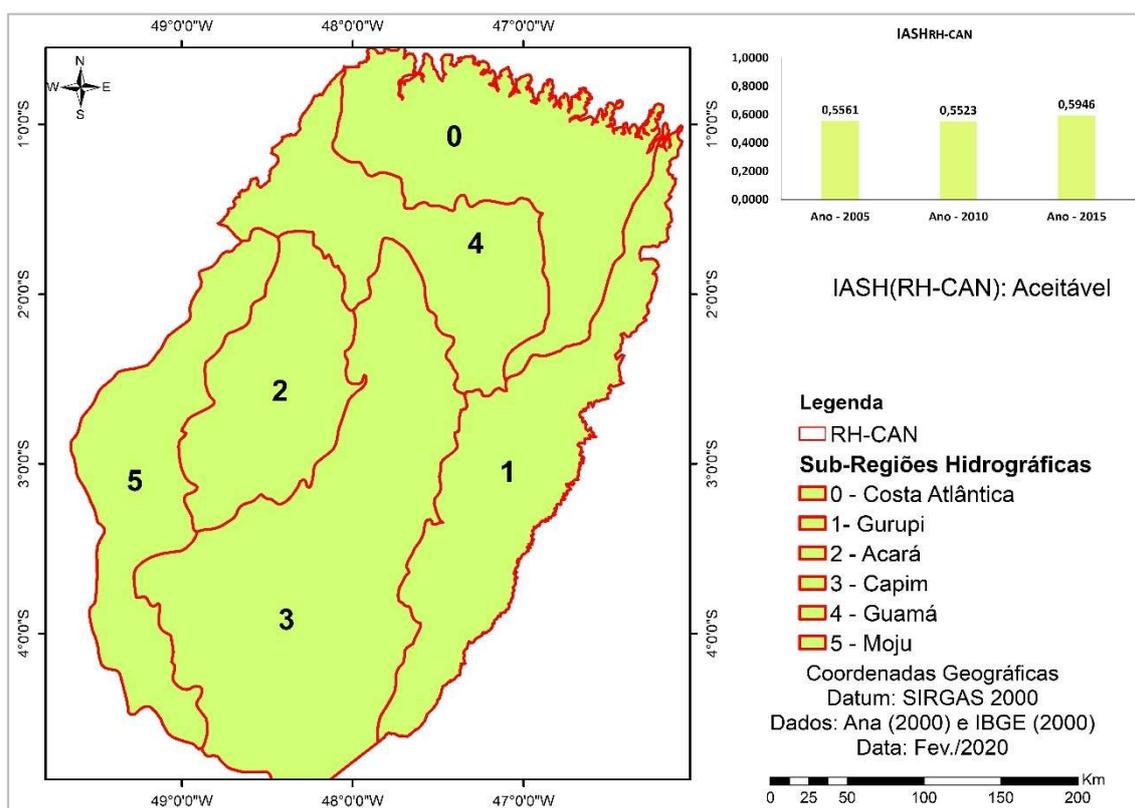
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Nos anos seguintes aumentou o número de municípios no nível “aceitável”, no ano de 2015 os municípios apresentaram os melhores desempenhos, chegaram ao nível de sustentabilidade “aceitável”. Com os valores dos índices municipais e a aplicação da Equação (34), obteve-se o índice para a região (IASH_{RH-CAN}) que permitiu uma análise

dos resultados nos três anos de estudo e sua classificação, de modo a avaliar as mudanças e evolução em torno da sustentabilidade hídrica.

Os resultados revelaram três cenários idênticos, ou seja, a região permaneceu no mesmo nível de sustentabilidade, ou seja, manteve a busca pela sustentabilidade hídrica regional. Os valores dos índices são dados na Figura 58 que permite classificar a região no nível de sustentabilidade “aceitável” nos três anos de estudo.

Figura 58 – Classificação do $IASH_{RH-CAN}$.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Diante desse cenário, torna-se fundamental que todos os municípios busquem alternativas e intervenções efetivas e eficazes capazes de melhorar os indicadores, de modo a prover o uso sustentável dos recursos e bens ambientais. E poderem diminuir suas participações na degradação ambiental da RH-CAN e colaborem para o seu planejamento e gestão de forma sustentável, mesmo que o $IASH_{RH-CAN}$ se mostre em evolução, pois mostrou um aumento no valor do índice regional de 0,5561 em 2005 para 0,5946 em 2015.

Dessa forma os resultados mostraram uma sistematização integrada dos indicadores, por abranger às quatro dimensões – social, econômica, ambiental e político-

institucional. Dimensões essas consideradas imprescindíveis à sustentabilidade hídrica de uma bacia hidrográfica, como destaca Maynard, *et al.* (2017).

Em estudo semelhante, desenvolvido por Vale *et al.* (2018) que utilizou a mesma padronização e método de estimação para o índice de desenvolvimento, mas com outros indicadores, para comparação da sustentabilidade entre os estados da Amazônia Legal, as dimensões político-institucional e econômica foram as que apresentaram o pior resultado, com o estado do Pará em “estado crítico” para a dimensão econômica e de forma geral a maioria dos estados da região, encontrava-se no nível “alerta”.

O método de estimação aplicado pautou algumas fontes fundamentais para servir de base e de parâmetros para a avaliação da sustentabilidade hídrica, que pode ser considerada positiva ou negativa. Trata-se, portanto, de um conjunto de indicadores que, são capazes de avaliar a sustentabilidade hídrica de uma região hidrográfica, por serem os mais significativos e importantes para avaliar o estado mais atual da região.

Fica evidente a necessidade de melhorar esse cenário em busca do nível “ideal” de modo que possa contribuir satisfatoriamente em torno da sustentabilidade hídrica da região. Esse resultado se distanciou do encontrado nos dois métodos anteriores, sendo uma das diferenças que neste, o $IASH_{RH-CAN}$ se mostrou em crescimento ao longo dos três anos, enquanto no segundo método, em 2015 o índice diminuiu.

Esse método, conforme evidenciado por Carvalho *et al.* (2011), se torna frágil quando se adota a média como medida para construir o índice de sustentabilidade hidrológica e ambiental e no caso do presente estudo a sustentabilidade hídrica.

6.1.4 Cálculo do $IASH_{RH-CAN}$: Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão

Na aplicação da AF por dimensão, o teste de Kaiser-Meyer-Olkin (KMO) demonstrou que o modelo pode ser aplicado sem restrições. Da mesma forma o teste de Bartlett apresentou nível de significância $p < 0,001$ e confirmou a presença de correlação entre os indicadores. Os resultados dos dois testes estão expostos na Tabela 15.

Tabela 15 – Teste de KMO para os ITS.

Teste de KMO e Bartlett				Social			Econômica		
				2005	2010	2015	2005	2010	2015
Medida	Kaiser-Meyer-Olkin	de	adequação de	0,592	0,642	0,726	0,606	0,509	0,565
	amostragem.								
	Teste de esfericidade		Sig.						
	de Bartlett			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Teste de KMO e Bartlett				Ambiental			Político-Institucional		
				2005	2010	2015	2005	2010	2015
Medida	Kaiser-Meyer-Olkin	de	adequação de	0,699	0,617	0,638	0,510	0,525	0,653
	amostragem.								
	Teste de esfericidade		Sig.						
	de Bartlett			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Determinou-se as comunalidades por representarem a proporção da variância comum no indicador. Seguido da determinação da matriz de variância total explicada, em que foram selecionados os componentes com autovetores superiores a 1, sendo então estimados os pesos/cargas fatoriais não rotacionados, mas para melhorar a identificação dos componentes com os indicadores e facilitar a interpretação dos dados, os componentes foram submetidos a uma rotação ortogonal pelo método Varimax para então obter-se a matriz de componentes rotativas, com as cargas/pesos fatoriais.

Dessa forma para o índice ITSS, foram formados quatro componentes em 2005 e três componentes nos dois anos seguintes. Para o ITSE cinco componentes nos dois primeiros anos e seis no último. No ITSA obteve-se quatro componentes em cada ano. O ITSPI com quatro componentes em 2005, em 2010 e 2015 apenas dois componentes.

Os pesos dos componentes principais revelaram o quanto da variância está em cada um dos indicadores originais e são explicados pelos componentes principais (LATTIN *et al.*, 2011). Como também representam as correlações entre as variáveis originais e os fatores, constituindo num aspecto importante da análise fatorial e a correlação com determinado fator.

As cargas fatoriais, as comunalidades e os autovalores referentes aos indicadores dos quatro índices temáticos de sustentabilidade (ITSS, ITSE, ITSA e ITSPI) nos três anos de estudo (2005, 2010 e 2015) são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 – Matriz de componentes principais rotativa.

ITS	Ano 2005							Ano 2010						Ano 2015						
	Ind.	C1	C2	C3	C4	C5	Com.	C1	C2	C3	C4	C5	Com.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Com.
ITSS	PRU	0,951				-	0,961	0,971					0,950	0,964						0,974
	PRR			-0,759			0,792		0,871				0,772			0,776				0,604
	TxUrb		0,793				0,745			0,535			0,612		0,715					0,740
	MG				0,987		0,977						0,264			0,724				0,552
	OI			0,867			0,828	-0,942					0,888	-0,924						0,905
	NV	0,962					0,965	0,953					0,912	0,954						0,909
	Deng	0,908					0,842		-0,782				0,633	-0,960						0,946
	IDEB		0,837				0,744			0,866			0,771		0,923					0,856
Autovalor (raiz característica) - F	3,204	1,438	1,181	1,03		-		3,165	1,543	1,094				4,020	1,420	1,045				-
Variância (%)	40,055	17,979	14,757	12,871		-		39,556	19,293	13,673				50,250	17,755	13,068				-
Variância Acumulada (%)	40,055	58,034	72,791	85,662		-		39,556	58,849	72,522				50,250	68,005	81,073				-
ITSE	PIBMerc		0,814				0,803			0,884			0,803			0,986				0,974
	PIBPC		0,773				0,781			0,719			0,781		-0,565					0,587
	PIBAgr	-0,744		-0,506			0,798	-0,683	-0,516				0,798		-0,928					0,894
	PIBInd		0,995				0,967			0,982			0,967			0,964				0,934
	LTQP			0,807			0,431		0,529			0,431		0,91						0,884
	LPQP					0,935	0,615		0,772			0,615						0,925		0,871
	QExtVeg					0,758	0,567		0,651			0,567	0,706							0,573
	Bov	0,951					0,928	0,955				0,928	0,96							0,940
	Bub			0,848			0,550		0,728			0,550							0,965	0,934
	Que	0,911					0,916	0,936				0,916	0,931							0,871
	Sui						0,637		0,712			0,637	0,55							0,682
	Cap	0,925					0,719	0,797				0,719								0,566
	Ov	0,918					0,906					0,906	0,952							0,941
	GaGT				0,975		0,969				0,981		0,969				0,961			0,928
GaGG				0,973		0,970				0,983		0,970				0,962			0,926	
Autovalor (raiz característica) - F	5,338	2,283	1,945	1,604	1,139			4,489	2,332	1,986	1,562	1,189		4,380	2,311	1,931	1,695	1,182	1,006	-
Variância (%)	35,589	15,221	12,964	10,691	7,595			29,925	15,550	13,239	7,925	6,300		29,200	15,410	12,873	11,297	7,880	6,707	-
Variância Acumulada (%)	35,589	50,810	63,774	74,465	82,059			29,925	45,475	58,713	69,128	77,053		29,200	44,609	57,482	68,779	76,660	83,366	-
ITSA	AT	-0,955					0,971	-0,969					0,957	-0,961						0,935
	DesfAcum	0,904					0,935	0,736					0,707	0,934						0,910
	IncDesf	0,942					0,929	0,941					0,929							0,130
	AFlor	-0,963					0,943						0,238	0,936						0,880
	TMA		0,975				0,973	-0,946					0,901			0,879				0,806
	ETo		0,956				0,976		0,990				0,985			0,891				0,829
	ACoAgr	0,764					0,804		0,988				0,980	0,860						0,751

Continua

ITS	Ano 2005							Ano 2010						Ano 2015						
	Ind.	C1	C2	C3	C4	C5	Com.	C1	C2	C3	C4	C5	Com.	C1	C2	C3	C4	C5	C6	Com.
	DSI	0,834				-	0,714	0,869				-	0,800	0,853				-	-	0,743
	QretPec	0,863				-	0,823		0,749			-	0,777	0,688				-	-	0,568
	QretUrb			-0,846		-	0,785			-0,763		-	0,668				-0,898	-	-	0,818
	QretRur				0,934	-	0,905		-0,651			-	0,577					-	-	0,330
	PTA			0,734		-	0,717			0,792		-	0,774				0,692	-	-	0,664
	Autovalor (raiz característica) - F	6,428	1,735	1,243	1,069	-	-	4,758	2,012	1,322	1,200	-	-	5,300	1,825	1,239	1,000	-	-	-
	Variância (%)	53,569	14,457	10,359	8,905	-	-	39,650	16,765	11,019	10,003	-	-	44,169	15,209	10,329	8,330	-	-	-
	Variância Acumulada (%)	53,569	68,026	78,384	87,289	-	-	39,650	56,415	67,435	77,438	-	-	44,169	59,378	69,707	78,037	-	-	-
	LParSol		-0,633			-	0,815		0,892	-	-	-	0,796	0,816		-	-	-	-	0,667
	LZon				0,953	-	0,922		0,900		-	-	0,811	0,864		-	-	-	-	0,763
	PD		0,919			-	0,891				-	-	0,193	0,781		-	-	-	-	0,610
	LZIEAmb			0,964		-	0,937				-	-	0,216	0,862		-	-	-	-	0,743
	TxCLix	0,939				-	0,896	0,934			-	-	0,882		0,944		-	-	-	0,891
	TxLUrb	0,932				-	0,886	0,903			-	-	0,835		0,946		-	-	-	0,899
	Autovalor (raiz característica) - F	2,007	1,232	1,068	1,041	-	-	2,012	1,727	-	-	-	-	2,808	1,765	-	-	-	-	-
	Variância (%)	33,450	20,528	17,795	17,348	-	-	33,528	28,678	-	-	-	-	46,799	29,417	-	-	-	-	-
	Variância Acumulada (%)	33,450	53,977	71,772	89,121	-	-	33,528	62,206	-	-	-	-	46,799	76,215	-	-	-	-	-

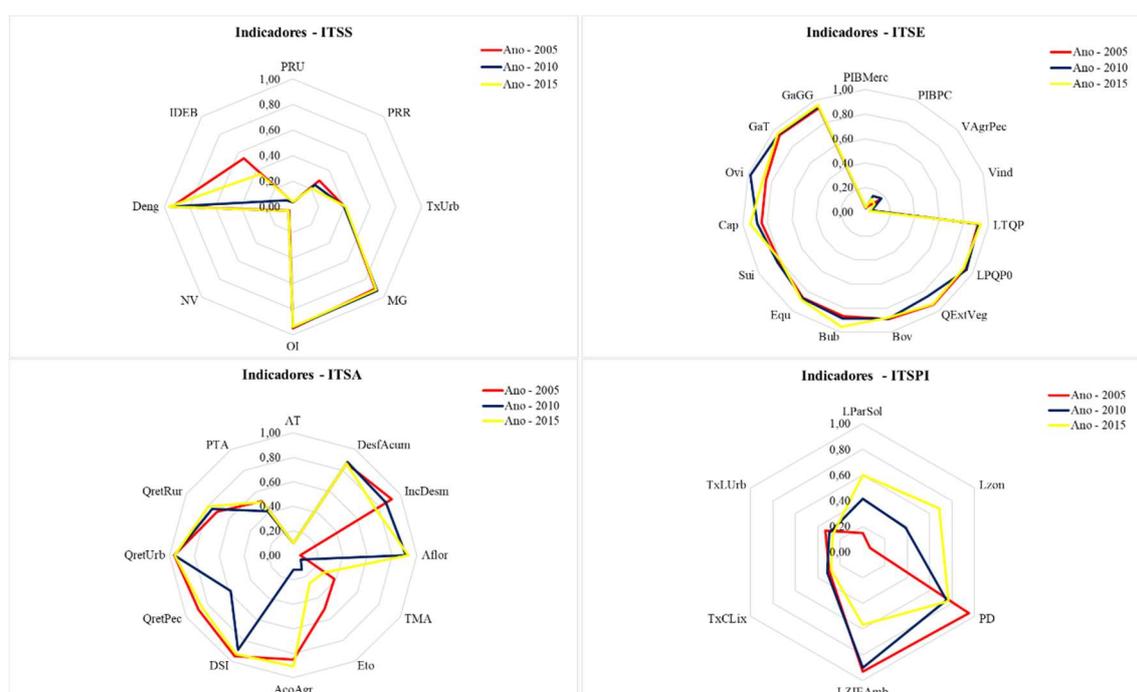
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

* Com. - comunalidade

Os indicadores mais importantes são aqueles que compõem o C1 em cada índice temático e em cada ano, devido ao fato desse componente ser o mais importante no modelo para a estimação dos índices agregados de sustentabilidade hídrica municipais (IASH_{Munic.}), desta forma, verificou-se que nos três anos avaliados os C1 não mantiveram a composição.

Os indicadores do índice temático de sustentabilidade ambiental - ITSA, foram os que mais influenciaram positivamente na sustentabilidade hídrica dos municípios, logo da região nos três anos de estudo, enquanto os do ITSS não apresentaram melhorias significativas. A média dos indicadores padronizados para os 60 municípios, é dada na Figura 59, para os três anos de estudo.

Figura 59 – Indicadores por índice temático.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

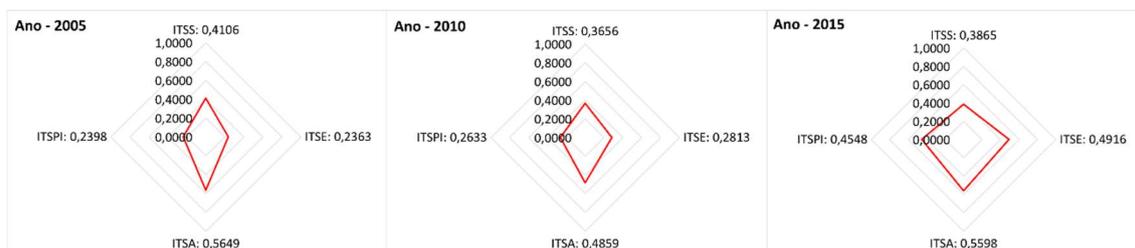
A leitura e análise da Figura 59 permite diagnosticar alguns entraves e/ou problemas relacionados a sustentabilidade hídrica da RH-CAN. Com os dados obtidos na mensuração do índice de sustentabilidade, conforme os respectivos ITS, percebe-se que os indicadores Deng, OI e MG, foram os mais altos e possuem relação negativa com a dimensão social, portanto, considerados um entrave para a sustentabilidade local.

No ITSE observa-se que os efetivos de animais não apresentaram aumento expressivo, assim como os PIB. Não diferente das quantidades produzidas nas lavouras temporárias e permanentes, bem como a extração vegetal. Enquanto os indicadores do

ITSA, o desempenho foi favorável à melhoria da dimensão. Os indicadores do ITSPI a maioria apresentou bons resultados, que refletiu no desempenho da dimensão.

Com a definição dos pesos fatoriais, foram determinados os índices temáticos de sustentabilidade para cada dimensão, pela Equação (39) e apresentados na Figura 60. Nela se observa que dos quatro índices, apenas o ITSS apresentou o menor valor em 2015, porém melhorou em relação a 2010. O índice ITSA foi o que apresentou o melhor resultado nos três anos de estudo.

Figura 60 – Desempenho dos ITS.



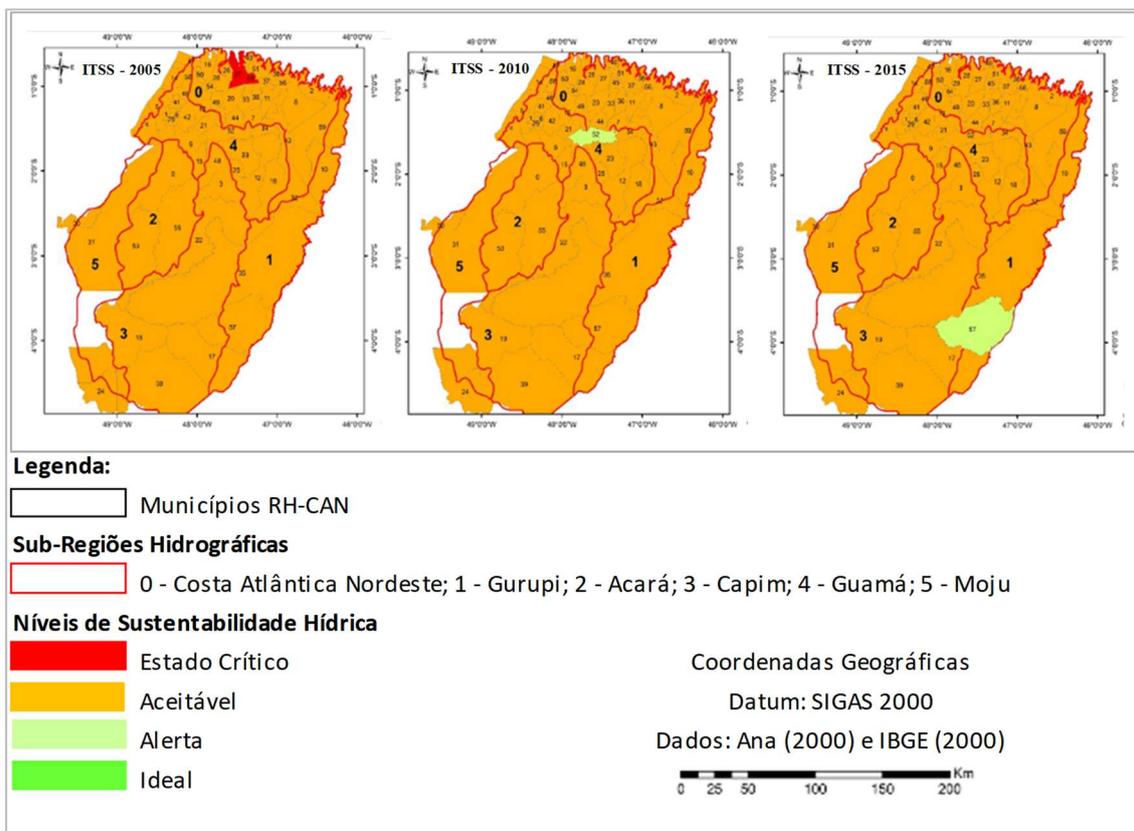
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Dada a importância dos índices temáticos (ITS), o ambiental (ITSA) se sobressaiu aos demais, por contemplar os indicadores de disponibilidade e demanda de água na RH-CAN representados pelas demandas para consumo humano (QretUrb e QretRur), agricultura (DSI) e pecuária (QretPec) e o indicador da disponibilidade hídrica a precipitação pluviométrica total anual (PTA).

Os indicadores ambientais apresentam relação não apenas entre si, mas também com os indicadores das outras dimensões, como, as áreas de florestas são áreas suscetíveis as ameaças pela expansão das atividades agropecuárias e resulta no incremento do desflorestamento, bem como nas perdas de recursos genéticos de animais e plantas (NARLOCH *et al.*, 2011), como também afetam o clima.

Esses índices temáticos foram espacializados, conforme o coronário dos níveis de sustentabilidade hídrica, em que permitiu analisar cada município da RH-CAN, nos três anos de estudo. Na Figura 61 têm-se 98% dos municípios em situação de “alerta” para o ITSS nos três anos de estudo, contudo três municípios apresentaram níveis de sustentabilidade diferenciado, como Maracanã no nível “estado crítico” em 2005, São Miguel do Guamá e Ulianópolis no “aceitável” nos anos 2010 e 2015, respectivamente.

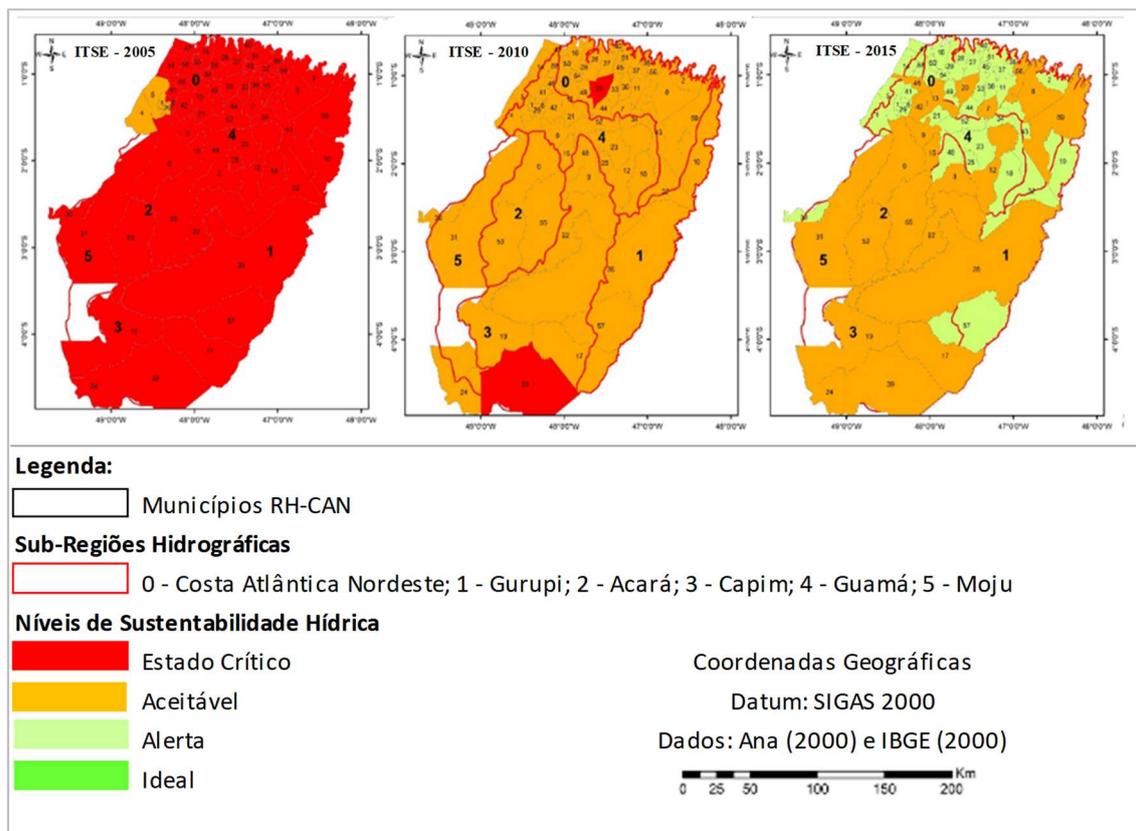
Figura 61 – Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSS.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

No ITSE apesar de os municípios terem apresentado evolução, o ano 2005 teve o pior resultado, com 97% no “estado crítico”, apenas Ananindeua, Barcarena e Belém, atingiram o nível “alerta”. Em 2010, os municípios sinalizaram melhoria, passaram para o nível “alerta”, porém, Igarapé-Açu e Quatipuru regrediram para o “estado crítico”. O ano 2015 foi o que apresentou melhor resultado, 63% dos permaneceram em “alerta”, e 27% evoluíram para o nível “aceitável”, sendo o melhor resultado alcançado nos três anos de estudo. A Figura 62 mostra a classificação por cores dos municípios nas suas respectivas sub-regiões.

Figura 62 – Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSE.



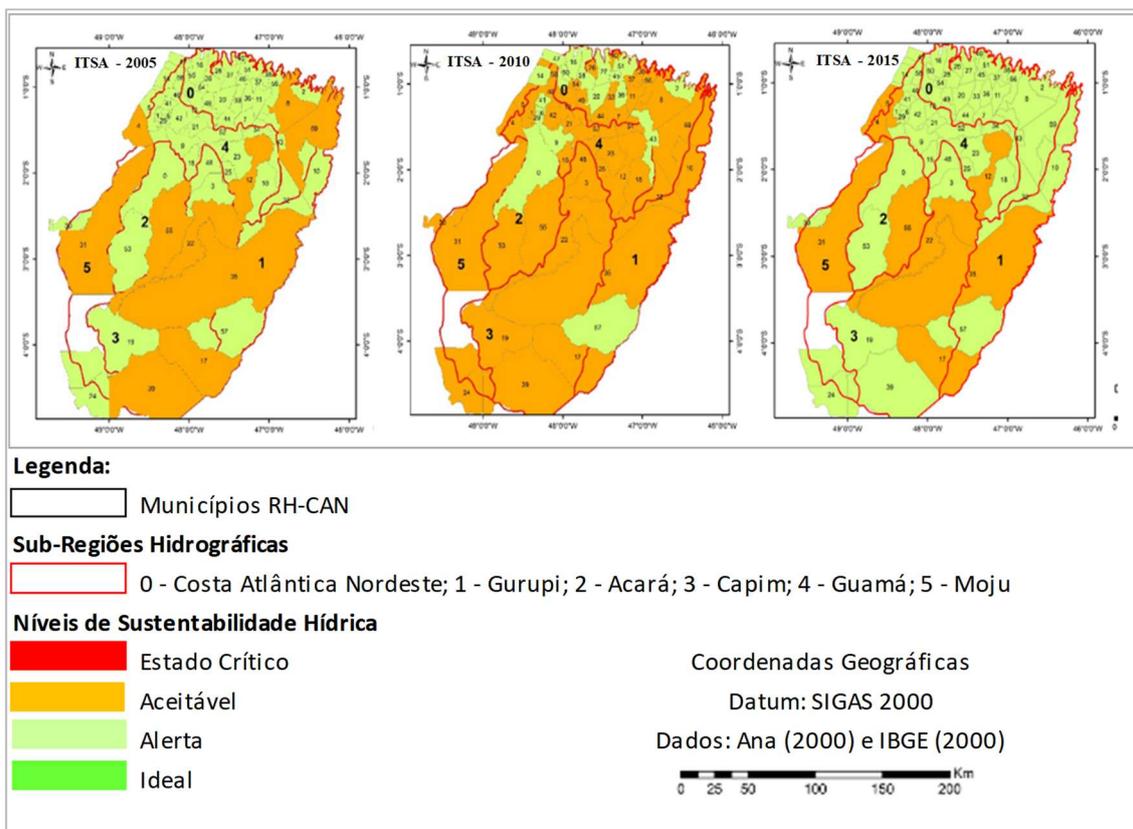
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O ITSA apresentou melhor resultado nos três anos, em que 83% dos municípios alcançaram o nível “aceitável”, contudo em 2010 houve uma regressão, o percentual de municípios no nível “alerta” foi de 70% e no “aceitável”, apenas 30%. Em 2015 foram 88% dos municípios no nível “aceitável” e 12% no “alerta”

Nesse contexto, controlar e manter um elevado padrão de qualidade ambiental se torna uma tarefa importante, diante das condições apresentadas pelos municípios, especialmente ao considerar o processo de urbanização desordenado e o crescente desenvolvimento da agropecuária.

A Figura 63 mostra a RH-CAN segundo o ITSA, a partir da classificação por cor, tornando nítido o processo de evolução dos municípios no contexto da sustentabilidade hídrica.

Figura 63 – Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSA.

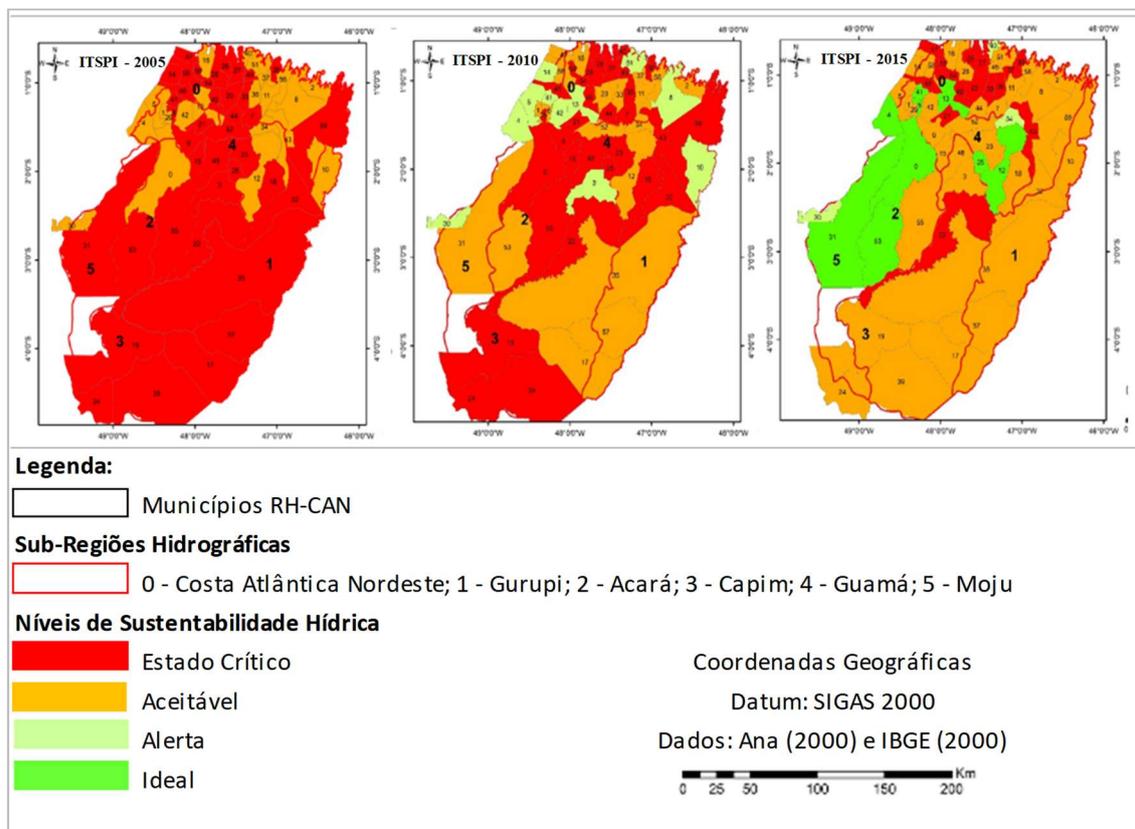


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

No que concerne o ITSPI, 63% dos municípios apresentaram nível “estado crítico” no ano 2005, contudo, nos dois anos seguintes do estudo, o cenário melhorou. No ano 2010, 50% dos municípios atingiram o “estado crítico”, da outra metade (50%), 37% passou para o “aceitável” e 37% o nível “alerta”.

Mas, foi no ano 2015 que os municípios deram um salto na sustentabilidade, condicionada aos instrumentos de gestão, planejamento e recurso. Onde 15% dos municípios atingiram o nível máximo o “ideal”, 10% o aceitável, 50% o “alerta” e 25% permaneceram no “estado crítico”. Contudo, o avanço das regulamentações e determinações legais ainda não correspondeu à realidade da maioria dos municípios da região, como observado na Figura 64.

Figura 64 – Classificação dos municípios da RH-CAN de acordo com o ITSPI.



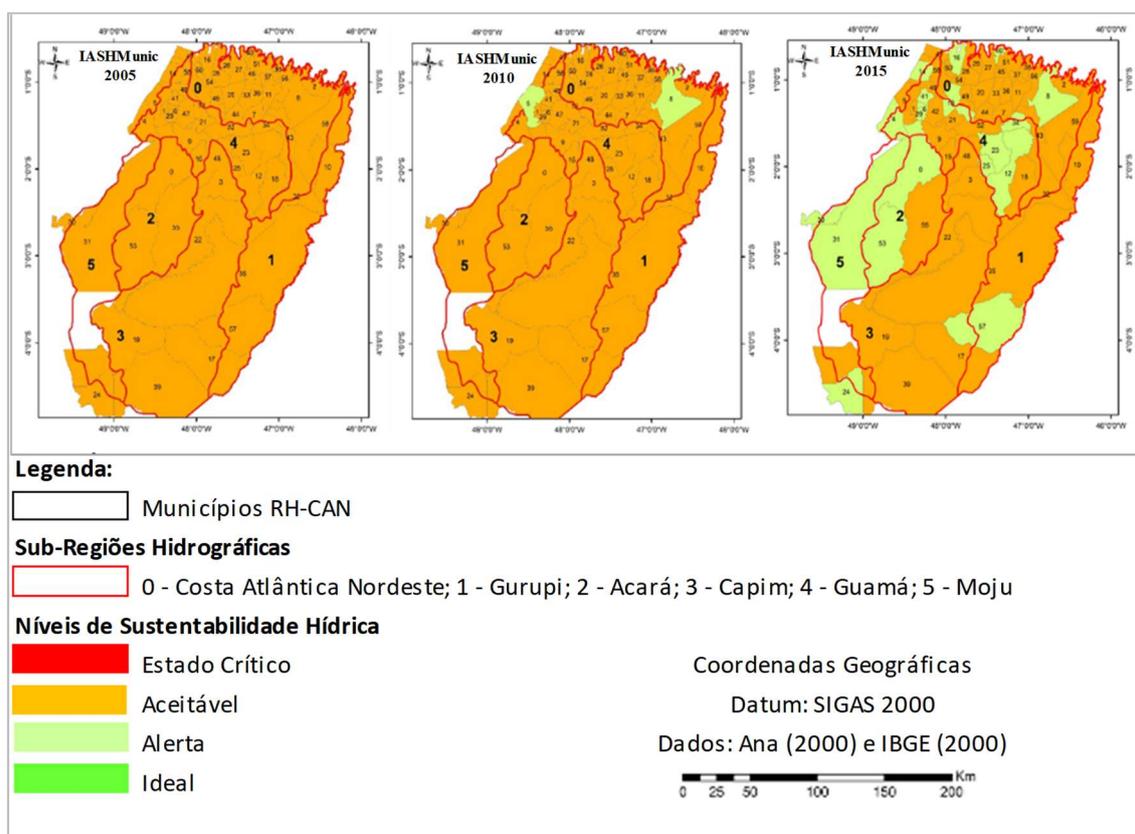
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Assim, o uso dos ITS se mostrou adequado, como constado por Silva *et al.* (2009b) em estudo realizado que aplicou os ITS (social, econômico, ambiental e político-institucional) na estimação do índice de desenvolvimento local sustentável – IDLS para o município de Campina Grande-PB.

Estimados os índices temáticos de sustentabilidade, calculou-se os $IASH_{Munic.}$ pela Equação (40) e dela realizou-se a classificação de sustentabilidade hídrica para os 60 municípios nos três anos de estudo.

A análise dos $IASH_{Munic.}$ no contexto de sub-regiões hidrográfica, observa-se pela Figura 65, que no ano 2005 todas as SBRH tiveram seus municípios classificados no nível “alerta”, com uma variação do índice entre 0,2968 (Maracanã) à 0,4454 (Belém). Em 2010 as SBRH Costa Atlântica e a do Guamá, sinalizaram uma evolução, pois dois municípios atingiram o nível “aceitável”, com a variação do índice de 0,2803 (Viseu) à 0,5163 (Belém). No ano 2015 a evolução dos municípios nas SBRH foi mais significativa, 19 municípios apresentaram nível “aceitável”, sendo ao menos um município em cada sub-região, nesse ano o índice ficou entre 0,3384 (Santo Antônio do Tauá) à 0,6372 (Benevides).

Figura 65 – Classificação dos municípios da RH-CAN, quanto ao nível de sustentabilidade hídrica.

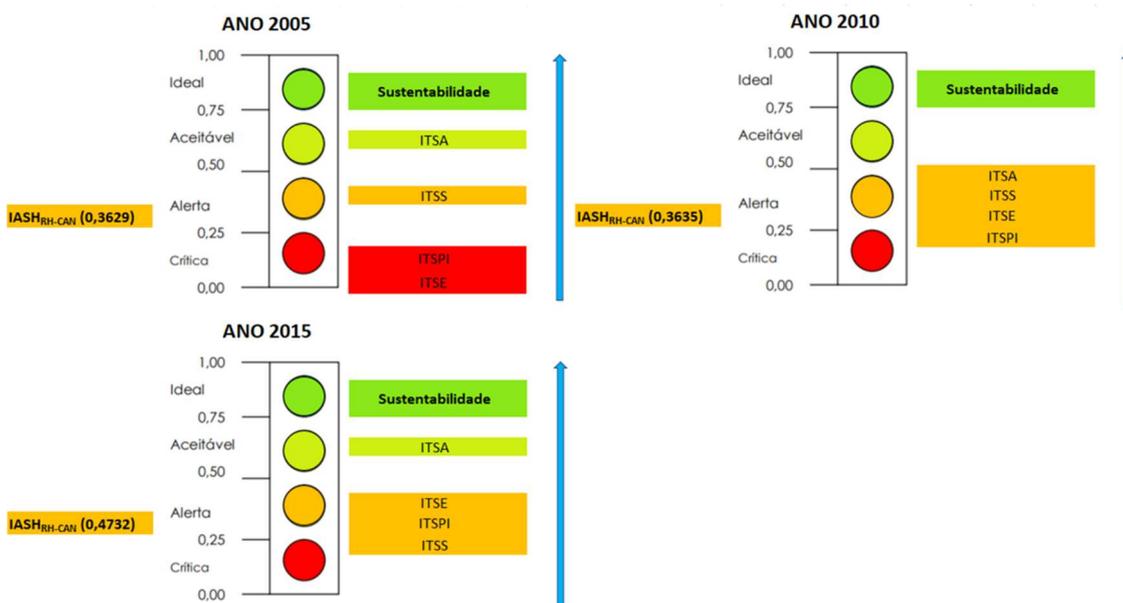


Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Esses três cenários mostram a necessidade de superação de dificuldades por parte dos gestores municipais, que pode ser trabalhada mediante políticas públicas eficazes que favoreça a promoção da sustentabilidade hídrica municipal, a partir da melhoria dos indicadores.

A fragilidade e a vulnerabilidade social, econômica, ambiental e político-institucional, que caracterizaram os municípios da RH-CAN tornam urgente a integração dos múltiplos aspectos da sustentabilidade hídrica nos processos de tomada de decisão relativos à definição de políticas, planos e programas de investimento que contribuam para alcançar um crescimento sustentável.

A Figura 66 mostra a representação gráfica do $IASH_{RH-CAN}$, a partir do semáforo visual dos ITS, conforme o coronário dos níveis de sustentabilidade nos três anos de estudo, que confirmou a evolução positiva dos ITS, porém muito ainda precisa ser feito para atingir o nível “ideal” da sustentabilidade hídrica.

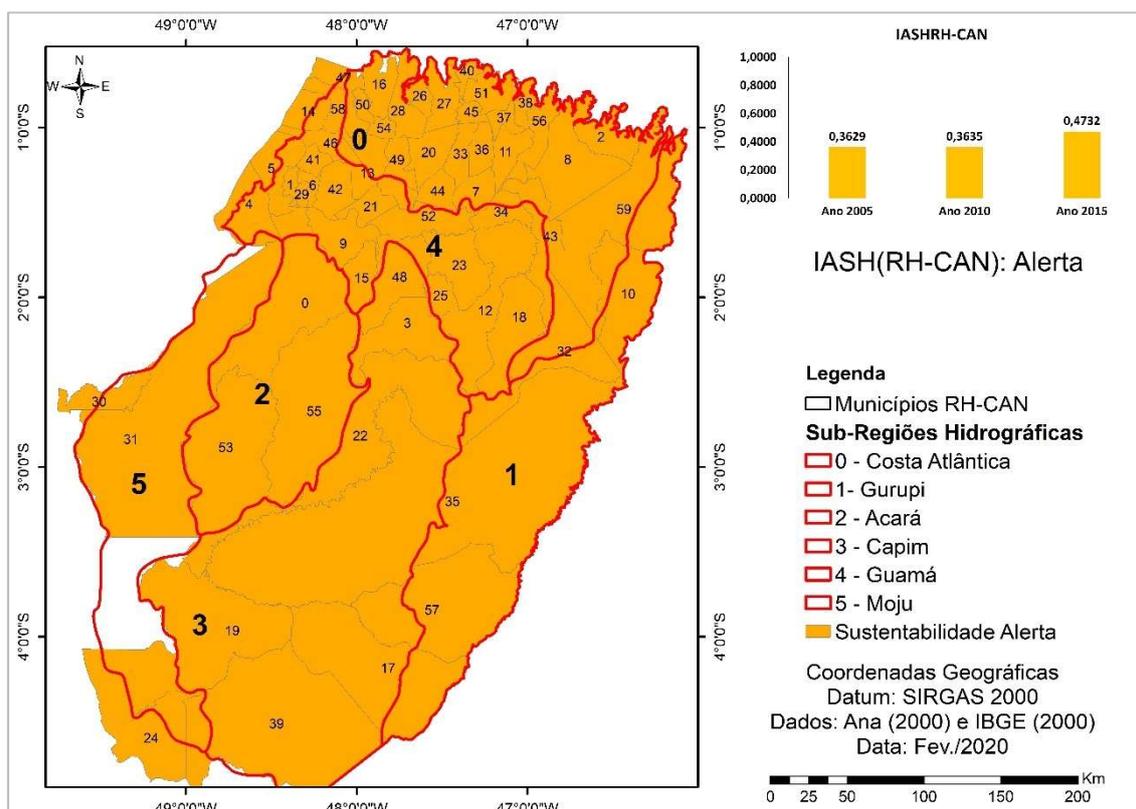
Figura 66 – Desempenho do $IASH_{RH-CAN}$ e dos ITS.

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2009b).

Nesse sentido a mensuração da construção do índice de sustentabilidade hídrica possibilitou diagnosticar o desempenho das sub-regiões hidrográficas da RH-CAN, contudo, a criação de instrumentos de mensuração tais como os indicadores de sustentabilidade consiste no principal desafio.

Logo, o índice de sustentabilidade hídrico proposto permitiu comparações entre as diferentes sub-regiões da RH-CN e o cálculo para $IASH_{RH-CAN}$, a partir da média dos 60 índices municipais ($IASH_{Munic}$) (Equação 34) para os anos de referência 2005, 2010 e 2015, conforme a classificação coronária e por valor dada pela Figura 67, que amostra região em evolução, situação que pode ser considerada otimista, apesar da fragilizada condição de sustentabilidade ou de insustentabilidade reversível presente na região.

Contudo, o índice de sustentabilidade precisa de acompanhamento, de forma a permitir comparação temporal e verificar resultados alcançados oriundos de ações implementadas e acompanhadas ao longo do tempo (GUIMARÃES; FEICHAS, 2010; LACERDA *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2017a).

Figura 67 – Classificação do IASH_{RH-CAN}. - Método de Ponderação com Pesos Fatoriais por Dimensão

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Por fim, comparando o método de agregação dos indicadores com cargas fatoriais por dimensão com os anteriores, observou-se que o resultado foi semelhante aos métodos usando as cargas e escores fatoriais e se distanciou do método de agregação dos indicadores com pesos iguais.

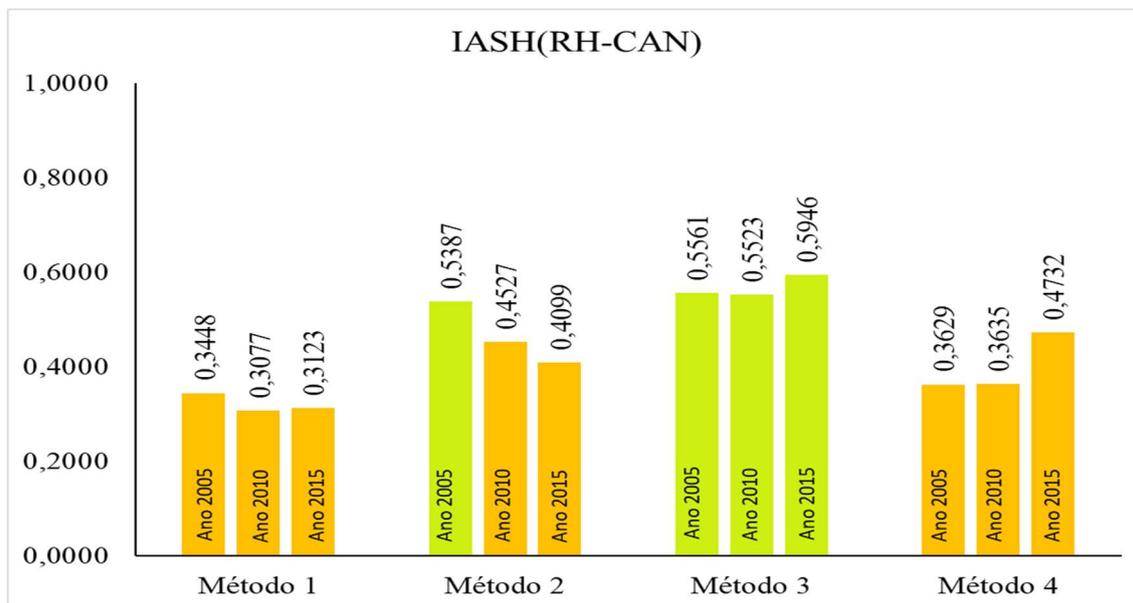
6.1.5 Avaliação dos métodos de agregação para estimação do IASH

De modo geral, os quatro métodos aplicados para mensurar o IASH_{RH-CAN} se mostraram apropriados, por apresentarem dados acessíveis, memória de cálculo simples e de fácil interpretação e aplicabilidade, porém o objetivo é selecionar o mais adequado, contudo não se pode analisar apenas sob a opinião do pesquisador, mas recorrer a ferramentas estatísticas que possibilitam tal necessidade.

