



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CÂMPUS PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE

VIRGÍLIO LOURENÇO DA SILVA NETO

**RECURSOS HÍDRICOS NO TOCANTINS: ÍNDICE DE POBREZA
HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS TOCANTINENSES E PRESSÃO DO
AGRONEGÓCIO**

Palmas/TO
2023

VIRGÍLIO LOURENÇO DA SILVA NETO

**Recursos Hídricos no Tocantins: Índice de Pobreza Hídrica dos municípios
tocantinenses e pressão do agronegócio**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Lucas Barbosa e Sousa
Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Ribeiro Viola

Palmas/TO
2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S586r Silva Neto, Virgílio Lourenço da.

Recursos Hídricos no Tocantins: Índice de Pobreza Hídrica dos municípios tocaninenses e pressão do agronegócio. / Virgílio Lourenço da Silva Neto. – Palmas, TO, 2023.

160 f.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Doutorado) em Ciências do Ambiente, 2023.

Orientador: Lucas Barbosa e Souza

Coorientador: Marcelo Ribeiro Viola

1. Geoestatística. 2. Regionalização de vazões. 3. IPH. 4. Produção de commodities. I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

FOLHA DE APROVAÇÃO

VIRGÍLIO LOURENÇO DA SILVA NETO

Recursos Hídricos no Tocantins: Índice de Pobreza Hídrica dos municípios tocantinenses e pressão do agronegócio

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências do Ambiente da Universidade Federal do Tocantins. Foi avaliada para obtenção do título de Doutor em Ciências do Ambiente e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 13/03/2023

Banca Examinadora

Prof. Dr. Lucas Barbosa e Souza – UFT

Prof. Dr. Héber Rogério Grácio – UFT

Prof. Dr. Fernando de Moraes – UFT

Prof. Dr. Marco Antonio Vieira Moraes – IFMT

Prof. Dr. Edson Batista da Silva – UEG

Palmas, 2023

*Dedico este trabalho aos meus filhos Júlia e
Álvaro, minha esposa Suza e aos meus pais
Heloísa e Rivaldo.*

*Os rios não bebem sua própria água; as
árvores não comem seus próprios frutos. O sol
não brilha para si mesmo; e as flores não
espalham sua fragrância para si. Viver para
os outros é uma regra da natureza. A vida é
boa quando você está feliz; mas a vida é muito
melhor quando os outros estão felizes por sua
causa.*

(Papa Francisco)

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por todas as dádivas concedidas ao longo desta jornada, saúde, família, proteção e oportunidade de evoluir moral e intelectualmente.

Agradeço à minha esposa pelo apoio nas horas em que as dificuldades surgiram, incentivando-me a realizar meus sonhos. Ao meu pai que tanto lutou para que eu pudesse ter acesso aos conhecimentos que me trouxeram até aqui e à minha mãe que sacrificou seu tempo, seus sonhos e seus objetivos para estar ao meu lado com o amor que me impulsionou a lutar.

Ao meu orientador, Prof. Lucas Barbosa e Souza pelas contribuições, direcionamento, humildade e confiança depositada, mas principalmente pelo incentivo ao longo deste estudo. Também deixo aqui meu agradecimento ao prof. Marcelo Viola.

Agradecimento especial ao amigo Prof. Marco Antônio Vieira Morais, cuja parcela significativa de tempo dedicado através de sua colaboração e ensinamentos permitiram o desenvolvimento deste estudo e, sem o qual, certamente, o caminho seria mais difícil.

Aos professores que integraram a banca e acompanharam todas as etapas da construção deste estudo, desde a defesa do projeto, qualificação e versão final da tese, cujos apontamentos foram significativos para o enriquecimento deste trabalho: Fernando de Moraes, Héber Grácio, Edson Batista da Silva e Marco Antônio Vieira Morais.

Agradecimento especial aos professores do PPG-CIAMB/UFT tanto pelo saber compartilhado durante o curso quanto pela compreensão com nossas dificuldades para estarmos nesta empreita desafiadora. Ao Prof. José Ramiro Lamadrid Marón (*in memoriam*) que nos deixou durante o ciclo deste doutorado e por dedicar a vida ao conhecimento. Aos colegas da turma de 2019 pelo companheirismo, apoio, troca de saberes e contribuições no campo acadêmico e pessoal.

Por fim, agradeço a todos que contribuíram com a realização desta tese, especialmente, agradeço ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins pelo apoio por meio do Edital N° 33/2019/REI/IFTO, de 29 de abril de 2019 e concessão de bolsa através Programa Pro-Qualificar, Edital N° 17/REI/IFTO, de 12 de março de 2020.