Assim, ao comparar os resultados do IASH_{RH-CAN} na Figura 68 nos três anos de estudo, a partir de cada método aplicado, observa-se que o método 3 (soma ponderada com pesos iguais) foi o que apresentou o melhor cenário para a região, ao colocar a região numa situação mais confortável quanto a sustentabilidade hídrica. Como existem diversos

métodos de mensurar um índice, atenção deve ser dada, pois, pode levar a superestimar o cenário e tornar a região mais fragilizada.

Figura 68 – Comparação entre os Métodos de estimação do IASH_{RH-CAN}.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Logo os pesos podem ter um efeito significativo na classificação da região analisada e na subsequente formulação de políticas, evidenciando que mesmo em estudos relevantes, no entanto, ainda não conferiram atenção especial a essa questão, que é uma lacuna (SINGH et al., 2007).

Dessa forma os métodos que utilizaram os escores e as cargas fatoriais foram os que melhor representaram os cenários mais reais para sustentabilidade hídrica dos municípios da RH-CAN. A justificativa para se escolher o escore fatorial é que ele é computado com base nas cargas fatoriais de todas as variáveis que compõem o fator, evitando repetição de informações (NIRAZAWA; OLIVEIRA, 2018).

O uso dos escores fatoriais é mais indicado por serem mais confiáveis na amostra na qual as análises fatoriais foram baseadas, quando são calculados utilizando os pesos fatoriais derivados do padrão fatorial comum (HARMAN, 1976).

Contudo, não basta apenas uma análise qualitativa, mas também se necessita da quantitativa para estabelecer o método de melhor adequação para mensurar a sustentabilidade hídrica da RH-CAN.

Conforme metodologia estabelecida para verificar a significância das estimativas encontradas, o teste de Durbin-Watson testou a autocorrelação como

satisfatória. Hair, *et al.* (2009) recomenda valores do teste de Durbin-Watson entre 1 e 10. A Tabela 17 mostra os resultados da validação nos três anos de estudo.

Tabela 17 – Teste de Durbin-Watson segundo os métodos de agregação

Métodos	Média - Durbin-Watson		
	2005	2010	2015
Ponderação com pesos fatoriais	2,145	1,678	1,595
Ponderação com escores fatoriais	2,065	1,667	1,659
Ponderação com pesos iguais	2,061	1,761	1,465
Ponderação com pesos fatoriais por dimensão	1,988	1,690	1,485

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O teste de Durbin-Watson mostrou que todos os métodos de agregação ficaram com valores entre 1,465 a 2,145, logo os resíduos são independentes, porém os métodos de ponderação com pesos fatoriais, com pesos iguais e com escores fatoriais apresentaram os melhores resultados nos anos 2005, 2010 e 2015, respectivamente.

Do ponto de vista metodológico, as soluções da análise multicritério incorporam em sua medida final de ordenamento todos os critérios usados e que se apresentam mais balanceadas que as medidas obtidas pela média, isto é, as alternativas que superam as demais com maior frequência tendem a ser melhor posicionadas na escala de ordenamento (CARVALHO *et al.*, 2013).

Logo, tem-se que o método de estimação do IASH_{RH-CAN} com os valores dos escores fatoriais foi o que melhor retratou a realidade da região, pois considerou o maior número de indicadores que de forma direta e/ou indireta estão associados a manutenção da sustentabilidade hídrica local e por apresentar mais vantagem que os demais.

Esse método da ponderação com escores fatoriais também foi aplicado para a determinação de índices de sustentabilidade em estudos de Barbosa (2017); Paixão *et al.* (2020); Ramos; Pontes; Morel (2021); Recena Aydos; Figueiredo Neto (2019); Pinto; Rossato; Coronel (2019).

Reis (2015) afirma que a sustentabilidade está diretamente relacionada ao uso dos recursos naturais de forma inteligente, diante de uma perspectiva dinâmica e sistêmica, de modo a garantir sua manutenção para as futuras gerações. Visto que não há sentido em haver apenas o crescimento econômico sem haver, juntamente, o desenvolvimento social, que irá possibilitar a qualidade de vida da sociedade (SARAIVA *et al.*, 2020).

6.1.6 Análise de Cluster

A análise de *cluster* foi desenvolvida em função do resultado do método de agregação mais adequado para representar a sustentabilidade hídrica da RH-CAN, neste caso o Método da Ponderação com os Escores Fatoriais, de modo a responder à questão levantada: os IASH_{Munic.} estão concentrados, dispersos ou aleatoriamente distribuídos espacialmente?

Dessa forma, inicialmente, procurou-se reunir em grupos os municípios semelhantes em magnitude dos 10 fatores (F1 a F10) formados em 2005 e dos 11 fatores (F1 a F11), nos anos 2010 e 2015 para mostrar como os indicadores que compõem cada escore influenciam os municípios.

O número de *clusters* foi definido de modo que os agrupamentos apresentassem um alto grau de homogeneidade entre os municípios e um alto grau de heterogeneidade entre eles, a partir fatores. Assim, em cada grupo, as observações em conjunto mostraram padrões diferenciados de relacionamentos com os fatores, em que permitiu a diferenciação dos grupos formados.

A definição do número de grupos formados, considerou uma visão sistêmica, a partir da similaridade das características de sustentabilidade hídrica dos municípios em função dos componentes, por meio do método de Ward, com a distância Euclidiana

Contudo, antes de efetuar os métodos de validação foram testados os Coeficientes de Correlação Cofenética (CCC), para os agrupamentos formados nos três anos de estudo, que resultou no CCC com valores entre 0,5738870 e 0,6330874 em 2005; entre 0,6380413 e 0,6900837 em 2010 e entre 0,4546219 e 0,5253953 em 2015, que revelou a variabilidade na consistência do padrão de agrupamento entre os componentes, matrizes de distância e métodos de agrupamento.

Além de indicar uma baixa distorção entre a matriz original dos coeficientes de distâncias euclidianas dos indicadores avaliados e a matriz resultante do processo de agrupamento. A hipótese nula foi testada para 95% do intervalo de confiança e $p \leq 0,05$, que indicou a necessidade de avaliar a magnitude dos valores de CCC, visto que os valores próximos à unidade indicam maior consistência do padrão de agrupamento (BARROSO; ARTES, 2003) e devem ser os preferidos. Este resultado demonstrou boa confiabilidade no método de agrupamento utilizado e, conseqüentemente, nos dendrogramas gerados.

Assim a formação dos agrupamentos de municípios nos três anos de estudo foi validada pelos modelos de Davis Bouldin, Dunn, Silhouette, PBM e Xie Beni e os resultados apresentados na Tabela 25 (Apêndice 4), que resultou em dois *Clusters* para cada ano de estudo.

Compreende-se que, no *cluster* 1 em 2005, ocorreu uma prevalência de representatividade dos indicadores PIBMerc, NV, QretUrb, Deng, PIBInd, PIBPC, OI e LZon, por meio dos escores fatoriais F2 e F3. A associação desses indicadores contribuiu para o resultado do IASH_{Munic.} ser classificado no nível “alerta” para a sustentabilidade hídrica, como alerta aos atores sociais, além de e constituir autoridades para a necessidade de continuar trabalhando para chegar ao nível “ideal”.

Por outro lado, no grupo 2 predominou os escores fatoriais F1, F9 e F10 os quais são compostos por indicadores das dimensões econômica, ambiental e político-institucional, que contribuíram para o valor médio do IASH_{Munic.} ser “aceitável”.

Em 2010, os *clusters* em média apresentaram IASH_{Munic.} classificados no nível “alerta”. No *cluster* 1 os escores que mais influenciaram foram F2, F4, F6 e F11, sugerindo que os indicadores das dimensões social, econômica e ambiental foram os que mais influenciaram na determinação do IASH_{Munic.}. No grupo 2 foi o que mais agregou municípios, sendo os escores F1 e F3, que mais contribuíram na formação do grupo, tendo os indicadores LTQP, PIBAgr, DSI, ACoAgr, IDEB e IncrDesm, os mais influenciadores no resultado, com destaque para os da dimensão ambiental.

Em 2015 após a aplicação da análise multivariada dos indicadores, foram gerados os escores fatoriais, observou-se a formação de *clusters* de municípios com similaridade em função dos escores fatoriais F2 e F4, característicos do grupo 1, com média do IASH_{Munic.} de 0,3186, sendo que os indicadores mais representativos em cada escore foram PRU, Deng, NV, OI, PIBInd, PIBMerc, QretUrb no F2 e LZIEAmb, LZon, LParcSol e PD no F4, com relevância importância na dinâmica social, econômica e de uso e ocupação do solo.

O resultado da média dos escores fatoriais originais em relação ao número de municípios por *cluster*, possibilitou confirmar a importância das dimensões e dos indicadores que os compõem na formulação dos índices agregados de sustentabilidade hídrica municipal, portanto, pôde-se interpretar que os escores com valores próximos de zero indicavam nível médio, no que se refere ao significado do fator em consideração. Quanto maior em relação a zero for o escore fatorial, tanto mais avançado seriam os municípios do *cluster* em análise.

A Tabela 18 mostra a composição dos Clusters, conforme a média dos fatores, conforme o número de municípios, nos três anos de estudo.

Tabela 18 – Média dos fatores e dos IASH_{Munic.} dos grupos de municípios nos três anos de estudo.

Ano	Itens	Média dos Fatores	
		Cluster 1	Cluster 2
2005	F1	-0,5684	0,2247
	F2	0,4283	-0,1694
	F3	0,5504	-0,2176
	F4	0,0806	-0,0319
	F5	-0,6661	0,0263
	F6	0,0530	-0,0209
	F7	-0,4076	0,1611
	F8	0,0374	-0,0148
	F9	-0,6240	0,2467
	F10	-0,5089	0,2012
	Méd. IASH_{Munic.}	0,4928	0,5568
2010	F1	-0,7096	0,2160
	F2	0,4500	-0,1370
	F3	-0,8167	0,2486
	F4	0,5643	-0,1718
	F5	-0,4183	0,1273
	F6	0,3576	-0,1088
	F7	-0,5860	0,1784
	F8	0,0487	-0,0148
	F9	-0,0720	0,0219
	F10	0,0065	-0,0020
	F11	0,5044	-0,1535
	Méd. IASH_{Munic.}	0,3875	0,4651
2015	F1	-0,7488	0,2960
	F2	0,3186	-0,1260
	F3	-0,3679	0,1454
	F4	0,6111	-0,2416
	F5	0,1722	-0,0681
	F6	0,0743	-0,0294
	F7	-0,3318	0,1256
	F8	-0,1732	0,0685
	F9	-0,2645	0,1046
	F10	-0,2709	0,1071
	F11	-0,5683	0,2247
	Méd. IASH_{Munic.}	0,3780	0,4225

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

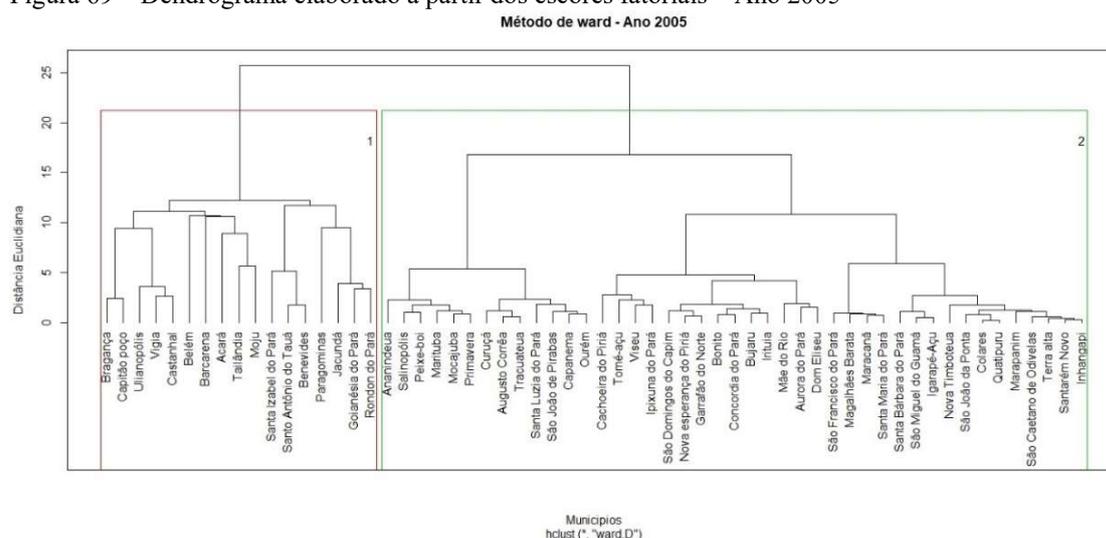
Com essas informações foi possível verificar no grupo 2 os principais fatores contribuintes para a estimação do IASH_{Munic.}, sendo o F1, representado pelos indicadores das dimensões econômica e ambiental, e o F11, definido pelo indicador IncDesm da dimensão ambiental.

Constatou-se que os dados levantados sobre os indicadores das dimensões social, econômica, ambiental e político-institucional por meio dos escores fatoriais permitiram

agrupar por similaridade, 17 (28%) municípios no *cluster* 1 e 43 (72%) no *cluster* 2 nos anos 2005 e 2015, em 2010 foram agrupados 14 municípios no *cluster* 1 e 46 no grupo 2.

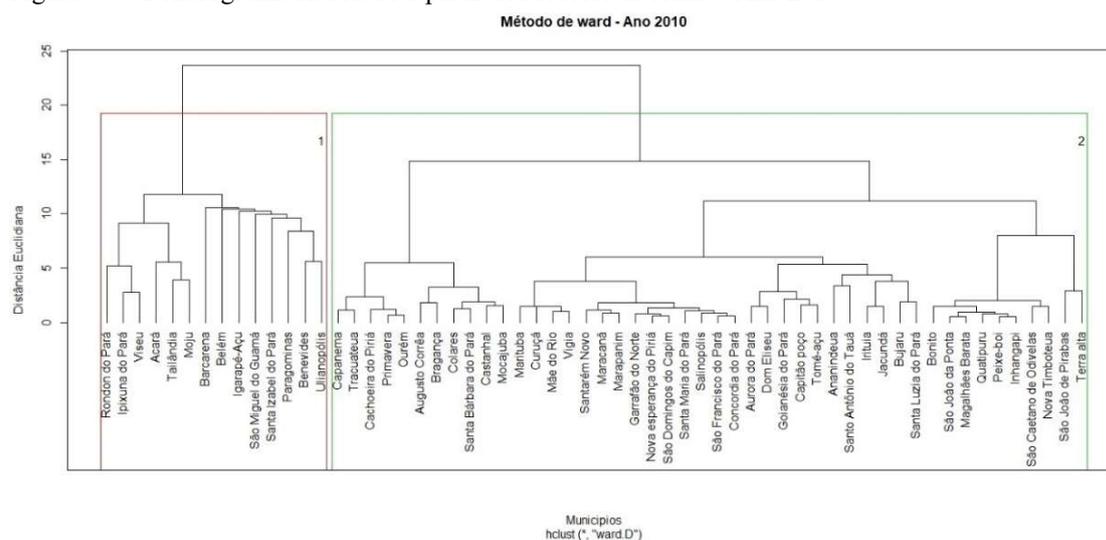
O *cluster* 2 agregou o maior número de municípios, que o configurou ser o agrupamento mais representativo nos três anos de estudo. Os *clusters* apresentaram municípios com a mesma semelhança entre os indicadores que formaram os escores fatoriais, especialmente, aqueles com os maiores pesos. Os dendrogramas das Figura 69, Figura 70 e Figura 71, mostram a composição dos *clusters*.

Figura 69 – Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2005



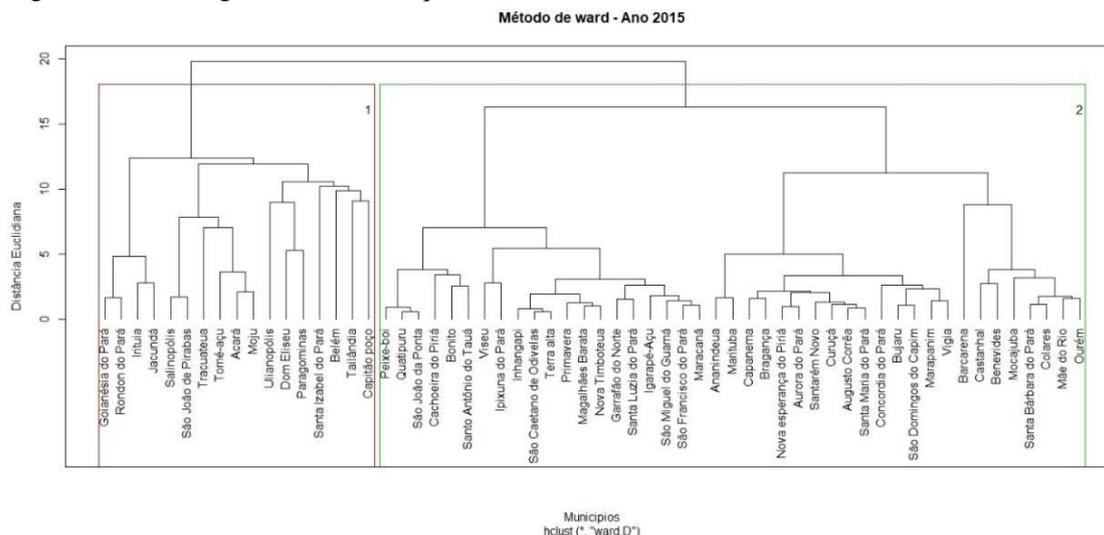
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 70 – Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2010



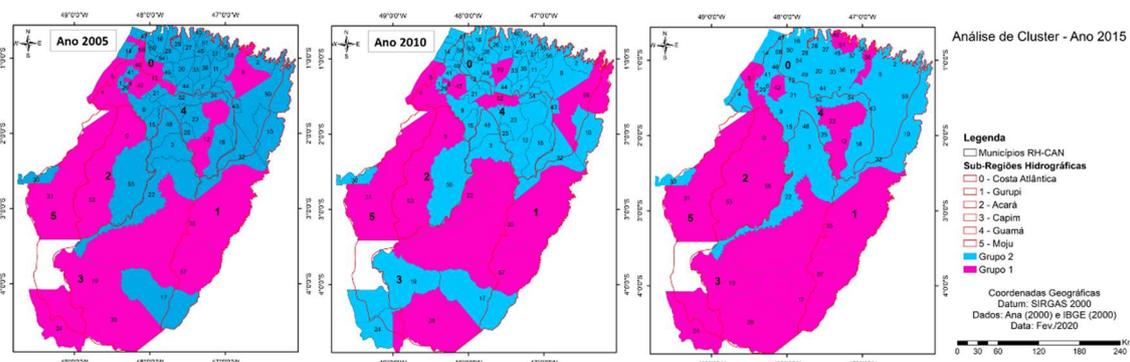
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Figura 71 – Dendrograma elaborado a partir dos escores fatoriais – Ano 2015



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

De forma geral, se observa pela Figura 72 que em 2005 a distribuição espacial dos municípios do grupo 1 se mostrou dispersa na região, isto é, distribuídos por todas as sub-regiões hidrográficas. Em 2010, o *cluster* 1 passou a agregar os municípios localizados mais na porção sul da região, o que se consolidou em 2015 ao longo das SBRH Gurupi, Acará, Capim e Moju.

Figura 72 – Espacialização dos municípios conforme os *clusters* na RH-CAN.

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

A análise desses municípios a partir dos $IASH_{Munic.}$, teve como validação do método para a formação dos agrupamentos os coeficientes CCC (2005) 0,540899; CCC (2010) 0,6224288 e CCC (2015) 0,4603373, que revelou a variabilidade na consistência do padrão de agrupamento entre os componentes, matrizes de distância e métodos de agrupamento.

O número de grupos formados, também foi a partir do método de Ward, com a distância Euclidiana, validado pelos métodos de Davies Bouldin, Dunn, Silhouette, PBM

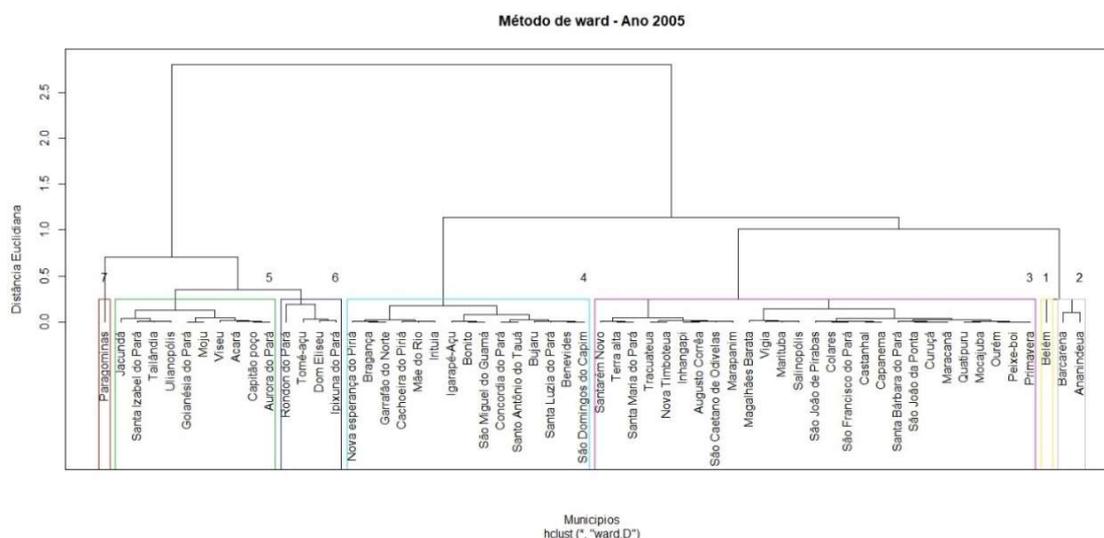
e Xie Beni, os quais definiram o melhor número de *cluster* formado, Tabela 26 (Apêndice 5), sendo sete *clusters* em 2005 e 2015, seis em 2010.

Embora a escala de classificação dos municípios para a sustentabilidade hídrica seja definida neste estudo em quatro níveis, a análise de *cluster* revelou que a partir dos intervalos de classificação, os municípios apresentaram uma relação ainda mais restrita, isto é, o quão mais próximos estavam dos extremos dos níveis de sustentabilidade hídrica.

Situação essa que possibilita os gestores a planejarem medidas de gestão necessárias para intervenções no sentido de frear o andamento dos municípios para a insustentabilidade hídrica local.

A Figura 73 apresenta o dendrograma para o ano 2005, nele observam-se que os municípios com melhores desempenhos quanto ao índice, encontram-se nos *clusters* 2, 3 e 4, embora esses tenham ficado no nível “aceitável”, foram subdivididos conforme os valores do $IASH_{Munic.}$ em que o *cluster* 4 agregou os municípios que estão mais próximos do nível “alerta”, os *clusters* 5 e 6 agregaram municípios no nível “alerta” e o *cluster* 5 os que apresentaram os índices menores em relação ao *cluster* 6.

Figura 73 – Dendrograma elaborado a partir dos $IASH_{Munic.}$ – Ano 2005.



Fonte: Elaborada pela autora (2019).

O município de Barcarena, embora tenha sido classificado no nível “ideal”, mas como o valor foi menor que o valor máximo (1,0000) integrou o *cluster* 2, pois ficou mais próximo do valor de Ananindeua, enquanto Belém apresentou índice igual a 1,0000 valor mais alto na classificação, compôs sozinho o *cluster* 7.

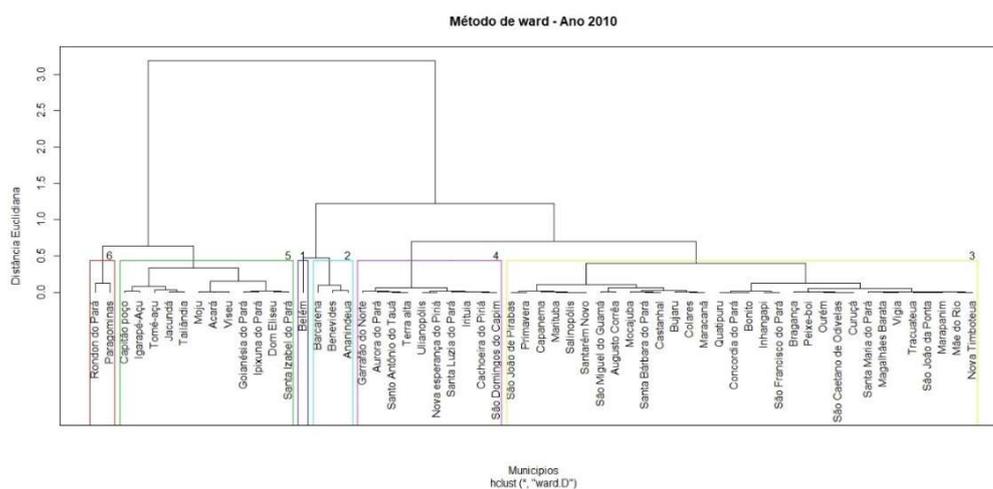
Dando continuidade as análises com base numa visão sistêmica no ano 2010, a partir das similaridades dos municípios em função do $IASH_{Munic.}$, o *cluster* 3 envolveu 32

municípios, a principal característica do agrupamento foi o índice no intervalo entre 0,4528 a 0,5701, onde 13 municípios estavam no nível “aceitável” para a sustentabilidade hídrica e o restante no nível “alerta”.

O *clusters* 4 e 5 agregam municípios classificados no nível “alerta”, sendo o 5 com os índices no intervalo de 0,2119 a 0,3831, isto é, também agregou municípios no nível “estado crítico”, como Moju, Acará e Viseu.

Integraram o *cluster* 6 os municípios com os índices mais baixos (0 a 0,1009) que foram Rondon do Pará e Paragominas que também estavam no nível “estado crítico”. O *cluster* 2 agregou os municípios com índices bem acima da média da região (0,5387), que foram Barcarena (0,7321), Benevides (0,6700) e Ananindeua (0,6164) e o *cluster* 1 formado por Belém que registrou o valor máximo (1,0000) para a sustentabilidade hídrica. A Figura 74 mostra os cluster com seus respectivos municípios.

Figura 74 – Dendrograma elaborado a partir dos IASH_{Munic.} – Ano 2010.



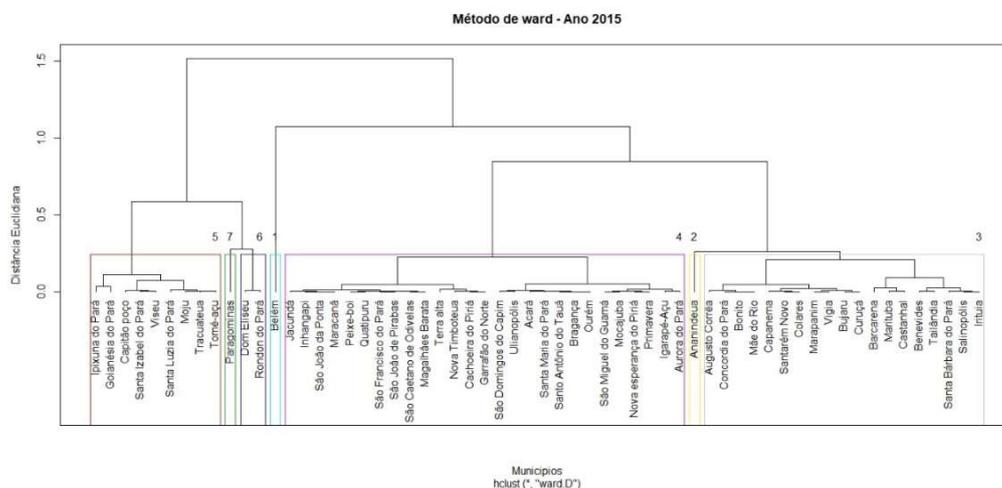
Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Da mesma forma que nos anos anteriores, no ano 2015, a análise da *cluster* revelou que os municípios com IASH_{Munic.} no nível “alerta” foram agrupados em 3 *clusters* com níveis de sustentabilidade hídrica entre 0,2742 a 0,3636 (*cluster* 5) que corresponderam aos municípios nas posições 49º a 57º no ranking da sustentabilidade hídrica; de 0,3736 a 0,4226 (*cluster* 4), corresponderam as colocações 48º a 22º no ranking e os de 0,4312 a 0,5111 (*cluster* 3), os municípios classificados em 21º a 30º colocados, nesse grupo foi agregado o município de Barcarena com nível de sustentabilidade “aceitável”, porém muito próximo ao limite mínimo do intervalo.

Da mesma forma os municípios no nível “estado crítico” formaram 3 *clusters*, Dom Eliseu e Rondon do Pará (*cluster* 6) e no *cluster* 7 Paragominas com o pior valor,

zero. Os municípios Belém e Ananindeua cada um formou um grupo que correspondem ao 1º e 2º lugar, respectivamente. A Figura 75 mostra os *clusters* formados no ano 2015.

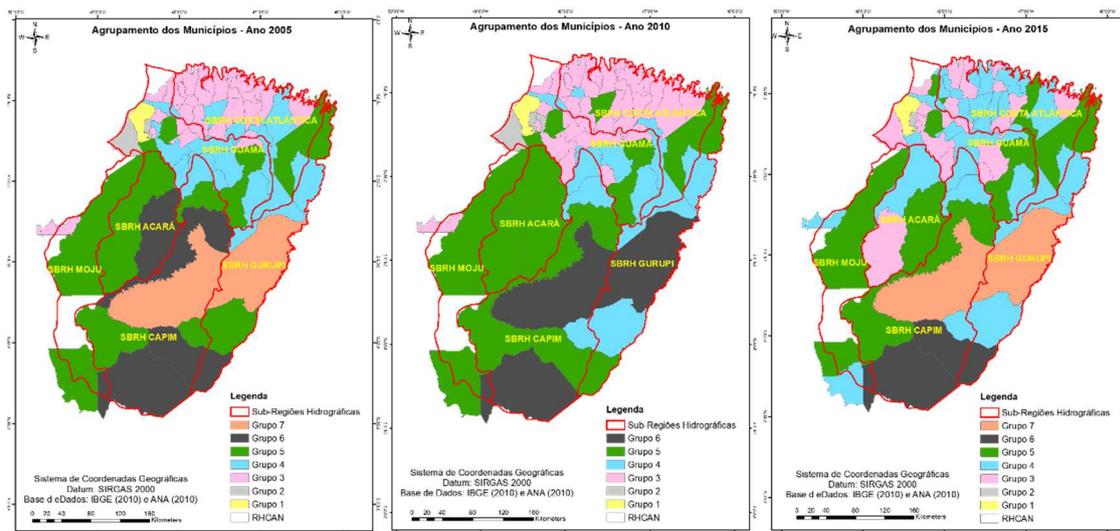
Figura 75 – Dendrograma elaborado a partir dos IASH_{Munic.} – Ano 2015.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Esses grupos foram espacializados (Figura 76), de modo que permitiu avaliar o comportamento do IASH_{Munic.}, em que no primeiro e segundo ano se encontravam mais concentrados nas sub-regiões, enquanto em 2015 estavam aleatoriamente distribuídos na região. Esses cenários indicam que as melhorias devem ocorrer na dimensão municipal e não regional, assim como, deve ser por dimensão.

Figura 76 – Espacialização dos *clusters* na RH-CAN a partir dos IASH_{Munic.}



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

6.2 ÍNDICADORES HIDROLÓGICOS DE SUSTENTABILIDADE HÍDRICA

Na gestão dos recursos hídricos é preciso considerar alguns aspectos, como: sua distribuição desigual na superfície terrestre, o gerenciamento inadequado, dentre outros, os quais reforçam a necessidade de gestão e planejamento adequado dos recursos hídricos, de modo a compatibilizar os seus usos, de forma a garantir água na quantidade e qualidade desejáveis aos seus diversos fins, mas para isso é preciso rediscutir o modelo de desenvolvimento, o padrão de consumo, a desigual distribuição de riqueza e o padrão tecnológico existentes no mundo atual. O que pode ser feito a partir das realidades locais.

6.2.1 Mananciais de Abastecimento na RH-CAN

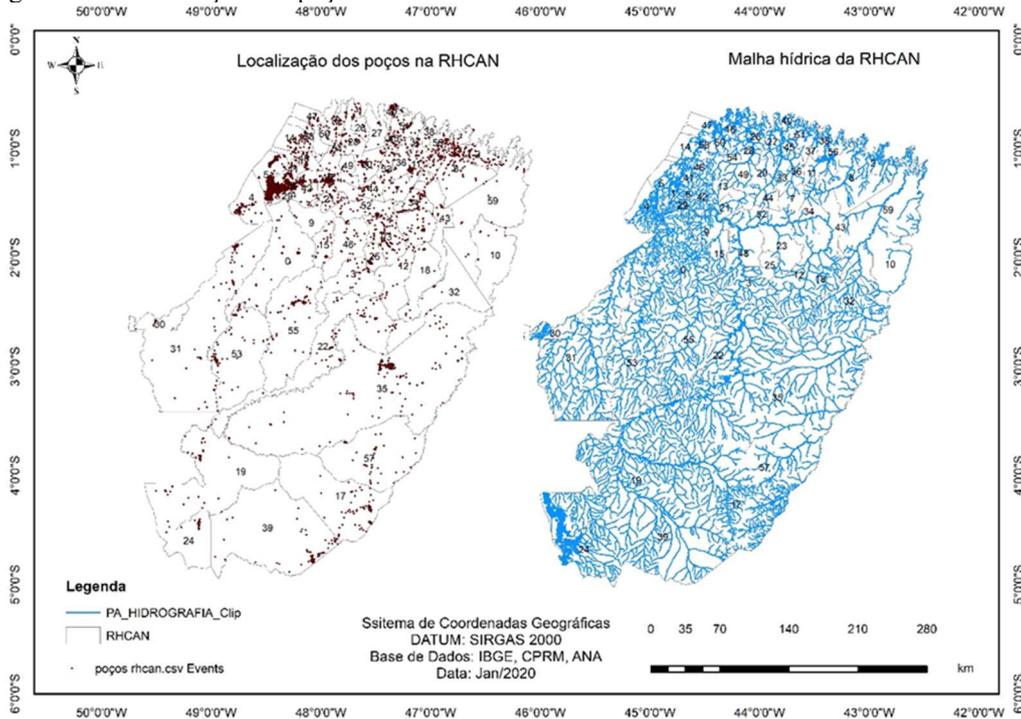
A exploração dos recursos hídricos no estado do Pará se dá, com expressivo uso do manancial subterrâneo, principalmente, para o abastecimento de água para o consumo humano, irrigação, pecuária e indústria. Conforme o levantamento feito no SIAGAS estão cadastrados 9.795 poços no estado, destes 5.747 estão localizados na RH-CAN, que corresponde a 58,67% do total.

Mesmo com uma vasta malha hídrica superficial, a maioria dos municípios da região usa o manancial subterrâneo, somente 7% dos municípios (Bragança, Jacundá, Mocajuba e Viseu), usam o manancial superficial no abastecimento de água para o consumo humano e 8% (Ananindeua, Belém, Dom Eliseu, Marituba e Paragominas) exploram os dois mananciais, como descrito na Tabela 27 (Apêndice 6).

Ainda pela Tabela 29, tem-se, conforme os dados de vazão capitada dos poços, são extraídos 6.152,81 l/s de água do manancial subterrâneo. Devido à ausência de informação de dados de vazão capitada do manancial superficial não foi computado o total extraído.

Conforme a Figura 77 se observa que na região hidrográfica a maior concentração de poços está na porção norte, onde também se verificou a menor malha hídrica, contudo concentra o maior percentual da população.

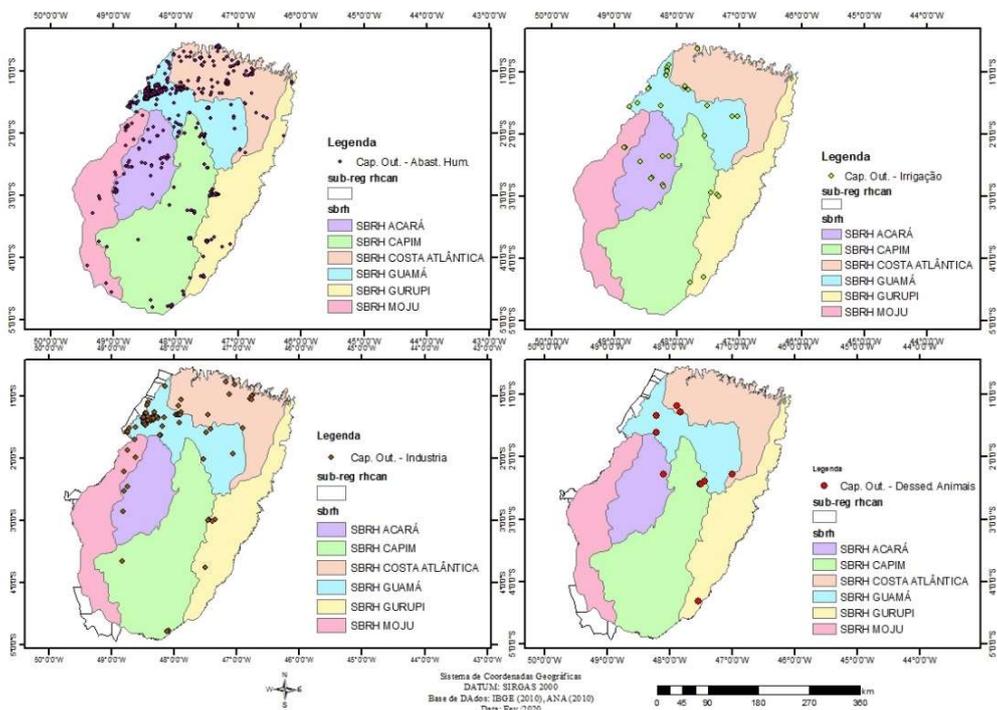
Figura 77 – Localização dos poços na RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

A Figura 78 mostra as captações outorgas para exploração do manancial subterrâneo conforme os usos consuntivos, cedidas pelo órgão ambiental estadual (SEMAS/PA, 2020) onde predominam as destinadas para o consumo humano, seguido do consumo pelas indústrias (consumo humano).

Figura 78 – Captações subterrâneas outorgadas na RH-CAN – Poços (Ano: 2000 a 2018).

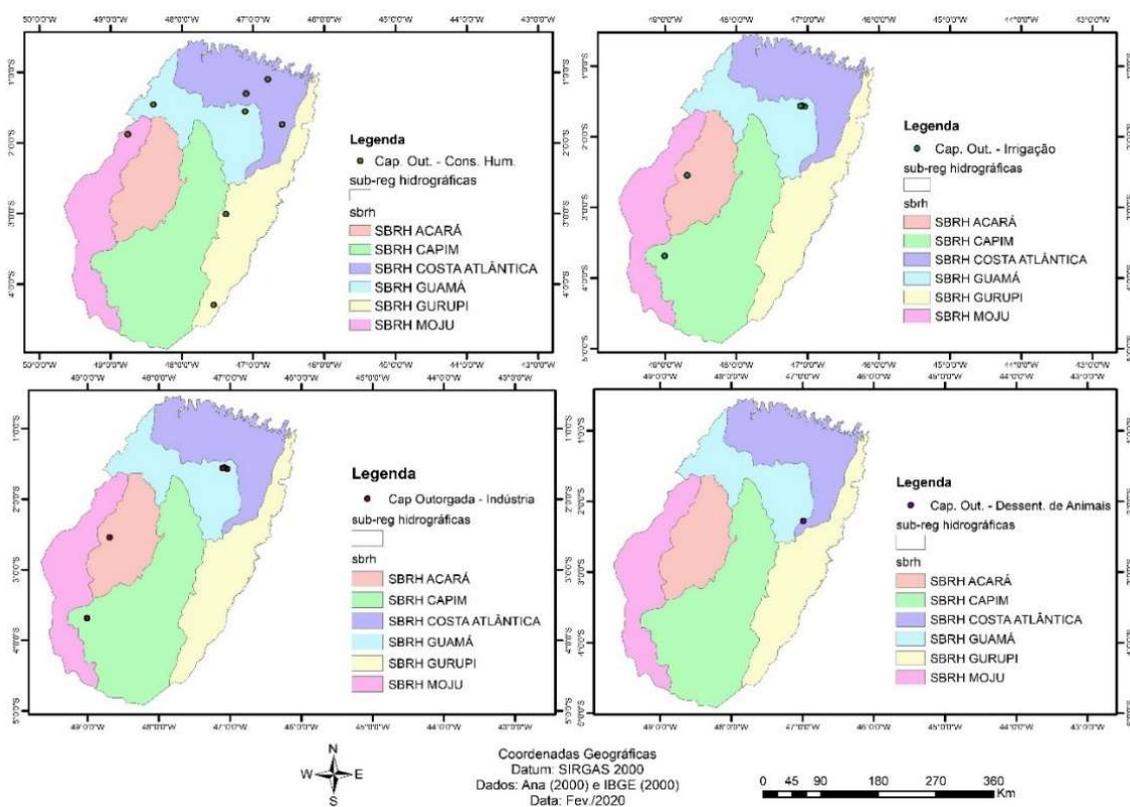


Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Nas SBRH Guamá e Acará foi mais evidente a exploração do manancial para agricultura e com pouca expressividade para a dessedentação de animais.

Das outorgas superficiais expedidas pelo órgão ambiental estadual, também se observou a prevalência para o consumo humano, enquanto os demais usos foram menos expressivos em toda a RH-CAN, como apresentado na Figura 79.

Figura 79 – Captações superficiais outorgadas (Ano: 2000 a 2018).



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Das outorgas federais superficiais, tem-se para o período 2000 a 2018, 88 outorgas federais, destas, 38 tem a finalidade a captação de água do manancial e 50 são para lançamentos, como detalhado no Quadro 15.

Quadro 15 – Outorgas federais de mananciais superficiais.

Município	Corpo Hidrico	Finalidade Principal	Tipo Interferencia
Barcarena	Igarapé Murucupi	Indústria	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Outras	Captação
Ipixuna do pará	Rio Capim	Outras	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Outras	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi		Captação
Acará	Rio Guamá e Baía de Guajará	Outras	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Consumo Humano	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Captação
Belém	Guajará	Consumo Humano	Captação
Mocajuba	Rio Tocantins	Abastecimento Público	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Acará	Rio Guamá e Baía de Guajará	Outras	Lançamento
Belém	Guajará	Outras	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Dom eliseu	Rio Gurupi	Irrigação	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Bujaru	Rio Guamá	Aquicultura em Tanque Escavado	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Belém	Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Termoelétrica	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Outras	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Indústria	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Bujaru	Rio Guamá	Aquicultura em Tanque Escavado	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Consumo Humano	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Lançamento
Rondon do pará	Rio Ararandeuá	Mineração-Extração de Areia/Cascalho em Leito de Rio	Captação
Rondon do pará	Rio Ararandeuá	Mineração-Extração de Areia/Cascalho em Leito de Rio	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Consumo Humano	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Consumo Humano	Lançamento
Bujaru	Rio Guamá	Irrigação	Captação

Continua

Município	Corpo Hidrico	Finalidade Principal	Tipo Interferencia
Barcarena	Baía de Marajó	Esgotamento Sanitário	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Outras	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Captação
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Consumo Humano	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Indústria	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Esgotamento Sanitário	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Esgotamento Sanitário	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Outras	Captação
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Outras	Captação
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Esgotamento Sanitário	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Indústria	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Indústria	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Indústria	Captação
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Esgotamento Sanitário	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Indústria	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Termoelétrica	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Termoelétrica	Lançamento
Barcarena	Baía de Marajó	Termoelétrica	Captação
Barcarena	Baía de Marajó	Termoelétrica	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Outras	Captação
Mocajuba	Rio Tocantins	Indústria	Lançamento
Mocajuba	Rio Tocantins	Indústria	Lançamento
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Esgotamento Sanitário	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Consumo Humano	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Lançamento
Viseu	Rio Gurupi	Irrigação	Captação
	Rio Arienga ou		
Barcarena	Uruenga	Obras Hidráulicas	Captação
	Rio Arienga ou		
Barcarena	Uruenga	Consumo Humano	Captação
		Mineração-Outros Processos	
Ipixuna do Pará	Rio Capim	Extrativos	Captação
	Rio Guamá e Baía de		
Belém	Guajará	Outras	Captação
	Rio Arienga ou		
Barcarena	Uruenga	Outras	Lançamento
	Rio Arienga ou		
Barcarena	Uruenga	Outras	Lançamento
	Rio Arienga ou		
Barcarena	Uruenga	Outras	Lançamento

Continua

Município	Corpo Hidrico	Finalidade Principal	Tipo Interferencia
Barcarena	Rio Arienga ou Uruenga	Outras	Lançamento
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Abastecimento Público	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Indústria	Lançamento
Paragominas	Rio Capim	Mineração-Extração de Areia/Cascalho em Leito de Rio	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Indústria	Lançamento
Marituba	Rio Guamá e Baía de Guajará	Obras Hidráulicas	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Outras	Lançamento
Cachoeira do piriá	Rio Gurupi	Consumo Humano	Captação
Belém	Rio Guamá e Baía de Guajará	Indústria	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Indústria	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Captação
Barcarena	Igarapé Murucupi	Termoelétrica	Lançamento
Barcarena	Igarapé Murucupi	Outras	Captação

Fonte: ANA (2021).

Conforme o Manual para Usuários de Outorga de Uso de Recursos Hídricos (SEMA, 2014) do estado do Pará, a outorga é um dos instrumentos da Política Nacional e Estadual de Recursos Hídricos, em que o Poder Público autoriza o usuário, sob condições preestabelecidas, a utilizar ou realizar interferências hidráulicas nos recursos hídricos necessários à sua atividade, de forma a garantir o direito de acesso a esses recursos, dado que a água é um bem de domínio público.

O instrumento de outorga de direito de uso no Estado é regulamentado pelas resoluções do conselho estadual de recursos hídricos nº 003/2008, 008/2008, 009/2009, alteração da 009/2009, 10/2009 e pela instrução normativa nº 003/2014 (MARTINS *et al.*, 2020).

Na RH-CAN, observou-se a ausência de articulação entre os órgãos municipais, estaduais e federais em relação ao número de outorgas cedidas pelo órgão ambiental estadual e à quantidade de poços existentes na região cadastrados no SIAGAS, situação que expõe as fragilidades na gestão dos recursos hídricos na RH-CAN.

Os usos dos mananciais na RH-CAN nas diversas atividades humanas, dependem além da concentração da população e da economia regional e atividades agrícolas e industriais, por gerar os mais diversos impactos em diferentes proporções sobre cada componente do ciclo hidrológico e sobre a qualidade da água.

Logo é imprescindível que o Estado defina de forma coerente articulação com

os demais outros órgãos, em relação nas outorgas, dado que a responsabilidade pela mesma implica em gerenciar todas as situações decorrentes de acidentes e eventuais desvios da norma que possam ocorrer.

Um aspecto que marcou a região foram os acidentes ambientais, que culminaram na poluição dos mananciais, como evidenciado no estudo de Gorayeb *et al.* (2010) que diversos setores da bacia do Caeté encontravam-se fora do padrão estabelecido pela legislação brasileira, em especial os mananciais públicos das cidades de Bragança (rio Chumucuí) e Santa Luzia do Pará (poços tubulares), alto e médio curso do rio Caeté, rios Curizinho e Cereja.

No município de Castanhal, Oliveira *et al.* (2018) encontraram baixos valores de oxigênio dissolvido na água do rio Apeú e do igarapé Macapazinho. Marinho *et al.* (2020) analisaram os padrões principais dos parâmetros físico-químicos de qualidade de água, associados às atividades antrópicas no rio Guamá, em São Miguel do Guamá e constataram que os resíduos das atividades antrópicas no entorno do rio poderiam influenciar nas concentrações dos parâmetros pH, Oxigênio Dissolvido, Condutividade Elétrica, Sólidos Totais Dissolvidos, Temperatura e Turbidez da água, quando o nível da mesma se encontra mais baixo.

O município de Barcarena é um dos mais impactados pelas atividades minerárias (CASTRO *et al.*, 2019; CIRILO, 2019; MATOS *et al.*, 2020). O município abriga o maior polo de beneficiamento mineral no Pará, em 19 anos, foram registrados 26 desastres/crimes ambientais (STEINBRENNER *et al.*, 2020) Em 2007 ocorreu um dos maiores desastres industriais já registrados na Amazônia: o vazamento de caulim pela empresa Imerys Rio Capim Caulim S/A (AVELAR *et al.*, 2020). Vazamentos de rejeitos de bauxita da mineradora Alunorte em 2009 e em 2018 pela então Hydro Alunorte (BARROS; ROCHA, 2019). Outro acidente foi o naufrágio do navio boiadeiro de bandeira libanesa Haidar em 2016 (SILVEIRA, *et al.*, 2014).

No âmbito dos recursos hídricos subterrâneos, o estudo sobre a qualidade da água subterrânea da Ilha de Cotijuba e Mosqueiro em Belém, em que foram realizadas análises com amostras de água de poços, apresentaram altos índices de contaminação devido aos usos preponderantes da água, sendo possível inferir que a qualidade da água subterrânea na Ilha de Cotijuba sofreu algumas alterações devido ao uso e ocupação do solo (CARDOSO *et al.*, 2018).

Na atividade de dendeicultura no município de Moju são usados agrotóxicos que causam a contaminação dos recursos hídricos da região, já que os plantios estão alocados

nas margens dos igarapés, lagoas e rios, portanto, em Área de Proteção Permanente (NAHUM; SANTOS, 2013).

Contudo, existem fatores limitantes para a gestão dos recursos hídricos no Pará resultantes do contexto histórico do desenvolvimento regional da Amazônia, que, à medida que é influenciado pela trajetória histórica de desenvolvimento nacional, é complementado com as particularidades regionais internas, que aliadas a esse modelo de desenvolvimento econômico pensado e vigente para a região, acrescentaram maior grau de dificuldade à efetivação da gestão nos moldes concebidos pelos dispositivos legais (CIRILO; ALMEIDA, 2019).

Diante do cenário de acidentes ambientais, observou-se que nos anos avaliados o estado não criou comitê de bacias hidrográficas - CBH, somente no ano de 2019 foi instituído o primeiro comitê - Comitê Costa Atlântica Nordeste do Pará do Rio Marapanim (CBHRM), conforme Decreto nº 288, de 3 de setembro de 2019 (PARÁ, 2019).

Em 2015 a Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade (Semas) publicou no Diário Oficial do Estado a Resolução COEMA nº 120, de 28 de outubro de 2015 (PARÁ, 2015) com a lista de 96 municípios com capacidade para exercer a gestão ambiental municipal, desses, 36 são da RH-CAN: Acará, Ananindeua, Augusto Correa, Barcarena, Belém, Benevides, Bragança, Bujaru, Capanema, Capitão Poço, Castanhal, Concórdia do Pará, Curuçá, Dom Eliseu, Goianésia do Pará, Igarapé-Açu, Ipixuna do Pará, Irituia, Jacundá, Mãe do Rio, Maracanã, Marituba, Moju, Ourém, Paragominas, Rondon do Pará, Salinópolis, Santa Isabel do Pará, São Caetano de Odivelas, São Francisco do Pará, São Miguel do Guamá, Tailândia, Terra Alta, Tomé-Açu, Ulianópolis e Vigia.

De modo geral, é preciso avaliar os recursos hídricos, não apenas sob os aspectos de exploração dos mananciais, mas também conhecer a variabilidade climática a partir do balanço hídrico climático, por permitir monitorar a variação do armazenamento de água no solo em diversas escalas dos municípios da região, bem como pode ser usado para quantificar as entradas e saídas de água do solo e com isso, o nível de armazenamento atual da água contida no mesmo (CARVALHO *et al.*, 2011), especialmente para aqueles municípios com atividades consuntivas crescentes.

Onde a compreensão da necessidade de uma política de segurança hídrica integrada ao contexto da sustentabilidade implica na necessidade de promover um eixo de cooperação pautado na convergência de políticas voltadas para a segurança hídrica nas

SBRH, que considere os imperativos geopolíticos trazidos pelos possíveis cenários a partir dos resultados dos balanços hídricos, da classificação segundo o FI e o ICRH, e as vazões médias e mínimas.

6.2.2 Balanço Hídrico Climatológico Sequencial

O balanço hídrico possibilita identificar as condições de excedente ou deficiência de água no solo, e constitui importante ferramenta na gestão dos recursos hídricos, especialmente, a predição de: vazões, recarga de aquíferos, processos de outorga de uso de água, abastecimento humano, geração de energia, índices de umidade no solo para culturas agrícolas e vegetação natural, demandas de irrigação de culturas, entre outros (ABREU; TONELLO, 2015).

Os resultados obtidos para os balanços hídricos climatológicos sequenciais - BHCS dos anos 2005, 2010 e 2015 para às seis sub-regiões hidrográficas da RH-CAN, permitiram verificar a variabilidade dos valores anuais de precipitação pluviométrica (P), evapotranspiração potencial (ETP), armazenamento de água no solo (ARM), evapotranspiração real (ETR), excedente hídrico (EXC) e deficiência hídrica (DEF).

Para melhor entender o comportamento do BHCS, deve-se registrar que a região Amazônica, é caracterizada por apresentar clima quente e úmido durante todo o ano e a precipitação é o parâmetro com maior heterogeneidade e variabilidade espaço-temporal, o que faz a região apresentar duas estações do ano, divididas em dois períodos: o chuvoso (de fevereiro a maio) e o menos chuvoso (de setembro a novembro), os outros meses do ano são considerados meses de transição (LOUREIRO *et al.*, 2014).

Para os municípios paraenses, Ferreira *et al.* (2020) identificaram períodos sazonais semelhantes, os mais secos em junho, julho e agosto em uma grande área contendo valores mínimos (abaixo de 155 mm) sobre a porção centro-sul-sudeste e na porção norte/nordeste/leste em setembro, outubro e novembro e os mais chuvosos são os trimestres, dezembro, janeiro e fevereiro, e março, abril e maio.

De modo semelhante Pacheco e Bastos (2001) em estudo para a definição climática do município de Capitão-Poço, definiram a variação das chuvas no decorrer do ano em quatro diferentes períodos de chuvas:

- Período chuvoso: quando, em uma sequência de quatro meses, o total pluviométrico mensal foi maior ou igual à evapotranspiração de referência, com a presença de excedentes hídricos.

- Período de estiagem: quando o total mensal de chuvas estava abaixo da evapotranspiração, sem, contudo, provocar deficiências hídricas.
- Período seco: aconteceu quando o total pluviométrico mensal estava abaixo da metade do total de evapotranspiração de referência, tendo como consequência a deficiência hídrica.
- Período de transição: ocorreu em seguida ao período seco e caracterizado quando o total mensal de chuvas atingiu nível abaixo ou ligeiramente acima da evaporação, sem, contudo, ocasionar excedentes hídricos.

Quanto a evapotranspiração Leopoldo *et al.* (1982) estimaram a taxa de evapotranspiração de Floresta Amazônica de terra firme, pelo método do balanço hídrico, aplicado a uma bacia hidrográfica, denominada de Bacia Modelo, no período de fevereiro de 1980 a fevereiro de 1981, e chegaram a um total anual precipitado na ordem de 2.089 mm e a taxa de evapotranspiração de 1.014 mm, que pode ser tomada como uma referência no estado e no presente estudo.

Outro aspecto considerado antes da análise dos BHCS foram os eventos de seca ocorridos nos anos 2005 e 2010, quando foi registrada seca generalizada na Floresta Tropical Amazônica, sendo mais intensa em 2005, que iniciou no verão austral durante El Niño e depois intensificada como uma consequência do aquecimento do Atlântico Norte tropical (MARENGO *et al.*, 2011; MARENGO; SOUZA JR 2018). Da mesma forma, também foi registrada a ocorrência de seca no período de 2015-2016.

Nesse contexto, a variabilidade climatológica da RH-CAN no ano 2005, se apresentou com três períodos distintos. Entre os meses de dezembro e junho foi o período chuvoso, com pico em março (383,7 mm) e consequentemente a geração de excedente hídrico (903,6 mm.ano⁻¹). No mês de julho a precipitação começou a reduzir e iniciou a formação de déficit hídrico. De agosto a outubro, registrou-se o período seco, com o déficit hídrico de 147,9 mm. Em novembro ocorreu a transição do período seco para o chuvoso, com déficit hídrico.

Os acumulados anuais de precipitação pluviométrica das seis SBRH representaram o total médio anual da RH-CAN, que totalizou 2.089,5 mm, com os meses de fevereiro a maio com precipitações mais elevadas e correspondeu a 59,1% do total precipitado. Dessa forma o período chuvoso favoreceu o escoamento superficial, devido ao alto índice pluviométrico, mas dependeu da variabilidade da estrutura geológica da região, que pode induzir tanto o potencial direto de escoar, quanto o de infiltrar (KUBOTA *et al.*, 2020).

Para o ano 2010, teve-se um total pluviométrico anual de 2.009,2 mm, com o período chuvoso nos meses de janeiro a maio, com 1.309,3 mm, o que representou 65,18% do total precipitado e com excedente hídrico de 474,2 mm. De agosto a novembro foi o período seco com déficit hídrico de 373,5 mm, os meses junho e dezembro revelaram a ocorrência de neutralidade, isto é, não ocorreu déficit e excedente hídrico na região, o solo encontrava-se no período de retirada e posteriormente reposição que se estendeu até janeiro.

No ano de 2015 foi registrado um regime climatológico definido por um período chuvoso que ocorreu de janeiro a julho, com os meses de fevereiro a maio os mais chuvosos e déficit hídrico anual de 713,4 mm. O outro período o seco, que se estendeu de agosto até dezembro, quando se teve os maiores déficits hídricos mensais. Nesse ano a reposição de água no solo ocorreu quando iniciou a formação de excedente hídrico.

Amanajás e Braga (2012) determinaram para a Amazônia Oriental quatro regiões homogêneas de precipitação, sendo que a região RH3 que compreendeu as Microrregiões de Tomé-Açu, Cametá, Guamá, Bragantina e Salgado no Nordeste Paraense foi classificada como a terceira porção mais chuvosa da região, com total anual em torno de 2.100 mm, e a região RH4 compreendendo quase que integralmente as Microrregiões do Sudoeste e Sudeste Paraense com o menor volume pluviométrico, inferior a 2.000 mm/ano, esses dois grupos além de outros municípios, agregam os da RH-CAN e evidenciam os resultados encontrados na presente pesquisa para a precipitação pluviométrica.

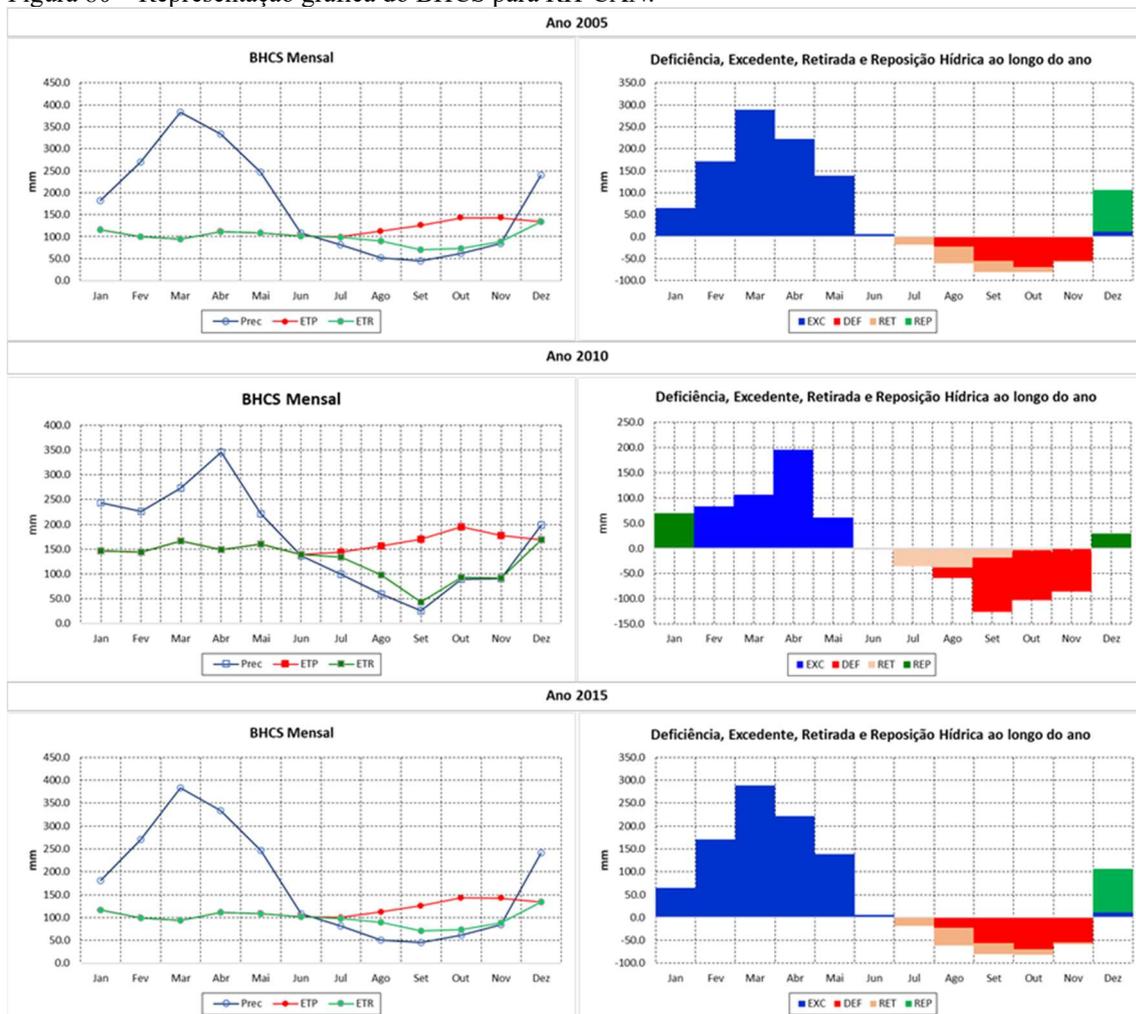
Em estudo para identificar os extremos de precipitação em municípios do estado do Pará, no período de 1990 a 2019, Ferreira *et al.* (2020) encontraram os maiores acumulados pluviométricos, entre os meses de dezembro e maio, os quais se associaram ao regime chuvoso, enquanto os menores valores ocorreram entre junho e novembro, denotando o regime seco na região, resultado semelhante ao da presente pesquisa, que revelou a consonância do comportamento climatológico da RH-CAN com o do estado do Pará, logo com o da região Amazônica.

Dessa forma o planejamento hídrico é a base para dimensionar qualquer forma de manejo integrado dos recursos hídricos, dado que o balanço hídrico permite o conhecimento da necessidade e disponibilidade hídrica no solo ao longo do tempo (LIMA; SANTOS, 2009).

Na Figura 80 são apresentados os resultados dos BHCS para a RH-CAN nos três anos de estudo, onde é possível verificar a variabilidade climatológica da região. O

período chuvoso ocorreu de janeiro a junho, onde os meses de março e abril obtiveram os maiores registros, além da formação do excedente hídrico, no segundo semestre, ocorreu o período seco e geração de déficit hídrico, com as retiradas de água do solo, ocorrendo simultaneamente.

Figura 80 – Representação gráfica do BHCS para RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Como a RH-CAN é composta por seis SBRH, e a partir de uma visão holística, onde a natureza seria concebida de forma integrada, sendo impossível a compreensão separada da mesma, o que torna imprescindível a análise de cada sub-região, de modo a evidenciar a variabilidade climatológica.

Dessa forma, tem-se o balanço hídrico climatológico para a SBRH Costa Atlântica nos anos 2005, 2010 e 2015 que consistiu nas médias mensais de precipitação (P) e evapotranspiração potencial (ETP) dos 25 municípios que a compõem.

Em estudo realizado por Albuquerque *et al.* (2010) encontraram valores de

precipitação anual superior a 2.000 mm para o Nordeste Paraense, o qual integra a RH-CAN. Loureiro *et al.* (2014) identificaram para a região Amazônica os meses menos chuvosos sendo agosto a novembro com apenas 2,37% do precipitado. Despontin (2018) encontrou um total anual normal de precipitação acima de 2.900 mm, o que mostrou a consonância dos valores encontrados no presente estudo.

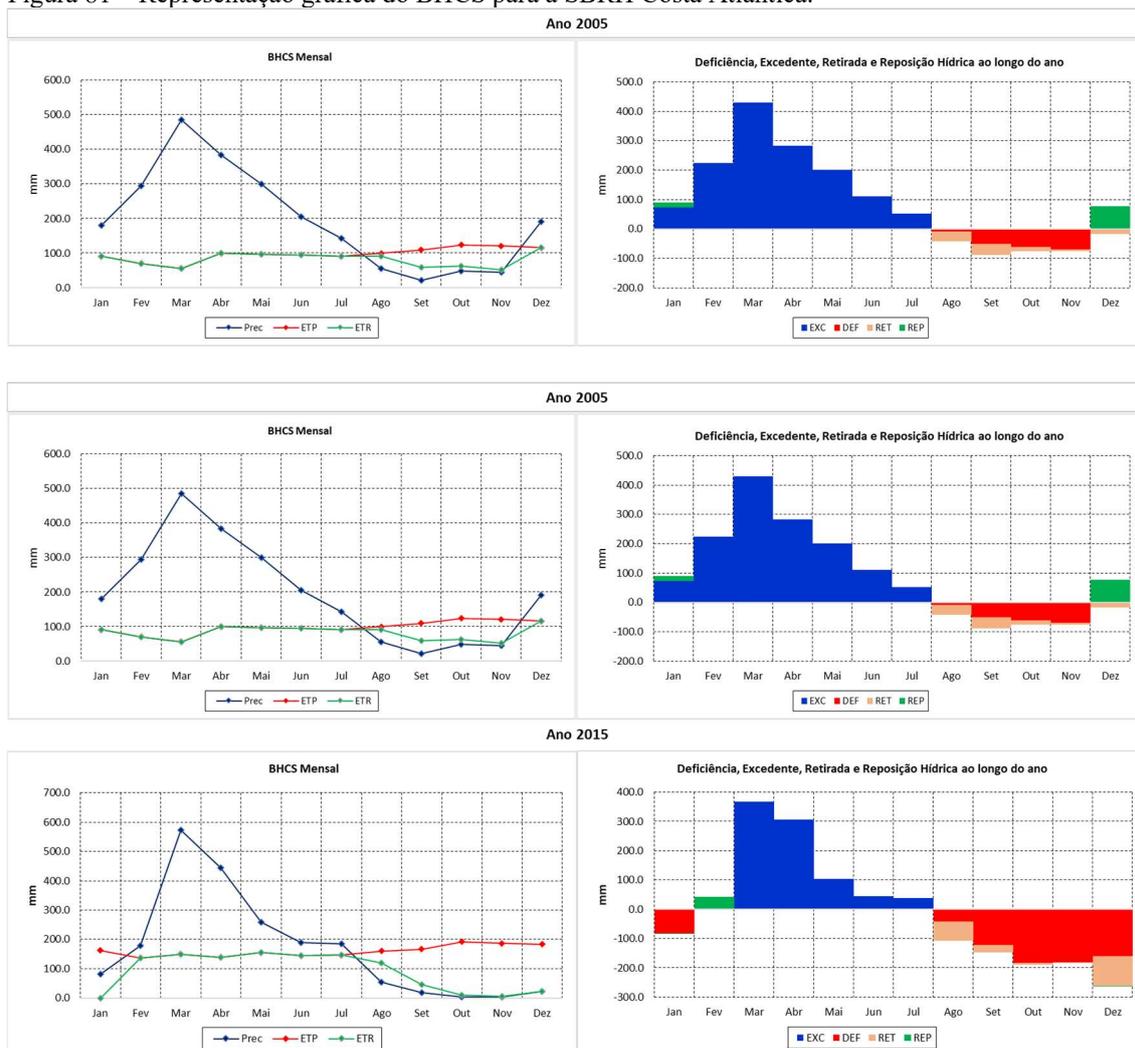
Destaca-se que a região nordeste paraense está sujeita à ocorrência de fenômenos como o El Niño – Oscilação Sul (ENOS). Dessa forma o elevado índice pluviométrico da SBRH pode ser atribuído a influência de sistemas de grande-escala como a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, forte convecção local, aglomerados de Cumulonimbus por estarem localizados às proximidades de áreas litorâneas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2010; GORAYEB, 2014; LOPES *et al.*, 2013).

No ano de 2005 a precipitação pluviométrica total anual para a SBRH foi de 2.351,6 mm, com os meses de fevereiro a junho, os mais chuvosos, que correspondeu a 70,87% da precipitação anual, Hachem (2016) encontrou valores em torno de 2.300 a 2.500 mm, com os meses de setembro e novembro os mais secos, para as regiões hidrográficas Calha Norte e Costa Atlântica, ambas no estado do Pará.

Em 2010 observou-se uma precipitação total anual de 2.160,3 mm, inferior a 2005 em (-9,89%), com o período chuvoso iniciando um mês antes (janeiro) e correspondeu a 70,43% do total anual. O trimestre setembro, outubro e novembro com apenas 7,39% da precipitação anual, caracterizou o período seco. Enquanto em 2015 a redução foi de (-15,59%) em relação a 2005 e (-6,69%) em comparação a 2010, com um período chuvoso mais curto, de março a junho que correspondeu a 70,87% do total anual e com o período seco mais longo (agosto a dezembro).

A forma gráfica de apresentação dos BHCS (Figura 81), mostra as informações completas, como o déficit e excedente hídrico, retiradas e reposições de água no solo na sub-região. Nela observa-se que a ETP e a ETR coincidiram no período em que foram registradas as precipitações pluviométricas superiores as evapotranspirações.

Figura 81 – Representação gráfica do BHCS para a SBRH Costa Atlântica.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para a SBRH ainda se observa que a evapotranspiração potencial total anual dos 25 municípios no ano 2005, correspondeu a 49,69% da precipitação, isto é, $1.168,6 \text{ mm.ano}^{-1}$, e apresentou os meses de setembro a dezembro com os maiores registros, além da ocorrência de déficit hídrico. Em 2010 e 2015 a ETP foi de 90,3% da precipitação e 95,19%, respectivamente.

O excedente de $(P-ETP)$ abastece o solo até a sua saturação, que percola ou escoar para os cursos d'água. O saldo da precipitação sobre a evapotranspiração ocorreu nos meses de janeiro a julho em 2005, de fevereiro a julho em 2010 e de março a julho em 2015 e constituiu o excedente hídrico da SBRH.

Enquanto, o déficit hídrico total foi de $189,2 \text{ mm.ano}^{-1}$ em 2005, concentrado no período de agosto a novembro, para um excedente hídrico de $1.372,2 \text{ mm.ano}^{-1}$, ocorrido, principalmente, nos meses de fevereiro a junho, com 91,04% do registrado no ano. Em 2010 o déficit hídrico foi de $342,6 \text{ mm.ano}^{-1}$, no período de agosto a setembro, contudo,

o excedente hídrico ficou abaixo da metade do ano anterior. Em 2015, o déficit hídrico foi superior aos dois anos anteriores, porém com excedente inferior a 2005 e superior a 2010. Nos anos em que o excedente foi superior ao déficit hídrico indicou que a precipitação foi suficiente para suprir a evapotranspiração potencial.

O comportamento climatológico dos municípios que compõem a SBRH, em relação ao total anual precipitado, assemelhou-se aos evidenciados nos estudos realizados por Andrade *et al.* (2017a); Andrade *et al.* (2017); Albuquerque *et al.* (2010); Barbosa Júnior; Almeida (2010); Castro *et al.* (2005); Ferreira *et al.* (2020); Lobato *et al.* (2018); Moraes *et al.* (2005); Oliveira Junior *et al.* (1999); Pacheco e Basto (2007); Pará (2006); Pará (2012); Rodrigues *et al.* (2003); Santos *et al.* (1999); Pará e Sema, 2012; Silva Júnior e El-Robrini (2001); Souza *et al.* (2017); Vieira *et al.* (2018).

De modo geral os municípios que compõem a sub-região apresentaram BHCS semelhantes ao da sub-região, onde Marapanim apresentou no ano de 2005 o maior déficit hídrico (776,1 mm) e em São Francisco do Pará não houve formação. São João de Pirabas teve o maior excedente hídrico (2.359 mm) e Nova Timboteua o menor (629,4 mm). Quanto ao índice pluviométrico total anual, Igarapé-Açu registrou 3.454,00 mm, o maior no ano, já Nova Timboteua registrou o menor índice, 1.696,7 mm.

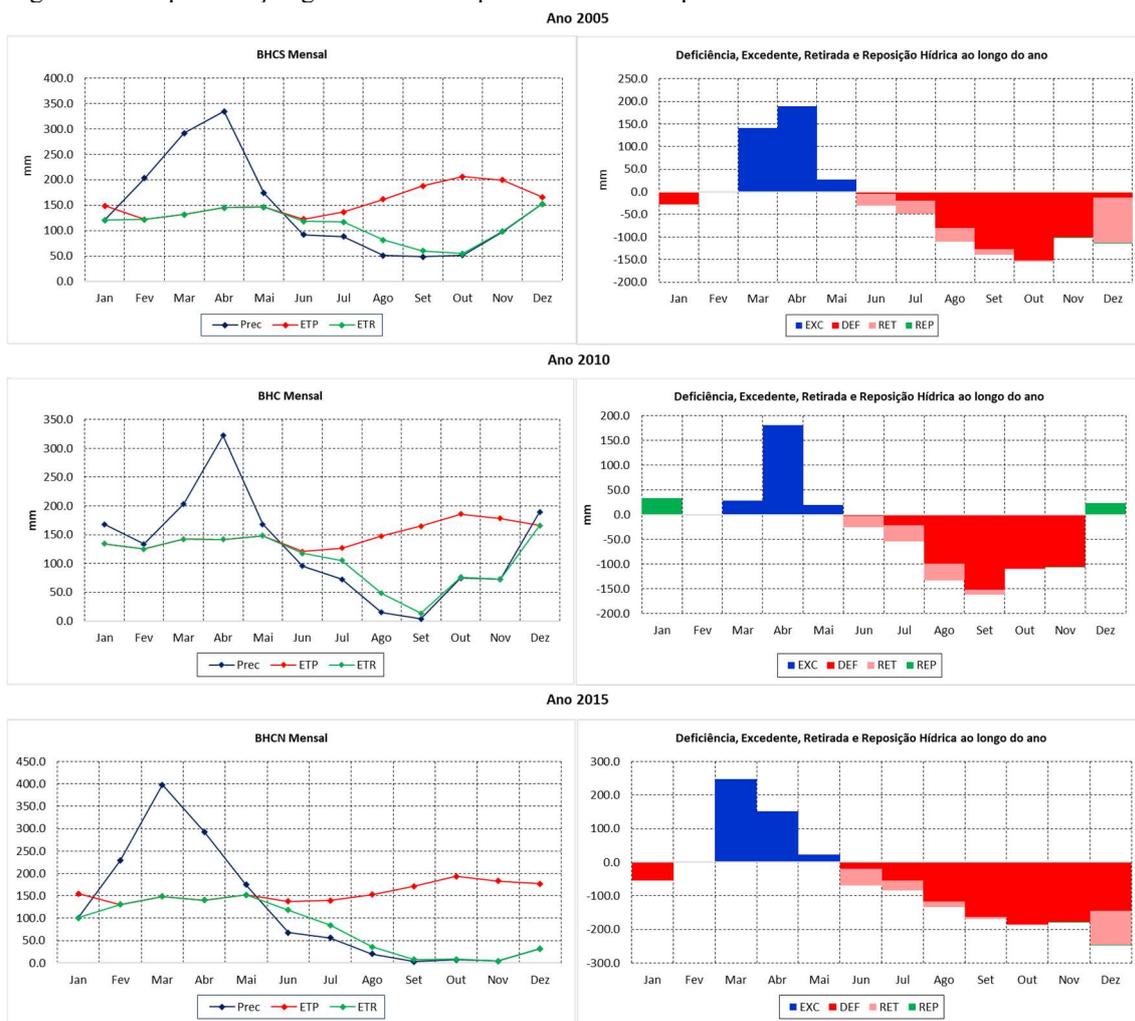
Em 2010, Terra Alta teve o maior registro pluviométrico total anual (2.868 mm), já Cachoeira do Piriá o menor (1.489 mm). Contudo, Quatipuru foi o que teve o mais elevado déficit hídrico (832 mm) e Bragança o menor (159 mm). No que diz respeito ao excedente hídrico, Terra Alta registrou maior valor (1.115 mm) e Cachoeira do Piriá o menor (170 mm).

No ano de 2015, tem-se Marapanim novamente com o maior índice pluviométrico total anual (2.598 mm) e Santa Luzia do Pará com o menor índice (1.633 mm). Quanto ao déficit hídrico, Capanema registrou o maior valor (1.023 mm) e Cachoeira do Piriá o menor (398 mm).

Os valores do BHCS para a SBRH Gurupi nos três anos de estudo, apresentou para o ano 2005 uma precipitação total anual de 1.706,2 mm, com amplitudes mensais fluindo entre 48,7 mm em setembro a 334,5 mm no mês de abril. Com os meses de fevereiro a abril os mais chuvosos que correspondeu a 48,59% do total registrado no ano.

A Figura 82 apresenta o ciclo hídrico mensal ao longo dos três anos para SBRH Gurupi, nela observa-se que nos meses de excedentes as evapotranspirações se coincidiram, período em que as precipitações foram mais elevadas.

Figura 82 – Representação gráfica do BHC para a SBRH Gurupi.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

No ano 2010 observou-se uma redução no total precipitado de (-10,95%), que resultou em 1.519,3 mm, em que o mês de abril se manteve como o mais chuvoso e registrou 322,1 mm, da mesma forma setembro com 3,7 mm. Nesse ano, ocorreram episódios de chuva durante todo o ano, com os períodos de dezembro a maio o mais chuvoso e agosto a novembro o mais seco.

Diferente do registrado nos anos anteriores, o ano 2015 registrou o menor total pluviométrico (1.385,8 mm), isso representou 81,22% do total de 2005 e 91,21% de 2010. Com o trimestre fevereiro/março/abril o mais chuvoso (919,8 mm), ou seja, 66,37% do total anual.

Esses valores condizem com o estudo realizado pela ANA (2005) que encontrou valores de precipitação média anual de 1.790 mm para toda a unidade hidrográfica do Gurupi, visto que essa sub-região envolve municípios do estado do Maranhão e do Pará, ou seja, consiste na área de transição do Cerrado para a floresta amazônica.

Quanto a ETP para toda a unidade hidrográfica foi 1.482 mm/ano segundo estudos da ANA (2005), valor próximo ao encontrado neste estudo para a porção da região localizada no território paraense (1.874,1 mm) em 2005; 1.782,0 em 2010 e de 1.881,9 mm em 2015. Com a máxima registrada de 206,4 mm em outubro e a mínima de 121,9 mm em fevereiro de 2005, enquanto a ETR total anual foi de 1.348,6 mm com a mínima de 54,9 mm em outubro e máxima de 146,5 mm em maio, que evidenciou a perda de água em qualquer condição de umidade e cobertura vegetal.

Em 2010 a máxima ETP foi em outubro (185,7 mm) e a mínima em fevereiro (125,3 mm), da mesma forma em 2015, porém com a máxima de 193,4 mm e a mínima de 130,5 mm. A ETR coincidiu com a ETP durante todo o período chuvoso nos dois anos.

Os valores negativos de (P-ETP) refletiram no surgimento de déficit hídrico, especialmente, no período de setembro a novembro com os valores mais elevados, e corresponderam a 72,29% e 74,73% do total registrado nos dois primeiros anos, enquanto o excedente foi de 357,6 mm, concentrado nos meses de março a maio no ano 2005; 227,7 mm em 2010, no mês de abril (180,2 mm). Em 2015 se observou um período de déficit hídrico mais longo, com início em agosto e se estendeu até dezembro, com 789,8 mm, o que correspondeu a 85,98% do total.

De modo geral, os municípios da SBRH apresentaram comportamento climatológico semelhante, com índices pluviométricos em 2005, superiores a 1.500mm. O município de Viseu teve o maior total pluviométrico anual (1.901 mm) e Ulianópolis o menor (1.549 mm), porém com os maiores déficits hídricos (951mm) e ETP (2.072 mm). Em Dom Eliseu não houve geração de excedente hídrico, visto que a ETP (1.928 mm) foi superior à precipitação (1.722 mm), mas registrou o menor déficit hídrico (206 mm).

Em 2010, Viseu apresentou o mais elevado índice pluviométrico (2.052 mm) da sub-região, que resultou no maior excedente hídrico e menor déficit hídrico (410 mm). Enquanto, Dom Eliseu teve o menor índice pluviométrico (1.172 mm), porém com elevada ETP (1.928 mm) que resultou no maior déficit hídrico (886 mm) da sub-região. Em 2015 os municípios de Viseu e Dom Eliseu apresentaram o mesmo comportamento climatológico de 2010.

Estudos sobre o índice pluviométrico dos municípios que compõem a sub-região desenvolvidos por Andrade (2011); Bastos *et al.* (2005); Lira *et al.* (2020); Monteiro (2008); Monteiro *et al.* (2008); Pinto *et al.* (2009); Pismel *et al.* (2015), apresentaram resultados condizentes aos evidenciados na presente pesquisa.

A análise do BHCS da sub-região Capim no ano 2005 revelou uma precipitação total anual de 1.923,0 mm, com os registros mais elevados concentrados entre os meses de fevereiro a maio, que representou 63,37% do total precipitado, o mês de março apresentou o maior registro, 402,1 mm. Já o período seco se estendeu por cinco meses (julho a novembro) com 199,2 mm.

Nos dois anos seguintes (2010 e 2015) observou-se diminuição da precipitação na SBRH, com valores de 1.692 mm e 1.772,1 mm, respectivamente. Os meses mais chuvosos em 2010 foram janeiro a fevereiro (1.024 mm) e fevereiro a abril (984,5 mm) em 2015, o mês de março foi o mais chuvoso nos três anos, já o período seco ocorreu de julho a setembro (65 mm) em 2010, e de julho a novembro com 177,5 mm em 2015.

Esses resultados se assemelharam ao valor da média da precipitação anual para o período de 1983 a 2014, que foi de 1.993,0 mm, identificado por Dias *et al.* (2018), com o mês de março o mais chuvoso (380 mm), que pode ter sido influenciada pela Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS).

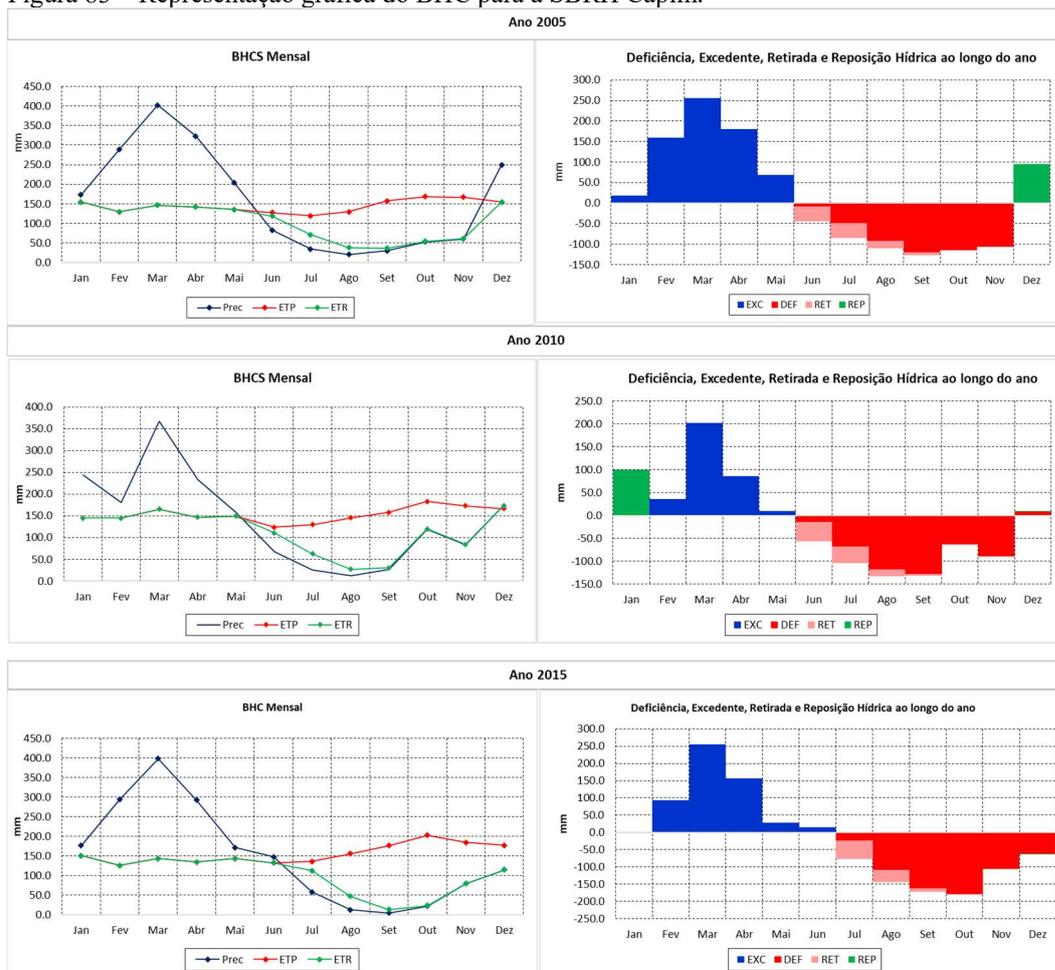
A ETP para a SBRH foi de 1.734,5 mm.ano⁻¹, no ano 2005, nos anos seguintes registrou-se 1.828,9 mm em 2010 e 1.865,8 mm no ano 2015, da mesma forma a ETR total anual foi de 1.245,8 mm, 1.337,6 mm e 1.224,6 mm, em cada ano, respectivamente. Os valores da ETP nos três anos se mantiveram acima de 100 mm, enquanto os da ETR foram baixos nos meses de setembro em 2005 e 2015 e agosto em 2010.

A diferença entre precipitação e a ETP, resultou em valores negativos, que contribuiu para a ocorrência de déficits hídricos com valores elevados nos três anos, o maior total em 2015, 641,3 mm, concentrado entre julho a novembro em 2005 e 2015 e de julho a setembro em 2010. Observou-se nos três anos que durante os períodos mais chuvosos foram gerados os excedentes hídricos, visto que, quanto maior a precipitação, maior será o excesso hídrico e menor a ETP.

Resultados encontrados nos estudos de Andrade *et al.*, (2017a); Fernandes *et al.* (2020), Ferreira *et al.* (2020); Lopes *et al.* (2020); Rosa *et al.* (2017); Valente (2005) em locais da sub-região se assemelham aos apresentados neste trabalho.

A Figura 83 mostra a representação gráfica dos BHCS nos três anos de estudo, onde os componentes resultantes do balanço hídrico, permitiram visualizar aspectos climáticos importantes, como a precipitação e evapotranspiração, que interferiram em atividades econômicas.

Figura 83 – Representação gráfica do BHC para a SBRH Capim.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Os resultados dos BHCS dos municípios que compõem a sub-região mostraram a ocorrência de déficit hídrico, principalmente, no período de julho a dezembro e com reposições hídricas no período de excedente hídrico. No ano 2005, Aurora do Pará, foi o que apresentou o mais elevado índice pluviométrico anual (1.970 mm) e excedente hídrico (731 mm), enquanto Rondon do Pará registrou a menor precipitação total anual (1.481 mm), porém maior déficit hídrico (915 mm). Destaca-se que Ipixuna do Pará apresentou uma ETP (1.869 mm) superior à precipitação total.

Em 2010, o maior índice pluviométrico anual (2.089 mm) e ETP (1.923 mm) foram registrados no município de Aurora do Pará, da mesma forma que em 2005, Rondon do Pará teve o menor índice pluviométrico e excedente hídrico. O cenário pluviométrico em 2015, teve o mesmo comportamento climatológico para os municípios, precipitação total anual, déficit hídrico e excedente hídrico de 2005.

O regime pluviométrico para a SBRH Guamá revelou para o ano 2005, uma precipitação total anual de 2.412,8 mm que representou a média mensal dos municípios

que a compõem, com distribuição ao longo do ano e uma estação chuvosa que iniciou em dezembro que se prolongou até julho, esse período representou 88,48% do precipitado na sub-região. Em agosto ocorreu redução no índice pluviométrico, com setembro e novembro os meses mais secos do ano.

Para o ano 2010, observou-se uma precipitação total anual de 2.412,8 mm, distribuída de forma regular em praticamente todos os meses do ano, sendo o período de dezembro a agosto com chuvas acima de 100 mm, caracterizado como chuvoso, pois correspondeu a 2.311,0 mm, o que representou 96% do total e o trimestre setembro, outubro e novembro apresentou chuvas oscilando entre 29 mm a 38 mm, caracterizado-o como o período seco e totalizou 102,0 mm.

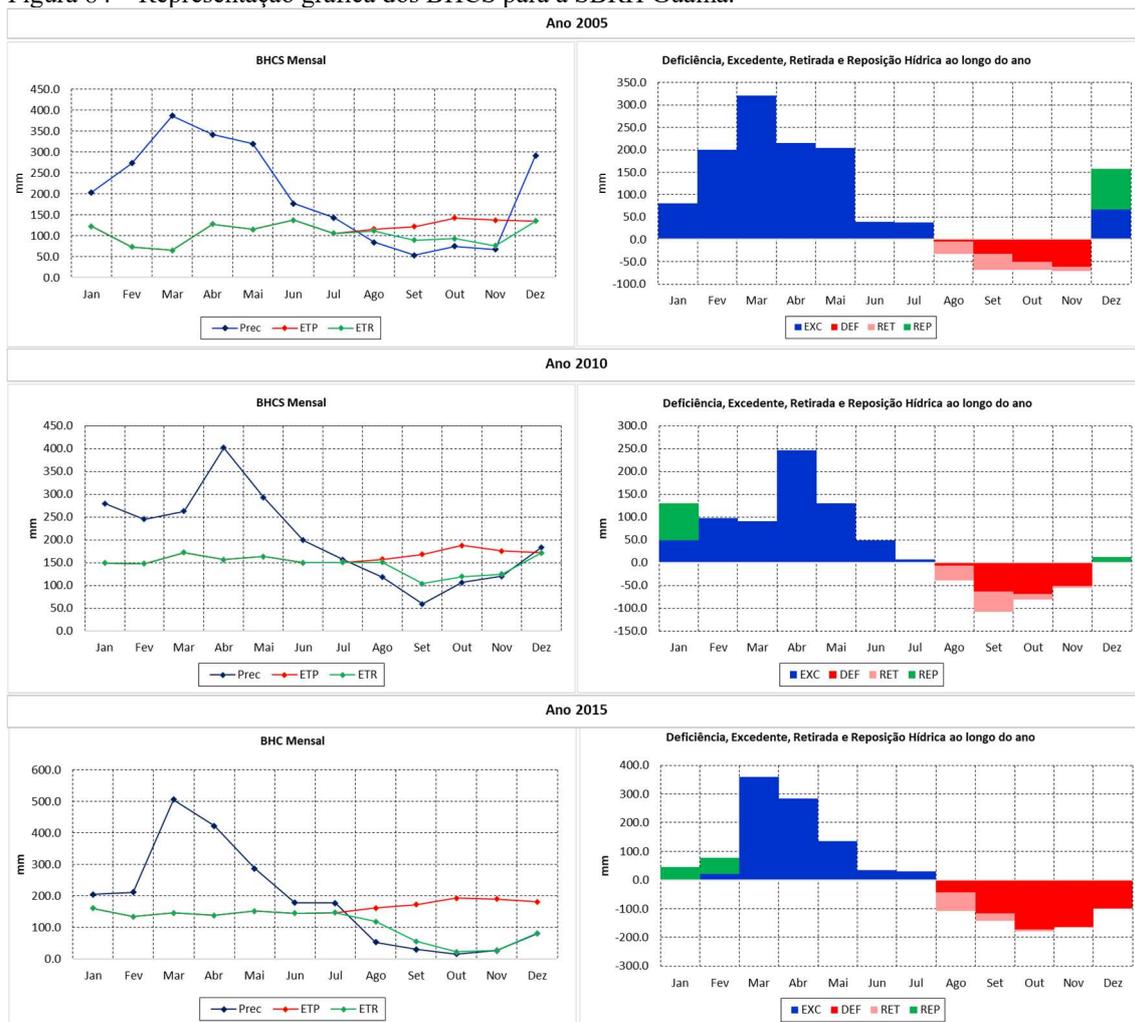
Na análise da pluviometria para o ano 2015, observou-se uma variação temporal ao longo do ano hidrológico que indicou uma precipitação total anual de 2.192,0 mm, distribuída em dois períodos distintos, o chuvoso entre janeiro e julho, sendo janeiro a maio os mais chuvosos, com 1.632,1 mm e um seco entre agosto e dezembro, com outubro o mais seco, totalizou apenas 15,3 mm.

Todos esses resultados pluviométricos estão em consonância com os registrados por Gomes *et al.* (2019) que encontraram para a região norte/nordeste da bacia hidrográfica Costa Atlântica Nordeste Ocidental, da qual a SBRH Guamá faz parte, índices pluviométricos entre 2.269,5 mm a 2.671,2 mm, referente a série histórica 1999 a 2016.

Resultados semelhantes foram levantados por Barbosa *et al.* (2020) em relação à distribuição espacial da chuva média anual entre os anos de 2015 e 2017 onde os menores valores (mínimo de 2.295 mm) foram encontrados na porção esquerda da SBRH, enquanto os maiores valores (máximo de 2.729 mm) na porção direita (mais próxima do litoral).

Os resultados dos BHCS para a SBRH Guamá nos três anos de estudo são dados na Figura 84 que mostra a distribuição mensal da precipitação e das evapotranspirações, bem como os meses de formação de excedente e déficit hídrico, além das retiradas e reposições de água no solo.

Figura 84 – Representação gráfica dos BHCS para a SBRH Guamá.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Esse comportamento climatológico revelou para o ano 2005 uma deficiência hídrica durante os meses secos, dado que o mês de novembro foi o mais atingido com um déficit de 61,1 mm. Já o excedente hídrico ocorreu durante oito meses (1.164,6 mm), com maior concentração nos meses de fevereiro a maio e representou 80,76% do total registrado.

Nos anos seguintes, em 2010, apesar do registro de chuvas durante todo o ano os excedentes ocorreram nos meses mais chuvosos e totalizou 783,4 mm e as reposições iniciaram com a formação dos excedentes. No período seco até dezembro formou-se um déficit hídrico de 373,3 mm, acompanhado das retiradas de água no solo.

Com comportamento climatológico semelhante aos anos anteriores, no ano 2015, a formação de excedente ocorreu num período mais curto que o chuvoso, em seis meses e totalizou 863,6 mm, com reposições em dezembro e janeiro. O déficit hídrico foi

o mais elevado dos três anos, 593,9 mm e durou seis meses, com as retiradas registradas durante todo o período de déficit.

A evapotranspiração potencial (ETP) se manteve acima dos 100 mm nos três anos de estudo, exceto nos meses de fevereiro e março de 2005 que foram registrados 73,0 mm e 64,8 mm, respectivamente. Quanto a ETR, praticamente acompanhou a ETP no período chuvoso e atingiu um total médio mensal de 1.248,2 mm no ano 2005; 2.002,7 mm em 2010 e 1.922,3 mm em 2015. As evapotranspirações se coincidiram no período chuvoso, quando os registros pluviométricos foram os mais elevados na SBRH que gerou o excedente hídrico.

De modo geral os municípios que compõem a SBRH apresentaram suas peculiaridades climatológicas que definiram o clima da sub-região, conforme os resultados dos BHCS e revelou resultados semelhantes aos evidenciados em estudos como de Albuquerque *et al.* (2010); Andrade *et al.* (2017); Blanco *et al.* (2013); Andrade *et al.* (2017); Barbosa *et al.* (2020); Amanajás e Braga (2012); CPRM (2002); *Creão et al.* (2009); Dias *et al.* (2018), Ferreira *et al.* (2020); Fisch *et al.* (1998); Gomes e Fernandes (2019); Guimarães (2015); Lima *et al.* (2014); Luz *et al.* (2016); Marques (2014); Matta (2002); Moraes *et al.* (2005); Moraes e Filho (2018); Nascimento *et al.* (2016); Oliveira *et al.* (2016); Pachêco *et al.* (2011); Pacheco e Bastos (2001); Pacheco e Basto (2007); Paungarten *et al.* (2016); Piratoba *et al.* (2017), Prado *et al.* (2007); Rodrigues *et al.* (2001a); Rodrigues *et al.* (2004); Rodrigues *et al.* (2018); Rodrigues *et al.* (2020); Santos *et al.* (2001); Santos *et al.* (2003); Schwartz (2007); Silva *et al.* (1999), Silva *et al.* (2001); Sousa *et al.* (2014); Valente *et al.* (2001); Valente *et al.* (2001b); Jardim *et al.* (2004).

Conforme os BHCS dos 21 municípios que compõem a sub-região, no ano 2005 o município de Belém registrou o maior índice pluviométrico anual (3.318 mm), que resultou em elevado excedente hídrico (1.720 mm), enquanto Barcarena teve o menor índice (1.533 mm). Em Garrafão do Norte ocorreu a maior taxa evapotranspirativa (1.913 mm) e gerou o menor excedente hídrico (524 mm), em Ourém se evidenciou a menor taxa evapotranspirativa (781 mm), contudo o maior déficit hídrico foi registrado em Bujaru.

Em 2010, embora o município de Santa Isabel do Pará tenha registrado o maior total pluviométrico (3.112 mm) do ano, foi Colares que obteve a menor ETP (1.139 mm) que resultou no menor déficit hídrico (52 mm), logo o maior excedente hídrico (1.300 mm). Enquanto em Ourém ocorreu o maior déficit hídrico (459 mm) e o menor excedente hídrico (232 mm).

A análise para o ano 2015 mostrou os municípios de Belém com o maior índice pluviométrico anual (3.049 mm) e excedente hídrico (1.467 mm), enquanto Ourém com o menor total pluviométrico anual (1.718 mm) e excedente hídrico (586 mm).

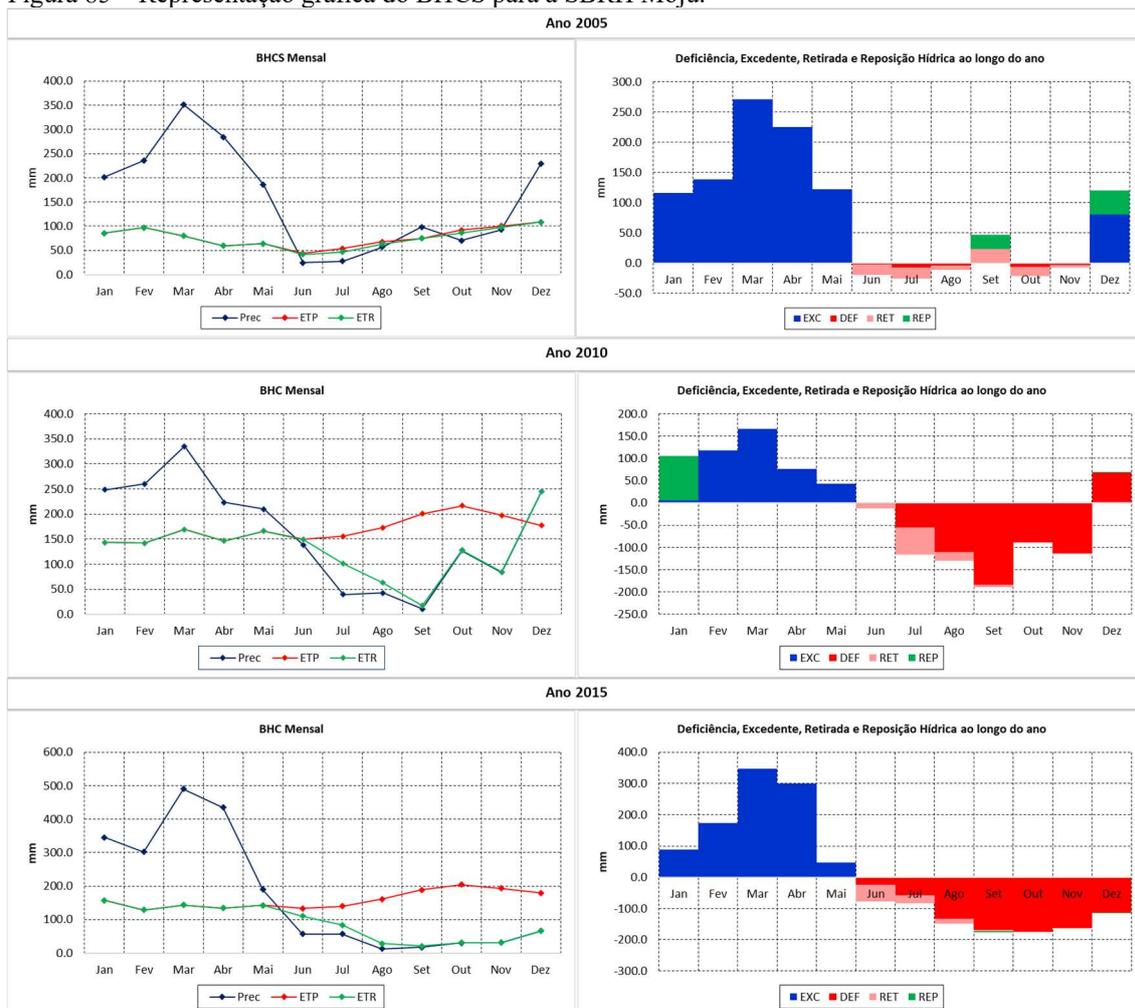
A precipitação na SBRH Moju possui uma variabilidade sazonal bem marcante nos três anos. No primeiro ano tem-se uma precipitação total anual de 1.858,7 mm, com dois períodos: um mais chuvoso (dezembro a abril), e outro menos chuvoso (maio a novembro), que não caracterizou um período seco, pois as precipitações foram superiores à metade da ETP, essa correspondeu a 49,91% desse índice, que resultou num excesso hídrico anual de 952,9 mm e caracterizou a estação chuvosa da sub-região, contudo, durante o período de junho a novembro foi superior à precipitação, que resultou em valores negativos entre P-ETP, logo um déficit hídrico anual de apenas 22,0 mm.

Nos dois anos seguintes o índice pluviométrico total de 1.962,9 mm e 2.033,4 mm, para 2010 e 2015, respectivamente, com duas estações distintas e bem definidas, um período de altas precipitações que vai de dezembro a maio (estação chuvosa) e um período mais seco, que compreendeu os meses de julho a setembro (estação seca), e se repetiu em novembro. Dessa forma, notou-se que, o regime pluviométrico sazonal não apresentou regularidade, pois o período chuvoso comportou cerca de 77,52% de toda a precipitação e no período seco esse volume de precipitação diminuiu para 8,99%.

Logo, a variabilidade climática da SBRH Moju apresentou dois períodos climáticos, um chuvoso quando as evapotranspirações coincidiram, que resultou no excedente hídrico da sub-região e o outro período seco (exceto em 2005), quando ocorreu o déficit hídrico, e com duas reposições de água distribuídas nos meses de setembro quando também ocorreu a retirada de água do solo em dezembro quando iniciou a geração de excedente hídrico no ano 2005 e em janeiro no ano 2010, enquanto no ano 2015 não ocorreu reposição de água no solo.

No ano 2015 observou-se melhor definição das estações, a chuvosa e ocorreu de janeiro a maio com 1.763,0 mm, e representou 86,70% do total precipitado e o período seco e se estendeu por sete meses (junho a dezembro). A Figura 85 mostra o resultado do BHCS para a SBRH Moju.

Figura 85 – Representação gráfica do BHCS para a SBRH Moju.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Ferreira *et al.* (2020) em estudo desenvolvido na bacia do Rio Moju, que abrange os municípios de Moju (em sua totalidade), Jacundá, Breu Branco, Goianésia do Pará, Rondon do Pará, sendo que apenas os dois primeiros pertencem a SBRH Moju, observaram que a estação chuvosa se estendeu de fevereiro a abril e o período de julho a setembro foi o menos chuvoso, sendo a média da bacia cerca de 1.676 mm.

Ao avaliar as classes pluviais Santos *et al.* (2016), observaram que as áreas mais chuvosas estavam localizadas ao sul da sub-bacia do Rio Moju, em média 2.170 mm.ano⁻¹ decrescendo progressivamente na direção norte, até atingir 2.001 mm.ano⁻¹.

Resultados semelhantes para os municípios da SBRH foram levantados por Andrade *et al.* (2017); Despontin (2018); Miranda *et al.*, (2017).

Para os municípios dessa SBRH observou-se conforme os BHCS, no ano 2005, Mocajuba registrou o maior índice pluviométrico (2.061 mm) e elevada ETP (1.033 mm), mas não foi o suficiente para gerar elevado déficit hídrico (2 mm), porém, registrou o

maior excedente hídrico da sub-região (1.352 mm). Moju teve o menor índice pluviométrico (1.131 mm), contudo 77% dessa precipitação se transformou em ETP (872 mm), sendo a mais elevada, que provocou o maior déficit hídrico (156 mm), e consequentemente o mais baixo excedente hídrico (415 mm).

O município de Mocajuba em 2010 apresentou resultados como em 2010, porém obteve o menor ETP. Jacundá foi o município com o menor índice pluviométrico, maior ETP, que consequentemente, contribuiu para a geração do maior déficit hídrico da SBRH e menor excedente hídrico. Em 2015, Mocajuba apresentou variabilidade climatológica semelhante aos dois anos anteriores (2005 e 2010). Porém, Jacundá, apesar do menor índice pluviométrico e excedente hídrico, não gerou o maior déficit hídrico, sendo Moju que registrou o maior déficit hídrico da SBRH.

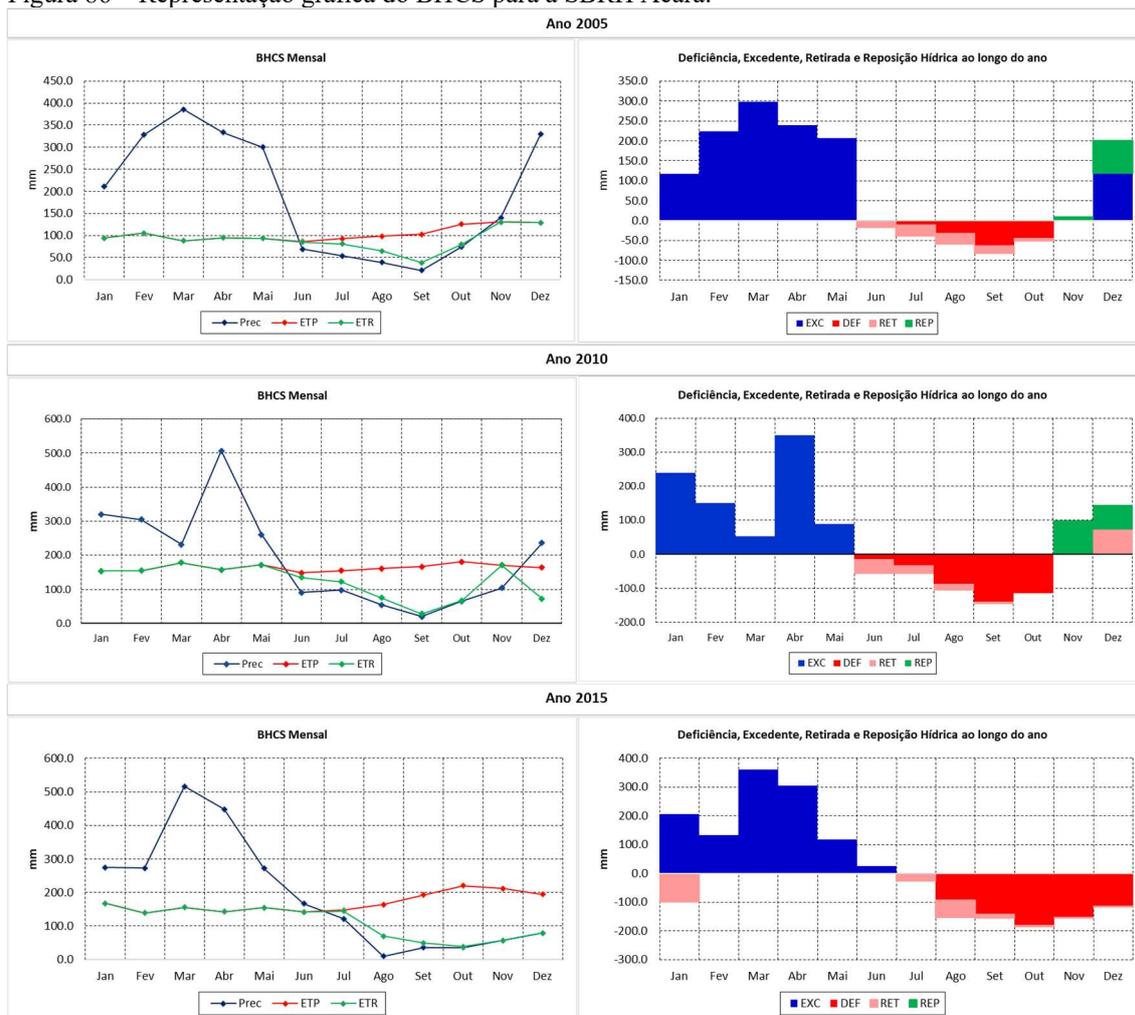
A SBRH Acará caracterizou-se com precipitação total anual relativa aos municípios, Acará, Tailândia e Tomé-Açu, de 2.284,6 mm no ano 2005; nos anos seguintes 2010 e 2015 foi de 2.295,4 mm e 2.286,4, respectivamente.

Resultado semelhante foi estimado por Dias e Lima (2019) ao analisarem os dados da série histórica de 1988-2017 e demonstraram que a pluviosidade anual na bacia hidrográfica do Rio Acará (que além de outros municípios também agrega os da SBRH Acará) variou de 1.990,39 a 2.668,52 mm e apresentou média anual de 2.990,15 mm.

Dessa forma, os resultados dos BHCS podem ser visualizados na Figura 86, onde se verifica que a precipitação mensal atingiu valores de 286,0 mm (março) em 2005, com um período de maior precipitação entre os meses de dezembro a abril, acima de 80% da chuva anual. Em 2010 atingiu 506,5 mm, com ocorrência nos meses de dezembro a maio e representou 80% do total anual. Em 2015 atingiu o maior valor dos três anos, 516,1 mm e concentrou-se de janeiro a maio, sendo 77% da chuva anual.

A Figura 86 mostra os BHCS dos três anos de estudo para a SBRH Acará, o que permitiu analisar a variabilidade climatológica.

Figura 86 – Representação gráfica do BHCS para a SBRH Acará.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Os BHCS permitiram observar que, para essa condição a SBRH Acará foi considerado a CAD de 100 mm, em que para o ano 2005 o excedente hídrico ocorreu no período de dezembro a maio e déficit hídrico ($156,4 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$) de junho a outubro, sendo que o excedente hídrico se situou em $1.202,1 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$, com variação de 116,7 a 298,0 mm, e o menor valor ocorreu em janeiro e o maior em março. No ano 2010 o excedente hídrico encerrou um mês antes e (-26,77%) menor. Mas, o déficit se manteve no mesmo período, porém mais elevado ($384,1 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$). Em 2015 o excedente ocorreu no mesmo período de 2005 com $1.148,4 \text{ mm}\cdot\text{ano}^{-1}$ e o déficit hídrico se estendeu até dezembro sendo praticamente quatro vezes o registrado em 2005.

A variabilidade climatológica da SBRH Acará revelou duas estações bem definidas, a chuvosa quando a evapotranspiração ultrapassou a precipitação pluviométrica, porém, sem registros de excedente hídrico e evidenciou o déficit hídrico com ocorrência de retirada de água, sendo a reposição com início um mês antes do

excedente hídrico nos anos 2005 e 2010, no último ano não ocorreu reposição de água no solo.

De modo geral os municípios que compõem a SBRH apresentaram o mesmo comportamento climatológico, com dois períodos climatológicos bem definidos, assim como evidenciado nos estudos de Albuquerque *et al.* (2010); Pachêco *et al.* (2009); Pinto *et al.* (2020); Rodrigues *et al.* (2005); Santos *et al.* (2019).

Nesse contexto, os BHCS dos municípios revelaram para o ano 2005, o município de Acará com o maior índice pluviométrico (2.925 mm) e excedente hídrico (2.183 mm), porém com a menor taxa de ETP (742 mm), de modo que não gerou déficit hídrico. Tailândia teve o menor registro pluviométrico (1.858 mm) e excedente hídrico (938 mm), enquanto Tomé-Açu registrou o maior déficit hídrico (714 mm).

Em 2010, Acará registrou os maiores valores para a precipitação, ETP e excedente hídrico, Tailândia apresentou o menor índice pluviométrico, com maior déficit hídrico e menor excedente hídrico. Cenário semelhante foi identificado no ano 2015.

Dada a importância dos BHCS, especialmente, quando contribuem em outras análises, como os cenários de sustentabilidade dos recursos hídricos, eles revelam os excedentes hídricos, e assim permitem uma avaliação da segurança hídrica local e regional.

6.2.3 Índice de Falkenmark (FI)

Os resultados para a disponibilidade hídrica na RH-CAN mostraram que alguns municípios apresentavam desafios fortes e urgentes na gestão dos recursos hídricos. O FI revelou um cenário ainda seguro, exceto para os municípios de Ananindeua que saiu de uma situação de “estresse” em 2005 para a situação de “escassez absoluta” nos dois anos seguintes de estudo.

Belém que se encontrava na situação de “estresse” em 2005, passou para a “escassez” em 2010, mas voltou ao “estresse” em 2015. Dom Eliseu apresentou boa evolução em 2015, ao sair da situação de escassez absoluta para a classificação ideal “sem estresse” e Marituba ficou em situação de “estresse”, com diminuição do valor do índice.

A Tabela 19 mostra os valores do índice de Falkenmark para os municípios da RH-CAN nos três anos de estudo.

Tabela 19 – Índice de Falkenmark para os municípios da RH-CAN.

Municípios	FI (2005) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	FI (2010) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	FI (2015) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)
Acará	87.344	102.061	115.958
Ananindeua	692	390	316
Augusto Corrêa	37.440	19.828	16.171
Aurora do Pará	65.682	38.179	43.000
Barcarena	10.287	12.043	6.517
Belém	1.364	829	1.069
Benevides	6.627	3.364	3.252
Bonito	52.121	23.246	26.375
Bragança	23.914	12.310	13.551
Bujaru	40.532	38.528	27.751
Cachoeira do Piriá	99.873	15.565	41.770
Capanema	14.133	5.776	8.185
Capitão Poço	37.006	19.871	34.951
Castanhal	10.780	3.158	4.006
Colares	45.372	43.855	34.104
Concórdia do Pará	41.198	19.383	22.352
Curuçá	40.084	18.393	23.073
Dom Eliseu	-	-	17.957
Garrafão do Norte	34.020	16.198	42.637
Goianésia do Pará	207.247	155.855	134.554
Igarapé-açu	48.253	10.885	15.803
Inhangapi	73.306	25.717	37.531
Ipixuna do Pará	156.653	54.210	45.635
Irituia	44.727	17.508	35.912
Jacundá	55.954	10.924	25.818
Mãe do Rio	17.592	8.804	12.417
Magalhães Barata	88.402	24.639	40.368
Maracanã	45.633	14.829	25.703
Marapanim	47.201	20.176	41.462
Marituba	1.806	907	876
Mocajuba	50.267	25.948	31.198
Moju	61.958	95.133	117.312
Nova Esperança do Piriá	160.949	30.982	86.035
Nova Timboteua	27.163	12.026	21.389
Ourém	40.975	7.989	18.980
Paragominas	118.748	46.033	76.734
Peixe-boi	85.156	26.902	47.954
Primavera	32.595	13.631	28.273
Quatipuru	34.335	14.853	20.995
Rondon do Pará	55.723	71.950	86.109
Salinópolis	5.364	3.329	3.229
Santa Bárbara do Pará	31.509	16.003	13.834
Santa Isabel do Pará	19.334	14.397	9.205
Santa Luzia do Pará	109.247	14.152	37.523
Santa Maria do Pará	26.894	5.902	7.681
Santarém Novo	53.056	19.924	33.903
Santo Antônio do Pará	34.810	18.915	17.420
são Caetano de Odivelas	40.494	23.042	26.950
São Domingos do Capim	77.425	31.537	33.839
São Francisco do Pará	55.604	17.385	20.265
São João da Ponta	59.254	32.448	30.242
São João de Pirabas	81.475	14.782	39.645
São Miguel do Guamá	26.239	9.065	13.973
Tailândia	75.277	34.505	32.340
Terra Alta	23.016	22.277	16.129
Tomé-Açu	99.007	43.440	63.066

Continua

Municípios	FI (2005) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	FI (2010) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)	FI (2015) (m ³ .hab ⁻¹ .ano ⁻¹)
Tracuateua	50.784	17.146	24.676
Ulianópolis	75.479	32.898	28.899
Vigia	7.809	6.570	9.427
Viseu	69.341	68.940	66.367

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Legenda:

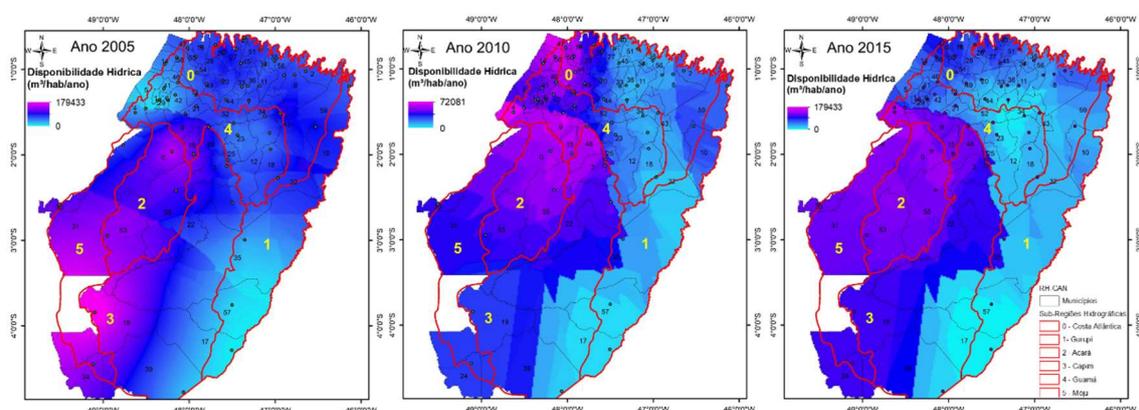
	Sem estresse
	Estresse
	Escassez
	Escassez Absoluta

Ainda que o índice tenha como ponto forte a praticidade e confiabilidade dos dados, o que gera uma noção intuitiva de uma quantidade de água por habitante, mas têm as desvantagens, (RIJSBERMAN, 2006): (a) médias de chuvas anuais escondem escassez importante em escalas regional ou local; (b) o indicador não considera a disponibilidade de infraestrutura hidráulica que modifica a disponibilidade de água para os usuários e (c) os limites das classes não refletem variações importantes na demanda entre regiões devido, por exemplo, estilo de vida ou desigualdade social. Para atenuar esses problemas, estimou-se o ICRH que se constitui numa adaptação do IF.

6.2.4 Índice de Criticidade em Recursos Hídricos (ICRH)

Primeiramente se apresenta a disponibilidade hídrica para os municípios da RH-CAN, conforme Figura 87. Nota-se no ano 2005 que a porção sul da SBRH Gurupi e a leste da Guamá apresentaram os valores mais baixos, enquanto as SBRH Acará, Capim e Moju, revelaram situação mais confortável para a disponibilidade hídrica.

Figura 87 – Disponibilidade hídrica para os municípios da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Legenda: 0 – Costa Atlântica, 1 – Gurupi, 2 – Acará, 3 – Capim, 4 – Guamá e 5 – Moju.

No ano 2010, observou-se uma evolução em termo de disponibilidade hídrica, nos municípios localizados nos limites, mais a leste das SBRH Costa Atlântica, Guamá, Acará e Moju. No ano de 2015 os municípios das SBRH Acará, Capim e Moju, permaneceram com uma boa disponibilidade hídrica, enquanto os municípios das SBRH Costa Atlântica, Gurupi e Guamá refletiram situação mais desfavorável. Enquanto em 2015, se teve apenas os municípios das SBRH Acará, Moju e parte da Capim, com maior disponibilidade hídrica.

O Brasil tende a apresentar uma das médias mais altas do mundo de disponibilidade hídrica, 20% do total mundial (HESPANHOL, 2008), a região Norte e o estado do Pará, se mostraram numa situação de conforto, pois concentram alta disponibilidade (ROCHA *et al.*, 2013b), porém quando se analisou sob o aspecto de municípios, percebeu-se uma distorção da realidade e se conseguiu enxergar os reais problemas.

Na Tabela 20 são apresentados os valores da disponibilidade de água específica por município e a sua classificação quanto ao ICRH. Observa-se uma redução do total da DAE na RH-CAN, sendo o ano de 2015 classificado além do limite de escassez.

Tabela 20 – Índice de criticidade para os municípios da RH-CAN.

Municípios	2005		2010		2015	
	DAE	ICRH	DAE	ICRH	DAE	ICRH
Acará	179.433	1	72.081	1	73.539	1
Ananindeua	57	5	335	5	25	5
Augusto Corrêa	33.960	1	8.488	2	-4.451	5
Aurora do Pará	24.791	1	11.343	1	6.305	2
Barcarena	4.823	2	6.926	2	3.056	2
Belém	1.267	3	738	4	783	4
Benevides	6.577	2	2.798	2	1.789	3
Bonito	37.054	1	10.241	1	-2.204	5
Bragança	13.514	1	9.362	2	-1.713	5
Bujaru	17.583	1	20.742	1	7.348	2
Cachoeira do Piriá	60.982	1	-39.537	5	14.033	1
Capanema	12.807	1	2.334	2	-1.177	5
Capitão Poço	11.639	1	12.046	1	-8.674	5
Castanhal	7.565	2	2.009	2	1.051	3
Colares	43.558	1	42.100	1	15.955	1
Concórdia do Pará	41.111	1	13.014	1	10.077	1
Curuçá	37.020	1	9.859	2	9.220	2
Dom Eliseu	-24.102	1	-21.153	5	-88.893	5
Garrafão do Norte	1.397	3	-8.348	5	-2.222	5
Goianésia do Pará	150.213	1	-6.755	5	-5.832	5
Igarapé-açu	47.031	1	4.349	2	-1.889	5
Inhangapi	71.925	1	15.519	1	13.096	1
Ipixuna do Pará	75.788	1	-33.120	5	-4.963	5
Irituia	28.041	1	-351	5	5.246	2
Jacundá	52.096	1	-19.343	5	-4.025	5

Continua

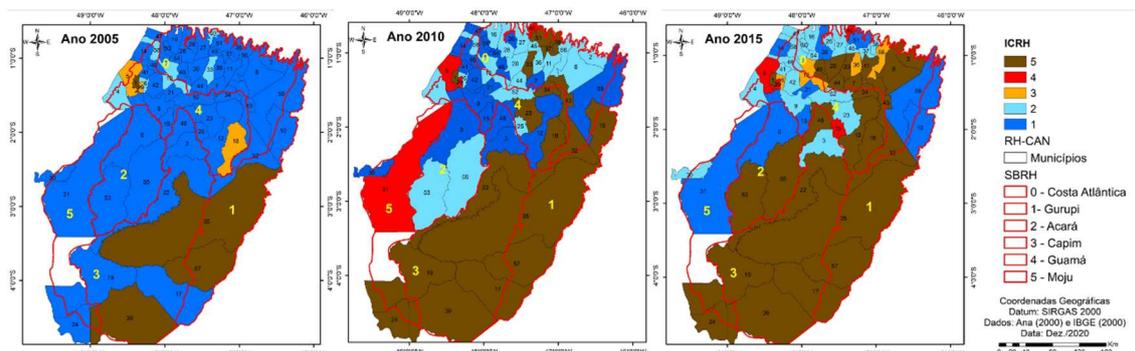
Municípios	2005		2010		2015	
	DAE	ICRH	DAE	ICRH	DAE	ICRH
Mãe do Rio	14.609	1	3.231	2	862	4
Magalhães Barata	82.567	1	10.947	1	8.113	2
Maracanã	44.414	1	4.394	2	4.483	2
Marapanim	22.846	1	7.660	2	19.550	1
Marituba	1.793	3	762	4	541	4
Mocajuba	50.196	1	8.785	1	9.820	2
Moju	38.663	1	591	4	17.496	1
Nova Esperança do Piriá	56.710	1	-2.721	5	-8.008	5
Nova Timboteua	8.944	2	-2.678	5	-6.189	5
Ourém	37.875	1	-7.826	5	-6.544	5
Paragominas	-38.755	5	-100.438	5	-89.794	5
Peixe-boi	66.453	1	7.590	2	1.561	3
Primavera	21.603	1	-1.713	5	8.399	2
Quatipuru	28.405	1	-4.562	5	3.212	2
Rondon do Pará	-122.512	5	-3.955	5	-61.970	5
Salinópolis	4.115	2	854	4	561	4
Santa Bárbara do Pará	31.122	1	13.566	1	6.885	2
Santa Isabel do Pará	16.767	1	13.347	1	4.114	2
Santa Luzia do Pará	104.511	1	-2.662	5	-20.715	5
Santa Maria do Pará	25.156	1	2.094	2	-4.952	5
Santarém Novo	42.643	1	4.802	2	5.853	2
Santo Antônio do Pará	34.309	1	15.608	1	7.169	2
são Caetano de Odivelas	33.810	1	16.930	1	7.846	2
São Domingos do Capim	66.921	1	14.130	1	-11.537	5
São Francisco do Pará	55.601	1	10.529	1	-1.575	5
São João da Ponta	57.792	1	23.559	1	2.200	2
São João de Pirabas	74.989	1	-140	5	15.647	1
São Miguel do Guamá	20.171	1	2.255	2	1.420	2
Tailândia	54.100	1	2.824	2	-4.562	5
Terra Alta	17.170	1	17.858	1	3.043	2
Tomé-Açu	27.885	1	4.559	2	-2.740	5
Tracuateua	49.205	1	4.963	2	1.994	3
Ulianópolis	-92.060	5	-22.109	1	-49.845	5
Vigia	3.469	2	3.439	2	3.103	2
Viseu	21.154	1	33.254	1	12.622	1
Total	1.898.770		195.403		- 86.445	

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Legenda: Classe 1 – Sem ou problemas limitados; Classe 2 – Poucos problemas de gestão; Classe 3 – Forte pressão sobre os recursos hídricos; Classe 4 – Escassez crônica de água; Classe 5 – Além do Limite de Escassez.

A partir da classificação preconizada por Falkenmark e adaptada por Hespanhol elaborou-se o mapa da Figura 88, onde se categorizou a problemática da escassez hídrica na RH-CA, a partir dos municípios que a compõem. Tornou-se evidente que os problemas se concentraram, principalmente, nas SBRH Costa Atlântica, Gurupi, Capim e Guamá.

Figura 88 – Mapa de classificação, a partir do ICRH para a RH-CAN, em nível municipal.



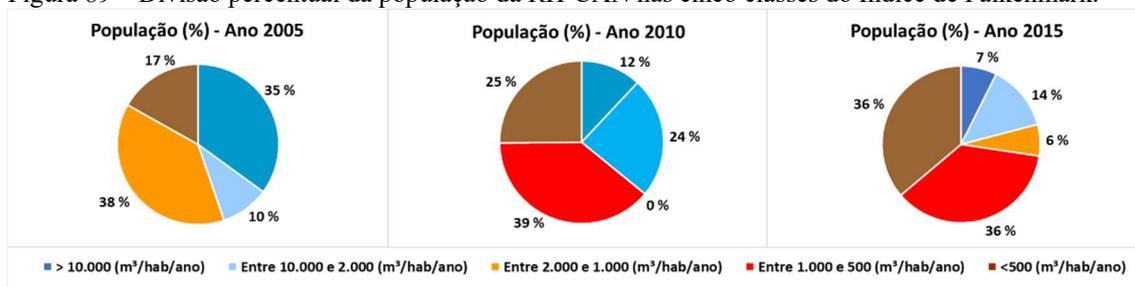
Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Legenda: Classe 1 – Sem ou problemas limitados; Classe 2 – Poucos problemas de gestão; Classe 3 – Forte pressão sobre os recursos hídricos; Classe 4 – Escassez crônica de água; Classe 5 – Além do Limite de Escassez.

Dela aferiu-se a existência de problemas sérios que tendem a se manter ao longo do tempo, como descompasso entre a oferta e a demanda, principalmente, nas SBRH Gurupi, Acará e Capim; problemas qualitativos e quantitativos que uma determinada atividade pode ocasionar a outros usos, visto que, em algumas vezes pode torná-los impossíveis, que resulta nos chamados conflitos de uso que implicam na necessidade de um efetivo gerenciamento dos recursos hídricos.

A Figura 89 mostra o percentual da população por classe do ICRH, onde se observou em 2005 o maior quantitativo de pessoas vivendo em municípios com problemas na gestão dos recursos hídricos em situação além do limite de escassez (38%), seguido dos municípios em situação de forte pressão (17%), bem como, tinham-se 55% da população na condição mais desfavorável.

Figura 89 – Divisão percentual da população da RH-CAN nas cinco classes do Índice de Falkenmark.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

No ano 2010 esse percentual foi ainda maior, 38,89% residiam em municípios com escassez crônica de água e 25,14% que se encontravam além do limite da escassez,

que totalizou 64,04 % da população. Em 2015, esses índices foram mais preocupantes ainda, 36,40% da população morava em municípios que apresentavam problema na gestão dos recursos hídricos de escassez crônica e 36,22% o maior percentual entre os três anos, em municípios com problemas além do limite da escassez, que somou 72,62% da população.

Na análise do quantitativo de municípios com problemas na gestão dos recursos hídricos (Figura 90), observou-se que no ano 2005; 76,67% estavam sem ou com problemas limitados, isto é, raros problemas de suprimento e qualidade de água, exceto durante condições de secas extremas (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Figura 90 – Divisão percentual dos Municípios da RH-CAN nas cinco classes do Índice de Falkenmark.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Diferente de 2005, em 2010, se observou 36,67% dos municípios com algum problema na gestão dos recursos hídricos (classe 4 e 5), esses problemas estavam associados a situações crônicas de suprimento de água que se tornaram piores durante a estação seca. Dado que secas severas são frequentes; problemas crônicos e em grande escala de suprimento de água, que se tornam catastróficos durante as secas e limite da capacidade de gerenciamento dos recursos hídricos (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Em 2015, eram 53% dos municípios com problemas na gestão (classe 3, 4 e 5), e agregou frequentes problemas sazonais de suprimento e de qualidade de água, acentuados por secas ocasionais (FALKENMARK; WIDSTRAND, 1992).

Esses cenários são preocupantes, dado que a RH-CAN representa um significativo indutor de desenvolvimento para o estado do Pará, motivo pelo qual se torna importante conhecer o comportamento hidrológico da região, para que o seu aproveitamento hídrico possa ser otimizado com o menor impacto ambiental.

Desse modo a análise das vazões dos corpos hídricos se mostrou como uma das alternativas para contribuir na melhoria da gestão dos recursos hídricos municipais e conseqüentemente, também dos regionais.

6.2.5 Vazões Médias e Mínimas

Como na RH-CAN existem apenas nove estações fluviométricas em operação, essa baixa cobertura inviabilizou o desenvolvimento da pesquisa em escala local (município), daí a análise a partir das SBRH nos anos de estudo, 2005, 2010 e 2015.

A estimativa de vazões mínimas é informação fundamental para a instrução de processos de gestão de recursos hídricos relativos ao enquadramento, à outorga e à cobrança pelo uso da água, conforme preveem as legislações ao nível federal, estadual (CRUZ; TUCCI, 2008) e municipal.

Na Tabela 21 são apresentados os valores para as vazões mínimas de referência $Q_{7,10}$, Q_{70} e Q_{95} nos três anos de estudo, dessas apenas as SBRH Acará e Moju não possuem o equipamento. As médias dessas vazões foram assumidas como indicadores regionais de vazão para a RH-CAN.

Tabela 21 – Vazões apropriadas para as estações fluviométricas da RH-CAN.

Cód.	SBRH	$Q_{7,10}$ (m ³ /s)			Q_{70} (m ³ /s)			Q_{95} (m ³ /s)		
		2005	2010	2015	2005	2010	2015	2005	2010	2015
32540000	Gurupi	67,48	88,92	68,61	66,71	62,49	48,46	95,30	89,28	69,22
32550000		26,99	32,15	19,44	19,50	22,88	13,91	27,86	32,68	19,87
32620000		111,74	137,00	77,54	81,24	96,81	54,99	116,05	138,30	78,56
31700000	Capim	238,87	290,36	246,84	170,73	206,81	178,91	243,89	295,45	255,59
31680000		162,20	222,41	169,28	122,56	158,04	121,28	175,08	225,77	173,25
31600000	Guamá	0,37	0,31	1,09	0,35	0,25	0,82	0,50	0,35	1,17
31520000		20,47	21,71	15,76	15,97	17,59	11,03	22,81	25,13	15,76
32400000	Costa	3,76	4,05	-	2,91	3,02	-	4,16	4,32	-
32350000	Atlântica	5,42	5,74	3,92	4,19	4,38	3,04	5,99	6,25	4,35
Total		637,30	802,65	602,48	484,15	572,27	432,44	691,65	817,53	617,77
Média		70,81	89,18	75,31	53,79	63,59	48,05	76,85	90,84	77,22

Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para as vazões mínimas, em geral, verificou-se que os valores de $Q_{7,10}$ de todas as estações apresentaram magnitude menor do que as vazões de permanência Q_{95} , porém superior a Q_{70} , o que justifica o uso desta como referência para o processo de outorga, por ser mais restritiva ao uso, tornando-a o indicador mais importante na gestão dos recursos hídricos na região hidrográfica.

Em estudo realizado por Lima *et al.* (2010) foram registrados valores de vazões próximos ao identificado para as estações analisadas, visto que na RH-CAN encontram-

se grandes projetos de mineração, a maior parte das indústrias do estado e uma produção agropecuária diversificada e consequente com fortes pressões por parte desses setores sobre os recursos hídricos.

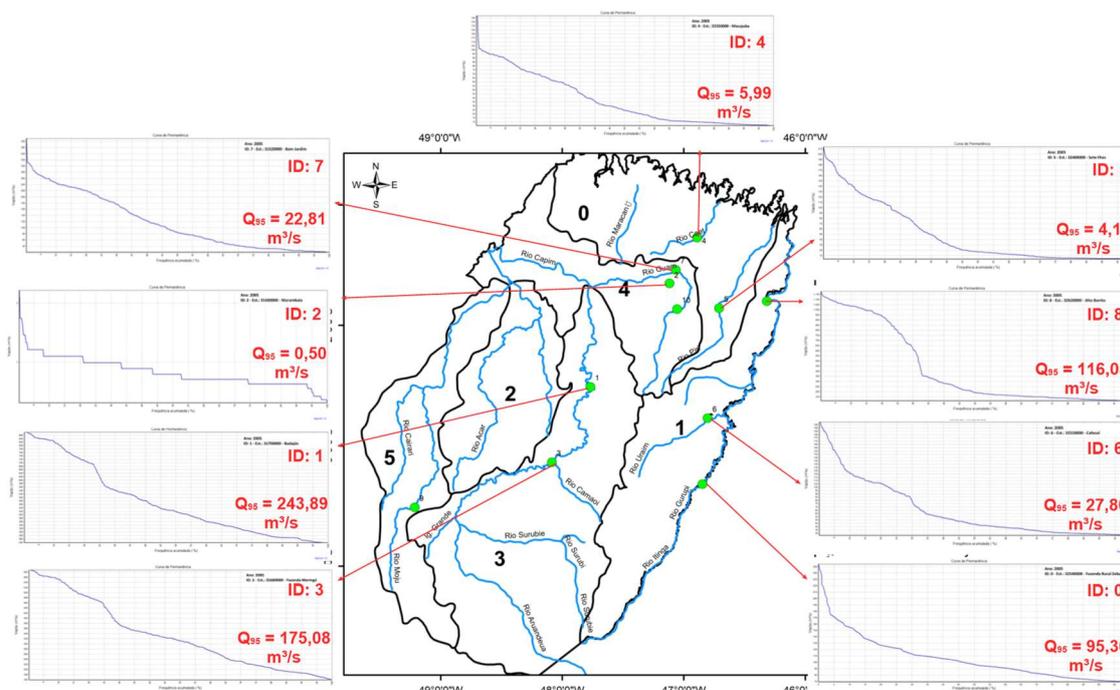
Percebeu-se que os valores de Q_{95} para as estações variaram entre 0,82 e 255,59 $m^3 \cdot s^{-1}$. Essa disparidade, entre as estações pode ser relacionada a área de drenagem, sendo que quanto maior a área de drenagem maior é o valor da vazão mínima.

Para o estado do Pará, foi estabelecida segundo a Instrução Normativa N° 31, de 7 de outubro de 2009, a vazão de referência a Q_{95} , com permissão para o uso de apenas 70% dessa, mas cada outorga deve considerar o posto a ser captado.

As curvas de permanência mostraram os resultados das Q_{95} , isto é, o quantitativo da oferta hídrica dos mananciais nos três anos de estudo. Nota-se que pelos valores das vazões é importante considerar todos os riscos inerentes a demanda, bem como método para subsidiar o cálculo da vazão referencial de outorga que também serve para outros interesses públicos.

A Figura 91 mostra as curvas de permanência para cada estação fluviométrica das SBRH no ano 2005, onde se observou significativas diferenças entre as estações, com reflexo no sistema de gestão da oferta hídrica, especialmente na SBRH Gurupi, por ser uma sub-região de transição e abrange dois estados.

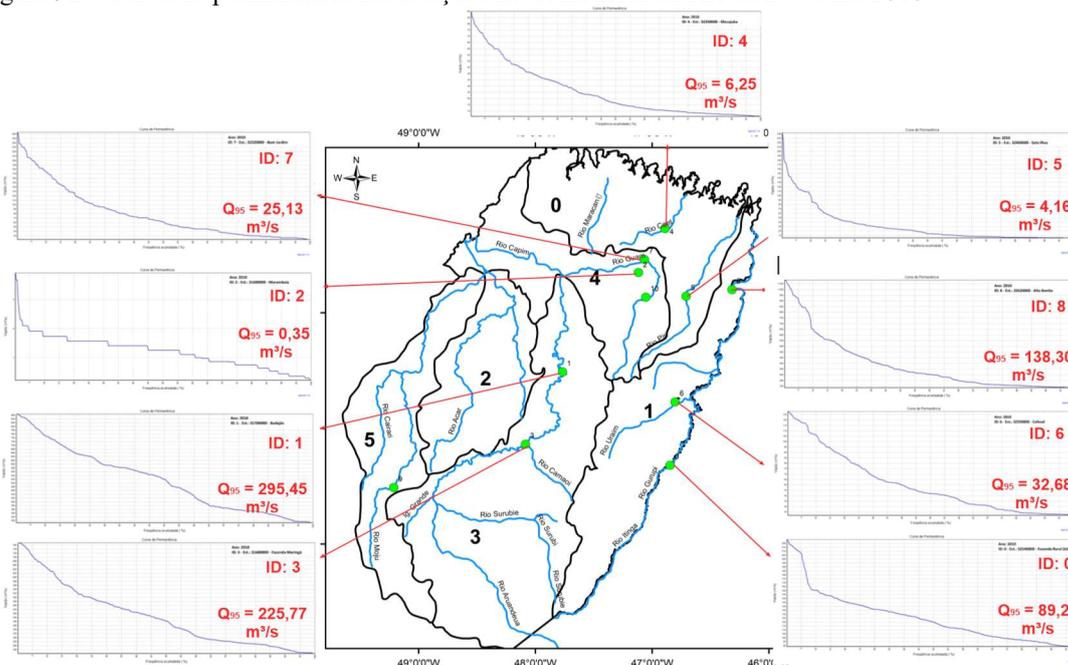
Figura 91 – Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2005.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Na Figura 92 têm-se as curvas de permanência para o ano 2010, onde a análise revelou que somente as estações ID 4, 5 e 8, alcançaram um patamar onde vazões permaneceram constantes ao longo do tempo, como em 2005. Nas demais estações não se verificou esse comportamento, que pode ser atribuído às características da bacia hidrográfica em estudo e o correspondente regime hidrológico.

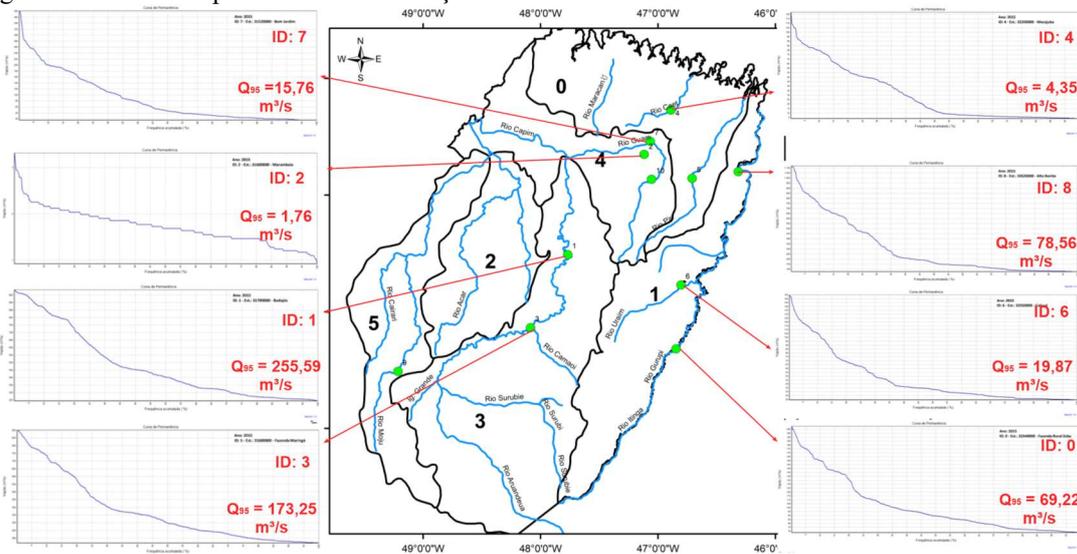
Figura 92 – Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2010.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Para o ano 2015 (Figura 93) as curvas de permanência mostraram que as vazões nesse ano foram inferiores comparadas aos anos anteriores.

Figura 93 – Curva de permanência das estações fluviométricas da RH-CAN – Ano 2015.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Na análise da Q_{70} foi identificada uma diminuição de 2010 para 2015 em todas as estações da mesma forma que a Q_{95} . No caso da estação Marambaia (3160000) apresentou vazão mais restritiva (Q_{70}), seguida das estações Sete Ilhas (32400000) e Mocajuba (32350000), o que torna claro a necessidade de critérios mais prudentes para o estabelecimento das vazões máximas outorgáveis nas SBRH Guamá e Costa Atlântica, respectivamente, pelos respectivos órgãos gestores, de modo a promover o uso mais justo e um gerenciamento eficaz dos recursos hídricos. As seções dos cursos de água da bacia dispõem de baixa disponibilidade hídrica e uma análise criteriosa é de suma importância para evitar a existência de conflitos pelo uso da água (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Para a estação Marambaia (31600000) localizada no Igarapé da Prata no município de Capitão Poço, não foi identificado processo de solicitação de outorga, mas no município existiam 12 processos deferidos no período de 2013 a 2016, com vazão total outorga de 6.131,440 m³/dia (0,71 m³/s) em que o corpo hídrico não está identificado.

Na análise da estação Sete Ilhas (32400000), localizada no Rio Piriá no município de Viseu foram identificados dois processos de outorga deferidos, um em 2013 (outorga de direito) e outro em 2016 (declaração de dispensa de outorga), sendo as vazões de 300 m³/dia e 7 m³/dia, respectivamente, que totalizou 0,0035 m³/s.

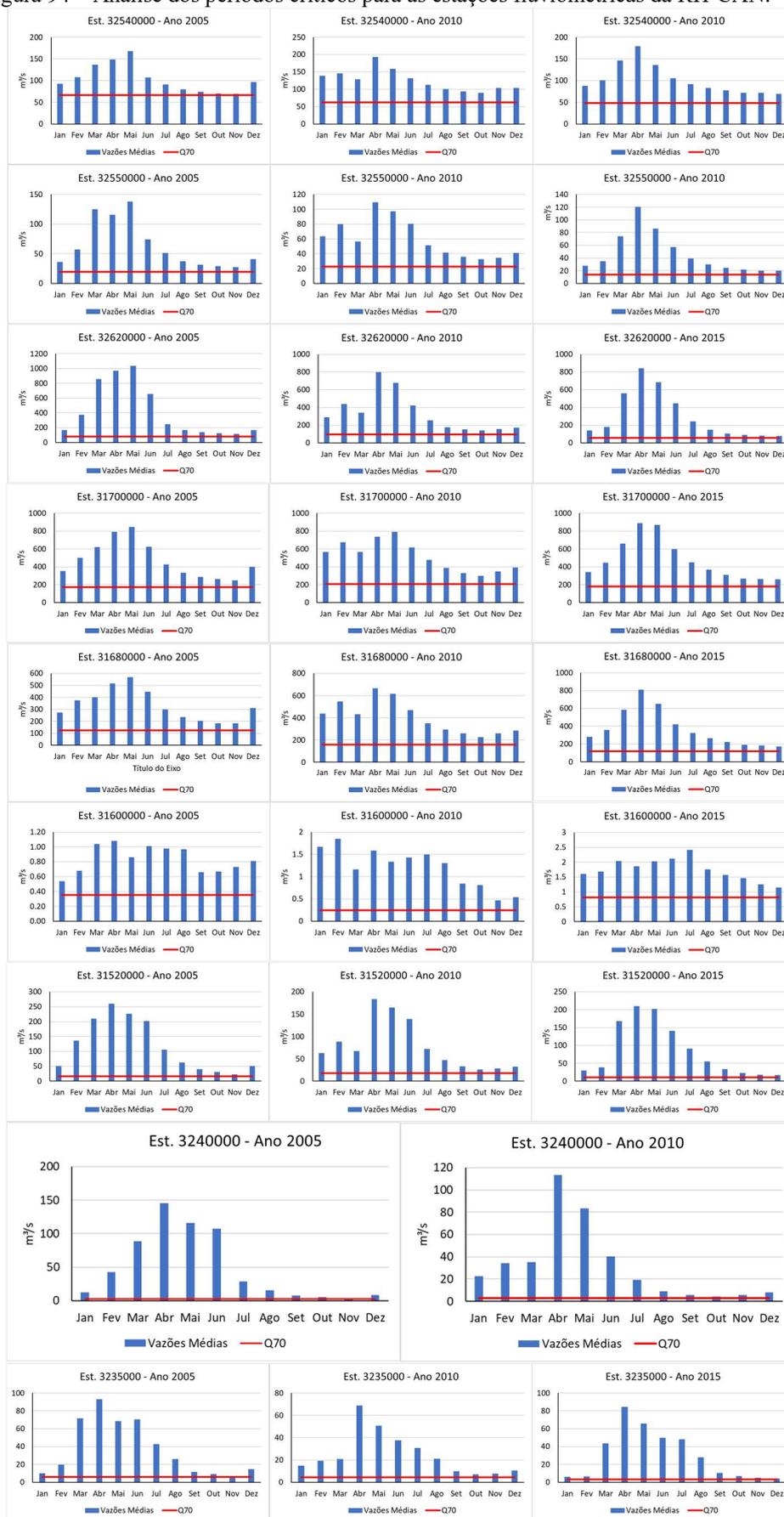
Em relação a estação Mocajuba (32350000) localizada no Rio Caeté no município de Bragança foi identificado um processo de outorga de direito de capitação para o abastecimento público pela Companhia de Saneamento do Pará – COSANPA de 14,40 m³/s (0,00017 m³/s).

Aliada a baixa densidade de postos de monitoramento, elevado número de municípios com o maior contingente populacional e de atividades agropecuárias e industriais, além da baixa densidade de outorgas superficiais as SBHR Costa Atlântica e Guamá, tornam-se áreas que necessitam de uma gestão hídrica mais consolidada e funcional na RH-CAN.

Dessa forma, os resultados apresentados para a Q_{70} representaram o máximo permitido outorgável para diferentes fins, sendo que as vazões acima da calculada representam que a disponibilidade hídrica dos corpos d'água onde estão localizadas as estações possam a vir encontrar-se baixa. Vestena *et al.* (2012) destacam que a curva de permanência permite visualizar de imediato a potencialidade natural do rio.

A Figura 94 mostra as vazões médias por estação e por ano de estudo, o que viabilizou analisar os períodos críticos, onde se observou que as menores médias mensais ocorreram a partir do mês de agosto quando se aproximavam da Q_{70} .

Figura 94 – Análise dos períodos críticos para as estações fluviométricas da RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

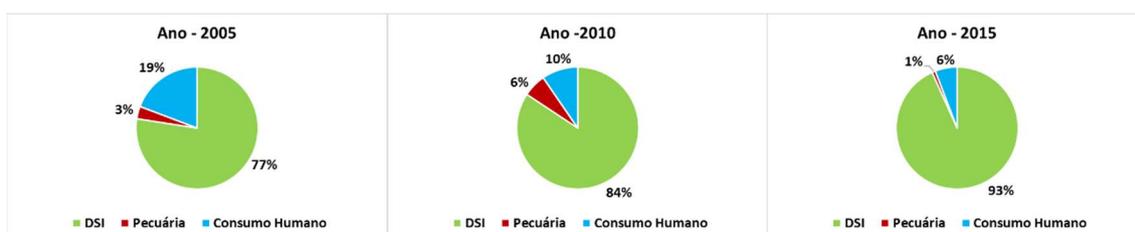
As estações 32620000, 31520000, 32400000 e 32350000 foram as que apresentaram os períodos mais críticos. O que demonstra a importância das vazões de referência, pois são elas que garantem a quantidade de água para os usos consuntivos e a qualidade da água, não exclusivamente para os usos outorgados, mas para todos os processos ecológicos que se desenvolvem no meio aquático ou que dele dependam.

Na análise desses índices diante das demandas por água pelas atividades de usos consuntivos, como a agricultura (demanda suplementar para a irrigação), pecuária (dessedentação de animais) e consumo humano na RH-CAN, revelou que a região segue o padrão de demanda de água global. Com as atividades da agricultura que mais demanda água para a irrigação, tanto em escala mundial (global), como local. No Brasil, foi responsável por 52% das retiradas de água, seguida pelo abastecimento humano 31,8% e pela indústria da transformação 9,1% (ANA, 2019).

Na Região Hidrográfica Costa Atlântica Nordeste Ocidental, a qual a RH-CAN compõe, 24 % correspondeu a irrigação, 54,4% ao consumo humano, 14,5 % ao uso animal e 7,1% a outros usos (ANA, 2019).

De modo semelhante na RH-CAN nos três anos de estudos, verificou-se pela Figura 95, que a agricultura (DSI) foi responsável pelo maior percentual de demanda de água, seguida do consumo humano.

Figura 95 – Retiradas de água pelas atividade de usos consuntivos na RH-CAN.



Fonte: Elaborada pela autora (2020).

Observou-se que o maior crescimento de demanda foi pela agricultura, seguida da diminuição do consumo humano, resultado do aumento na produção agrícola e não diminuição da população.

Dessa forma, o conhecimento sobre o regime hidrológico dos corpos hídricos constitui elemento básico para a tomada de decisão em diversas áreas do conhecimento, sobretudo nas questões do planejamento ambiental e do uso dos recursos hídricos no âmbito da bacia hidrográfica e/ou região hidrográfica, como é o caso da RH-CAN.

Mas à escassez de informações, bem como a deficiência de dados e a necessidade de conhecê-los por toda a extensão da área de estudo, muitas vezes, impedem a realização do planejamento compatível com as necessidades da área de interesse (ROCHA; SANTOS, 2018).

No estado do Pará não existe um zoneamento hidrológico com definição de faixas de vazões médias específicas para outorga como no estado de Minas Gerais que propõe faixas de classificação dos corpos hídricos. Bem como não são utilizados estudos ecológicos e socioeconômicos que relacionem os limites para vazões outorgáveis.

Conforme o levantamento bibliográfico foram catalogados estudos de zoneamento econômico-ecológico para algumas bacias e regiões hidrográficas, como o Estudo hidrogeológico para a gestão das águas subterrâneas da região de Belém/PA: Resumo Executivo desenvolvido pela ANA (2018); Zoneamento Ecológico-Econômico das Zonas Leste e Calha Norte do Estado do Pará (PARÁ, 2010), dentre outros.

Em estudo desenvolvido por Ferreira *et al.*, 2017 sobre zoneamento da bacia do Rio Moju, ficou evidente a interconexão entre os principais usos e cobertura da terra e os usos da água, ao demonstrar as pressões sobre os recursos naturais que a bacia estava sofrendo, e que a maior parcela de usos outorgados teve por finalidade o uso industrial, sendo a captação subterrânea massivamente superior a superficial.

Por fim, ao relacionar o IASH com o IndHidro, a partir dos resultados do $IASH_{Munic.}$ (Método dos escores fatoriais), da disponibilidade hídrica per capita e do ICRH, de modo que os municípios de Dom Eliseu, Paragominas e Rondon do Pará foram os que apresentaram os piores resultados para os índices IASH e ICRH, estado crítico e além do limite de escassez, respectivamente. Quanto ao indicador hidrológico para a disponibilidade hídrica dada pela Q_{70} , relativa à estação 32550000 localizada no Rio Uraim no município de Paragominas requer atenção no período seco do ano, especialmente, no trimestre outubro, novembro e dezembro, como se observou no ano 2015, quando as vazões estavam próximas da vazão de outorga.

Pela Figura 96, identificou-se um cenário delicado, em que se deve dar atenção na gestão dos recursos hídricos de forma a garantir a segurança hídrica municipal e assim atingir de forma segura a regional, visto que na RH-CAN existe forte pressão na exploração do manancial subterrâneo sem as devidas técnicas, autorizações e fiscalização.

O que tornou evidente a importância dos índices e indicadores como ferramentas de gestão ambiental, pelo fato de poderem direcionar as retiradas de água na RH-CAN, especialmente, o ICRH por ser simples e globalmente apreciado, cujas vantagens são, por um lado a facilidade com que os dados de base são obtidos, avaliados e trabalhados, e por outro o seu significado intuitivo (BROWN; MATLOCK, 2011).

De modo a atingir o objetivo de uma gestão adequada e integrada de recursos hídricos que é, garantir a disponibilidade da água e, em decorrência, a vida da humanidade (NOSCHANG; SCHELEDER, 2018b).

7. CONCLUSÕES

Embora os resultados deste estudo representem apenas uma região hidrográfica do estado, eles se mostraram importantes por fornecerem informações adicionais que podem contribuir para a elaboração de políticas públicas eficazes que ensinem a sociedade, aspectos de planejamento, organização e controle, de modo a cooperar não só para a melhoria da sustentabilidade dos recursos hídricos, mas também para o desenvolvimento social, econômico e político-institucional dos municípios, com a perspectiva de melhoramento da qualidade de vida da população.

Dessa forma, a presente pesquisa permitiu inferir que as hipóteses foram confirmadas e os objetivos atingidos, em que se obteve de forma clara e contundente: 1) Um sistema de indicadores sintéticos, que pode ser aplicado em diferentes escalas, ou em diferentes contextos, sem comprometer a representatividade das singularidades locais; 2) Os quatro métodos de agregação dos indicadores com pesos iguais e diferentes, evidenciaram a mesma tendência, porém com cenários diferentes. Contudo, pela avaliação do método Durbin-Watson um método convergiu para demonstrar melhor a realidade local; 3) A análise da sustentabilidade hídrica dos municípios pela análise de *Cluster* em relação ao $IASH_{Munic}$ revelou que a partir dos intervalos de classificação, os municípios apresentam uma relação ainda mais restrita, isto é, o quão mais próximos estão dos extremos dos níveis de sustentabilidade hídrica; 4) O manancial mais usado para o abastecimento foi o subterrâneo, em que evidenciou forte pressão na exploração do manancial; 5) O índice de Falkenmark (FI), não se mostrou adequado para avaliar a sustentabilidade hídrica na escala municipal; 6) O índice de criticidade de recursos hídricos (ICRH) mostrou a real situação dos municípios da RH-CAN; 7) Os resultados do balanço hídrico climatológico sequencial das SBRH convergiram com os resultados

de disponibilidade hídrica a partir das vazões médias e mínimas; 8) A análise das vazões médias e mínimas na escala anual se mostrou eficiente, por revelar os pontos críticos de cada corpo hídrico e assim subsidiar o processo de outorga.

Em que os indicadores e os índices de sustentabilidades (IASH e IndHidro) são ferramentas eficazes que podem subsidiar o planejamento e a gestão dos recursos hídricos, bem como podem ser aplicados a outras regiões hidrográficas da Amazônia.

Por fim, o estudo mostrou a importância da análise da sustentabilidade hídrica a partir da aplicação de índices, como instrumentos de gestão e planejamento, porém, muito ainda precisa ser investigado. Dessa forma sugere-se que novos estudos sejam realizados, como:

- Aplicar a metodologia de cálculo dos índices (IASH e IndHidro) a partir dos indicadores sugeridos para as demais regiões hidrográficas do estado do Pará e da Amazônia e compará-las;
- Atualizar os dados dos indicadores na escala anual para acompanhar e monitorar o desenvolvimento da sustentabilidade hídrica dos municípios;
- Aplicar o método Delphi para melhor retratar a realidade dos municípios;
- Analisar como as dimensões social, econômica, ambiental e político-institucional se influenciam;
- Aplicar análise de sensibilidade e robustez para o índice.

REFERÊNCIAS

ABRÃO, C. M. R. Análise de conflitos de uso da terra em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Santo Antônio, MS. In: IX ENCONTRO NACIONAL DA ENANPEGE, 11, 2015. Presidente Prudente-SP. **Anais**. Disponível em: www.wnanpege.ggf.br/2015. Acesso em: 05 maio 2018.

ABREU, M. C.; TONELLO, K. C. Estimate of the water balance of the Sorocaba river watershed - SP. **Ambiência**, v. 11, n. 3, 2015. DOI: 0.5935/ambiencia.2015.03.01. Acesso em: 31 mai. 2020.

AITH, F. M. A.; ROTHBARTH, R. O estatuto jurídico das águas no Brasil. **Estudos Avançados**, v. 29, n. 84, p. 163–178, 2015. DOI: 10.1590/S0103-40142015000200011. Acesso em: 28 ago. 2020.

AL-KALBANI, M. S. et al. Vulnerability assessment of environmental and climate change impacts on water resources in Al Jabal Al Akhdar, Sultanate of Oman. **Water (Switzerland)**, v. 6, n. 10, p. 3118–3135, 2014. DOI: 10.3390/w6103118. Acesso em: 27 ago. 2020.

ALBUQUERQUE, M. F. DE et al. Precipitação nas mesorregiões do estado do Pará: climatologia, variabilidade e tendências nas últimas décadas (1978-2008). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 6, n. June 2010. DOI: 10.5380/abclima.v6i0.25606. Acesso em: 12 set. 2020.

ALBUQUERQUE, M. A.; BARROS, K. N. N. DE O. Determinação do número de grupos em análise de agrupamento via de raio de influência. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 6, p. 38342–38355, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n6-396. Acesso em: 10 set. 2020.

ALCAMO, J.; HENRICHS, T.; RÖSCH, T. World Water in 2025 - Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century. **Kassel World Water Series 2**, n. 2, p. 47, 2000. Disponível em: <http://www.env-edu.gr/Documents/World%20Water%20in%202025.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2020.

ALCOFORADO, F. A questão da água no mundo e seus imensos desafios. **Direito UNIFACS – Debate Virtual**, v. 0, n. 179, p. 1–5, 2015. Disponível em: [file:///D:/Users/USER/Downloads/3624-13867-1-PB%20\(1\).pdf](file:///D:/Users/USER/Downloads/3624-13867-1-PB%20(1).pdf). Acesso em: 18 ago. 2020.

ALLAIN, S.; PLUMECOCQ, G.; LEENHARDT, D. Land use policy spatial aggregation of indicators in sustainability assessments : Descriptive and normative claims. **Land Use Policy**, v. 76, n. March, p. 577–588, 2018. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.02.038. Acesso em: 31 ago. 2020.

ALLEN G, R. et al. FAO Irrigation and Drainage Paper No. 56, Crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements). **Remote Sensing of Environment**, n. January 1998, p. 328 pp, 1998. Disponível em: <http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/>. Acesso em: 04 ago. 2019.

ALLEN, M.; INGRAM, W. Constraints on Future Changes in Climate and the Hydrologic Cycle. **Nature**, v. 419, p. 224–232, 2002. DOI: 10.1038/nature01092. Acesso

em: 09 ago. 2020.

ALMEIDA, F. R. DE et al. Environmental diagnostic of the blenary Park november 10 at Igarapé Mindú in Manaus. **ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA)**, v. 3, n. 10, p. 204–219, 2017. DOI: 10.5935/2447-0228.20170054. Acesso em: jan. 2020.

ALVES, H. R. C. et al. Evolução do uso e cobertura do solo da Bacia Hidrográfica do Rio Benfica-PA. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 42, n. 2, p. 333–340, 2019. DOI: https://doi.org/10.11137/2019_2_333_340. Acesso em: 19 set. 2020.

ALVES, J. D. N. et al. Evolução da produtividade do leite na Microrregião do Guamá no período de 1997-2014. **Nucleus Animalium**, v. 9, n. 1, p. 41–50, 2017. DOI: 10.3738/21751463.1820. Acesso em: 22 set. 2020.

ALVES, R. et al. Uso e ocupação do solo no município de Marapanim/Pa, com base nos dados do Projeto Terraclass. **Holos**, v. 1, p. 81–90, 2018. DOI: 10.15628/holos.2018.2819. Acesso em: 19 set. 2020.

AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 423–434, 2012. DOI: 10.1590/s0102-77862012000400006. Acesso em: 10 nov. 2020.

AMAZONAS. **Plano estadual de recursos hídricos do Amazonas PERH/AM: RT 03 - diagnóstico, prognóstico e cenários futuros dos recursos hídricos do estado. TOMO II Relatório Preliminar: II**. Manaus. 2019. Disponível em: http://meioambiente.am.gov.br/wp-content/uploads/2016/04/Relat%C3%B3rio-Etapa-III-Parcial_Protegido.pdf. Acesso em: 18 nov. 2020.

AMAZONIA, F. **Jacundá, Município de Economia Verde**. p. 1–6, 2020. Disponível em: <http://www.fundoamazonia.gov.br/pt/projeto/Jacunda-Municipio-de-Economia-Verde/>. Acesso em: 22 set. 2020.

AMBRIZZI, T.; ARAUJO, M. **PBMC, 2014: Base científica das mudanças climáticas**. 2014. Disponível em: http://www.pbmc.coppe.ufrj.br/documentos/RAN1_completo_vol1.pdf. Acesso em: 27 ago. 2020.

Agência Nacional de Águas (Brasil). Atlas Brasil (2015). Disponível em: <http://atlas.ana.gov.br/atlas/forms/analise/Geral.aspx?est=28&mapa=sist#>. Acesso em: 07 nov. 2020.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília, DF: ANA; 2007. 123 p. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF%20DisponibilidadeDemanda.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Nota Técnica nº 56/2015/SPR**. Brasília, DF: ANA; 2015. n. 828, p. 3–4. Disponível em:

https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4b9960a4-6436-43d7-9beb-bad256f090fc/attachments/NT_atualizacao_demandas.pdf. Acesso em: 04 ago. 2019.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Caderno de Recursos Hídricos**. Brasília, DF: ANA; 2005. 123 p. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/planejamento/planos/pnrh/VF_DisponibilidadeDemanda.pdf. Acesso em: 01 nov. 2020

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Quantidade da água**. Brasília, DF: ANA; 2020. v. 3, p. 2–3. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/portal/snirh-1/acesso-tematico/quantidade-de-agua>. Acesso em: 13 ago. 2020.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual**. Brasília, DF: ANA; 2019b. 100 p. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: 23 mar. 2021.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Conjuntura de Recursos Hídricos 2020: informe anual**. Brasília, DF: ANA; 2020. 118 p. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.23309814.pdf>. Acesso em: 21 maio 2020.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (Brasil). **Planilhas de outorgas**. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/regulacao-e-fiscalizacao/outorga/outorgas-emitidas>. Acesso: 30 maio 2021.

Agência Nacional de Águas (Brasil). **Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil**. Brasília, DF: ANA; 2019. 75 p. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consuntivos_da_agua_no_brasil.pdf/view. Acesso em: 04 ago. 2019.

Agência Nacional das Águas (Brasil). **Estudos Hidrogeológicos para a Gestão das Águas Subterrâneas da Região de Belém/PA: Resumo Executivo**. Brasília, DF: ANA; 2018. 69 p. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/api/records/4e560d0e-9534-44e2-8e19-31ba5fb3596a>. Acesso em: 15 jul. 2020.

Agência Nacional das Águas (Brasil). **Plano Nacional de Segurança Hídrica**. Brasília, DF: ANA; 2019. p. 112. Disponível em: <http://arquivos.ana.gov.br/pnsh/pnsh.pdf>. Acesso: 24 ago. 2020.

Agência Nacional das Águas (Brasil). **Hidroweb**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>

NAZAWA, T. M. et al. A escassez hídrica no município de Campinas, Brasil (2013-2015), a partir das percepções da população: ¿ crise hídrica ou desastre socialmente construído? **Antropologia Americana**. v. 4, n. 8, p. 61–85, 2019. Disponível em: <https://revistasipgh.org>. Acesso em: 20 ago. 2020.

ANDRADE, E. M. DE et al. Fatores determinantes da qualidade das águas superficiais na bacia do Alto Acaraú, Ceará, Brasil. **Ciência Rural**, vol. 37, n. 6, Santa Maria. Nov./Dec. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-84782007000600045>. Acesso em: 15 set. 2020.

ANDRADE, V. M. S. DE et al. Considerações Sobre Clima E Aspectos Edafoclimáticos Da Mesorregião Nordeste Paraense. In: **Nordeste Paraense: Panorama geral e uso sustentável das lorestas secundárias**. Belém: 2017. p. 59–96. Disponível em: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1073630>. Acesso em: 12 nov. 2020.

ANDRADE, F. S. Variabilidade da precipitação pluviométrica de um município do estado do Pará. **Engenharia Ambiental – Espírito Santo do Pinhal**, v. 8, n. 4, p. 138–145, 2011. Disponível em: <http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/include/getdoc.php?id=1848&article=632&mode=pdf>. Acesso em: 31 mai. 2020.

ARAÚJO, A. C. M. DE.; GOUVEIA, L. B. Uma Revisão sobre os Princípios da Teoria Geral dos Sistemas. **Revista Estação Científica**, v. 2, n. 16, jul- dez, p. 1–14, 2016. Disponível em: <https://portal.estacio.br/media/3727396/uma-revis%C3%A3o-sobre-os-princ%C3%ADpios-da-teoria-geral-dos-sistemas.pdf>. Acesso em: 02 set. 2020.

ARAÚJO, S. R. D. et al. Balanço hídrico e classificação climática para as mesorregiões da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 1985–1997, 2018. DOI: 10.26848/rbgf.v11.6.p1985-1997. Acesso em: 08 nov. 2020.

ARIAS, S. G.; SERNA, L. F. C. Regionalización de curvas de duración de caudales en el Departamento de Antioquia-Colombia. **Revista EIA**, v. 14, n. 27, p. 21–30, 2017. DOI: 10.24050/reia.v14i27.1158. Acesso em: 08 set. 2020.

ARNETTE, A. et al. Stakeholder ranking of watershed goals with the vector analytic hierarchy process: Effects of participant grouping scenarios. **Environmental Modelling and Software**, v. 25, n. 11, p. 1459–1469, 2010. DOI: 10.1016/j.envsoft.2009.10.009. Acesso em: 08 nov. 2020.

ARRANZ-LÓPEZ, A. et al. Retail Mobility Environments: A methodological framework for integrating retail activity and non-motorised accessibility in Zaragoza, Spain. **Journal of Transport Geography**, v. 58, p. 92–103, 2017. DOI: 10.1016/j.jtrangeo.2016.11.010. Acesso em: 11 nov. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 14653-3: Avaliação de bens Parte 3: Imóveis rurais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: <http://bittarpericias.com.br/wp-content/uploads/2017/02/Avaliacao-Bens-Imoveis-Rurais-Procedimentos-Gerias-NBR-14653-3.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT. NBR 9649: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. p. 7. Disponível em: <http://licenciadorambiental.com.br/wp-content/uploads/2015/01/NBR-9.649-Projeto-de-Redes-de-Esgoto.pdf>. Acesso em: 09 mar. 2020.

AUGUSTO, L. G. DA S. et al. O contexto global e nacional frente aos desafios do acesso

adequado à água para consumo humano. **Ciencia & Saúde Coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1511–22, 2012. DOI: 10.1590/S1413-81232012000600015. Acesso em: 18 ago. 2020.

AVELAR, M. S. et al. Vulnerabilidade das populações à acidentes com barragem de caulim: Estudo de caso em Barcarena (Pará). **IJDR - International Journal of Development Research**, v. 10, n. 8, p. 38671–38675, 2020. DOI: <https://doi.org/10.37118/ijdr.19579.08.2020>. Acesso em: 12 fev. 2021.

AYRES, R. U. Statistical measures of unsustainability. **Ecological Economics**, v. 16, n. 3, p. 239–255, 1996. DOI: [https://doi.org/10.1016/0921-8009\(95\)00091-7](https://doi.org/10.1016/0921-8009(95)00091-7). Acesso em: 04 ago. 2020.

AZEVEDO, B.; ANDRADE, E.; SILVEIRA, S. Investigação da Estrutura Multivariada da Evapotranspiração na Região Centro Sul do Ceará pela Análise de Componentes Principais. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 1, p. 39–44, 2003. DOI: 10.21168/rbrh.v8n1.p39-44. Acesso em: 10 mar. 2020.

BAMBINI, M. D. et al. Sistema Agritempo: rede de inovação em agrometeorologia. Simpósio Nacional de Instrumentação Agropecuária - SIAGRO. In: **Anais**. 2014. Disponível em: publicacao/276847391_Sistema_Agritempo_rede_de_inovacao_em_agrometeorologia. Acesso em: 29 maio 2021.

BARBOSA, A. M.; MACEDO, L. O. B. Análise dos determinantes da sustentabilidade. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, v. 32, n. 1, p. 1–21, 2020. Disponível em: bdta.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1419. Acesso em: 24 nov. 2020.

BARBOSA, G. S.; DRACH, P. R.; CORBELLA, O. D. A Conceptual Review of the Terms Sustainable Development and Sustainability Gisele. **International Journal of Social Sciences**, v. 3, n. 2, p. 01–15, 2014. DOI: 10.13073/FPJ-D-13-00090. Acesso em: 05 ago. 2020.

BARBOSA, I. C. DA C. et al. Variáveis físico-geográficas e as implicações sobre vulnerabilidade ambiental na Sub-Bacia do Rio Guamá, Pará, Brasil. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 264–291, 2020. DOI: 10.6008/cbpc2179-6858.2020.003.0022. Acesso em: 10 nov. 2020.

BARBOSA JÚNIOR, J. S.; ALMEIDA, A. S. DE. Análise multitemporal com a utilização da técnica de sensoriamento remoto e geoprocessamento no município de Bonito - Pará. In: III SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO. Recife - PE, 2010. p. 001 - 007. Disponível em: <https://docplayer.com.br/32646943-Analise-multitemporal-com-a-utilizacao-da-tecnica-de-sensoriamento-remoto-e-geoprocessamento-no-municipio-de-bonito-para.html>. Acesso em: 24 nov. 2020.

BARROS, C. G. D. et al. Vazão Mínima Q7,10 No Amapá Estimada Por Modelos Probabilísticos. **Revista Engenharia Na Agricultura - Reveng**, v. 26, n. 3, p. 284–294, 2018. DOI: 10.13083/reveng.v26i3.930. Acesso em: 08 set. 2020.

BARROS, A. T.; ROCHA, I. J. Comunicando riscos ambientais e tecnológicos na região Amazônica: uma análise de caso do vazamento da mineradora Hydro Alunorte.

Temática. V. 15, N. 1, 2019. DOI: 10.22478/ufpb.1807-8931.2019v15n1.43933. Acesso em: 02 abr. 2021.

BARROSO, L.P.; ARTES, R. Análise multivariada. Lavras: UFLA, 2003. 151p

BARROSO, L. et al. Avaliação do teste generalizado de Durbin-Watson. **Revista Brasileira de Biometria**, v. 30, n. 3, p. 432–441, 2012. Disponível em: http://jaguar.fcav.unesp.br/RME/fasciculos/v30/v30_n4/A3_Lais.pdf. Acesso em: 02 fev. 2021.

BASTOS, T. X. et al. Características Agroclimáticas do Município de Paragominas. In: EMBRAPA, C. D. P. A. D. T. Ú. (Ed.). **Embrapa Amazônia Oriental**. 1ª ed. Belém: p. 21. 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/407905/caracteristicas-agroclimaticas-do-municipio-de-paragominas>. Acesso em: 01 nov. 2020.

BAZZO, K. R. et al. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, v. 12, n. 5, p. 855–870, 2017. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso em: 08 set. 2020.

BELLEN, H. M. VAN. Indicadores de sustentabilidade: um levantamento dos principais sistemas de avaliação. **Cadernos EBAPE.BR**, v. 2, n. 1, p. 01–14, 2004. DOI: 10.1590/s1679-39512004000100002. Acesso em: 28 ago. 2020.

BENETTI, A. D.; LANNA, A. E.; COBALCHINI, M. S. Metodologias para Determinação de Vazões Ecológicas em Rios. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n. 2, p. 149–160, 2003. DOI: 10.21168/rbrh.v8n2.p149-160. Acesso em: 08 set. 2020.

BENETTI, L. B. **Avaliação do índice de desenvolvimento sustentável (IDS) do município de Lages/SC através do método do painel de sustentabilidade**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Santa Catarina, 215 p. 2006. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/88555>. Acesso em: 18 jul. 2020.

BERNSTEIN, J. H. The data-information-knowledge- wisdom hierarchy and its antithesis. **CUNY Kingsborough Community College**. 2009. Disponível em: https://academicworks.cuny.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1011&context=kb_pubs. Acesso em: 02 set. 2020.

BLANCO, C. J. C. et al. Application of rainfall-runoff models to simulate flow duration curves Contribution to hydrological modelling of small Amazonian catchments: application of rainfall – runoff models to simulate flow duration curves. **Hydrological Sciences Journal – Journal des Sciences Hydrologiques**, v. 58, n. 7, p. 1423–1433, 2013. DOI: 10.1080/02626667.2013.830727. Acesso em: 07 nov. 2020.

BOIN, M. N. Áreas de Preservação Permanente: Uma visão prática. **Manual Prático da promotoria de Justiça do Meio Ambiente**. 1 ed. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, v.2. 2005. Disponível em: < <http://www.mpap.mp.br/images/CAOP-meio->

ambiente/manual-basico-promotor-justica-meio-ambiente.pdf>. Acesso em: 10 mai. 2018.

BÖHRINGER, C.; JOCHEM, P. E. P. Measuring the immeasurable — A survey of sustainability indices. **Ecological Economics**. v. 63, p. 1–8, 2007. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2007.03.008. Acesso em: 31 aog. 2020.

BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. **GEOUSP: Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 120–137, 2017. DOI: 10.11606/issn.2179-0892.geousp.2017.107531. Acesso em: 20 jan. 2021.

BOZZINI, A. C. et al. A análise da sustentabilidade hidroambiental dos municípios com sede totalmente contida na bacia hidrográfica do rio Mogi Guaçu, SP. **Holos Environment** v. 18, p. 110–125, 2018. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v18i1.12256>. Acesso em: 11 mar. 2020.

BRAGA, T. G. M. et al. A dinâmica de alterações ambientais com base nas transições, permanências e vulnerabilidades: O caso da bacia hidrográfica do Rio Moju, Amazônia. **Interciencia**, v. 44, n. 3, p. 178–186, 2019. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33958848013>. Acesso em: 19 set. 2020.

BRAGA, T. M. et al. Índices De Sustentabilidade Municipal O Desafio De Mensurar. **Nova Economia**, v. 14, n. 3, p. 11–33, 2004. Disponível em: <https://revistas.face.ufmg.br/index.php/novaeconomia/article/view/435>. Acesso em: 19 out. 2020.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília: Supremo Tribunal Federal, Secretaria de documentação, 2019. Disponível em: <https://www.stf.jus.br/arquivo/cms/legislacaoConstituicao/anexo/>. Acesso: 12 set. 2020.

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997 - Política Nacional de Recursos Hídricos. n. Pdr 2020, p. 3901–3902, 1997. Disponível em: <<https://dre.pt/application/file/67508032>>. Acesso em: 09 ago. 2020.

BRASIL. Lei no 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997. Disponível em: <https://dre.pt/application/file/67508032>. Acesso em: 09 ago. 2020.

BRASIL. **Código de Águas (1934). Código de Águas: e legislação correlata**. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 2003. 234 p. – (Coleção ambiental ; v. 1). Disponível em: <http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/496298/000877141.pdf?sequence=1>. Acesso em: 25 mar. 2021.

BRASIL. Decreto nº 7.257, de 4 de agosto de 2010. Regulamenta a Medida Provisória no 494 de 2 de julho de 2010. p. 1–8, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7257.htm. Acesso em: 27 ago. 2020.

BRIONES-HIDROVO, A.; UCHE, J.; MARTÍNEZ-GRACIA, A. Hydropower and

environmental sustainability: A holistic assessment using multiple biophysical indicators. **Ecological Indicators**, v. 127, p. 10, 2021. DOI: 10.1016/j.ecolind.2021.107748. Acesso em: 20 maio 2021.

BROWN, T. A. Confirmatory factor analysis for applied research. **The Guilford Press**. 462 p. 2006. Disponível em: <http://www.gbv.de/dms/mpib-toc/505831473.pdf> Acesso em: 07 jul. 2020.

BROWN, A.; MATLOCK, M. D. A review of water scarcity indices and methodologies. **Sustainability Consortium**, v. 106, n. 2, 2011. Disponível em: <https://www.sustainabilityconsortium.org/downloads/a-review-of-water-scarcity-indices-and-methodologies/>. Acesso em: 07 jul. 2020.

BUSSAB, W.O. et al. **Introdução à análise de agrupamentos**. São Paulo: ABE, 1990. 211p.

CABRAL, E. R.; GOMES, S. C. Gestão ambiental pública em municípios com forte correlação entre desmatamento e expansão da pecuária, soja e da madeira. **Ensaio FEE**, v. 34, n. 1, p. 167–194, 2013. Disponível em: <https://revistas.dee.spgg.rs.gov.br/index.php/ensaios/article/view/2592>. Acesso em: 18 set. 2020.

CAMARA, G.; VALERIANO, D.; VIANEI, J. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. Instituto da Ciência e Tecnologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Jose dos Campos: 2013, 37 p. Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/pdfs/metodologia.pdf> file. Acesso em: 20 fev. 2021.

CAMARGO, A. P. DE. Contribuição para a determinação da evapotranspiração potencial no estado de São PauloBragantia. **Bragantia**, 1962. v. 21. p. 163-213. DOI: 10.1590/s0006-87051962000100012. Acesso em: 09 ago. 2020.

CAMPBELL, S. Green Cities, Growing Cities, Just Cities? Urban Planning and the Contradictions of Sustainable Development. **Journal of the American Planning Association**; Summer, v. 62, n. 3, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1080/01944369608975696>. Acesso em: 04 ago. 2020.

CAMPOS, A. et al. Segurança Alimentar e Segurança Hídrica: Perspetivas. **ResPublica**, p. 219–231, 2017. Disponível em: <https://recil.grupolusofona.pt>. Acesso em: 09 ago. 2020.

CAMPOS, V. N. DE O.; FRACALANZA, A. P. Governança das águas no Brasil: conflitos pela apropriação da água e a busca da integração como consenso. **Ambiente & Sociedade**. Campinas. v. XIII, n. 2. p. 365-382. jul.-dez. 2011 DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2010000200010>. Acesso em: 25 ago. 2020.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. DE C.; BORGES, L. A. C. Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 11, n. 4, p. 1259–1282, 2018. DOI: 10.17765/2176-9168.2018v11n4p1259-1282. Acesso em: 05 ago. 2020.

CARDOSO, A. S.; TOLEDO, P. M. DE; VIEIRA, I. C. G. Barômetro Da Sustentabilidade Aplicado Ao Município De Moju, Estado Do Pará. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 12, n. 1, p. 234–263, 2016. Disponível em: <http://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2129>. Acesso em: 07 out. 2020.

CARDOSO, R. N. C. et al. Análise da vulnerabilidade e do risco a contaminação de aquíferos semiconfinados na Ilha de Cotijuba/PA. **Águas Subterrâneas**, v. 32, n. 2, p. 1–9, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.14295/ras.v32i2.29153>. Acesso em: 12 fev. 2021.

CARVALHO, A. T. F.; CABRAL, J. J. DA S. P. Metodologia para avaliação de sustentabilidade hidroambiental para projetos de intervenções em rios perenes (masrios): conceito e estruturação do instrumento. **Rev. Bras. Geomorf. (Online)**, v. 21, p. 461–478, 2020. DOI: [/dx.doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1746](https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1746). Acesso em: 05 ago. 2020.

CARVALHO, J. R. M. DE et al. Proposta e validação de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas: estudo de caso na sub-bacia do alto curso do Rio Paraíba, PB. **Sociedade & Natureza**, v. 23, n. 2, p. 295–310, 2011a. DOI: 10.1590/s1982-45132011000200012. Acesso em: 6 abr. 2021.

CARVALHO, J. R. M. DE et al. Análise da sustentabilidade hidroambiental de municípios da região da Sub-Bacia do Alto Piranhas, PB. **Holos**, v. 6, p. 13, 2015. DOI: 10.15628/holos.2015.2093. Acesso em: 18 nov. 2019.

CARVALHO, J. R. M. DE; CURI, W. F. Indicadores para a gestão de recursos hídricos em municípios: Uma proposta metodológica de construção e análise. **Revista Economia & Gestão**, v. 15, n. 38, 2015. DOI: 10.5752/p.1984-6606.2015v15n38p4. Acesso em: 18 jul. 2020.

CARVALHO, J. R. M. DE; CURI, W. F.; LIRA, W. S. Processo participativo na construção de indicadores hidroambientais para bacias hidrográficas. In: LIRA, WS., and CÂNDIDO, GA., orgs. **Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa** [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, pp. 31-80. DOI: 10.7476/9788578792824.0002. Acesso em: 09 ago. 2020.

CARVALHO, R. G. DE; KELTING, F. M. S.; SILVA, E. V. DA. Indicadores socioeconômicos e gestão ambiental nos municípios da bacia hidrográfica do rio Apodi-Mossoró, RN. **Sociedade & natureza**, v. 23, n. 1, p. 143–159, 2011a. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1982>. Acesso em: 10 out. 2020.

CARVALHO, S. S. DE; PIMENTEL, M. A.; LIMA, A. M. M. DE. Desafios da área de proteção ambiental em território insular: proposição de planejamento para gestão de recursos hídricos sob a perspectiva dos moradores da ilha do Combu, Belém, Pará. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 51, p. 62–78, 2019. DOI: 10.5327/z2176-947820190446. Acesso em: 24 ago. 2020.

CARVALHO, H. DE P. et al. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. **Bioscience Journal**, v. 27, n. 2, p. 221–229, 2011. DOI: 10.15202/1981896.2019v24n49p74. Acesso em: 16 jan. 2021.

CARVALHO, J. R. M.; CURI, W. F.; CURI, R. C. Uso da análise multicritério na construção de um índice de sustentabilidade hidroambiental: Estudo em municípios paraibanos. **Revista Brasileira de Gestao e Desenvolvimento Regional**, v. 9, n. 2, p. 3–26, 2013. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/1018>. Acesso em: 10 out. 2020.

CARVALHO, M. F. et al. Aplicação da análise multivariada em avaliações de divergência genética através de marcadores moleculares dominantes em plantas medicinais. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, v. 11, n. 3, p. 339–346, 2009. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_. Acesso em: 27 jan. 2021.

CARVALHO, R. As Bacias hidrográficas enquanto unidades de planejamento e zoneamento ambiental no Brasil. **Caderno Prudentino de Geografia**, v. 0, n. 36, p. 26–43, 2014. Disponível em: <https://revista.fct.unesp.br/index.php/cpg/article/view/3172>. Acesso em: 02 set. 2020.

CARVALHO, R. N. et al. Balanço hídrico climatológico para o município de Nepomuceno-Mg. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 74–87, 2019. DOI: 10.15202/1981896.2019v24n49p74. Acesso em: 16 jan. 2021.

CASSETARI, G. A.; QUEIROZ, T. M. Balanço Hídrico E Classificação Climática Na Bacia Do Rio Jauquara, Região De Transição Entre O Cerrado E Amazônia Brasileira. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 25, p. 70-88. 2020. DOI: 10.5380/abclima.v26i0.59513. Acesso em: 20 jun. 2020.

CASTELO, T. B. Legislação florestal brasileira e políticas do governo de combate ao desmatamento na amazônia legal. **Ambiente & Sociedade**, v. 18, n. 4, p. 221–242, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422ASOC1216V1842015>. Acesso em: 20 mar. 2020.

CASTRO, T. E. DE et al. **Caracterização e Clasificação dos Solos do Município de Peixe-Boi, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2005, 43 p. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/145244/1/DOC-231.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.

CASTRO, M. H. M. Amazônia: soberania e desenvolvimento sustentável. Brasília: CONFEA, 2007. 120 p.

CASTRO, E. R. DE; EUNÁPIO, C., D. DO. Dossiê desastres e crimes da mineração em Barcarena. Belém: NAEA: UFPA, 2019, 19-34p. Disponível em: https://www.academia.edu/42263264/Dossi%C3%AA_Desastres_e_Crimes_da_Minera%C3%A7%C3%A3o_em_Barcarena. Acesso em: 07 abr. 2020.

CASTRO, T. E. DE et al. Caracterização e Clasificação dos Solos do Município de Peixe-Boi, Estado do Pará. **Documentos/Embrapa**. 2005. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1048535/caracterizacao-e-classificacao-dos-solos-do-municipio-de-peixe-boi-estado-do-para>. Acesso em: jan. 2020.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: a bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 15, n. 1, p. 4, 2016. DOI: 10.12660/rgplp.v15n1.2016.78411. Acesso em: 05 ago. 2020.

CECÍLIO, R. A. et al. Evaluation of low-flow and long term average flow regionalization methods on Itapemirim river watershed. **Scientia Agraria**, v. 19, n. 2, p. 122–132, 2018. DOI: 10.5380/rsa.v19i2.52726. Acesso em: 08 set. 2020.

CENTURIÃO, D. A. S.; WELTER, C. A.; FRAINER, D. M. Desenvolvimento dos municípios do Mato Grosso do Sul: uma análise a partir de um indicador multidimensional sintético. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v. 8, n. 4, p. 256–274, 2020. Disponível em: <https://revistabrasileirademeioambiente.com/index.php/RVBMA/article/view/561>. Acesso em: 23 jan. 2021.

CETRULO, T. B.; MOLINA, N. S.; MALHEIROS, T. F. Indicadores de sustentabilidade: proposta de um barômetro de sustentabilidade estadual. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais (Online)**, n. 30, p. 33–45, 2013. Disponível em: https://www.academia.edu/25868666/Indicadores_de_sustentabilidade_proposta_de_um_bar%C3%B4metro_de_sustentabilidade_estadual. Acesso em: fev. 2020.

CHAHINE, M. T. The Hydrological Cycle and Its Influence on Climate. **Nature**, v. 359, n. October, p. 373–380, 1992. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/359373a0>. Acesso em: 27 ago. 2020.

CHAVES, A. F. F.; MARTA-COSTA, A. A. V. ; TEIXEIRA, L. G.; VALENTE, M. D. R. Ambiente e saúde: Prioridades nos estados da Amazônia Legal. **Enciclopédia Biosfera**, v. 66, p. 37–39, 2013. Disponível em: <https://www.conhecer.org.br/enciclop/2013a/saude/ambiente%20e%20saude.pdf>. Acesso em: 05 jan. 2020.

CHERCHYE, L. et al. An introduction to “benefit of the doubt” composite indicators. **Social Indicators Research**, v. 82, n. 1, p. 111–145, 2007. DOI: 10.1007/s11205-006-9029-7. Acesso em: 06 set. 2020.

CIRILO, B. B. **Elemento de benção, região de maldição: uma análise da gestão de recursos hídricos no Estado do Pará**. 2019. Tese (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/11909>. Acesso em: 12 fev. 2021.

CIRILO, B. B.; ALMEIDA, O. T. DE. O papel do estado como gestor da política de recursos hídricos no Pará: O modelo Rent Seeking. **Espaço & Geografia**, v. 22, n. 1, p. 119–150, 2019. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/espacoegeografia/index.php/espacoegeografia/article/view/676>. Acesso em: 27 out. 2020.

- CLARKE, D.; SMITH, M.; EL-ASKARI, K. **CropWat for Windows: User Guide**. FAO. Roma. 43 p. 1998. Disponível em: <http://eprints.soton.ac.uk/73992/>. Acesso em: 20 mar. 2019.
- CNUMAD, C. DAS N. U. SOBRE O M. A. E D. Agenda 21 Global. **Agenda 21 Global**, v. 21, p. 1, 1992. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/se/agen21/ag21global/>. Acesso em: 18 ago. 2020.
- COELHO, A. DOS S. et al. Impactos das mudanças de uso da terra nas áreas prioritárias para conservação da biodiversidade no nordeste do estado do Pará, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Ciências Naturais**, v. 13, n. 1, p. 107–120, 2018. Disponível em: [http://editora.museu-goeldi.br/bn/artigos/cnv13n1_2018/impactos\(coelho\).pdf](http://editora.museu-goeldi.br/bn/artigos/cnv13n1_2018/impactos(coelho).pdf). Acesso em: 10 mar. 2020.
- COHEN, J. Statistical power analysis. **Current directions in psychological science**, v. 1, n. 3, p. 98–101, 1992. Disponível em: <https://www.statisticssolutions.com/statistical-power-analysis/#:~:text=Power%20analysis%20is%20directly%20related%20to%20tests%20of%20hypotheses.&text=The%20main%20purpose%20underlying%20power,the%20desired%20level%20of%20significance>. Acesso em: 10 mar. 2020.
- COLLISCHONN, W. et al. Da vazão ecológica ao hidrograma ecológico. *In*: 8º CONGRESSO DA ÁGUA, março, p. 20, 2006. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/237250787_Da_Vazao_Ecologica_ao_Hidrograma_Ecologico. Acesso em: 26 out. 2020.
- COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Indicators of sustainable development: framework and methodologies. **Journal of Cleaner Production**, v. 9, n. 3, p. 294, 2001. Disponível em: https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd9_indi_bp3.pdf. Acesso em: 24 jul. 2019.
- CORDEIRO, I. M. C. C. et al. Nordeste do Pará: Configuração atual e aspectos identitários. *In*: Edufra (Ed.). **Nordeste Paraense: Panorama geral e uso sustentável das florestas secundárias**. Belém: 2017. p. 323. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/162426/1/Livro-Nordeste.pdf>. Acesso em: 08 nov. 2020.
- CORREIA, M. L. A.; DIAS, E. R. Desenvolvimento sustentável, crescimento econômico e o princípio da solidariedade intergeracional na perspectiva da justiça ambiental. **Planeta Amazônia: Revista Internacional de Direito Ambiental e Políticas Públicas**, n. 8, p. 63, 2017. DOI: 10.18468/planetaamazonia.2016n8.p63-80. Acesso em: 18 GO. 2020.
- COSTA, F. E. V.; SANTOS, N. S. L.; RODRIGUES, J. I. M. Apropriação da natureza para fins econômicos e problemáticas ambientais da bacia do Rio Peixe-Boi na cidade de Peixe-Boi (PA). **Revista do Instituto Histórico e Geográfico do Pará**, v. 2, n. 2, p. 22–34, 2015. DOI: 0.17553/2359-0831/ihgp.v2n2p22-34. Acesso em: 20 set. 2020.
- COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS – CPRM. SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Projeto estudos hidrogeológicos da região metropolitana de Belém e adjacências**. Belém: 2002. Disponível em:

http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/10744/1/rel_hidro_belem_adj2002.pdf. Acesso em: 07 nov. 2020.

CPT, C. P. DA T. **Conflitos pela Água 2016**. Goiás, 2016. Disponível em: ponent/jdownloads/summary/6-conflitos-pela-agua/14041-conflitos-pela-agua-2016. Acesso em: 21 maio 2021.

CREÃO, L. G. C.; BASTOS, T. X.; PACHÊCO, N. A. Possibilidade agroclimática da cultura da mandioca para municípios com pequeno e grande déficit hídrico no estado do Pará. *In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA*. 2009. Belo Horizonte – MG, n. 1, p. 5, 2009. Disponível em: <http://www.sbagro.org/files/biblioteca/2216.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

CRISPIM, D. L.; FERNANDES, L. L.; ALBUQUERQUE, R. L. DE O. Aplicação de técnica estatística multivariada em indicadores de sustentabilidade nos municípios do Marajó-PA. **Revista Principia - Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, v. 1, n. 46, p. 145, 2019. DOI: 0.18265/1517-03062015v1n46p145-154. Acesso em: 07 nov. 2020.

CRUZ, J.; TUCCI, C. Estimativa da Disponibilidade Hídrica Através da Curva de Permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111–124, 2008. DOI: 10.21168/rbrh.v13n1.p111-124. Acesso em: 25 dez. 2020.

CUNHA, A. R. DA; MARTINS, D. Classificação climática para os municípios de Botucatu e São Manuel, SP. **Irriga**, v. 14, n. 1, p. 1–11, 2009. DOI: 10.15809/irriga.2009v14n1p01. Acesso em: 31 mai. 2020.

DAMIANI, S. et al. “Ficou só chão e céu”: dendeicultura e impactos socioambientais sobre território Tembé na Amazônia. **Ambiente e Sociedade**, v. 23, p. 24, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc20190049r2vu2020L6AO>. Acesso em: 10 fev. 2021.

DANCEY, C. P.; REIDY, J. **Estatística sem matemática para psicologia usando SPSS para Windows**. 3ª Ed. p. 608. Porto Alegre: Artmed, 2006. Disponível em: Acesso: 10 mar. 2020. Disponível em: <https://docero.com.br/doc/nsv18n>. Acesso em: 10 mar. 2020.

DATASUS - Banco de dados: Departamento de Informática do SUS. Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde. Disponível em: <www.cnes.datasus.gov.br>. Acesso em: 10 mai. 2018

DAVIES, D. L.; BOULDIN, D. W. A Cluster Separation Measure. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. PAMI-1, n. 2, p. 224–227, 1979. DOI: 10.1109/TPAMI.1979.4766909. Acesso em: 16 nov. 2019.

DESPONTIN, M. A. **Zoneamento agroclimático e de risco climático para a cultura do cacau (*Theobroma cacao* L.) no estado do Pará**. Dissertação (Mestrado em Ciências) - USP, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba/SP, 2018. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11152/tde-13032019-160707/en.php>. Acesso em: 31 out. 2020.

DETZEL, D. H. M.; FERNANDES, C. V. S.; MINE, M. R. M. Nonstationarity in determining flow-duration curves aiming water resources permits. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 21, n. 1, p. 80–87, 2016. DOI: 10.21168/rbrh.v21n1.p80-87. Acesso em: 08 set. 2020.

DIAS, G. F. DE M.; LIMA, A. M. M. DE; SANTOS, M. DE N. S. As mudanças no uso e cobertura da terra e o comportamento hidrológico da bacia do rio Capim. **Papers do NAEA**, v. 390, p. 3–31, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/10760>. Acesso em: 20 set. 2020.

DIAS, F. G.; LIMA, A. M.M. DE. Caracterização espaço-temporal da precipitação da bacia hidrográfica do rio Acará / PA. In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. **Anais**. Fortaleza: 2019. <http://www.editora.ufc.br/images/imagens/pdf/geografia-fisica-e-as-mudancas-globais/476.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2020.

DIAS, G. H. **Identificação da vulnerabilidade socioambiental na área urbana de Mossoró-RN, a partir do uso de técnicas de análises espaciais**. Dissertação (Mestrado em Ciências Naturais) - Universidade do Estado do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2013. Disponível em: http://www.uern.br/controladepaginas/mestrado-dissertacoes/arquivos/0631dissertaa%afo_gutenberg.pdf. Acesso em: 05 ago. 2019.

DILLON, W. R.; GOLDSTEIN, M. **Multivariate analysis methods and applications**. 1984. p 608. Acesso em: 07 mar. 2020.

DRAGON, K.; GORSKI, J. Identification of groundwater chemistry origins in a regional aquifer system (Wielkopolska region, Poland). **Environmental Earth Sciences**, v. 73, n. 5, p. 2153–2167, 2015. DOI: 10.1007/s12665-014-3567-0. Acesso em: 7 set. 2020.

DRESSLER, M. M. **Art of Surface Interpolation**. 80 p. Kunštát. 2009. Disponível em: <http://m.dressler.sweb.cz/AOSIM.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2019.

DUNN, J. C. A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters. **Journal of Cybernetics**, v. 3, n. 3, p. 32–57, 1 jan. 1973. DOI: 10.1080/01969727308546046. Acesso em: 16 nov. 2019.

DUNTEMAN, G. H. **Principal component analysis - quantitative applications in the social-sciences**. 98 p. Sage Publications. London. 1989. Disponível em: https://www.academia.edu/9409138/_George_H_Dunteman_Principal_Components_Analysis_Book_Fi_org. Acesso em: 06 nov. 2020.

DURBIN, J. Tests for serial correlation in regression analysis based on the periodogram of least squares residuals. **Biometrika**, v. 56, n. 1, p. 1-15, 1969. DOI: <https://doi.org/10.2307/2334686>. Acesso em: 28 abr. 2020.

DURBIN, J. An alternative to the bounds test for testing for serial correlation in least squares regression. **Econometrica**, v. 38, p. 422, 1970. DOI: <https://doi.org/10.2307/1909548>. Acesso em: 24 abr. 2020.

DUTRA, J. Mercado de água : uma solução possível para o Brasil lidar com a escassez

hídrica? **Conjuntura Econômica**, p. 0–2, 2019. Disponível em: https://ceri.fgv.br/sites/default/files/2019-06/artigo_conjuntura_abril2019%20%281%29.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020.

EL-GAFY, I. K. E.-D. The water poverty index as an assistant tool for drawing strategies of the Egyptian water sector. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 9, n. 2, p. 173–186, jun. 2018. DOI: 10.1016/j.asej.2015.09.008. Acesso em: 24 jul. 2019.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Visão 2030 - o futuro da agricultura brasileira**. p. 212. Brasília, DF: Embrapa, 2018. Disponível em: <http://www.embrapa.br/futuro>. Acesso: 19 set. 2020.

EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Agritempo**. Disponível em: <https://www.agritempo.gov.br/>

EUROPEAN COMMISSION. Etapa 6: Ponderação. **Eu science hub**. p. 1–4, 2020. Disponível em: <https://ec.europa.eu/jrc/en/potencia/jrc-ideas>. Acesso em: 02 set. 2020.

EVANGELISTA, A. R. S. O processo de desmatamento do bioma caatinga: riscos e vulnerabilidades socioambientais no território de identidade do sisal, Bahia. **Revista Geográfica de América Central**, Número Especial EGAL. p. 1-13. 2011. Disponível em: <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/geografica/article/view/2369>. Acesso em: 18 mar. 2020.

FALKENMARK, M. The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed? **Ambio**, v. 18, n. 3, p. 112–118, 1989. *JSTOR*. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/4313541>. Acesso em: 19 set. 2020.

FALKENMARK, M.; WIDSTRAND, C. Population and water resources: a delicate balance. **Population Bulletin**, v. 47, n. 3, p. 1–36, 1992. Disponível em: <https://www.ircwash.org/resources/population-and-water-resources-delicate-balance#:~:text=With%20a%20harsh%20hydroclimate%20and,subject%20to%20extreme%20water%20scarcity>. Acesso em: 18 dez. 2020.

FAO, F. AND A. O. Coeficientes de cultivo (Kc) para climas subúmidos para uso com a evapotranspiração de referência de Penman-Monteith (FAO, 1998). v. 19, n. 2, p. 1–21, 1998. Disponível em em: http://javalı.fcav.unesp.br/sgcd/Home/estacao_agro/Tabela_Kc.pdf. Acesso em: 16 out. 2019.

FAO, F. AND A. O. **The state of the world's h ate of the world's land and water resources land and water resources for food and agriculture for food and agriculture - Managing systems ems at risk**. v. 10907 LNCS. p. 433-449. 2011. DOI: 10.1007/978-3-319-92049-8_31. Acesso em: 15 ago. 2020.

FAO, F. AND A. O. Water scarcity. **Land & Water Overview**. 2020. Disponível em: <http://www.fao.org/land-water/water/water-scarcity/en/>. Acesso em: 24 ago. 2020.

FAPESPA, FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS Eduardo. **Barômetro da Sustentabilidade do município de Barcarena**. 2017. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/sites/default/files/Barometro>

_da_sustentabilidade_Mineraçao.pdf. Acesso em: 16 out. 2020.

FAPESPA, FUNDAÇÃO AMAZÔNIA DE AMPARO A ESTUDOS E PESQUISAS Eduardo. **Relatório sobre a Vulnerabilidade Social no Estado do Pará**. 1ª edição. p. 92. Belém. 2015. Disponível em: <http://www.fapespa.pa.gov.br/upload/Arquivo/anexo/570.pdf?id=1480084947>. Acesso em: 11. jan. 2021.

FARIA, R. A. DE et al. Demanda de irrigação suplementar para a cultura do milho no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, p. 46–50, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000100009>. Acesso em: 21 out. 2020.

FARIAS, C. J.; HEINRICH, R. C.; ROESLER, M. R. VON B. a Invisibilidade Da Água Na Produção Dos Alimentos: Interfaces Entre Economia E Desenvolvimento Sustentável. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 513, 2020. DOI: 10.19177/rgsa.v9e12020513-523. Acesso em: 20 jan. 2021.

FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhoso no litoral sul do estado Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017. DOI: 10.5380/abclima.v21i0.52065. Acesso em: 04 ago. 2019.

FATICHI, S. et al. An overview of current applications, challenges, and future trends in distributed process-based models in hydrology. **Journal of Hydrology**, v. 537, p. 45–60, 2016. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2016.03.026. Acesso em: 13 jan. 2020.

FÁVERO, L. P. et al. **Análise de dados Modelagem Multivariada para tomada de decisão**, 2009. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/306959590_Analise_de_Dados_Modelagem_Multivariada_para_Tomada_de_Decisooes. Acesso em: 22 out. 2020.

FEARNSIDE, P. M. **Destruição e Conservação da Floresta Amazônica**, v. 1. Editora do INPA, 368 p. (no prelo), 1. ed. Manaus. 2020. Disponível em: <http://portal.inpa.gov.br/index.php/2017-09-04-22-13-15/publicacoes-inpa>. Acesso em: 10 fev. 2020.

FERNANDES, L. L. A sustentabilidade do sistema de abastecimento de água potável em Belém. 2005. **Tese**. (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal do Pará.

FERNANDES, T.; HACON, S. DE S.; NOVAIS, J. W. Z. Variabilidade das chuvas e sua relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em populações expostas a mudanças hídricas no sudeste da Amazônia paraense. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 4, p. 1519–1536, 2020. DOI: 10.26848/rbgf.v13.4.p1519-1536. Acesso em: 02 nov. 2020.

FERREIRA, A. E. D. M.; VIEIRA, I. C. G. Sustentabilidade urbana na região metropolitana de Santarém, Pará, Brasil nos anos 2000 e 2010. **Economía Sociedad y Territorio**, v. xviii, n. 58, p. 763–795, 2018. DOI: 10.22136/est20181238. Acesso em: 29 ago. 2020.

FERREIRA, D. B. DA S.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V. DE. Identificação de extremos de precipitação em municípios do estado do Pará e sua relação com os modos climáticos atuantes nos oceanos pacífico e atlântico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, n. 16, p. 197–222, 2020. DOI: 10.5380/abclima.v27i0.64630. Acesso em: 02 nov. 2020.

FERREIRA, F. N. et al. Gestão de recursos hídricos na Amazônia: Um panorama da participação da sociedade civil nos espaços deliberativos. **Holos**, v. 8, p. 336, 2017. DOI: 10.15628/holos.2017.6505. Acesso em: 24 ago. 2020.

FERREIRA, M. A.; COSTA, E. Índice de avaliação ambiental : Uma análise a partir de modelos estatísticos multivariados. **HOLOS Environment**, v. 26, p. 167–182, 2009. Disponível em: <https://redibec.org/ojs/index.php/revibec/article/view/126>. Acesso em: 11 mar. 2020.

FERREIRA, M.; COSTA DOS SANTOS, E.; DE LIMA, J. Índice de avaliação ambiental: Uma análise a partir de modelos estatísticos multivariados. **Revista Iberoamericana de Economía Ecológica (REVIBEC)**, v. 26, n. 26, p. 177–190, 2016. Disponível em: URL: http://www.redibec.org/IVO/rev26_13.pdf. Acesso em: 18 nov. 2019.

FERREIRA, M. M. G. et al. Escolha dos métodos de multicritério a tomada de decisão com o auxílio de um sistema especialista formulado a partir de um fluxograma. **Brazilian Applied Science Review**, v. v.2, n.2, p. 1593–1608, 2018a. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BASR/article/view/545>. Acesso em: 07 set. 2020.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M.; MARTINS, J. A. Zoneamento da bacia hidrográfica do rio Moju (Pará): usos da água e sua. **Revista Ambiente e Agua**, v. 12, p. 680–693, 2017. DOI: 10.4136/ambi-agua.2069 Received:. Acesso em: 15 jul. 2020.

FERREIRA, S. C. G.; LIMA, A. M. M. DE; CORRÊA, J. A. M. Indicators of hydrological sustainability, governance and water resource regulation in the Moju river basin (PA) – Eastern Amazonia. **Journal of Environmental Management**. v. 263, n. 2020. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110354. Acesso em: 11 nov. 2020.

FIELD, A. **Descobrimo a estatística usando o SPSS**. 2ª ed. 684 p. Porto Alegre: Artmed. 2009. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4320753/mod_resource/content/1/2011_Field%20%28completo%29Descobrimo%20a%20estati%CC%81stica%20com%20SPSS.pdf. Acesso em: 2 fev. 2021.

FIGUEIREDO FILHO, D. B. et al. Análise fatorial garantida ou o seu dinheiro de volta: uma introdução à redução de dados. **Revista Eletrônica de Ciência Política**, v. 5, n. 2, p. 185–211, 2014. DOI: 10.5380/recp.v5i2.40368. Acesso em: 06 set. 2020.

FILARD, M. F.; SOUZA, M. C. F. DE. Crise Hídrica No Século Xxi: Legislação E Políticas Públicas Para Um Novo Modelo De Gestão Sustentável. **Ponto de Vista Jurídico**, v. 6, n. 1, p. 08–20, 2017. Disponível em:

<http://periodicosuniarp.com.br/juridico/article/view/1184/583>. Acesso em: 20 ago. 2020.

FIGUEIREDO, A. P.; OLIVEIRA, L. F. C.; FRANCO, A. P. B. Avaliação do desempenho de equações de regionalização de vazões na bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Bárbara, Goiás, Brasil. **Revista Ambiente e Água**, v. 3, p. 63–76, 2008. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso: 12 jul. 2020.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. UMA REVISÃO GERAL SOBRE O CLIMA DA AMAZÔNIA. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101–126, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>. Acesso em: 04 nov. 2020.

FISCHER, M. L. et al. Crise hídrica em publicações científicas: olhares da bioética ambiental. **Revista Ambiente e Água**, v. 9, n. 3, p. 445–458, 2016. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso em: 24 ago. 2020.

FONTANA, M. E.; MORAIS, D. C. Decision model to control water losses in distribution networks. **Produção**, v. 26, n. 4, p. 688–697, 2016. doi: 10.1590/0103-6513.201815. Acesso em: 07 set. 2020.

FRAINER, D. M. et al. Uma aplicação do Índice de Desenvolvimento Sustentável aos municípios do estado de Mato Grosso do Sul. **Interações**, v. 18, p. 145–156, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.20435/inter.v18i2.1524>. Acesso em: 04 ago. 2019.

FREITAS, W. DA S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. DA. Demanda de irrigação da cultura da banana na bacia do Rio São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 4, p. 343–349, 2008. DOI: 10.1590/s1415-43662008000400002. Acesso em: 26 jan. 2021.

FREITAS, W. DA S.; RAMOS, M. M.; COSTA, S. L. Demanda de irrigação da cultura da uva na bacia do rio São Francisco. **Revista Engenharia Agrícola**, v. 10, n. 3, p. 563–569, 2006. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662006000300005. Acesso em: 04 ago. 2019.

GAALLOUL, H.; KHALFALLAH, S. Application of the “Benefit-Of-the-Doubt” Approach for the Construction of a Digital Access Indicator: A Reevaluation of the “Digital Access Index”. **Social Indicators Research**, v. 118, n. 1, p. 45–56, 2014. DOI: 10.1007/s11205-013-0422-8. Acesso em: 06 set. 2020.

GALVANI, E. Estudo comparativo dos elementos do Balanço Hídrico Climatológico para cidades de São Paulo e para Paris. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie / Revista franco-brasileira de geografia**, n. 4, p. 1–11, 2008. DOI: 10.4000/confins.4733. Acesso em: 16 jun. 2020.

GALVÃO, J. R. et al. Perfil Socioeconômico dos Produtores Rurais da Comunidade de Timborana, no Município de Bragança, Pará. **Biodiversidade Brasileira - BioBrasil**, v. 10, n. 3, p. 56–63, 2020. DOI: 10.37002/biobrasil.v10i3.1653. Acesso em: 31 jan. 2021.

GAMA, F. J. C.; BASTOS, S. Q. A.; HERMETO, A. M. Moeda e crescimento: Uma análise para os municípios Brasileiros (2000 a 2010). **Nova Economia**, v. 26, n. 2, p.

515–551, 2016. DOI: 10.1590/0103-6351/3624. Acesso em: 08 set. 2020.

GAN, X. et al. When to use what: Methods for weighting and aggregating sustainability indicators. **Ecological Indicators**, v. 81, n. February, p. 491–502, 2017. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.05.068. Acesso em: 06 set. 2020.

GARCIA, H. S.; GARCIA, D. S. S. A construção de um conceito de sustentabilidade solidária contribuições teóricas para o alcance do socioambientalismo. **Revista de Direito Ambiental e Socioambientalismo**, v. 2, n. 1, p. 16, 2016. DOI: 10.21902/Organiza. Acesso em: 01 set. 2020.

GASQUES, J. G. et al. Produtividade da agricultura: resultados para o Brasil e estados selecionados. **Revista de Política Agrícola**, v. XXIII, n. 3, p. 87–98, 2014. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.09.072. Acesso em: 18 ago. 2020.

GASSERT, F. et al. Aqueduct Global Maps 2.1: Constructing decision-relevant global water risk indicators. **World Resources Institute**, n. April, p. 31, 2015. Disponível em: <https://www.wri.org/publication/aqueduct-global-maps-21-indicators>. Acesso em: 23 ago. 2020.

GHAZI, A. et al. Spatial Variability of Shear Wave Velocity Using Geostatistical Analysis in Mashhad City , NE Iran. **Open Journal of Geology**. v. 2014, n. August, p. 354–363, 2014. DOI: 10.4236 / ojg.2014.48027. Acesso em: 04 ago. 2019.

GIL, V. D. O.; FERRARI, F.; EMMENDORFER, L. Investigação da aplicação de algoritmos de agrupamento para o problema astrofísico de classificação de galáxias. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, v. 7, n. 2, p. 52–61, 2015. DOI: 10.5335/rbca.2015.4653. Acesso em: 27 jan. 2021.

GIRÃO, G. et al. Seleção dos indicadores da qualidade de água no Rio Jaibaras pelo emprego da análise da componente principal. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 17–24, 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/236107485>. Acesso em: 17 mar. 2020.

GOBO, J. P. A.; GALVANI, E.; WOLLMANN, C. A. Influência do clima regional sobre o clima local a partir do diagnóstico de abrangência espacial e extrapolação escalar. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 22, p. 210–228, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v22i0.57827>. Acesso em: 14 nov. 2020.

GOMES, A. B. B.; FERNANDES, L. L. Estudo do regime pluviométrico da microrregião do salgado do estado do Pará. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo e práctica**, v. 12, n. 2, p. 295–312, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2019.12.2.62023>. Acesso em: 11 nov. 2020.

GOMES, D. J. C. et al. Influência do Uso e cobertura da terra associados a eventos climáticos em Sistemas Hidrometeorológicos. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 13, n. 2, p. 21–36, 2019. Disponível em: <https://revista.ufr.br/rga/article/view/5610>. Acesso em: 03 nov. 2020.

GORAYEB, A. **Análise integrada das paisagens de Bacias Hidrográficas na Amazônia Oriental.** 108 p. Fortaleza: 2014. http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/10266/1/2014_liv_agorayeb.pdf. Acesso em: 31 out. 2020.

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Qualidade da água e abastecimento na Amazônia: o exemplo da bacia hidrográfica do rio Caeté. **Mercator**, v. 09, n. 18, p. 135–157, 2010. DOI: 10.4215/rm2010.0918.0011. Acesso em: 12 fev. 2020.

GRAÇAS, F. et al. Análise de Agrupamento Hierárquico Aglomerativo aplicada à Ecologia – Teoria e Prática. **UNISANTA Bioscience**. v. 6, n. January, p. 68–77, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/316599772>. Acesso em: 08 set. 2020.

GRANATO, D.; CALADO, V. M. DE A.; JARVIS, B. Observations on the use of statistical methods in Food Science and Technology. **Food Research International**, v. 55, p. 137–149, 2014. DOI: 10.1016/j.foodres.2013.10.024. Acesso em: 07 set. 2020.

GRECO, S. et al. On the Methodological Framework of Composite Indices: A Review of the Issues of Weighting, Aggregation, and Robustness. **Social Indicators Research**, v. 141, n. 1, p. 61–94, 2019. DOI: 10.1007/s11205-017-1832-9. Acesso em: 02 set. 2020.

GROSBOIS, D. DE; PLUMMER, R. Problematizing Water Vulnerability Indices at a Local Level: a Critical Review and Proposed Solution. **Water Resources Management**, v. 29, n. 14, p. 5015–5035, 2015. DOI: 10.1007/s11269-015-1101-0. Acesso em: 23 ago. 2020.

GROUP, W. B. I. E. D. D. World development indicators. **Revista Brasileira de Computação Aplicada**, p. 10, 2015. Disponível em: <https://datatopics.worldbank.org/world-development-indicators/>. Acesso em: 06 set. 2020.

GUEDES, H. A. S. et al. Application of multivariate statistical analysis in the study of water quality in the Pomba River (MG). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 5, p. 558–563, 2012. DOI: 10.1590/S1415-43662012000500012. Acesso em: 05 jan. 2020

GUIMARÃES, R. P. **Aterrizando una cometa: Indicadores territoriales de sustentabilidad.** 69 p. 1998. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/7435/S9880608_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 06 abr. 2021.

GUIMARÃES, J. C. F. DE; SEVERO, E. A.; VASCONCELOS, C. R. M. DE. Vantagem Competitiva Sustentável: Uma Pesquisa em Empresas do Sul do Brasil. **Brazilian Business Review**, v. 14, n. 3, p. 352–367, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.15728/bbr.2017.14.3.6>. Acesso em: 07 set. 2020.

GUIMARÃES, R. H. E. **Influência da sazonalidade sobre as águas estaurinas dos furos da ilha de Colares (Baía do Marajó).** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Geologia e

Geoquímica, 2015. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6373>. Acesso em: 07 nov. 2020.

GUIMARÃES, R. P.; FEICHAS, S. A. Q. Desafios na construção de indicadores de sustentabilidade. **Ambiente & Sociedade**, v. 12, n. 2, p. 307–323, 2010. DOI: 10.1590/s1414-753x2009000200007. Acesso em: 04 ago. 2019.

GUSBERTI, T. D. H. et al. Monitoramento da multidisciplinaridade no processo de transferência de tecnologia em uma universidade: proposta de análise de cluster. **Revista de Administração e Inovação**, v. 11, n. 3, p. 309–322, 2014. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004. Acesso em: 08 set. 2020.

HACHEM, B. P. **Análise do comportamento da precipitação e da vazão em bacias hidrográficas Amazônicas**. Dissertação (Mestrado em: Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pará. 2016. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/7905>. Acesso em: 31 out. 2020.

HAIR, JR. F. et al. **Análise multivariada de dados**. Ed. 6ª. Bookman Editora. Porto Alegre. 2005. Disponível em: <https://wiac.info/doc-viewer>. Acesso em: 22 out. 2020.

HAIR, J.F.; BLACK, W.C.; BABIN, B.J.; ANDERSON, R.E.; TATHAM, R.L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/ngsouza/livro-analise-multivariada-de-dados-hair-et-al>. Acesso em: 30 mai. 2019.

HALKIDI, M.; BATISTAKIS, Y.; VAZIRGIANNIS, M. On clustering validation techniques. **Journal of Intelligent Information Systems**, v. 17, n. 2–3, p. 107–145, 2001. DOI: 10.1023/A:1012801612483. Acesso em: 10 set. 2020.

HALKIDI, M.; BATISTAKIS, Y.; VAZIRGIANNIS, M. Cluster validity methods: Part I. **SIGMOD Record**, v. 31, n. 2, p. 40–45, 2002a. DOI: 10.1145/565117.565124. Acesso em: 10 set. 2020.

HALKIDI, M.; BATISTAKIS, Y.; VAZIRGIANNIS, M. Clustering validity checking methods: Part II. **SIGMOD Record**, v. 31, n. 3, p. 19–27, 2002b. DOI: 10.1145/601858.601862. Acesso em: 10 set. 2020.

HAMMOND, A. et al. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development**. World Resources Institute. 1995. DOI: 10.1016/0140-6701(95)98081-2. Acesso em: 28 ago. 2020.

HARMAN, H. H. **Modern factor analysis. 3rd rev. ed.** Oxford, England: U Chicago Press, 1976. Disponível em: https://books.google.co.uk/books?id=e-vMN68C3M4C&printsec=frontcover&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false. Acesso em: 23 mar. 2020.

HELMER, J. F. et al. Caracterização dos sistemas de produção de ovinos e caprinos na microrregião de Castanhal, Pará. **Medicina Veterinária (Brazil)**, v. 14, n. 3, p. 202–209, 2020. OI: 10.26605/medvet-v14n3-3862. Acesso em: 31 jan. 2021.

HERMANS, E.; VAN DEN BOSSCHE, F.; WETS, G. Combining road safety information in a performance index. **Accident Analysis and Prevention**, v. 40, n. 4, p. 1337–1344, 2008. DOI: 10.1016/j.aap.2008.02.004. Acesso em: 06 set. 2020.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. **Estudos Avancados**, v. 22, n. 63, p. 131–158, 2008. DOI: 10.1590/s0103-40142008000200009. Acesso em: 17 nov. 2020.

HIPEL, K. W.; MCLEOND, A. I. Time series modelling of water resources and environmental systems. **Elsevier**. v. 45. 1054 p. 1994. Disponível em: <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/15>. Acesso em: 7 abr. 2021.

HOFFMANN, R. B. Balanço hídrico climatológico e classificação climática de Thornthwaite para o município de Pelotas/RS. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**. p. 168–178, 2018. Disponível em: <https://www.brazilianjournals.com/index.php/BJAER/article/view/763#:~:text=Existe%20excesso%20h%C3%ADdrico%20pronunciado%20no,s%20B'3%20a>!. Acesso em: 09 mar. 2020.

HOLLING, C. S. Adaptive environmental assessment and management: an overview. **International Institute for Applied Systems Analysis**, p. 185–189, 1978. Disponível em: <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/823/1/XB-78-103.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Indicadores de Desenvolvimento Sustentável**. p. 352. Rio de Janeiro. **IBGE**. 2015. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Rebanho bovino reduz em 2018 , em ano de crescimento do abate e exportação**. IBGE, p. 1–5, 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/25483-rebanho-bovino-reduz-em-2018-em-ano-de-crescimento-do-abate-e-exportacao#:~:text=da%20Pecu%C3%A1ria%20Municipal-,Rebanho%20bovino%20reduz%20em%202018%2C%20em%20ano,crescimento%20do%20abate%20e%20exporta%C3%A7%C3%A3o&text=Todos%20os%20efetivos%20animais%20brasileiros,atingir%20patamar%20recorde%20em%202016..> Acesso em: 20 ago. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estimativas de População. 2018. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pa>. Acesso em: 20 dez. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. 2019. Disponível em: www.sidra.ibge.gov.br. Acesso em: 18 set. 2020.

IBM, INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION. **IBM SPSS Missing Values 24**. 2p. 34. 2016. Disponível em: <https://docplayer.com.br/20424406-Ibm-spss-missing-values-24-ibm.html>. Acesso em: 26 jan. 2021.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Relatórios. IPCC. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/>. Acesso em: 20 ago. 2020.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2014 Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2015. DOI: 10.1016/S0022-0248(00)00575-3. Acesso em: 13 ago. 2020.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Sustentabilidade Ambiental no Brasil: sustentabilidade, economia e bem-estar humano**. IPEA. p. 640. 2010. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/livros/livros/livro07_sustentabilidadeambienta.pdf. Acesso em: 28 set. 2020.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISA APLICADA. PRODES. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>. Acesso em: 03 mar. 2020.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Escassez hídrica e direitos humanos. **Ambiente e Sociedade**, v. 19, 2016a. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoceditorialv19i2016>. Acesso em: 20 ago. 2020.

JACOBI, P. R.; EMPINOTTI, V. L.; SCHMIDT, L. Water Scarcity and Human Rights. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, 2016b. DOI: 10.1590/1809-4422asoceditorialv19i2016. Acesso em: 23 ago. 2020.

JANUZZI, P. DE M. **Indicadores Sociais no Brasil: conceitos, fontes de dados, e aplicações para formulação e avaliação de políticas públicas e elaboração de estudos socioeconômicos.**, 2001. Disponível em: <https://favaretoufabr.files.wordpress.com/2014/06/januzzi-principais-indicadores-sociaiscompleto.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2020.

JARDIM, F. C. S.; RIBEIRO, G. D. ROSA, L. S. et al. Avaliação preliminar de sistema agroflorestal no preliminary evaluation of agroforestry system at the “Água Verde” Project, Albrás, Barcarena, Pará - I. **Revista Ciências Agrárias**, p. 25–45, 2004. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/908261/1/george2.pdf>. Acesso em: 04 NOV. 2020.

JENSEN, O.; WU, H. Urban water security indicators: Development and pilot. **Environmental Science and Policy**, v. 83, n. February, p. 33–45, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.02.003. Acesso em: 29 ago. 2020.

JESUS, A. C. DE; MARGRAF, A. F.; RAZABONI JUNIOR, R. B. Sustentabilidade ambiental e a escassez da água potável. **Revista do Conselho Nacional do Ministério Público**, n. 7, p. 82–94, 2019. DOI: 10.36662/revistadocnmp.i7.103. Acesso em: 09 ago. 2020.

JESUS, J. B. DE. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática

pelo método de Thornthwaite e Mather para o município de Aracaju-SE. **Scientia Plena**, 2015, v. 11, p. 1–6, 2015. DOI: 10.1017/CBO9781107415324.004. Acesso em: 31 mai. 2020.

JOHNSON, R. A.; WICHERN, D. W. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6^a ed. Pearson. p. 773. 2008. New Jersey. Disponível em: <http://docshare04.docshare.tips/files/12598/125983744.pdf>. Acesso em: 22 out. 2020.

JOLLIFFE, I. T.; CADIMA, J.; CADIMA, J. Principal component analysis : a review and recent developments Subject Areas. **Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences**, v. 374, :20150202. p. 1–16, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1098/rsta.2015.0202>. Acesso em: 06 nov. 2020.

JURY, W. A; VAUX JR; H. J. The Emerging Global Water Crisis: Managing Scarcity and Conflict Between Water Users. **Advances in Agronomy**.V. 95, 2007, p 1-76, 2007. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(07\)95001-4](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(07)95001-4)>. Acesso em: 25 jun. 2018

JUSTI JUNIOR, J.; ANDREOLI, C. V. Climate Data Use and Hydrological As Subsidy the Determination of Drainage Channels Flow Regime. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, n. 1, p. 177–189, 2015. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/422/452>. Acesso em: 08 set. 2020.

KEMERICH, P. D. DA C.; RITTER, L. G.; BORBA, W. F. Indicadores de sustentabilidade ambiental. **Revista do Centro do Ciências Naturais e Exatas**, v. 5, p. 79–99, 2001. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5902/2236130814411> Revista. Acesso em: 31 ago. 2020.

KEMMLER, A.; SPRENG, D. Energy indicators for tracking sustainability in developing countries. **Energy Policy**, v. 35, n. 4, p. 2466–2480, 2007. DOI: 10.1016/j.enpol.2006.09.006. Acesso em: 22 abr. 2020.

KHOSLA, N. **Dimensionality Reduction Using Factor Analysis**. Type Thesis (Masters). School of Engineering. 2006. DOI: <https://doi.org/10.25904/1912/3890>. Acesso em: 06 set. 2020.

KIM, Y. et al. Assessment of regional threats to human water security adopting the global framework: A case study in South Korea. **Science of the Total Environment**, v. 637–638, p. 1413–1422, 2018. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.04.420. Acesso em: 11 set. 2020.

KOUNDOURI, P.; NAUGES, C.; TZOUVELEKAS, V. Technology adoption under production uncertainty: theory and application to irrigation technology. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 88, n. 3, p. 657–670, 2006. DOI: 10.1111/j.1467-8276.2006.00886.x. Acesso em: 18 ago. 2020.

KRAJNC, D; GLAVIČ, P. A model for integrated assessment of sustainable development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 43, n. 2, p. 189–208, 2005. DOI: 10.1016/j.resconrec.2004.06.002. Acesso em: 05 ago. 2019.

KRONEMBERGER, D. M. P. et al. Desenvolvimento sustentável no Brasil: uma análise a partir da aplicação do barômetro da sustentabilidade. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 1, p. 25–50, 2009. DOI: 10.1590/s1982-45132008000100002. Acesso em: 04 ago. 2019

KUBOTA, N. A. et al. Hidrogeomorfologia Da Bacia Hidrográfica Do Rio Guamá - Amazônia Oriental - Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n. 4, 2020. DOI: 10.20502/rbg.v21i4.1920. Acesso em: 13 nov. 2020.

KUMAR, M.; RAMANATHAN, A.; KESHARI, A. K. Understanding the extent of interactions between groundwater and surface water through major ion chemistry and multivariate statistical techniques. **HYDROLOGICAL PROCESSES**, v. 23, n. outubro 2008, p. 297–310, 2009. Disponível em: <http://jamsb.austms.org.au/courses/CSC2408/semester3/resources/ldp/abs-guide.pdf>. Acesso em: 07 set. 2020.

KUMAR, N. et al. Impact of climate change on water resources of upper Kharun catchment in Chhattisgarh, India. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 13, n. November 2017, p. 189–207, 2017. DOI: 10.1016/j.ejrh.2017.07.008. Acesso em: 12 ago. 2020.

KUNDZEWICZ, Z. W. et al. Uncertainty in climate change impacts on water resources. **Environmental Science and Policy**, v. 79, p. 1–8, 2018. DOI: 10.1016/j.envsci.2017.10.008. Acesso em: 27 ago 2020.

L'VOVICH, M. I. **World Water Resources and their Future**. V. 13 1979. DOI: 10.1029 / SP013. Acesso em: 23 mar. 2021.

LACERDA, C. D. S.; CÂNDIDO, G. A. Modelos de indicadores de sustentabilidade para gestão de recursos hídricos. **SciELO Books**, p. 13–30, 2013. DOI: <http://books.scielo.org>. Acesso em: 09 ago. 2020.

LACERDA, C. S. et al. A importância da construção, aplicação e ponderação dos sistemas de indicadores de sustentabilidade de forma participativa. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 6, n. 13, p. 507–513, 2019. DOI: 10.21438/rbgas.061318. Acesso em: 18 out. 2020.

LAMEIRA, W. J. D. M.; VIEIRA, I. C. G.; TOLEDO, P. M. DE. Panorama da Sustentabilidade na Fronteira Agrícola de Bioenergia na Amazônia. **Sustentabilidade em Debate**, v. 6, n. 2, p. 193, 2015. DOI: 10.18472/sustdeb.v6n2.2015.12696. Acesso em: 07 out. 2020.

LANDIM, P. M. B. **Análise estatística de dados geológicos**. 2ª Ed. p. 256. Editora: Unesp. 2004. Acesso em: 04 ago. 2019.

LANNA, L. Papel dos governos na questão hídrica: A escassez das águas relaciona-se às políticas públicas e aos instrumentos de gestão desses recursos. **União, TCU Sustentável/Adgedam**, Ano 32. n. 207, 2017. Disponível em: www.migalhas.com.br. Acesso em: 26 ago. 2020.

LATTIN, J. M.; CARROLL, J. D.; GREEN, P. E. **Análise de Dados Multivariados**. p.

101. Cengage Learning, São Paulo. 2011. Disponível em: http://br-i.gardernobnaya.su/an_lise_de_dados_multivariados_197902-pdf-download.html. Acesso em: 10 out. 2020.

LÁU, H. D. Pecuária no Estado do Pará: Índices, Limitações e Potencialidades - Documentos 269. **Embrapa Oriental**, p. 38, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/903056/1/Doc.269.pdf>. Acesso em: 22 set. 2020.

LEE, C. T. et al. Residential patterns in older homeless adults: Results of a cluster analysis. **Social Science and Medicine**, v. 153, p. 131–140, 2016. DOI: 10.1016/j.socscimed.2016.02.004. Acesso em: 14 nov. 2020.

LEE, Y.-J.; HUANG, C.-M. Sustainability index for Taipei. **Environmental Impact Assessment Review**, v. 27, n. 6, p. 505–521, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2006.12.005>. Acesso em: 22 abr. 2020.

LEOPOLDO, P. R. et al. Estimativa de evapotranspiração de floresta amazônica de terra firme. **Acta Amazonica**, v. 12, n. suppl 3, p. 23–28, 1982. DOI: 10.1590/1809-43921982123s023. Acesso em: 12 abr. 2021.

LI, L.; BERGEN, J. M. Green infrastructure for sustainable urban water management: Practices of five forerunner cities. **Cities**, v. 74, n. October 2018, p. 126–133, 2018. DOI: 10.1016/j.cities.2017.11.013. Acesso em: 11 set. 2020.

LI, Y.; SHI, X.; YAO, L. Evaluating energy security of resource-poor economies: A modified principle component analysis approach. **Energy Economics**, v. 58, p. 211–221, 2016. DOI: 10.1016/j.eneco.2016.07.001. Acesso em: 06 set. 2020.

LIMA, E. P. DA C. **Água e indústria. Experiências e Desafios**. 119 p. 1ª ed. Infinita Imagem, 2018. DOI: 10.16309/j.cnki.issn.1007-1776.2003.03.004. Acesso em: 13 ago. 2020.

LIMA, A. M. M. DE et al. A gestão da oferta hídrica no estado do Pará e seus aspectos condicionantes. **Diretoria da ABRH**, p. 69, 2010. DOI: 10.21168/rbrh.v15n3.p69-83. Acesso em: 18 jul. 2020.

LIMA, F. B.; SANTOS, G. O. **Balanço hídrico-espacial da cultura para o uso e ocupação atual da bacia hidrográfica do Ribeirão Santa Rita, Noroeste do Estado de São Paulo**. 2009. Monografia. Fundação Educacional de Fernandópolis, Fernandópolis-SP, 2009. Acesso em: 27 nov. 2020.

LIMA, S. R. M. et al. Análise do fator de erosividade da chuva para uma pequena bacia hidrográfica da Amazônia. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 6, n. 2, p. 184–191, 2014. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/278620106_Analise_do_fator_de_erosividade_da_chuva_para_uma_pequena_bacia_hidrografica_da_amazonia. Acesso em: 20 ago. 2020.

LIRA, B. R. P. et al. Morphometric, hydrological and pluviometric analysis of the Piriá-

PA river basin. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 10, p. 45–54, 2020. Disponível em: www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrs. Acesso em: 01 nov. 2020.

LOBATO, W. T. DOS S. et al. Balanço hídrico e classificação climática segundo thornthwaite para o município de tracuateua-PA. In: III CONGRESSO INTERNACIONAL AS CIÊNCIAS AGRÁRIAS - COINTER - PDVAGRO 2018. **Anais**. DOI: DOI:10.31692/2526-7701.iiicointerpdvagro.2018.00060. Acesso em: 31 out. 2020.

LONGHI, E. H.; FORMIGA, K. T. M. Metodologias para determinar vazão ecológica em rios. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 20, p. 33–48, 2011. DOI: 2176-9478. Acesso em: 11 set. 2020.

LOPES, F. B. et al. Proposta de um índice de sustentabilidade do Perímetro Irrigado Baixo Acaraú, Ceará, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 40, n. 2, p. 185–193, 2009. Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=195318233004>. Acesso em: 06 set. 2020.

LOPES, I. et al. Pluviometria, balanço hídrico e produtividade agrícola para regiões da Bahia e Tocantins. **Revista Engenharia na Agricultura - Reveng**, v. 27, n. 3, p. 257–271, 2019. DOI: 10.13083/reveng.v27i3.866. Acesso em: 08 set. 2020.

LOPES, L. DE N. A. et al. Análise da variabilidade da precipitação frente às mudanças no uso da terra no município de Tucuruí-PA. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 3, p. e186932726, 2020. DOI: 10.33448/rsd-v9i3.2726. Acesso em: 06 dez. 2020.

LOPES, M. N. G.; SOUZA, E. B. DE; FERREIRA, D. B. DA S. Climatologia Regional Da Precipitação No Estado Do Pará. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 12, n. 1, p. 84–102, 2013. DOI: 10.5380/abclima.v12i1.31402. Acesso em: 01 jul. 2020.

LOPES SOBRINHO, O. P. et al. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 16. v. 27, p. 19–33, 2020. DOI: 10.5380/abclima.v27i0.68692. Acesso em: 08 set. 2020.

LOUREIRO, R. S. DE et al. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. Li, p. 83–94, 2014. DOI: 10.1590/0102-778620130054. Acesso em: 30 out. 2020.

LUCK, M.; LANDIS, M.; GASSERT, F. Aqueduct Water Stress Projections: Decadal projections of water supply and demand using CMIP5 GCMs. **World Resources Institute Technical Note**, n. April, p. 1–20, 2015. Disponível em: wri.org/publication/aqueduct-water-stress-projections. Acesso em: 22 ago. 2020.

LUZ, J. E. et al. A variabilidade climática da precipitação em bacias urbanas da cidade de Belém-PA. In: Belém 400 Anos: análises geográficas e impactos antropológicos na cidade. Belém: 2016. p. 314. **GAPTA/UFGA**. Disponível em: <https://livroaberto.ufpa.br/jspui/handle/prefix/821>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MA, X.; MA, Y. The spatiotemporal variation analysis of virtual water for agriculture

and livestock husbandry: A study for Jilin Province in China. **Science of the Total Environment journal**, v. 586, p. 1150–1161, 2017. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2017.02.106. Acesso em: 11 set. 2020.

MACEDO, L. O. et al. Avaliação da sustentabilidade dos municípios do estado de mato grosso mediante o emprego do IDSM – Índice de Desenvolvimento Sustentável para municípios. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**. v. 12, n. 3, p. 323–345, 2016. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/2530>. Acesso em: 12 abr. 2020.

MACHADO, C. J. S. Recursos hídricos e cidadania no brasil limites alternativas e desafios. **Ambiente & Sociedade**, v. 4, n. 2, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2003000300008>. Acesso em: 11 set. 2020.

MACHARIS, C. et al. PROMETHEE and AHP: The design of operational synergies in multicriteria analysis - Strengthening PROMETHEE with ideas of AHP. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 2, p. 307–317, 2004. DOI: 10.1016/S0377-2217(03)00153-X. Acesso em: 07 set. 2020.

MAGALHÃES, K. A. et al. **Caprinos e ovinos no Brasil : análise da Produção da Pecuária Municipal 2019**. Sobral, Ceará: Embrapa. Boletim nº 11. Dezembro. 2020. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/219493/1/CNPC-2020-BCIM-n11.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2021.

MALHEIROS, T. F.; PHILIPPI JR., A.; COUTINHO, S. M. V. Agenda 21 nacional e indicadores de desenvolvimento sustentável: contexto brasileiro. **Saúde e Sociedade**, v. 17, n. 1, p. 7–20, 2008. DOI: 10.1590/s0104-12902008000100002. Acesso em: 27 ago. 2020.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO; SAA, SECRETARIA DE AGRICULTURA E ABASTECIMENTO. Plano Estadual de Mitigação e de Adaptação às Mudanças Climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura. p. 56, 2016. MAPA. Disponível em: <https://www.agricultura.sp.gov.br/media/13376-plano-abc-publicacao.pdf>. Acesso: 27 ago. 2020.

MARANHÃO, N. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, 2007. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/doutorado/2007-2/870-ney-maranhao-doutorado/file>. Acesso em: 02 set. 2020.

MARENGO, J. A. et al. The drought of 2010 in the context of historical droughts in the Amazon region. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 12, p. 1–5, 2011. DOI: 10.1029/2011GL047436. Acesso em: 01 jul. 2020.

MARENGO, J. A. et al. A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. **Revista USP**. n. 106. p. 31-44. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101>. Acesso em: 25 ago. 2020.

MARENGO, J. A.; SOUZA JR, C. Mudanças Climáticas : impactos e cenários para a Amazônia. **Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia (INCT) para Mudanças Climáticas Fase 2**, p. 1–33, 2018. Disponível em: https://www.conectas.org/wp/wp-content/uploads/2018/12/Relatorio_Mudancas_Climaticas-Amazonia.pdf. Acesso em: 07 jul. 2020.

MARINHO, E. R. et al. As atividades Antrópicas na modulação da qualidade de água do rio Guamá, em São Miguel do Guamá, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, n. 1, p. 182–195, 2020. Disponível em: repositorio.ufra.edu.br/jspui/handle/123456789/1025. Acesso em: 12 fev. 2021.

MARQUES, F. MA. F. **Estimativa da temperatura superficial e do saldo de radiação por meio do método sebal no entorno da Fábrica de Alumina da Região de Barcarena utilizando imagens do satélite LANDSAT**. Dissertação (Mestrado em Energia e Ambiente) - Universidade Federal do Maranhão, Maranhão, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.007>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MARTINS, D. DE M. F. et al. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1054–1061, 2011. DOI: 10.1590/s1415-43662011001000010. Acesso em: 08 set. 2020.

MARTINS, H. V. Avaliação da gestão dos recursos hídricos do Estado do Pará: uma proposta metodológica à outorga de diluição de lançamento de efluentes – Estudo de caso da bacia hidrográfica do rio Paracuri em Belém do Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 13, n. 5, p. 2433-2446. 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.5.p2433-2446>. Acesso em: 7 abr. 2020.

MARTINS, K.; OLIVEIRA, K. R. DE. Águas no Distrito Federal: uma morte anunciada. **Revista de Direito e Sustentabilidade**, v. 5, n. 2525–9687, p. 78–94, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.26668/IndexLawJournals/2525-9687/2019.v5i2.5869>. Acesso: 29 ago. 2020.

MARTINS, M. DE F.; CANDIDO, G. A. Índices de desenvolvimento sustentável para localidades: uma proposta metodológica de construção e análise. **Revista de Gestão Social e Ambiental**, v. 6, n. 1, p. 3–19, 2012. DOI: 10.5773/rgsa.v6i1.229. Acesso em: 24 jul. 2019.

MARTINS, M. DE F.; CANDIDO, G. A. Índice de Desenvolvimento Sustentável para Municípios (IDSM): metodologia para análise e cálculo do IDSM e classificação dos níveis de sustentabilidade—uma aplicação no Estado da Paraíba. João Pessoa: Sebrae , 2008. Acesso em: 24 jul. 2019.

MATOS, A. C. S. Processo produtivo da bauxita e da alumina: impactos socioambientais, formas de mitigação e o caso de Barcarena, Pará, Brasil. **Brazilian Journal of Development**. v. 6, n. 5. p. 29644-29654. 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n5-425. Acesso em: 07 abr. 2021.

MATOS, F. **Análise das taxas anuais de desmatamento na amazônia legal a partir**

da relação entre autos de infração e área desmatada no período 2000-2014. p. 90. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unb.br/handle/10482/21045>. Acesso em: 05 out. 2020.

MATTA, M. A. DA S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananindeua-Pará, Brasil.** Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/8165>. Acesso em: 07 nov. 2011.

MATZENAUER, R. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de cultura. *In:* BERGAMASCHI, H. **Agrometeorologia aplicada à irrigação.** Porto Alegre: UFRGS, p. 33–47, 1992.

MAYNARD, I. F. N. et al. Applying a sustainability index to the Japarutuba river watershed in Sergipe state. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 2, p. 201–220, jun. 2017. DOI: 10.1590/1809-4422asoc0057r1v2022017. Acesso em: 12 abr. 2020.

MAYNARD, I. F. N.; CRUZ, M. A. S.; GOMES, L. J. Aplicação de um índice de sustentabilidade na bacia hidrográfica do rio Japarutuba em Sergipe. **Ambiente & Sociedade**, v. 20, n. 2, p. 207–226, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1809-4422asoc0057r1v2022017>. Acesso em: 22 abr. 2020.

MCNEILL, K. et al. Food and water security : Analysis of integrated modeling platforms. **Agricultural Water Management**, v. 194, p. 100–112, 2017. DOI: 10.1016/j.agwat.2017.09.001. Acesso em: 29 ago. 2020.

MCQUEEN, D.; NOACK, H. Health promotion indicators: Current status, issues and problems. **Health Promotion International**, v. 3, n. 1, p. 117–125, 1988. DOI: 10.1093/heapro/3.1.117. Acesso em: 28 ago. 2020.

MEDEIROS, P. DA C.; SOUSA, F. DE A. S. DE; RIBEIRO, M. M. R. Aspectos conceituais sobre o regime hidrológico para a definição do hidrograma ambiental. **Revista Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 6, n. 1, p. 131–147, 2011. DOI: 10.4136/ambi-agua.179. Acesso em: 26 out. 2020.

MEKONNEN, M. M.; HOEKSTRA, A. Y. Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. **Science Advances**, v. 2, n. 2, p. 1–7, 2016. DOI: 10.1126/sciadv.1500323. Acesso em: 23 mar. 2020.

MELLO, N. G. R. DE; ARTAXO, P. Evolução do Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento na Amazônia Legal. **Revista do Instituto de Estudos Brasileiros**, n. 66, p. 108–129, 2017. DOI: 10.11606/issn.2316-901x.v0i66p108-129. Acesso em: 20 mar. 2020.

MELO, C. O. DE; PARRÉ, J. L. Índice de desenvolvimento rural dos municípios paraenses: Determinantes e hierarquização. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, n. 2, p. 329–365, 2007. DOI: 10.1590/s0103-20032007000200005. Acesso em: 21 out. 2020.

MELO, M. C. DE; JOHNSON, R. M. F. O Conceito emergente de segurança hídrica. **Sustentare, Três Corações**, v. 1, n. 1, p.72-92, ago./dez. 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5892/st.v1i1.4325>. Acesso em: 09 ago. 2020.

MELO, W. DE O. et al. Mercado consumidor de carne caprina e ovina do município de Capanema, Estado do Pará. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 31845–31862, 2020. DOI: [10.34117/bjdv6n5-583](https://doi.org/10.34117/bjdv6n5-583). Acesso em: 31 jan. 2021.

MENDONÇA, P. DE V. E. Sobre o novo método de balanço hidrológico do solo de T hornthwaite -Mather. **In: Anais do Instituto Superior De Agronomia**, p. 271–281, 1958. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/16969/1/ANAIS-V.XXII.p.271.PDF>. Acesso em: 12 abr. 2021.

MIKULIC, J.; KOŽIC, I.; KREŠIĆ, D. Weighting indicators of tourism sustainability: A critical note. **Ecological Indicators**, v. 48, n. 1, p. 312–314, 2015. DOI: [10.1016/j.ecolind.2014.08.026](https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.026). Acesso em: 20 abr. 2020.

MINGOTI, S. **Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada**. UFMG. p. 292. Belo Horizonte: 2005. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/30574399/analise-de-dados-atraves-de-metodos-de-estatistica-multivariada-sueli-aparecida->. Acesso em: 15 jan. 2021.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Disponível em: <https://www.gov.br/inep/pt-br/areas-de-atuacao/pesquisas-estatisticas-e-indicadores/ideb#:~:text=O%20%20C3%8Dndice%20de%20Desenvolvimento%20da,m%20C3%A9dias%20de%20desempenho%20nas%20avalia%20C3%A7%C3%B5es>

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS) - MS/SVS/CGIAE - Sistema de Informações sobre Mortalidade – SIM.

MINISTÉRIO DA SAÚDE (MS) - MS/SVS/DASIS - Sistema de Informações sobre Nascidos Vivos – SINASC.

MINISTÉRIO DA SAÚDE/SVS - Sistema de Informação de Agravos de Notificação – SINAN.

MIRANDA, ROGERIO REGO; SILVA, M. A. P. DA. Das Agroestratégias aos eixos territoriais do agronegócio no estado do Pará. **Boletim DATALUTA**, v. 99, 2016. Disponível em: http://www2.fct.unesp.br/nera/artigodomes/3artigodomes_2016.pdf. Acesso em: 22 set. 2020.

MIRANDA, C. et al. Uso e qualidade da água na microbacia hidrográfica do rio Parafuso (Moju, Pará, Brasil). **Revista Recursos Hídricos**, v. 38, n. 2, p. 51–62, 2017. DOI: [10.5894/rh38n2-cti2](https://doi.org/10.5894/rh38n2-cti2). Acesso em: 12 nov. 2020.

MMA, M. DO M. A. et al. **GEO Brasil: recursos hídricos: resumo executivo**. Ministério do Meio Ambiente; Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. Brasília: MMA; ANA, 2007. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/wfa/sa/GEO%20Brasil%20Recursos%20H%C3%ADricos%20-%20Resumo%20Executivo.pdf>. Acesso: 10 jan. 2021.

MONTEIRO, M. DE A.; COELHO, M. C. N.; BARBOSA, E. J. DA S. **Atlas socioambiental municípios de Tomé-Açu, Aurora do Pará, Ipixuna do Pará, Paragominas e Ulianópolis**. p. 464. Belém: NAEA, 2008. Disponível em: https://www.academia.edu/45524476/Atlas_socioambiental_munic%C3%ADpios_de_Tom%C3%A9_A%C3%A7u_C3%BA_Aurora_do_Par%C3%A1_Ipixuna_do_Par%C3%A1_Paragominas_e_Ulian%C3%B3polis. Acesso em: 01 nov. 2020.

MORAES, D.; FILHO, M. Contribuição das chuvas do período da tarde em belém e possíveis relações com a normal climatológica. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 17–32, 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/revistaabclima/article/view/58364/35876>. Acesso em: 04 nov. 2020.

MORAES, B. C. DE et al. Variação espacial e temporal da precipitação no Estado do Pará. **Acta Amazônica**, v. 35, n. 2, p. 207–214, 2005. DOI: 10.1590/s0044-59672005000200010. Acesso em: 31 mai. 2020.

MORAES, M. R. B. et al. Comparação entre metodologias para estimativa de $Q_{7,10}$ em quatro estações fluviométricas de Minas Gerais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 2, p. 213, 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e22019213-229. Acesso: 08 set. 2020.

MORAIS, J. L. M.; FADUL, É.; CERQUEIRA, L. S. Limites e desafios na gestão de recursos hídricos por comitês de bacias hidrográficas: um estudo nos estados do nordeste do Brasil. **Revista Eletrônica de Administração - REAd**, v. 24, n. 4, p. 238–264, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1413-2311.187.67528>. Acesso em: 05 ago. 2020.

MOREIRA, P. S. P. et al. Análise de agrupamento aplicado ao ciclo diário das variáveis meteorológicas nos biomas do estado de Mato Grosso. **Acta Iguazu**, v. 5, n. 1, p. 80–94, 2016. DOI: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v5i1.14466>. Acesso em: 10 set. 2020.

MORESI, E. A. D. Memória organizacional e gestão do conhecimento. In: Inteligência, informação e conhecimento em corporações. **IBICT, UNESCO**, v. 36, p. 46, 2006. DOI: 10.1590/s0100-19652007000100016. Acesso em: 02 set. 2020.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. DOS. Impactos socioambientais da dendeicultura em comunidades tradicionais na Amazônia paraense. **Revista ACTA Geográfica**, v. Especial, p. 63–80, 2013. DOI: 10.5654/actageo2013.0003.0004. Acesso em: 12 fev. 2021.

NARDO, M. et al. Tools for Composite Indicators Building. **Joint Research Center**. p. 1–134, 2005. Disponível em: http://collection.europarchive.org/dnb/20070702132253/http://farmweb.jrc.ec.europa.eu/ci/Document/EUR_21682_EN.pdf. Acesso em: 22 abr. 2020.

NARLOCH, U.; DRUCKER, A. G.; PASCUAL, U. Payments for agrobiodiversity conservation services for sustained on-farm utilization of plant and animal genetic resources. **Ecological Economics**, v. 70, n. 11, p. 1837–1845, 2011. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2011.05.018. Acesso em: 22 nov. 2020.

NASCIMENTO, M. C.; SOARES, V. P.; RIBEIRO, C. A. A. S.; SILVA, E. Uso do geoprocessamento na identificação de conflito de uso da terra Em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Alegre, Espírito Santo. **Rev. Ciência Florestal**, v. 15, n. 2, p. 207-220, 2005. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/cienciaflorestal/article/view/1838/1227>>. Acesso em: 08 jun. 2018.

NASCIMENTO, T. V. DO; FERNANDES, L. L.; YOSHINO, G. H. Potencial de aproveitamento de água de chuva na Universidade Federal do Pará – Belém/PA. **Revista Monografias Ambientais - REMOA**, v. 15, n. 1, p. 105–116, 2016. DOI: 10.5902/22361308. Acesso em: 04 nov. 2020.

NEVES, P. A. P. F. G. DAS et al. Correlation among livestock and desforastation in municipalities of southeast region of Pará state, Brazil. **Ambiência**, v. 10, n. 3, p. 795–806, 2014. DOI: 10.5935/ambiencia.2014.03.11. Acesso em: 19 set. 2020.

NEVES, G. L. et al. Disponibilidade hídrica do solo, em ponta grossa-pr, sob diferentes cenários de mudanças climáticas globais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 23, p. 116–133, 2018. DOI: DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v23i0.56722>. Acesso em: 08 set. 2020.

NIRAZAWA, A. N.; OLIVEIRA, S. V. W. B. DE. Indicadores de saneamento: uma análise de variáveis para elaboração de indicadores municipais. **Revista de Administração Pública**, v. 52, n. 4, p. 753–763, 2018. DOI: 10.1590/0034-7612168118. Acesso em: 22 abr. 2020.

NORUŠIS, M. J. **SPSS base system user's guide**. Chicago: SPSS, 520 p. 1990.

NOSCHANG, P. G.; SCHELEDER, A. F. P. Direito humano à água e o consumo global – (in)sustentabilidade hídrica. In: **Balcão do Consumidor: coletânea educação para o consumo: sustentabilidade**. 331 p. Ed. UFP. 2018a. Disponível em: http://editora.upf.br/images/ebook/balcao_sustentabilidade.pdf. Acesso em: 23 ago. 2020.

NOSCHANG, P. G.; SCHELEDER, A. F. P. A (in)sustentabilidade hídrica global e o direito humano à água. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 39, n. 79, p. 119–138, 2018b. DOI: 10.5007/2177-7055.2018v39n79p119. Acesso em: 23 ago. 2020.

NUNES, M. F. DE O.; GULLO, M. C. R.; PEDONE, C. E. M. Indicadores de sustentabilidade urbana: Aplicação em bairros de Caxias do Sul. **Arquiteturarevista**, v. 12, n. 1, p. 87–100, 2016. DOI: 10.4013/arq.2016.121.08. Acesso em: 28 ago. 2020.

NURHAYATI, A.; GAUTAMA, A.; NASEER, M. Decision making model design for antivirus software selection using Factor Analysis and Analytical Hierarchy Process. **MATEC Web of Conferences**, v. 154, p. 1–6, 2018. DOI: 10.1051/mateconf/201815403006. Acesso em: 07 set. 2020.

OECD, O. FOR E. C.-O. AND D. **Handbook Composite Indicators Methodology and User Guide**. JRC. v. 63. p. 160. 2008. DOI: 10.1111/jgs.13392. Acesso em: 27 ago. 2020.

OECD, O. FOR E. C.-O. AND D. OECD environmental outlook to 2050: the consequences of inaction. **International Journal of Sustainability in Higher Education**, v. 13, n. 3, 2012. DOI: 10.1108/ijshe.2012.24913caa.010. Acesso em: 13 ago. 2020.

OHISSON, L. Water conflicts and social resource scarcity. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, v. 25, n. 3, p. 213–220, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1464-1909\(00\)00006-X](https://doi.org/10.1016/S1464-1909(00)00006-X). Acesso em: 02 set. 2020.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313, n. 5790, p. 1068–1072, 2006. DOI: 10.1126/science.1128845. Acesso em: 27 ago. 2020.

OLIVEIRA, E. C. DE. Gestão dos recursos hídricos sob a perspectiva da descentralização. **Revista Científica ANAP Brasil**, v. 1, n. 1, p. 16–33, 2008. DOI: 10.17271/198432401120082. Acesso em: 20 ago. 2020.

OLIVEIRA, J. Â. M. DE. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Januária – MG. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 15, n. 1, p. 86, 2019. DOI: 10.30969/acsa.v15i1.1084. Acesso em: 14 set. 2020.

OLIVEIRA, K. P. DE et al. Vazões mínimas de referência Q95, Q90 E Q7,10 para a bacia do rio Jequitinhonha, Minas Gerais. n. August, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/327110391>. Acesso em: 26 jul. 2020.

OLIVEIRA, L. D. S. DE; JOSÉ, A.; PEDROSO, S. Parâmetros físicos e químicos das águas superficiais de três corpos hídricos situados na cidade de Castanhal-PA. *In*: III CONGRESSO INTERNACIONAL AS CIÊNCIAS AGRÁRIAS - COINTER - PDVAGRO 2018. **Anais**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.31692/2526-7701.IIICOINTERPDVAGRO.2018.00180>. Acesso em: 112 fev. 2021.

OLIVEIRA, M. DO C. F. DE et al. Climatologia urbana da cidade de Belém-Pará, através das precipitações e temperaturas do ar, das normais climatológicas de 1941 a 1970, 1971 a 2000 e da normal provisória de 2001 a 2015. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 09, n. 3, p. 803–819, 2016. Disponível em: DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.3.p803-819>. Acesso em: 04 nov. 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, R. C. DE et al. **Zoneamento agroecológico do município de Tracuateua, Estado do Pará**. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 45p. Documentos, 15. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/378660/1/OrientalDoc15.pdf>. Acesso em: 03 dez. 2020.

OLIVEIRA, O. C.; MORAES, S. C. Desafios para a sustentabilidade na gestão dos serviços de abastecimento de água na Amazônia: Aspectos socioambientais e econômicos do sistema de abastecimento de água na cidade de Macapá-AP. **Espacios**, v. 38, n. 22, p. 27. 2017. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a17v38n22/a17v38n21p27.pdf>. Acesso em: 19 ago. 2020.

OLIVEIRA, R. S. **Dinâmica recente do desenvolvimento no município de Paragominas: análise dos indicadores de sustentabilidade referentes ao período de 2000 a 2010**. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade da Amazônia. 2012. Disponível em:

http://www6.unama.br/ppad/download/dissertacoes/dissert_2012/Dissert_Mestrado_Ro_sinele_Oliveira.pdf. Acesso em: 05 mai. 2020.

ONU. Demanda por água disparará 55% entre a população mundial em 2050, alerta FAO ONU Brasil. p. 1–2, 2015. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/demanda-por-agua-disparara-55-entre-a-populacao-mundial-em-2050-alerta-fao/>. Acesso em: 28 ago. 2020.

OTT, W. R. **Environmental indices: theory and practice**. United States: Ann Arbor Science Publishers, Inc., Ann Arbor, MI, 1978. Disponível em: <https://www.osti.gov/biblio/6681348>. Acesso em: 01 set. 2020.

PACHÊCO, N. A. et al. **Boletim Agrometeorológico de 2009 para Belém, PA**. p. 39. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, 2011. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/44214/1/Doc-371.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2020.

PACHECO, N. A.; BASTOS, T. X. **Caracterização Climática do Município de Capitão Poço-PA**. p. 17. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001. Documentos, 79. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63483/1/Oriental-Doc79.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2020.

PACHÊCO, N. A.; BASTOS, T. X.; CREÃO, L. G. C. **Boletim Agrometeorológico de 2008 para Tomé-Açu, PA**. p. 36. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2009. Documentos, 361. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27787/1/Doc361.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

PACHECO, N. ARAUJO; BASTOS, T. X. **Boletim agrometeorológico 2006 - Igarapé-Açu Documentos/ Embrapa**. p. 30. 2007 Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, Documento 296.

PAGNOCCHECH, B. **Governabilidade e Governança das Águas no Brasil**. In.: Governança Ambiental no Brasil: Instituições, atores e políticas públicas, p. 352, 2016. Disponível em: <http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/9270/1/Governabilidade.pdf>. Acesso em: 12 ago. 2020.

PAIXÃO, A. N. et al. Desenvolvimento Rural dos Municípios do Estado do Pará: desigualdade e espacialidade. **Redes**, v. 25, n. 4, p. 1504–1527, 2020.

PAKHIRA, M. K.; BANDYOPADHYAY, S.; MAULIK, U. Validity index for crisp and fuzzy clusters. **Pattern recognition**, v. 37, n. 3, p. 487–501, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2003.06.005>. Acesso em: 16 nov. 2019.

PALHARES, J. C. P. Pegada hídrica dos suínos abatidos nos estados da região centro-sul

do Brasil. *Acta Scientiarum - Animal Sciences*, v. 33, n. 3, p. 309–314, 2011. DOI: 10.4025/actascianimsci.v33i3.9924. Acesso em: 20 ago. 2020.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Instrução Normativa Nº 31 de outubro de 2009**. p. 1–7, 2009. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2009/10/07/10954/>. Acesso em: 19 jul. 2020.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Resolução COEMA nº 120, de 28 de outubro 2015**. Dispõe sobre as atividades de impacto ambiental local, de competência dos Municípios, e dá outras providências. 2015. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2015/11/05/resolucao-coema-no-120-de-28-de-outubro-2015/>. Acesso em: 09 jul. 2020.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Decreto nº 288, de 3 de setembro de 2019**. Institui o Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Marapanim (CBHRM), e dá outras providências. p. 51–54, 2019. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/legislacao/normas/view/724>. Acesso em: 19 jul. 2020.

PARÁ. SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE. **Decreto nº 518, de 5 de setembro de 2012**. Institui o Fórum Paraense de Mudanças Climáticas. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2012/09/05/9722/>. Acesso em: 19 jul. 2020.

PARÁ. **Lei nº 6.381 de 25 de julho de 2001**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Estadual de Gerenciamento de Recursos Hídricos e dá outras providências. 2001. Disponível em: <https://www.semas.pa.gov.br/2001/07/25/9760/>. Acesso em: 10 mar. 2020.

PARÁ. **Resolução CERH nº 4, de 03/09/2008**. p. 2008a. Dispõe sobre a divisão do estado em regiões hidrográficas e dá outras providências. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/Resolucao_CERH_n_04.pdf. Acesso em: 06 mar. 2020.

PARÁ. **Zoneamento Ecológico-Econômico das Zonas Leste e Calha Norte do Estado do Pará**. Belém, PA: Núcleo de Gerenciamento do Programa Pará Rural. v. 1. p. 309. 2010. Disponível em: https://www.amazonia.cnpia.embrapa.br/publicacoes_estados/Para/Calha_Norte/ZEE_V1-Calha_Norte_-_Socioeconomia.pdf. Acesso em: 15 jul. 2020.

PARÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO. **Plano Plurianual 2020-2023**. v. I, p. 838. 2019. Belém: Diretoria de Planejamento. Disponível em: <https://www.gov.br/economia/pt-br/assuntos/planejamento-e-orcamento/plano-plurianual-ppa>. Acesso em: 22 set. 2020.

PARÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (SEMA) Plano de Manejo da Área de Proteção Ambiental de Algodoa-Maiandeuá. **Governo do Estado do Pará**, p. 348, 2012. Disponível em:

http://www.uc.socioambiental.org/anexos/2114_20160311_175754.pdf. Acesso em: 26 nov. 2020.

PARÁ, S. D. E. D. M. A. E. S. **Resolução CERH N° 003, de 03 de setembro de 2008**. Dispõe sobre a outorga de direito de uso de recursos hídricos e dá outras providências. 2008b. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2016/08/Resolucao_CERH_03_dispoe_sobre_outorga.pdf. Acesso em: 27 mar. 2021.

PARÁ, SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE (SEMA). **Resolução CERH N° 004, de 03 de setembro de 2008**. Dispõe sobre a divisão do estado em regiões hidrográficas e dá outras providências. Disponível em: https://www.semas.pa.gov.br/wp-content/uploads/2012/09/Resolucao_CERH_n_04.pdf. Acesso em: 27 mar. 2019.

PARAGOMINAS, PREFEITURA MUNICIPAL. **Plano Plurianual 2018 -2021 do município de Paragominas-PA. 2017**. Disponível em: www.paragominas.pa.gov.br. Acesso em: 24 set. 2020.

PASSOS, M. L. V.; SOUZA, J. B. C.; MENDES, T. J. Balanço hídrico e classificação climática para o município de Turiaçu-MA. **Agropecuária Científica No Semiárido**, v. 14, n. 2, p. 149, 2018. DOI: 10.30969/acsa.v14i2.983. Acesso em: 14 set. 2020.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. **Scientia Agraria**, v. 18, n. 1, p. 83–89, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/agraria/article/view/48584/31942>. Acesso em: 31 mai. 2020.

PAULA JUNIOR, D. R. DE; POMPERMAYER, R. S. Indicadores de sustentabilidade para análise comparativa de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 6, p. 27–33, 2007. Disponível em: http://rbciamb.com.br/index.php/Publicacoes_RBCIAMB/article/view/455. Acesso em: 31 ago. 2020.

PAULO, L.; FÁVERO, L.; ANGELO, C. F. DE. Análise multivariada para avaliação do comportamento de grupos supermercadistas brasileiros. **Revista Administração em Diálogo**, v. 7, n. 1, p. 53–75, 2008. DOI: 10.20946/rad.v7i1.670. Acesso em: 05 jan. 2020.

PAUNGARTTEN, S. P. L.; BORDALO, C. A. L.; LIMA, A. M. M. DE. Análise evolutiva da paisagem da bacia hidrográfica do rio Benfica (pa): processos, dinâmica e tendências. **Ambiente & Educação**, v. 21, n. 2, p. 87–107, 2016. Disponível em: <https://periodicos.furg.br/ambeduc/article/view/6524>. Acesso em: 07 nov. 2020.

PARREIRA, A. G. B.; MARASCA, I.; SOLINO, A. J. S.; SANTOS, G. O. Balanço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás. **Cientific@**. v. 6, n. 1, p. 26–33. DOI: 10.29247/2358-260x.2019v6i1.p26-33. Acesso em: 19 abr. 2021.

PEREIRA, A. O. K.; CALGARO, C.; PEREIRA, H. M. K. A sustentabilidade ambiental e a teoria dos sistemas na sociedade transnacional. **Revista NEJ - Eletrônica**, v. 17, n. 1, p. 70–83, 2012. DOI: www.univall.br/periodicos. Acesso em: 02 set. 2020.

PEREIRA, F. D. S.; GUIMARÃES VIEIRA, I. C.; TOLEDO, P. M. DE. Panorama da sustentabilidade em um contexto urbano/ metropolitano na Amazônia a partir de duas ferramentas internacionais. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 8, n. 4, p. 111–127, 2017. DOI: 10.6008/spc2179-6858.2017.004.0010. Acesso em: 07 out. 2020.

PEREIRA, F. DA S.; VIEIRA, I. C. G. Sustentabilidade e desigualdade socioambiental intramunicipal em Belém-Pará, Brazil. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 14, n. 5, p. 265–278, 2018. Disponível em: <https://www.rbgdr.net/revista/index.php/rbgdr/article/view/4104>. Acesso em: 26 fev. 2021.

PEREIRA, F. H. et al. Aplicação de técnicas teóricas e experimentais de medição de vazão do ribeirão Santo Antônio - Coronel Pacheco (MG). Associação Brasileira de Recursos Hídricos - ABRH. **Anais**. v. 95, 2017. Disponível em: <http://anais.abrh.org.br/works/3824>. Acesso em: 08 set. 2020.

PEREIRA, L. S. et al. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: Past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4–20, 2015. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2014.07.031>. Acesso em: 04 ago. 2019.

PEREIRA, M. A. F.; KOBIYAMA, M.; CASTRO, N. M. DOS R. Relação entre a geometria hidráulica e a curva de permanência em estações fluviométricas da bacia hidrográfica do rio Ijuí – Rs. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 15, n. 3, 2014. DOI: 10.20502/rbg.v15i3.516. Acesso em: 08 set. 2020.

PETRY, J. F.; ADMINISTRAÇÃO, D.; HEIN, N. Avaliação da sustentabilidade dos municípios de Santa Catarina. **Latitude**. v. 13, p. 26–55, 2019. Disponível em: <https://www.seer.ufal.br/index.php/latitude/article/view/5551>. Acesso em: 05 ago. 2020.

PIELOU, E. C. **Fresh water**. p. 275. Chicago: University of Chicago Press, Illions x 1998. Disponível em: https://books.google.com.br/books?id=Yin93qjdnAIC&sitesec=buy&hl=pt-BR&source=gbs_vpt_read. Acesso em: 12 ago. 2020.

PIETERSEN, K. Multiple criteria decision analysis (MCDA): A tool to support sustainable management of groundwater resources in South Africa. **Water SA**, v. 32, n. 2, p. 119–128, 2006. DOI: 10.4314/wsa.v32i2.5242. Acesso em: 18 ago. 2020.

PIMENTA, L. B. et al. Processo Analítico Hierárquico (AHP) em ambiente SIG : temáticas e aplicações voltadas à tomada de decisão utilizando critérios espaciais. **Interações**, v. 20, p. 407–420, 2019. DOI: <https://doi.org/10.20435/inter.v20i2.1856>. Acesso: 24 mar. 2021.

PINESE JÚNIOR, J. F.; RODRIGUES, S. C. O Método de análise hierárquica – ahp – como auxílio na determinação da vulnerabilidade ambiental da bacia hidrográfica do rio Piedade (Mg). **Geography Department, University of Sao Paulo**, v. 23, n. 2012, p. 4–26, 2012. DOI: 10.4314/wsa.v32i2.5242. Acesso em: 18 ago. 2020.

PINTO, A. et al. Diagnóstico socioeconômico e florestal do município de Paragominas.

Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia - Imazon, 2009. Disponível em: <https://imazon.org.br/PDFimazon/Portugues/outros/iagnostico-socioeconomico-e-florestal-do.pdf>. Acesso em: 01 nov. 2020.

PINTO, D. B. et al. Determinação do potencial agroclimático da região de Tomé-Açu (PA) para o cultivo de pitaya vermelha. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 10, p. 83687–83692, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n10-706. Acesso em: 12 dez. 2020.

PINTO, N. G. M.; ROSSATO, V. P.; CORONEL, D. A. Degradação Ambiental Agropecuária na América Latina : **Desenvolvimento em Questão**, v. 17, n. 46, p. 218–235, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.21527/2237-6453.2019.46.218-235>. Acesso em: 30 maio 2021.

PINTO, R. O. et al. Validation of an instrument to evaluate health promotion at schools. **Revista de saude publica**, v. 50, p. 2, 2016. DOI: 10.1590/S01518-8787.2016050005855. Acesso em: 22 out. 2020.

PINTO, V. G.; MELO, R. C. B. DE; SILVA, D. D. DA. Vazão ecológica e o arcabouço legal brasileiro. **Revista Brasileira de Geografia Física**. v. 01, p. 91–109, 2016b. Acesso: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233648/27233>. Acesso em: 26 out. 2020.

PIRATOBA, A. R. A. et al. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena, PA, Brasil. **Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v. 12, n. 3, p. 445–458, 2017. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso em: 04 nov. 2020.

PISANI JUNIOR, R. et al. Development of a correlation to estimate per capita municipal solid waste generation rates in são paulo state, Brazil: Population, per capita income and electricity consumption influences. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 415–424, 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018167380. Acesso em: 07 set. 2020.

PISMEL, V. A. F. et al. Índice de vegetação normalizada (ndvi) associados à oferta hídrica no solo em plantios florestais e cultivos de grãos no município de Dom Eliseu, Pará. 19º SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E 3º SEMINÁRIO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA EMBRAPA AMAZÔNIA ORIENTAL. **Anais**. 2015. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1022816/indice-de-vegetacao-normalizada-ndvi-associados-a-oferta-hidrica-no-solo-em-plantios-florestais-e-cultivos-de-graos-no-municipio-de-dom-eliseu-para>. Acesso em: 01 nov. 2020.

PMC, PREEITURA MUNICIPAL DE CAMPINAS. **Plano Municipal de Recursos Hídricos. Relatório executivo**. p. 186. 1ª Ed. Campinas/SP. 2016. Disponível em: <http://www.campinas.sp.gov.br/governo/meio-ambiente/plano-hidricos.php>. Acesso em: 18 nov. 2020.

PNUD, P. DAS N. U. PARA O D. **Relatório do Desenvolvimento Humano 2006: Água para lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água**. p. 1101. 2006. New York USA. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/library/idh/relatorios-de-desenvolvimento-humano/relatorio-do-desenvolvimento-humano-20006/>. Acesso em: 23

mar. 2020.

PNUD, P. DAS N. U. PARA O D. O que é o IDHM. 2019. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/idh0/conceitos/o-q>. Acesso em: 06 set. 2020.

PNUMA, P. DAS N. U. PARA O M. A. **Metodologia para a elaboração de Relatórios GEO Cidades - Manual de Aplicação**. v. 2. p. 181, 2001. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4218641/mod_resource/content/1/356_Manual_GEO_Cidades_port.pdf. Acesso em: 04 set. 2019.

PORTILHO, A. P. et al. Balanço Hídrico para Pinheiral, Rio de Janeiro. **Revista Agrogeoambiental**, v. 3, n. 2, p. 21–28, 2011. DOI: 10.18406/2316-1817v3n22011328. Acesso em: 04 set. 2020.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. v. 22, n. 63, p. 43–60, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200004>. Acesso em: 25 ago. 2020.

PRADO, J. B. DO et al. Condicionantes geo-socio-ambientais relacionados aos recursos hídricos de barcarena/pa, como elementos de base de um programa de educação ambiental. *In: XVII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, Anais*. p. 1–20, 2007. Disponível em: https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=3&ID=19&SUMARIO=4720&ST=condicionantes_geo_socio_ambientais_relacionados_aos_recursos_hidricos_de_barcarena_pa_como_elementos_de_base_de_um_programa_de_educacao_ambiental. Acesso em: 04 nov. 2020.

PRATA, B. DE A.; FREITAS, S. M. DE. Uma nova abordagem para a análise de agrupamento com uma aplicação em agronomia. **Conference Paper**. 2007. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272478626>. Acesso em: 08 set. 2020.

PRATA, S. S. et al. Floristic gradient of the northeast paraense secondary forests. **Acta Amazonica**, v. 40, n. 3, p. 523–534, 2010. DOI: 10.1590/s0044-59672010000300011. Acesso em: 12 set. 2020.

PRATES, R. C.; BACHA, C. J. C. Os processos de desenvolvimento e desmatamento da Amazônia. **Economia e Sociedade**, v. 20, n. 3, p. 601–636, 2011. DOI: 10.1590/s0104-06182011000300006. Acesso em: 06 out. 2020.

PROÏA, F. Testing for residual correlation of any order in the autoregressive process. **Communications in Statistics - Theory and Methods**, v. 47, n. 3, p. 628–654, 2018. DOI: 10.1080/03610926.2017.1310240. Acesso em: 28 abr. 2020.

PRUSKI, F. F. et al. Impacto das vazões demandadas pela irrigação e pelos abastecimentos animal e humano, na bacia do Paracatu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 2, p. 199–210, 2007. DOI: 10.1590/S1415-43662007000200011. Acesso em: 09 mar. 2020.

PUPPIN, L. G. et al. Cenário Tendencial De Comprometimento Hídrico Na Bacia

Hidrográfica Do Rio São Mateus - Es. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 8, n. 3, p. 172–192, 2019. DOI: 10.19177/rgsa.v8e32019172-192. Acesso em: 19 nov. 2020.

QIAN, Y. et al. Water footprint characteristic of less developed water-rich regions: Case of Yunnan, China. **Water Research**, v. 141, p. 208–216, 2018. DOI: 10.1016/j.watres.2018.03.075. Acesso em: 11 set. 2020.

QUIROGA, R. **Indicadores de sostenibilidad ambiental y desarrollo sostenible: estado del arte y perspectivas**. p. 106, 2001. Santiago de Chile Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/5570/S0110817_es.pdf. Acesso em: 01 set. 2020.

RABELO, L.; LIMA, P. Indicadores de sustentabilidade: a possibilidade da mensuração do desenvolvimento sustentável. **Revista Eletroônica do Prodepa - REDE**. v. 1, n.1, p 55-76, 2007. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/4>. Acesso em: 24 nov. 2010.

RAMOS, T. M.; PONTES, R. P.; MOREL, B. L. G. Qualidade de vida no Brasil: uma análise fatorial com enfoque aos municípios de fronteira e não fronteira marítima. **Sinergia**, v. 25, n. 2, p. 61–75, 2021. DOI: <https://doi.org/10.17648/2236-7608-v25n2-12045>. Acesso em: 30 maio 2021.

RAN, Y. et al. Assessing water resource use in livestock production: A review of methods. **Livestock Science**, v. 187, p. 68–79, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.livsci.2016.02.012>. Acesso em: 29 ago. 2020.

RAUBER, D.; OLIVEIRA, F. A. C. DE. Uma contextualização da demanda de água na indústria. **Synergismus scyentifica UTFPR**. v. 03, n. 1. Pato Branco. 2008. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/view/394/0>. Acesso em: 19 ago. 2020.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA JR., B. P. F.; TUNDISI, J. G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Escrituras Editora, 1999. Disponível em: <https://nehma.ufba.br/aguas-doces-no-brasil-capital-ecologico-uso-e-conservacao>. Acesso em: 10 ago. 2020.

RECENA AYDOS, L.; FIGUEIREDO NETO, L. F. Índice bruto de sustentabilidade dos municípios de Mato Grosso do Sul. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, n. 1, p. 35–49, 2019. DOI: 10.20435/inter.v0i0.1681. Acesso em: 30 maio 2021.

REGO, A. DA G.; FERNANDES, L. L.; LIMA, A. C. DE M. Diagnóstico da potencial poluição nos rios do arco do desmatamento brasileiro: Estudo de caso dos rios Ararandeuá e Pebas em Rondon do Pará. **Traços**, v. 13, n. 27, p. 47–61, 2011. Disponível em: <http://revistas.unama.br/index.php/revistatracos/article/view/509>. Acesso em: 22 maio 2021.

REGO, N. A. DE M.; ROCHA, T. A. L. C. G.; REIS, L. M. M. Avaliação da sustentabilidade do município de Ipanguaçu-RN sob a ótica do Índice de Desenvolvimento Sustentável Municipal (IDSM). **Colóquio - Revista do**

Desenvolvimento Regional, v. 14, n. 2, p. 31, 2017. DOI: 10.26767/coloquio.v14i2.716. Acesso em: 23 jan. 2021.

REIS, A. A. DOS. **Desenvolvimento sustentável e uso dos recursos naturais em áreas de várzea do território do Baixo Tocantins da Amazônia Paraense: limites, desafios e possibilidades**. p. 271. Tese (Doutorado Desenvolvimento Socioambiental) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos. Belém, 2015. Disponível em: <http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf%0Ahttps://hdl.handle.net/20.500.12380/245180%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.201>. Acesso em: 01 fev. 2021.

REIS, J. A. T. DOS et al. Indicadores regionais aplicáveis à avaliação do regime de vazão dos cursos d'água da bacia hidrográfica do rio Itabapoana. **Geociências**, v. 27, n. 4, p. 509–516, 2008. Disponível em: https://www.revistageociencias.com.br/geociencias-arquivos/27_4/Art%206_Reis.pdf. Acesso em: 31 mai. 2020.

REISI, M. et al. Transport sustainability index: Melbourne case study. **Ecological Indicators**, v. 43, p. 288–296, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.03.004>. Acesso em: 24 abr. 2020.

RIBEIRO, A. L. Modelo de indicadores para mensuração do desenvolvimento sustentável na Amazônia. 397 p. Tese. (Doutorado em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental) - Universidade Federal do Pará (UFPA). Disponível em: <https://docplayer.com.br/6782614-Modelo-de-indicadores-para-mensuracao-do-desenvolvimento-sustentavel-na-amazonia-adagenor-lobato-ribeiro-tese-de-doutorado.html>. Acesso em: 06 abr. 2019.

RIBEIRO, C. R.; PIZZO, S. Avaliação da Sustentabilidade Hídrica de Juíz de Fora/MG. **Mercator**, v. 10, n. 21, p. 171–188, 2011. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/467>. Acesso em: 21 maio 2021.

RIBEIRO, L.; ROLIM, N. Planeta água de quem e para quem: uma análise da água doce como direito fundamental e sua valoração mercadológica. **Revista Direito Ambiental e sociedade**, v. 7, n. 1, p. 7–33, 2017. Disponível em: <http://www.uces.br/etc/revistas/index.php/direitoambiental/article/view/4149>. Acesso em: 20 jan. 2021.

RIBEIRO, W. C. Geografia política e gestão internacional dos recursos naturais. **Estudos Avançados**, v. 24, n. 68, p. 69–80, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142010000100008>. Acesso em: 28 ago. 2020.

RIBEIRO, W. C.; SANTOS, C. L. S. DOS; SILVA, L. P. B. DA. Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: Marcos teóricos. **AMBIENTES: Revista de Geografia e Ecologia Política**, v. 1, n. 2, p. 11, 2019. DOI: <https://doi.org/10.48075/amb.v1i2.23619>. Acesso em: 21 maio 2021.

RICA, C. El diseño de indicadores e índices para evaluar el aporte de las fincas agropecuarias a la sostenibilidad ambiental . Análisis de caso en la Microregión Platanar-

La Vieja, cuenca del río San. **Revista Pensamiento Actual**. v. 6, n. 2006, 2006. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10669/21538>. Acesso em: 29 ago. 2020.

RICCE, W. DA S.; CARAMORI, P. H.; ROBERTO, S. R. Potencial climático para a produção de uvas em sistema de dupla poda anual no Estado do Paraná. **Bragantia**, v. 72, n. 4, p. 408–415, 2013. DOI: 10.1590/brag.2013.042. Acesso em: 08 set. 2020.

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: Fact or fiction? **Agricultural Water Management**, v. 80, n. 1- 3 SPEC. ISS., p. 5–22, 2006. Disponível em: 10.1016/j.agwat.2005.07.001. Acesso em: 02 set. 2020.

RIVERO, S. et al. Pecuária e desmatamento: Uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova Economia**, v. 19, n. 1, p. 41–66, 2009. DOI: 10.1590/s0103-63512009000100003. Acesso em: 18 set. 2020.

ROBOREDO, D. et al. Geografia eleitoral: Uma revisão e possíveis caminhos. **RA'EGA - O Espaço Geográfico em Análise**, p. 23–43, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/raega.v43i0.48787>. Acesso em: 08 set. 2020.

ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. **Revista Ambiente e Agua**, v. 11, p. 176–187, 2016. DOI: doi:10.4136/ambi-agua.1590. Acesso em: 05 jan. 2020.

ROCHA, B. H. D. et al. Estimativa da vazão mínima para o rio Mucuri pelo método Q_{7,10}. **Remote Sensing of Environmentvista Águas Subterrâneas**, n. 0101-7004 (Print); 2179-9784 (Online), 2015. Disponível em: <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/download/28309/18418/104238>. Acesso em: 26 out. 2020.

ROCHA, G. C. DA et al. Theoretical and methodological aspects in mapping water availability per municipality in the country. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 402–414, 2013a. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n3p402. Acesso em: 07 jul. 2020.

ROCHA, G. C. DA et al. Aspectos físicos e sociais da geografia da disponibilidade hídrica municipal no Brasil. **Irriga**, v. 18, n. 3, p. 402–414, 2013b. DOI: 10.15809/irriga.2013v18n3p402. Acesso em: 15 dez. 2020.

ROCHA, N. C. V.; LIMA, A. M. M. DE. A sustentabilidade hídrica na bacia do rio Guamá, Amazônia Oriental/Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 141–160, 2020. DOI: 10.14393/sn-v32-2020-45694. Acesso em: 03 jan. 2021.

ROCHA, P. C.; SANTOS, A. A. DOS. Análise Hidrológica Em Bacias Hidrográficas. **Mercator**, v. 17, p. 1–18, 2018. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2018.e17025>. Acesso em: 10 jul. 2020.

RODRIGUES, E.; LIMA, V. DE. Índice de sustentabilidade da dimensão ambiental da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, CE. **Espaço Aberto**. p. 71–85, 2017. Disponível em: <https://revistas.ufrj.br/index.php/EspaçoAberto/article/view/5183>. Acesso: 13 nov. 2020.

RODRIGUES, H. C. T. et al. Análise da vulnerabilidade ambiental do município de

Barcarena-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1598–1612, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n1-110. Acesso em: 03 nov. 2020.

RODRIGUES, J. A. M. A. et al. Indicadores Hidrológicos para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 4, 2016. DOI: 10.5380/rsa.v16i4.47923. Acesso em: 15 jul. 2020.

RODRIGUES, L. N. Quantidade de água utilizada na agricultura irrigada: certezas e incertezas nas estimativas. **Embrapa Cerrados-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1123349/quantidade-de-agua-utilizada-na-agricultura-irrigada-certezas-e-incertezas-nas-estimativas>. Acesso em: 15 ago. 2020.

RODRIGUES, R. S. S. et al. Relações hidrológicas entre pluviosidade, deflúvio e escoamento superficial na bacia hidrográfica do Igarapé daPrata em Capitão Poço, Pará, Brasil. **Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium**, v. 9, n. 2, p. 157–169, 2018. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/braziliangeojournal/article/view/35374>. Acesso em: 07 nov. 2020.

RODRIGUES, T. E. et al. **Zoneamento Agroecológico do Município de Bujaru, PA**. p. 78. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 120. Belém. 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/403615/zoneamento-agroecologico-do-municipio-de-bujaru-pa>. Acesso em: 11 dez. 2020.

RODRIGUES, T. E. et al. **Zoneamento Agroecológico do Município de Curuçá, Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 151. p 45. Belém. 2003. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/408083/zoneamento-agroecologico-do-municipio-de-curuca-estado-do-para>. Acesso em: 25 nov. 2020.

RODRIGUES, T. E. et al. **Caracterização e classificação dos solos do município de Tailândia, estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. p. 55. Documentos 230. Belém. 2005. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/137182/1/DOC-230.pdf>. Acesso em: 08 dez. 2020.

RODRIGUES, T. E. ERTON et al. **Caracterização e classificação de solos do município e Santo Antônio do Tauá, Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. p. 49. Belém. 2004. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/658777/caracterizacao-e-classificacao-de-solos-do-municipio-de-santo-antonio-do-taua-estado-do-para>. Acesso em: 07 nov. 2020.

ROJAS, J. P.; SHEFFIELD, R. E. Evaluation of daily reference evapotranspiration methods as compared with the ASCE-EWRI Penman-Monteith equation using limited weather data in Northeast Louisiana. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 139, n. 4, p. 285–292, 2013. DOI: 10.1061 / (ASCE) IR.1943-4774.0000523. Acesso em: 04 ago. 2020.

ROLIM, G. D. S. et al. Climatic classification of köppen and thornthwaite systems and

their applicability in the determination of agroclimatic zoning for the state of São Paulo, Brazil. **Bragantia**, v. 66, n. 4, p. 711–720, 2007. DOI: 10.1590/S0006-87052007000400022. Acesso em: 31 mai. 2020.

ROLIM, G.; SENTELHAS, P.; BARBIERE, V. Planilhas no ambiente excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1998. Disponível em: <http://coral.ufsm.br/rba/t13313761.html>. Acesso em: 27 jun. 2020.

ROSA, A. G. et al. Comportamento da precipitação como fator ativo de processos erosivos no município de Rondon do Pará, PA (Brasil). **Scientia Plena**, v. 13, n. 02, p. 1–11, 2017. DOI: 10.14808/sci.plena.2017.025301. Acesso em: 31 mai. 2020.

ROSÁRIO, U. Saga do Caeté: folclore, história, etnografia e jornalismo na cultura amazônica da Marujada, Zona Bragantina, Pará. Editora CEJUP, 234p., 2000, Belém, PA, Brasil.

ROUSSEEUW, P. J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis. **Journal of Computational and Applied Mathematics**, v. 20, p. 53–65, 1 nov. 1987. DOI: 10.1016/0377-0427(87)90125-7. Acesso: 14 nov. 2019.

ROWLEY, J. What is information? **Information Services & Use**, v. 18, p. 243–254, 1998. DOI: 10.3233/ISU-1998-18402. Acesso em: 02 set. 2020.

ROWLEY, J. The wisdom hierarchy: Representations of the DIKW hierarchy. **Journal of Information Science**, v. 33, n. 2, p. 163–180, 2007. DOI: 10.1177/0165551506070706. Acesso em: 02 set. 2020.

ROWLEY, H. V. et al. Aggregating sustainability indicators: Beyond the weighted sum. **Journal of Environmental Management**, v. 111, p. 24–33, 2012. DOI: 10.1016/j.jenvman.2012.05.004. Acesso em: 06 set. 2020.

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **Int. J. Services Sciences**, v. 1, n. 1, p. 83–98, 2008. DOI: 10.1016/0305-0483(87)90016-8. Acesso em: 06 set. 2020.

SACHS, J. D.; SCHMIDT-TRAUB, G.; DURAND-DELACRE, D. Preliminary Sustainable Development Goal (SDG) Index and Dashboards. **Sustainable Development Solutions Network**. p. 1-20. Sea Around Us.2016. Tools and Data. Disponível em: <http://www.seaaroundus.org/data/-/eez>. Acesso em: 04 ago. 2019.

SANTANA, M. R. O. DE et al. Modelos de regressão aplicados na caracterização de argamassas leves contendo agregados não convencionais de EVA e fibras de piaçava. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 23, n. 3, 2018. DOI: 10.1590/s1517-707620180003.0502. Acesso em: 02 fev. 2021.

SANTANA, N. R. F. et al. Índice de qualidade da água nas nascentes do rio piauitinga-se por análise multivariada e o uso na irrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 6, p. 999–1010, 2016. DOI: 10.7127/rbai.v10n600441. Acesso em: 15 set. 2020.

SANTOS, F. M. R. DOS; SOUZA, R. P. L. DE. O conhecimento no campo de Engenharia e Gestão do conhecimento. **Perspectivas em Ciências da Informação**, v. 15, n. 1, p. 259–281, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/pci/v15n1/15.pdf>. Acesso em: 02 set. 2020.

SANTOS, L. S. DOS et al. Morfometria da sub-bacia do rio Moju na Flona do Tapajós, Oeste do Pará. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, v. 13, n. 24, p. 755, 2016. DOI: 10.18677 / EnciBio_2016B_071. Acesso em: 12 nov. 2020.

SANTOS, L. S. DOS et al. Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana Leonardo. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 7, p. 2694–2715, 2019. DOI: 10.26848/rbgf.v12.7.p2694-2715. Acesso em: 13 nov. 2020.

SANTOS, M. A. S. DOS et al. Caracterização do nível tecnológico da pecuária bovina na Amazônia Brasileira. **Rev. Cienc. Agrar.**, v. 60, n. 1, p. 103–111, 2017. DOI: 10.4322/rca.60103. Acesso em: 20 set. 2020.

SANTOS, P. L. DOS et al. **Zoneamento agroecológico do município de Augusto Corrêa, estado do Pará**. 1999. Documentos. Belém. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63155/1/Oriental-Doc26.pdf>. Acesso em: 20 set. 2020.

SANTOS, P. L. DOS et al. **Zoneamento agroecológico do município de Barcarena, Estado do Pará**. p. 35. Embrapa Amazônia Oriental. Documento 156. Belém. 2003. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63740/1/Oriental-Doc156.PDF>. Acesso em: 09 dez. 2020.

SANTOS, R. A. DOS; MARTINS, D. L.; SANTOS, R. L. Balanço hídrico e classificação climática de köppen e thornthwaite no município de feira de Santana (BA). **Geo UERJ**, n. 33, p. e34159, 2018. DOI: 10.12957/geouerj.2018.34159. Acesso em: 08 set. 2020.

SANTOS, V. M. N. DOS; BACCI, D. D. L. C. Proposta para governança ambiental ante os dilemas socioambientais urbanos. **Geo UER**. v. 31, n. 89, p. 199–212. Rio de Janeiro. 2017. DOI: 10.12957/geouerj.2018.34159. Acesso em: 08 set. 2020.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Agropecuário para a região de marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada - RBAI**, v. 4, n. 3, p. 142–149, 2010. DOI: 10.7127/RBAI.V4N300010. Acesso em: 14 set. 2020.

SANTOS, G. O.; LIMA, F. B. DE; VANZELA, L. S. Balanço hídrico espacial das culturas inseridas na bacia hidrográfica do ribeirão Santa Rita, noroeste paulista. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 7, n. 1, p. 03–16, 2013. DOI: 10.7127/rbai.v7n100091. Acesso em: 08 set. 2020.

SANTOS, H. S.; CUNHA, G. N. Avaliação qualitativa das técnicas de interpolação de mínima curvatura , krigagem e bidirecional na formação de imagens. **Revista de Engenharias da Faculdade Salesiana**, v. 4, p. 2–16, 2016. DOI:

10.7127/rbai.v7n100091. Acesso em: 08 set. 2020.

SANTOS, L. B. et al. Usos da terra e conservação da biodiversidade na bacia hidrográfica do Rio Marapanim, Pará. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 3, p. 929–943, 2019b. DOI: 10.26848/rbgf.v12.3.p929-943. Acesso em: 10 mar. 2020.

SANTOS, L. T. A. **Caracterização morfométrica de ovinos da raça bergamácia brasileira**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Alagoas. 2019. Disponível em: <http://200.17.114.109/handle/riufal/5425>. Acesso em: 3 fev. 2021.

SANTOS, M. DE N. S.; LIMA, A. M. M. DE. Multitemporal Analysis of Land Use and Cover Changes of a River Basin in the Atlantic Coast of Brazil. *Revista Brasileira de Geografia Física*. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 01, p. 139–149, 2018. Acesso em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/234276/28972>. Acesso em: 20set. 2020.

SANTOS, P. L. et al. **Caracterização e Avaliação da Potencialidade dos Solos do Município de Santa Isabel do Pará - Estado do Pará**. 2001. Belém: [s.n.]. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/403560/1/Doc100.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2020.

SANTOS, S. et al. Conflitos de uso do solo em áreas de preservação permanente na bacia hidrográfica do rio Igarapé-Açu – Pa. **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 30–46, 2019c. Acesso em: 20 set. 2020.

SANTOS, T. A. et al. Zonas homogêneas de evapotranspiração de referência para o norte e noroeste de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 4, p. 3540–3555, 2020. Acesso em: 08 set. 2020.

SARAÇLI, S.; DOĞAN, N.; DOĞAN, I. Comparison of hierarchical cluster analysis methods by cophenetic correlation. **Journal of Inequalities and Applications**, v. 2013, n. December, 2013. DOI: 10.1186/1029-242X-2013-203. Acesso em: 10 set. 2020.

SARAIVA, J. DOS S.; SANTOS, M. A. S. DOS; MARTINS, G. C. C. Crescimento e desenvolvimento econômico dos municípios do estado do Pará no período 2005 a 2016. **Eumed.Net Enciclopédia Virtual**, p. 0–15, 2020. DOI: 10.1186/1029-242X-2013-203. Acesso em: 10 set. 2020.

SARMENTO, R. Estado da Arte da Vazão Ecológica no Brasil e no Mundo. **Edital n. 05, PROJETO 704BRA2041**, p. 38 p., 2007. Disponível em: <http://www.grh.ufba.br/ecovazao/SARMENTO.pdf>. Acesso em: 08 set. 2020.

SARTORI, S.; LATRÔNICO, F.; CAMPOS, L. M. S. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: uma taxonomia no campo da literatura. **Ambiente & Sociedade**, v. 17, n. 1, p. 01–22, 2014. DOI: 10.1590/1809-44220003490. Acesso em: 04 ago. 2020.

SCHEDERECKER, F. et al. Do alternative weighting approaches for an Index of Multiple Deprivation change the association with mortality? A sensitivity analysis from Germany. **BMJ Open**, v. 9, n. 8, p. 1–9, 2019. DOI: 10.1136/bmjopen-2018-028553.

Acesso em: 02 set. 2020.

SCHMITZ, A. P.; BITTENCOURT, M. V. L. Crescimento econômico e pressão sobre recursos hídricos. **Estud. Econ**, v. 47, p. 329–363, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0101-416147243a>. Acesso em: 09 ago. 2020.

SCHOLL, C. A.; HOURNEAUX, F.; GALLELI, B. Sustentabilidade organizacional: Aplicação de índice composto em uma empresa do setor químico. **Gestao e Producao**, v. 22, n. 4, p. 695–710, 2015. DOI: 10.1590/0104-530X1343-13. Acesso em: 07 set. 2020.

SCHÖNBORN, W.; RISSE-BUHL, U. **Lehrbuch der Limnologie**. 62 p. Schweizerbart · Stuttgart 2013. Disponível em: <https://sites.google.com/view/jyfhskuph/lehrbuch-der-limnologie-pdf-epub-herunterladen>. Acesso em: 12 ago. 2020.

SCHWARTZ, G. Manejo sustentável de florestas secundárias: **Amazônia: Ciência & Desenvolvimento**, v. 3, p. 24, 2007. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578357/1/ManejoSustentavelFloresta.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

SDSN, S. D. S. N.; STIFTUNG, B. **Índice e Painéis de ODS**. Relatório. 60 p. 2016. Disponível em: <http://www.economia.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2018/01/ODS-indicadores.pdf>. Acesso em: 06 abr. 2016.

SEMA, S. DE E. DE M. A. – B. **Manual para usuários: outorga de direito de uso de recursos hídricos**. p. 6–26, 2014. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/578357/1/ManejoSustentavelFloresta.pdf>. Acesso em: 04 nov. 2020.

SEPÚLVEDA, S. Desenvolvimento sustentável microrregional: métodos para planejamento local. **Brasília: IICA**, v. 25, 296 p. 2005. Disponível em: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8864>. Acesso em: 13 nov. 2020.

SEPÚLVEDA, S. **Biograma: Metodología para estimar el nivel de desarrollo sostenible de territorios**. 132p. C.R.: IICA. 2008. Disponível em: <http://repiica.iica.int/docs/B0664e/B0664e.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2020.

SHIKER, M. A. K. Multivariate statistical analysis. **British Journal of Science**. v. 6 (1), n. Julho, p. 55–66, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/319808256>. Acesso em: 07 set. 2020.

SHIKLOMANOV, I. A. World water resources a new appraisal and assessment for the 21st century. **UNESCO**, p. 37, 1988. DOI: 10.5860/choice.41-4063. Acesso em: 09 ago. 2020.

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, J. C. World water resources at the beginning of the twenty-first century. **International hydrology series**, p. 41-4063-41-4063, 2003. Disponível em: 10.4324/9781849772402. Acesso em: 13 ago. 2020.

SHWARTZ, M.; BURGESS, J. F.; BERLOWITZ, D. Benefit-of-the-doubt approaches for calculating a composite measure of quality. **Health Services and Outcomes**

Research Methodology, v. 9, n. 4, p. 234–251, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10742-010-0056-0>. Acesso em: 06 set. 2020.

SICHE, R. et al. Índices Versus Indicadores: Precisões Conceituais Na Discussão Da Sustentabilidade De Países. **Ambiente & Sociedade**, v. 10, n. 2, p. 137–148, 2007. DOI: 10.1590/s1414-753x2007000200009. Acesso em: 27 ago. 2020.

SILVA, A. C. et al. Proposta de indicadores de sustentabilidade para o município de Frutal- Minas Gerais. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 272, 2017a. Disponível em: 10.19177/rgsa.v6e22017272-285. Acesso em: 16 out. 2020.

SILVA, A. G. F. DA et al. A relação entre Estado e políticas públicas : uma análise teórica sobre o caso brasileiro. p. 25–42, 2017b. **Revista Debates**. DOI: <https://doi.org/10.22456/1982-5269.72132>. Acesso em: 25 ago. 2020.

SILVA, A. M. DA et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região do Alto Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 374–380, 2006. DOI: 10.1590/s1415-43662006000200019. Acesso em: 08 set. 2020.

SILVA, B. M. B. DA; SILVA, D. D. DA; MOREIRA, M. C. Influência da sazonalidade das vazões nos critérios de outorga de uso da água: estudo de caso da bacia do rio Paraopeba. **Revista Ambiente e Agua**, v. 10, n. 3, p. 623–634, 2015. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso em: 08 set. 2020.

SILVA, E. A. DA; MARTINS, P. C. R. A Sustentabilidade de Um Arranjo Produtivo Local no Polo Moveleiro de Arapongas. **Gestão.Org**, v. 15, n. 1, p. 86–98, 2017. DOI: 10.21714/1679-18272017v15n1.p86-98. Acesso em: 09 mar. 2020.

SILVA, É. L. DA et al. A escassez hídrica na zona rural: o consumo de água sob a perspectiva dos agricultores de um assentamento no município de Pombal-PB. **Journal of Chemical Information and Modeling**, v. 53, n. 9, p. 1689–1699, 2019. DOI: [tp://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1038](https://dx.doi.org/10.33448/rsd-v8i6.1038). Acesso em: 09 ago. 2020.

SILVA, E. R. M. DA et al. Diagnóstico Ambiental da sub-bacia hidrográfica do rio apeú através de fatores geoambientais e climáticos. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 3, p. 137–154, 2020. DOI: 6008/cbpc2179-6858.2020.003.0013. Acesso em: 19 set. 2020.

SILVA, F. C. DA; AMIN, M. M.; NUNES, S. F. **Sustentabilidade dos Municípios da Amazônia**. Coleção formação regional da Amazônia. v. 4. 458 p. Belém: NAEA, 2015b. Disponível em: http://www.fundoamazonia.gov.br/export/sites/default/pt/.galleries/documentos/acervo-projetos-cartilhas-outros/UFPA-NAEA-Livro-04_Sustentabilidade-Municipios-Amazonia.pdf. Acesso em:

SILVA, F. L. DA et al. Dimensões do Uso e Cobertura da Terra nas Mesorregiões do Estado do Pará. **Espacios**, v. 37, n. 5, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n05/16370505.html>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SILVA, J. M. L. DA et al. **Levantamento de solos de alta intensidade e mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra do município de Colares- Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 50p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 27). Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/388954/1/OrientalDoc27.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2020.

SILVA, J. M. L. DA et al. **Zoneamento agroecológico do Município de Colares, Estado do Pará.** Belém. Embrapa Amazônia Oriental, 2001. 77p. (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 96). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/63512/1/Oriental-Doc96.PDF>. Acesso em: 11 dez. 2020.

SILVA, K. O. DA et al. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, p. 161- citation_lastpage, 2005. Disponível em: 10.1590/s1415-43662005000200002. Acesso em: 18 jul. 2020.

SILVA, L. DA; LIMA, E. R. V. DE. Índice de Sustentabilidade da dimensão ambiental da bacia hidrográfica do rio Banabuiú, CE. v. 7. n. 1.p. 71–85, 2017. **Espaço Aberto**. Disponível em: 10.1017/CBO9781107415324.004. Acesso em: 11 mar. 2020.

SILVA, S. S. F. DA et al. Indicador de Sustentabilidade Pressão – Estado – Impacto – Resposta no Diagnóstico do Cenário Sócio Ambiental resultante dos Resíduos Sólidos Urbanos em Cuité, PB. **REUNIR – Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade** – Vol. 2, no 3, v. 2, p. 76–93, 2012. DOI: <https://doi.org/10.18696/reunir.v2i2.68>. Acesso em: 01 set. 2020.

SILVA JÚNIOR, O. G. DA; EL-ROBRINI, M. Morfoestratigrafia do noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 49, n. 1–2, p. 98–114, 2001. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-77392001000100009>. Acesso em: 02 dez. 2020.

SILVA, M. G.; CÂNDIDO, G. A.; MARTINS, M. F. Método de construção do índice de desenvolvimento local sustentável: uma proposta metodológica e aplicada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 11, n. 1, p. 55–72, 2009b. Disponível em: <http://deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev111/Art1118.pdf>. Acesso em: 04 ago. 2019.

SILVA, P. E.; SILVA, R. S. Aplicação de técnicas de interpolação para espacialização de chuvas da rede hidrográfica: estudo de caso Calha Norte – Pa. **Revista Brasileira de Climatologia**. v. 24, p. 277–299, 2019. DOI: 10.5380/abclima.v24i0.61516. Acesso em: 09 mar. 2020.

SILVA, T. C. M.; VIEIRA, I. C. G.; ALMEIDA, A. S. Irregularidades em áreas naturais protegidas na bacia do rio Arauaí, Moju, Pará. **Revista GeoAmazônia**, v. 04, n. 93–106, p. 93–106, 2016. Disponível em: <http://www.geoamazonia.net/index.php/revista/article/view/113>. Acesso em: 23 mar. 2021.

SILVA, V. C. B.; MACHADO, P. D. S. **Iniciando no Arcgis**. n. 1, p. 1–62, 2010.

Disponível em: <https://www.clickgeo.com.br/apostila-introducao-ao-arcgis/>. Acesso em: 09 mar. 2020.

SILVEIRA, S. M. B.; CORDEIRO, R. L. M.; CLEMENTE, F. S. A condução das políticas hídricas para o Semiárido Brasileiro: a ação do Estado e as lutas sociais. **Emancipacao**, v. 14, n. 2, p. 249–260, 2014. DOI: 10.5212/emancipacao.v.14i2.0006. Acesso em: 26 ago. 2020.

SINGH, R. K. et al. Development of composite sustainability performance index for steel industry. **Ecological Indicators**, v. 7, n. 3, p. 565–588, 1 jul. 2007. DOI: 10.1016/J.ECOLIND.2006.06.004. Acesso em: 20 abr. 2020.

SOARES, B. C. et al. Caracterização da cadeia produtiva da pecuária leiteira em Rondon do Pará, Pará, Brasil. **Nucleus Animalium**, v. 11, n. 1, p. 25–37, 2019. DOI: 10.3738/21751463.3002. Acesso em: 22 set. 2020.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The Comparison of Dendrograms by Objective Methods. **Taxon**, v. 11, n. 2, p. 33–40, 1962. DOI: 10.2307/1217208. Acesso em: 13 nov. 2019.

SOUSA, S. O. et al. Balanço hídrico da Bacia Hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 1, p. 83–92, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5935/1984-2295.20140003>. Acesso em: 16 jun. 2020.

SOUZA, C. C. F. DE et al. Indicadores de desenvolvimento sustentável nos municípios do Nordeste Paraense. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 5, 2020a. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.005.0041>. 07 out. 2020.

SOUZA, C. F. C. DE et al. Índice social de desenvolvimento (ISD): cálculo para municípios da região metropolitana de Campinas/SP. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 11, n. 1, p. 445–459, 2020b. DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.001.0039>. Acesso em: 02 set. 2020.

SOUZA, E. B. DE et al. Padrões climatológicos e tendências da precipitação nos regimes chuvoso e seco da Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, p. 81–93, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/abclima.v21i0.41232>. Acesso em: 02 dez. 2020.

SOUZA, M. C. D. S. A. DE; GHILARDI, H. T. Recursos hídricos, agropecuária e sustentabilidade: desafios para uma visão ecológica do planeta. **Revista Jurídica**, v. 02, p. 78–98, 2017. DOI: 10.6084/m9.figshare.5183980. Acesso em: 20 ago. 2020.

SOUZA, R. S. DE. Avaliação do Coeficiente de Retorno Esgoto / Água numa Rede de Esgoto Sanitário. n. 1, p. 6–14, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufms.br/index.php/argamassa/article/view/5979>. Acesso em: 09 mar. 2020.

SOUZA, S. F. DE; PAULINO, G. DA S.; SOUZA, A. L. DE. Impacto agrícola e da pecuária no estado do Pará. **Revista De Economia Regional, Urbana E Do Trabalho**, v. 07, n. 01, p. 107–119, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufrn.br/rerut/article/view/16711>. Acesso em: 19 set. 2020.

SOUZA, R. O. R. DE M. et al. Cenário da agricultura irrigada no estado do Pará. **Irriga**, v. 17, n. 2, p. 177–188, 2012. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2012v17n2p177>. Acesso em: 04 ago. 2020.

SOUZA, W. P. Extrativismo e desenvolvimento no contexto amazônico. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, v. 35, n. 2, p. 207–228, 2018b. DOI: <http://dx.doi.org/10.5380/dma.v38i0.44455>. Acesso em: 08 set. 2020.

STEINBRENNER, R. A. et al. Desastre da mineração em Barcarena, Pará e cobertura midiática: diferenças de duração e direcionamentos de escuta. **Revista Eletrônica de Comunicação, Informação e Inovação em Saúde**, v. 14, n. 2, p. 307–328, 2020. Disponível em: [10.29397/reciis.v14i2.2063](https://doi.org/10.29397/reciis.v14i2.2063). Acesso em:

SUBRAMANIAN, A.; COUTINHO, A. S.; SILVA, L. B. DA. Aplicação de método e técnica multivariados para previsão de variáveis termoambientais e perceptivas. **Production**, v. 17, n. 1, p. 52–70, 2007. DOI: [10.1590/s0103-65132007000100004](https://doi.org/10.1590/s0103-65132007000100004). Acesso em: 07 set. 2020. 31 maio 2021.

TAMASAUSKAS, P. F. L. F. et al. Métodos de avaliação da influência das áreas ripárias na sustentabilidade hidrológica em bacias hidrográficas no nordeste do estado do Pará. **Caderno de Geografia**, v. 26, n. 45, p. 172–186, 2016. DOI: [10.5752/p.2318-2962.2016v26n.45p.172](https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n.45p.172). Acesso em: 24 set. 2020.

TAVARES, M. A Formação territorial do espaço paraense: dos fortes à criação de municípios. **Revista ACTA Geográfica**, p. 59–83, 2008. DOI: [10.5752/p.2318-2962.2016v26n.45p.172](https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26n.45p.172). Acesso em: 24 set. 2020.

TAYRA, F.; RIBEIRO, H. Modelos de Indicadores de Sustentabilidade: síntese e avaliação crítica das principais experiências. **Saúde e Sociedade**, v. 15, n. 1, p. 84–95, 2006. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902006000100009>. Acesso em: 31 ago. 2020.

TEIXEIRA JÚNIOR, W. Avaliação de indicadores de sustentabilidade hídrica de Rondonópolis MT. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 5, p. 105–127, 2016. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/view/500/283>. Acesso em: 07 set. 2020.

TERASSI, P. M. DE B.; GALVANI, E. Identification of homogeneous rainfall regions in the Eastern watersheds of the state of Paraná, Brazil. **Climate**, v. 5, n. 3, 2017. DOI: [10.3390/cli5030053](https://doi.org/10.3390/cli5030053). Acesso em: 14 nov. 2019.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical review**, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948. DOI: [10.1016/0022-3115\(71\)90076-6](https://doi.org/10.1016/0022-3115(71)90076-6). Acesso em: 04 ago. 2019.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. **OECD Observer**, v. 3, p. 101, 1955. DOI: [10.1201/9780203751435-9](https://doi.org/10.1201/9780203751435-9). Acesso em: 14 jun. 2020.

THORSTENSEN, V.; MOTA, C. R.; THOMAZELLA, F. OCDE e a nova demanda da agricultura : Produtividade e Políticas Agrícolas Sustentáveis. **WORKING PAPER 510** – CCGI N° 16. 2019. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10438/28008>. Acesso em: 18 ago. 2020.

TODOROVIC, M.; STEDUTO, P. A GIS for irrigation management. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 28, n. 4–5, p. 163–174, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1474-7065\(03\)00023-8](https://doi.org/10.1016/S1474-7065(03)00023-8). Acesso em: 04 ago. 2019.

TUCCI, C.; CHAGAS, M. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **Revista de Gestão de Água da América Latina - REGA**, v. 14, n. 1, p. 0–0, 2017. DOI: 10.21168/rega.v14e12. Acesso em: 09 ago. 2020.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. 256 p. Ed. 1. 2002. Editora da Universidade/UFRGS, 2002. Acesso em: 27 mar. 2021.

TUNDISI, J. G. **Água no século XXI: enfrentando a escassez**. [s.l.] RiMa/IEE, 2003.

TUNDISI, J. G. Novas perspectivas para a gestão de recursos hídricos. **Revista USP**, v. 0, n. 70, p. 24, 2006. DOI: 10.11606/issn.2316-9036.v0i70p24-35. Acesso em: 22 ago. 2020.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. As múltiplas dimensões da crise hídrica. **Revista USP**, n. 106, p. 21, 2015. DOI: 0.11606/issn.2316-9036.v0i106p21-30. Acesso em: 25 ago. 2020.

ULIANA, E. M. Regionalização de vazões para o médio e alto Rio Teles Pires MT. **Rev. Ciência Agrária**. v. 59, n. 4, p. 333-338, 2016. DOI: 10.4322/rca.2240. Acesso em: 08 set. 2020.

UN, U. N. Right to Food. v. 13441, n. August, 2016. Disponível em: <https://www.unscn.org/uploads/web/news/A-71-282-Nutrition-EN.pdf>. Acesso em: 18 ago. 2020.

UN, U. N. **World Population Prospects the 2008 Revision** v. II. 1000 p. New York, 2009. Disponível em: https://www.un.org/development/desa/pd/sites/www.un.org.development.desa.pd/files/files/documents/2020/Jan/un_2008_world_population_prospects-2008_revision_volume-ii.pdf. Acesso em: 18 ago. 2020.

UNDP, U. N. D. P. **Human Development Report 2005-2006**. 440 p. Published for the United Nations Development Programme (UNDP). 2006. DOI: 10.1177/004908570603600312. Acesso em: 22 ago. 2020.

UNESCO, 2015. Água Para Um Mundo Sustentável. Sumário Executivo. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos**. WWAP. 8 p. 2015. Disponível em: http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf. Acesso em: 13 ago. 2020.

UNFPA, U. N. P. F. Agenda 2030. **UNFPA Brasil**, p. 2–39, 2018. Disponível em: <https://brazil.unfpa.org/pt-br/agenda-2030>. Acesso em: 11 set. 2020.

UNITED NATIONS. **Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies**. 3ª Ed. New York. 2007. DOI: 10.1016/j.cirpj.2010.03.002. Acesso em: 28 ago. 2020.

UNITED NATIONS. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. **a/Res/70/1**, p. 1–49, 2015. Disponível em: http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E. Acesso em: 26 ago. 2020.

VAIDYA, O. S.; KUMAR, S. Analytic hierarchy process: An overview of applications. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 1, p. 1–29, 2006. DOI: 10.1016/j.ejor.2004.04.028. Acesso em: 11 set. 2020.

VALE, C. C. Teoria geral dos sistema: Histórico e correlações com a geografia e com os estudos da paisagem. **Entre-Lugar**. n.6, p. 85-108, 2012. Disponível em: <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/entre-lugar/article/view/2448/1399>. Acesso em: 06 abr. 2021.

VALE, F. A. F. DO et al. Sustentabilidade municipal no contexto de uma política pública de controle do desmatamento no Pará. **Economía Sociedad y Territorio**, n. January 2020, p. 55–87, 2019. DOI: 10.22136/est20201401. Acesso em: 24 set. 2020.

VALE, F. A. DO F.; DE TOLEDO, P. M.; VIEIRA, I. C. G. Análise comparativa de indicadores de sustentabilidade entre os estados da Amazônia Legal. **Sustentabilidade em Debate**, v. 9, n. 1, p. 214–231, 2018. DOI: 10.18472/SustDeb.v9n1.2018.25621. Acesso em: 19 out. 2020.

VALE, J. R. B.; BORDALO, C. A. L. **Análise do uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do rio Apeú, no nordeste paraense, entre os anos de 1999 e 2014**. In: Planejamento, conflitos e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas: experiências e ações. 1ª Ed. 300 p. GAPTA/UFPA: Belém, 2016. Disponível em: <http://gaptaufpa.blogspot.com.br/search/label/Livros>. Acesso em: 23 set. 2020.

VALENTE, M. A. et al. **Solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do município de Castanhal, Estado do Pará**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém: 2001. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/403564/1/Doc119.pdf>.

VALENTE, M. A. et al. **Solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Município de Irituia, Estado do Pará**. 31p. Documento 124. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2001b. Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57196/1/Doc124.pdf>. Acesso em: 10 nov. 2020.

VALENTE, M. A. Solos do Município de Rondon do Pará. **Boletim do Museu Emílio Goeldis. Série Ciências Naturais**, v. 1, n. 2, p. 157–185, 2005. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/157488/1/SEPARATAS-0009.pdf>.

Acesso em: 02 nov. 2020.

VALENTIN, J. L. Agrupamento e ordenação. In: ES-NETO, P. R.; VALENTIM, J. L.; FERNANDEZ, F. A. S. (Ed.). . **Oecologia Brasiliense**. Voume II ed. Rio de Janeiro: p. 27–55. 2000. DOI: DOI:10.4257/oeco.1995.0201.02. Acesso em: 27 mar. 2021.

VERGARA, W. R. H. et al. Management of Industrial Performance Indicators: Regression Analysis and Simulation. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 12, n. 4, p. 183–203, 2017. doi: 10.15675/gepros.v12i3.1668. Acesso em: 07 set. 2020.

VESTENA, L. R. et al. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Ambiente e Agua**, v. 7, n. 3, p. 212–227, 2012. DOI: 10.4136/1980-993X. Acesso em: 08 set. 2020.

VICINI, L. **Análise multivariada da teoria à prática**. 215 p. Santa Maria: UFSM, CCNE, 2005. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/adriano/livro/Caderno%20dedatico%20multivariada%20-%20LIVRO%20FINAL%201.pdf>. Acesso em: 13 nov. 2019.

VIEIRA, A. S. DE A. et al. Resposta Hidrológica As Mudanças Climáticas Em Um Município Da Amazônia. **Revista Geonorte**, v. 9, n. 32, p. 67–79, 2018. DOI: 10.21170/geonorte.2018.v.9.n.32.67.79. Aceso em: 25 nov. 2020.

VIEIRA, I. C. G. et al. Classifying successional forests using Landsat spectral properties and ecological characteristics in eastern Amazônia. **Remote Sensing of Environment**, v. 87, n. 4, p. 470–481, 2003. DOI: 10.1016/j.rse.2002.09.002. Acesso em: 12 set. 2020.

VIEIRA, T. A. et al. Sistemas agroflorestais em áreas de agricultores familiares em Igarapé-Açu, Pará: caracterização florística, implantação e manejo. **Acta Amazonica**, v. 37, n. 4, p. 549–557, 2007. DOI: 10.1590/s0044-59672007000400010. Acesso em: 16 fev. 2021.

VINOD, H. D. Generalization of the durbin-watson statistic for higher order autoregressive processes. **Communications in Statistics**, v. 2, n. 2, p. 115–144, 1 jan. 1973. DOI: 10.1080/03610927308827060. Acesso em: 08 jan. 2020.

VÖRÖSMARTY, C. J. et al. Global threats to human water security and river biodiversity. **Nature**, v. 467, n. 7315, p. 555–561, 2010. DOI: 10.1038/nature09440. Acesso em: 27 ago. 2020.

VOS, W.; HOOGENDOORN, J. C. Multifunctionality of agriculture and landscape: challenges for innovative research., p. 215–223, 2000. Disponível em: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=NL2001002683>. Acesso em: 18 ago. 2020.

WANG, W.; FU, J. Global assessment of predictability of water availability: A bivariate probabilistic Budyko analysis. **Journal of Hydrology**, v. 557, n. February 2018, p. 643–650, 2018. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.12.068. Acesso em: 09 ago. 2020.

WALKER, R. et al. A expansão da agricultura intensiva e pecuária na Amazônia brasileira. **Geophysical Monograph Series 186**. v. 1. n. 186. p. 61-81. DOI: 10.1029/2008GM000735. Acesso em: 08 set. 2020.

WAQUIL, P. et al. Avaliação de desenvolvimento territorial em quatro territórios rurais no Brasil. **Redes. Revista do Desenvolvimento Regional**, v. 15, n. 1, p. 104–127, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.17058/redes.v15i1.48> Acesso em: 05 ago. 2020.

WEINDL, I. et al. Livestock production and the water challenge of future food supply : Implications of agricultural management and dietary choices. **Global Environmental Change**. v. 47, n. March, p. 121–132, 2017. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2017.09.010. Acesso em: 29 ago. 2020.

WINTER, J. M. et al. Representing water scarcity in future agricultural assessments. **Anthropocene**, v. 18, p. 15–26, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2017.05.002>. Acesso em: 29 ago. 2020.

WOLKMER, M. D. F.; PIMMEL, N. F. Política Nacional de Recursos Hídricos: governança da água e cidadania ambiental. **Seqüência: Estudos Jurídicos e Políticos**, v. 34, n. 67, p. 165–198, 2013. Disponível em: 10.5007/2177-7055.2013v34n67p165. Acesso em: 09 ago. 2020

WREGGE, M. S. et al. Similar regions to water availability in Southern Brazil. **RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 38, n. December, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/312228093>. Acesso em: 08 set. 2020.

WSM (WATERSTRATEGYMAN). **Indicators and Indices for decision making in water resources management**. n. 4, p. 1–6, 2004. DOI: <http://environ.chemeng.ntua.gr/WSM/Newsletters/Issue4/Indicators>. Acesso em: 18 jan. 2021.

WWAP, U. N. W. W. A. P. **The United Nations World Water Development Report 2014: Water and Energy**. Paris: UNESCO, 2014. v. 1. DOI: 10.1525/9780520328495. Acesso em: 04 jan. 2021.

WWAP, U. N. W. W. A. P. **The United Nations World Water Development Report 2015: Water for a Sustainable World**. Paris, UNESCO. 2015. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000231823>. Acesso em: 13 ago. 2020.

WWF. **Relatório Planeta Vivo 2006**. p. 45, 2006. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?4420/>. Acesso em: 06 set. 2020.

WWF. **Planeta Vivo Relatório 2018 - Uma ambição maior**. p. 1–19, 2018. Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/especiais/relatorio_planeta_vivo_2018/. Acesso em: 06 set. 2020.

XIA, J. et al. Climate change and water resources: Case study of Eastern Monsoon Region of China. **Advances in Climate Change Research**, v. 8, n. 2, p. 63–67, 2017. DOI: 10.1016/j.accre.2017.03.007. 27 ago. 2020.

XIE, X. L.; BENI, G. A validity measure for fuzzy clustering. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 13, n. 8, p. 841–847, 1991. DOI: 10.1109/34.85677. Acesso em: 16 nov. 2020.

YEHEYIS, M. et al. An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. **Clean Technologies and Environmental Policy**, v. 15, n. 1, p. 81–91, 2013. DOI: 10.1007/s10098-012-0481-6. Acesso em: 06 set. 2020.

ZENG, Z.; LIU, J.; SAVENIJE, H. H. G. A simple approach to assess water scarcity integrating water quantity and quality. **Ecological Indicators**, v. 34, p. 441–449, 2013. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.06.012. Acesso em: 18 jan. 2021.

ZGHIBI, A. et al. Understanding groundwater chemistry using multivariate statistics techniques to the study of contamination in the Korba unconfined aquifer system of Cap-Bon (North-east of Tunisia). **Journal of African Earth Sciences**, v. 89, p. 1–15, 2014. DOI: 10.1016/j.jafrearsci.2013.09.004. 07 set. 2020.

ZHOU, Q. et al. Temporal and spatial distribution characteristics of water resources in Guangdong Province based on a cloud model. **Water Science and Engineering**, v. 8, n. 4, p. 263–272, 2015. DOI: 10.1016/j.wse.2015.09.001. Acesso em: 29 ago. 2020.

ZHU, B.-Q.; WANG, Y.-L.; RIOUAL, P. Statistical study to identify the key factors governing ground water recharge in the watersheds of the arid Central Asia. **Journal of Hydrology**, v. 549, n. 1, p. 92–113, 2017. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2017.03.058. Acesso em: 07 set. 2020.

APÊNDICES

APÊNDICE 1:

Tabela 22 – Estações pluviométricas da ANA, nas sub-regiões hidrográficas da RH-CAN.

FID	Código Estação	LAT X	LONG Y	Município
0	47003	-0,73	-47,85	CURUÇA
1	47004	-0,93	-47,10	PRIMAVERA
2	47005	-0,63	-47,66	MARAPANIM
3	47006	-0,77	-47,18	SÃO JOÃO DE PIRABAS
4	47007	-0,79	-47,60	MAGALHÃES BARATA
5	48006	-0,87	-48,11	VIGIA
6	146005	-1,73	-46,60	WISEU
7	146008	-1,82	-46,34	WISEU
8	146009	-1,23	-46,19	WISEU
9	146010	-1,29	-46,58	AUGUSTO CORRÊA
10	146011	-1,52	-46,91	SANTA LUZIA DO PARÁ
11	146012	-1,80	-46,70	WISEU
12	146013	-1,27	-46,89	BRAGANÇA
13	147002	-1,20	-47,18	CAPANEMA
14	147007	-1,30	-47,94	CASTANHAL
15	147008	-1,68	-47,77	SÃO DOMINGOS DO CAPIM
16	147010	-1,13	-47,63	IGARAPÉ-AÇU
17	147011	-1,66	-47,49	IRITUIA
18	147016	-1,55	-47,12	OURÉM
19	147017	-1,04	-47,91	TERRA ALTA
20	147018	-1,04	-47,57	SANTA MARIA DO PARÁ
21	147019	-1,21	-47,39	NOVA TIMBOTEUA
22	148001	-1,45	-48,50	BELÉM
23	148002	-1,44	-48,44	BELÉM
24	148003	-1,30	-48,17	SANTA ISABEL DO PARÁ
25	148009	-1,96	-48,21	ACARÁ
26	148011	-1,57	-48,77	BARCARENA
27	148012	-1,09	-48,40	BELÉM
28	148017	-1,52	-48,05	BUJARU
29	246002	-2,24	-46,44	CACHOEIRA DO PIRIA
30	247000	-2,51	-47,77	SÃO DOMINGOS DO CAPIM
31	247003	-2,04	-47,75	AURORA DO PARÁ
32	247004	-2,43	-47,52	IPIXUNA PARÁ
33	247005	-2,78	-46,80	PARAGOMINAS
34	247006	-2,95	-47,81	IPIXUNA DO PARÁ
35	247008	-2,34	-47,85	SÃO DOMINGOS DO CAPIM
36	248001	-2,45	-48,58	ACARÁ
37	248003	-2,42	-48,15	TOMÉ-AÇU
38	248005	-2,52	-48,37	TOMÉ-AÇU
39	248006	-2,78	-48,35	TOMÉ-AÇU
40	249002	-2,80	-49,38	MOJU
41	249004	-2,45	-49,44	MOCAJUBA
42	346001	-3,33	-46,87	PARAGOMINAS
43	347000	-3,01	-47,34	PARAGOMINAS
44	347001	-3,74	-47,50	PARAGOMINAS
45	347002	-3,45	-47,47	PARAGOMINAS
46	348001	-3,15	-48,09	SÃO DOMINGOS DO CAPIM
47	348002	-2,95	-48,97	TAILÂNDIA
48	349001	-3,51	-49,22	MOJU
49	447001	-4,29	-47,56	DOM ELISEU
50	447003	-4,12	-47,55	DOM ELISEU

Continua

FID	Código Estação	LAT X	LONG Y	Município
51	448000	-4,80	-48,07	SAO DOMINGOS DO CAPIM
52	449001	-4,46	-49,12	JACUNDÁ
53	449002	-4,24	-49,95	JACUNDÁ
54	449003	-4,92	-49,07	JACUNDÁ

Fonte: HidroWeb.

APÊNDICE 2:

Tabela 23 – Características das estações TRMM.

ID	Estação TRMM	Lat X	Long Y	Altitude	Município
0	9732 (9008694)	-2,25	-48,75	37	Acara
1	10231 (9011110)	-1	-46,5	0	Augusto Correa
2	9737 (9008699)	-2,25	-47,5	65	Aurora do Pará
3	10038 (9011132)	-1,5	-46,75	56	Bragança
4	9631 (9005348)	-2,5	-47,25	98	Capitão Poço
5	9938 (9009325)	-1,75	-47,25	38	Capitão Poço
6	10228 (9010444)	-1	-47,25	2	Capanema
7	10319 (9006026)	-0,75	-48	9	Curuçá
8	8640 (9012695)	-4,5	-47,75	326	Dom Eliseu
9	8770 (9003525)	-4,25	-48	296	Dom Eliseu
10	8771 (9003526)	-4,25	-47,75	277	Dom Eliseu
11	8772 (9003527)	-4,25	-47,5	197	Dom Eliseu
12	8897 (9005605)	-4	-48,25	90	Dom Eliseu
13	8898 (9005606)	-4	-48	72	Dom Eliseu
14	8899 (9012426)	-4	-47,75	45	Dom Eliseu
15	9738 (9008700)	-2,25	-47,25	57	Garrafão do Norte
16	9397 (9002395)	-3	-48	47	Ipixuna do Pará
17	9517 (9003867)	-2,75	-48	85	Ipixuna do Pará
18	9519 (9003869)	-2,75	-47,5	88	Ipixuna do Pará
19	9630 (9005347)	-2,2	-47,5	57	Ipixuna do Pará
20	8634 (9003179)	-4,5	-49,25	70	Jacundá
21	9833 (9009008)	-2	-48,75	3	Moju
22	9739 (9008701)	-2,25	-47,5	38	Nova Esperança do Piriá
23	10036 (9009828)	-1,5	-47,25	55	Ourém
24	9023 (9005941)	-3,75	-48,25	157	Paragominas
25	9149 (9001727)	-3,5	-48,25	108	Paragominas
26	9151 (9001729)	-3,5	-47,75	83	Paragominas
27	9153 (9001731)	-3,5	-47,25	94	Paragominas
28	9276 (9002066)	-3,25	-47,5	116	Paragominas
29	9274 (9002064)	-3,25	-48	87	Paragominas
30	9150 (9001728)	-3,5	-48	84	Paragominas
31	9275 (9002065)	-3,25	-47,75	66	Paragominas
32	9277 (9002067)	-3,25	-47,25	207	Paragominas
33	9278 (9011674)	-3,25	-47	65	Paragominas
34	9398 (9002396)	-3	-47,75	20	Paragominas
35	9399 (9004980)	-3	-47,5	42	Paragominas
36	9400 (9004981)	-3	-47,25	63	Paragominas
37	9401 (9004982)	-3	-47	40	Paragominas
38	9402 (9011346)	-3	-46,75	62	Paragominas
39	9518 (9003868)	-2,75	-47,75	85	Paragominas
40	9520 (9003870)	-2,75	-47,25	119	Paragominas
41	9521 (9003871)	-2,75	-47	111	Paragominas
42	9522 (9003872)	-2,75	-46,75	63	Paragominas
43	9632 (9005349)	-2,5	-47	63	Paragominas
44	9633 (9005350)	-2,5	-46,75	76	Paragominas
45	9518 (9003868)	-2,75	-47,75	85	Paragominas
46	8639 (9003183)	-4,5	-48	228	Rondon do Pará
47	8769 (9003524)	-4,25	-48,25	252	Rondon do Pará
48	10130 (9010135)	-1,25	-47,75	40	São Francisco do Pará
49	9628 (9005345)	-2,5	-48	122	Tomé-Açu
50	8900 (9005607)	-4	-47,5	126	Ulianópolis
51	9024 (9005942)	-3,75	-48	126	Ulianópolis
52	9025 (9011927)	-3,75	-47,75	222	Ulianópolis
53	9026 (9005943)	-3,75	-47,5	122	Ulianópolis
54	9027 (9005944)	-3,75	-47,25	103	Ulianópolis
55	9152 (9001730)	-3,5	-47,5	194	Ulianópolis

Fonte: Agritempo – Embrapa (2019).

APÊNDICE 3:

Tabela 24 – Dados das estações fluviométricas avaliadas no estudo.

ID	Cód. Estação	Nome da Estação	Município	Área de Drenagem (km ²)	Rio Principal	Coord. Decimal. lat	Coord. Decimal. long
0	32540000	Fazenda Rural Zebu	Paragominas	16300	Gurupi	-3,3197	-46,8456
1	31700000	Badajós	Ipixuna do Pará	32200	Capim	-2,5128	-47,7681
2	31600000	Marambaia	Ipixuna do Pará	32,7	Ig. da Prata	-1,6522	-47,1167
3	31680000	Fazenda Maringá	Tomé-Açu	25900	Capim	-3,1372	-48,0847
4	32350000	Nova Mocajuba	Bragança	1130	Caeté	-1,2728	-46,8894
5	32400000	Sete Ilhas	Viseu	1800	Piriá	-1,8581	-46,7089
6	32550000	Cafezal	Paragominas	4690	Uraim	-2,7717	-46,8028
7	31520000	Bom Jardim	Ourém	5220	Guamá	-1,5406	-47,0656
8	32620000	Alto Bonito	Viseu	32900	Gurupi	-1,8006	-46,3161

Fonte: HidroWeb (2018).

APÊNDICE 4:

Tabela 25 – Testes de validação do número de grupos usando escores fatoriais.

Grupo	Davies Bouldin	Dunn	Silhouette	PBM	Xie Beni
Ano 2005					
2	0,7869	0,2226	0,4574	292,7085	1,1396
3	1,0635	0,0975	0,2770	169,0691	5,3733
4	2,1965	0,0975	0,1608	114,4964	5,0586
5	2,0586	0,0975	0,1302	77,3071	4,8094
6	1,4708	0,1422	0,1365	122,8975	3,4691
7	1,3919	0,0860	0,1457	120,0061	8,4473
8	1,3175	0,0881	NaN	148,6414	7,7595
9	1,2230	0,0930	NaN	130,0499	6,9544
10	1,0861	0,1071	NaN	123,6531	5,7498
Ano 2010					
2	0,7606448	0,195395	0,458757	351,3589	1,541531
3	1,251407	0,108996	0,252058	191,165	4,59354
4	1,361856	0,151474	0,197851	208,0108	3,494698
5	1,499481	0,136489	0,16534	151,8193	3,989806
6	1,400834	0,143956	NaN	172,4643	3,759411
7	1,323061	0,145324	NaN	136,3006	3,538847
8	1,248646	0,154642	NaN	112,9629	3,301166
9	1,167968	0,157827	NaN	97,15473	3,05832
10	1,07015	0,157827	NaN	85,94283	2,818962
Ano 2015					
2	1,0477	0,1879	0,3306	140,3025	2,0784
3	1,6315	0,1251	0,1506	79,5545	4,3742
4	1,6485	0,1251	0,1753	64,2088	3,9012
5	1,5216	0,1385	0,1946	99,4818	2,8487
6	1,3988	0,1511	0,1718	85,5066	2,5102
7	1,5813	0,1511	0,1061	78,7878	2,3370
8	1,4619	0,1511	NaN	79,58948	2,2262
9	1,3273	0,1511	NaN	72,48108	2,0967
10	1,1220	0,1511	NaN	64,4277	2,0021

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Legenda:

- Número de grupos selecionado
- Valores dos testes

APÊNDICE 5:

Tabela 26 – Testes de validação do número de grupos usando o IASH_{Munic.}

Grupo	Davies Bouldin	Dunn	Silhouette	PBM	Xie Beni
Ano 2005					
2	0.8879	0.0465	0.4899	0.6153	17.1357
3	0.8628	0.0226	0.3808	0.4687	64.2981
4	0.6908	0.0226	0.3939	1.4597	38.4085
5	0.4937	0.0388	NaN	5.8570	15.0776
6	0.5590	0.0388	NaN	5.4308	10.7871
7	0.4757	0.0677	NaN	5.3960	5.9555
8	0.5023	0.0299	NaN	5.5950	26.7134
9	0.3914	0.0440	NaN	6.5189	15.3363
10	0.4032	0.0440	NaN	7.2957	12.3044
Ano 2010					
2	0.7442	0.0555	0.5273	0.9732	10.1815
3	0.8359	0.0726	0.3973	1.3504	5.7764
4	0.7589	0.0430	0.3841	1.2150	15.0727
5	0.6830	0.0430	0.4221	2.5017	9.0070
6	0.4160	0.1091	NaN	5.3118	3.5060
7	0.4482	0.0361	NaN	5.8791	26.4857
8	0.4717	0.0430	NaN	6.7329	15.0668
9	0.4266	0.0430	NaN	7.4151	12.4003
10	0.3481	0.0599	NaN	8.4521	7.8974
Ano 2015					
2	1.2029	0.0180	0.3602	0.2063	76.0032
3	0.7014	0.0286	NaN	5.3471	28.2893
4	0.6956	0.0246	NaN	5.1990	32.3962
5	0.6018	0.0403	NaN	5.7997	15.0395
6	0.4024	0.0528	NaN	6.5434	8.4024
7	0.3185	0.1006	NaN	7.2596	3.9924
8	0.3256	0.0491	NaN	8.6712	13.8991
9	0.3454	0.0491	NaN	11.0802	9.1238
10	0.3847	0.0857	NaN	11.4795	5.3319

Fonte: Elaborada pela autora (2019).

Legenda:

- Número de grupos selecionado
- Valores dos testes

APÊNDICE 6:

Tabela 27 – Vazões de captação dos mananciais utilizados no abastecimento de água nos municípios

Municípios RH-CAN	Abastecimento de Água para Consumo Humano			Manancial	Q _{95%} (l/s)	Q _{outorgada} (m ³ /dia)
	Sistema Isolado	Sistema Misto	Poços e Superficial (l/s)			
	Subterrâneo - Poços (l/s)	Superficial (l/s)		Superficial		
Acará	111,8					
Ananindeua			Qsub. = 703,14 Qsup. = ND	Rio Guamá	278.700	
Augusto Corrêa	11					
Aurora do Pará	19,44					
Barcarena	180					
Belém			Qsub. = 1.813,06 Qsup. = ND	Rio Guamá	278.700	591,17 591,17
Benevides	310,72					
Bonito	25,91					
Bragança		111		Igarapé Chumucuí	1.0329,50	
Bujaru	75,2					
Cachoeira do Piriá	15,58					
Capanema	40					
Capitão poço	99					
Castanhal	390					
Colares	11,7					
Concordia do Pará	9,3					
Curuçá	57,5					
Dom Eliseu			Qsub. = 19,5 l/s Qsup. = ND	Igarapé Água Suja	651.298,17	
Garrafão do Norte	16,53					
Goianésia do Pará	8,9					
Igarapé-Açu	110,6					
Inhangapi	13					
Ipixuna do Pará	46,47					
Irituia	56,67					
Jacundá		42,2		Rio Arraia conj de 4 poços não definido	860,34	
Mãe do Rio	13,13					
Magalhães Barata	17					
Maracanã	83,7					
Marapanim	23					
Marituba			Qsub. = 135 l/s Qsup. = ND	Rio Guamá		
Mocajuba		27,8		Rio Tocantins	8.9022,49	
Moju	39					
Nova esperança do Piriá				sem sistema de abastecimento de água		
Nova Timboteua	40					
Ourém	17					
Paragominas			Qsub. = 188 l/s Qsup.= 180 l/s	Rio Uraim	6.151,60	
Peixe-boi	22					falta Q de um poço
Primavera	30,03					
Quatipuru	14,83					
Rondon do Pará	187,48					
Salinópolis	247					
Santa Bárbara do Pará	93,59					
Santa Izabel do Pará	137,56					
Santa Luzia do Pará	14					
Santa Maria do Pará	64,8					
Santarém Novo	4					
Santo Antônio do Tauá	70,8					
São Caetano de Odivelas	22					
São Domingos do Capim	7,5					falta Q de 2 poços
São Francisco do Pará	22					
São João da Ponta	4,72					
São João de Pirabas	34,67					

Continua

Municípios RH-CAN	Abastecimento de Água para Consumo Humano			Manancial	Q _{95%} (l/s)	Q _{outorgada} (m ³ /dia)
	Sistema Isolado	Sistema Misto				
	Subterrâneo - Poços (l/s)	Superficial (l/s)	Poços e Superficial (l/s)	Superficial		
São Miguel do Guamá	32,58					falta Q de 2 poços
Tailândia	31					
Terra alta	34,62					
Tomé-açu	206,79					
Tracuateua	17					
Ulianópolis	63,89					
Vigia	108,6					
Viseu		25		Igarapé Limondeua	46,4	

Fonte: ANA – Atlas Brasil (2015).