RESUMO

Este estudo teve como objetivos identificar a variabilidade espacial e temporal bem como as tendências da precipitação pluvial no estado do Tocantins por meio de técnicas geoestatísticas; estimar a disponibilidade hídrica para o estado do Tocantins, por meio de postos pluviométricos e fluviométricos, para distribuição espacial da disponibilidade hídrica superficial por meio do rendimento específico; determinar o índice de pobreza hídrica dos municípios tocantinenses e analisar a pressão exercida pelo agronegócio sobre os recursos hídricos do estado. Foram realizados testes de tendência Mann–Kendall para avaliar as informações pluviométricas coletadas, sendo posteriormente realizada a análise geoestatística com base no ajuste do modelo de semivariograma teórico, a partir da obtenção dos valores para os parâmetros estruturais como o efeito pepita, a contribuição e o alcance, considerando os modelos esférico, exponencial e gaussiano, aplicando-se o método de ajuste dos mínimos quadrados ponderados. Para a regionalização das vazões, foi adotado o método *index-flood*, na sequência: I. Análise Regional de Consistência de Dados; II. Organização e adimensionalização das séries; III. Definição das curvas empíricas de frequência de cada estação hidrometeorológica; IV. Definição das regiões homogêneas e das curvas de frequência regional. Para a determinação do índice de pobreza hídrica, o roteiro seguido foi o enquadramento dos municípios por faixa de precipitação no período seco e chuvoso; determinação da produção hídrica do município, considerando a bacia em que está inserido, no período seco e chuvoso; adequação das classes do componente ambiente, com base na porcentagem de cobertura vegetal nativa; normalização dos dados devido à natureza diversa a que cada um pertence e atribuição de pesos para os valores obtidos de cada componente do índice de pobreza hídrica. Na última etapa, foi realizado o levantamento das informações e referenciais relacionados ao agronegócio tocantinense com o objetivo de apresentar a evolução das atividades agropecuárias no Estado do Tocantins, destacando a expansão dos principais cultivos agrícolas e da pecuária bovina, em diálogo com os resultados sobre a distribuição temporal e espacial das chuvas, a regionalização das vazões e o IPH (Índice de Pobreza Hídrica) no território estadual. As informações relacionadas ao agronegócio tocantinense foram obtidas através de um levantamento junto ao GeoPortal da Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins, ao IBGE, além de um levantamento bibliográfico que trata especificamente sobre o agronegócio nesse estado. Na distribuição das chuvas, o modelo exponencial apresentou o melhor desempenho na maior parte das situações analisadas, constatando-se a adequabilidade das técnicas geoestatísticas na interpolação da precipitação mensal para o estado do Tocantins. Quanto as vazões, a análise de tendência para definição à sentimento das regiões homogêneas das vazões adimensionalizadas foi considerada eficiente para as sub-bacias compreendidas pelo território tocantinense. As funções regionais ajustadas foram adequadas para utilização respeitando os limites de aplicação (áreas de drenagem) e observando as ressalvas quanto ao comportamento das curvas. A maior parte dos municípios tocantinenses apresentou índice de pobreza hídrica classificado como bom, fato observado considerando a média dos municípios para determinar este indicador para o Tocantins, o que não pode ser interpretado como abundância dos recursos hídricos. É evidente a grande variação das informações relacionadas ao agronegócio nos 139 municípios do Tocantins, o que também acompanha as disparidades apresentadas na distribuição das precipitações, com os menores valores anuais na porção sudeste; da regionalização das vazões, que revela maior preocupação com a região sul; e com o IPH, que apresenta maior concentração de municípios em situação crítica no norte do Tocantins. Os resultados indicam, pois, situações prioritárias, onde convergem maior pressão do agronegócio sobre o uso da água e maiores vulnerabilidades relacionadas aos recursos hídricos.

Somando a área destinada ao agronegócio, considerando arroz, cana-de-açúcar, milho, soja e pecuária bovina, 24 municípios apresentaram valor superior a 100 mil ha. Nessa relação, em Porto Nacional este indicador é classificado como “muito bom”, Dois Irmãos e Bandeirantes do Tocantins apresentam este indicador classificados como “pobre”. Com base nesta área somada, Araguaçu, Peixe e Formoso do Araguaia são os que obtiveram maior extensão, acima de 200 mil ha. Estes municípios se enquadram na classificação deste indicador como “bom”.

Palavras-chaves: Chuva-vazão. Geoestatística. Água virtual. Pegada hídrica.

ABSTRACT

This study aimed to identify spatial and temporal variability as well as trends in rainfall in the state of Tocantins through geostatistical techniques; estimate the water availability for the state of Tocantins, through pluviometric and fluviometric stations, for spatial distribution of surface water availability through specific yield; determine the water poverty index of Tocantins municipalities and analyze the pressure exerted by agribusiness on the state's water resources. Mann–Kendall trend tests were carried out to evaluate the collected rainfall information, and later the geostatistical analysis was carried out based on the adjustment of the theoretical semivariogram model, from the obtainment of values for the structural parameters such as the nugget effect, the contribution and the range, considering the spherical, exponential and Gaussian models, applying the weighted least squares adjustment method. For the regionalization of flows, the index-flood method was adopted, in the sequence: I. Regional Analysis of Data Consistency; II. Organization and dimensionless series; III. Definition of empirical frequency curves for each hydrometeorological station; IV. Definition of homogeneous regions and regional frequency curves. To determine the water poverty index, the script followed was the classification of municipalities by precipitation range in the dry and rainy season; determination of the municipality's water production, considering the basin in which it is inserted, in the dry and rainy season; adequacy of the environmental component classes, based on the percentage of native vegetation cover; normalization of data due to the diverse nature to which each one belongs and assignment of weights to the values obtained from each component of the water poverty index. In the last stage, a survey of information and references related to Tocantins agribusiness was carried out with the objective of presenting the evolution of agricultural activities in the State of Tocantins, highlighting the expansion of the main agricultural crops and cattle raising, in dialogue with the results on the temporal and spatial distribution of rainfall, the regionalization of flows and the HPI (Water Poverty Index) in the state territory. Information related to agribusiness in Tocantins was obtained through a survey with the GeoPortal of the Secretariat for Planning and Budget of the State of Tocantins, IBGE, in addition to a bibliographical survey that deals specifically with agribusiness in that state. In the distribution of rainfall, the exponential model presented the best performance in most of the analyzed situations, verifying the suitability of the geostatistical techniques in the interpolation of the monthly precipitation for the state of Tocantins. As for the flows, the trend analysis for defining the feeling of the homogeneous regions of the dimensionless flows was considered efficient for the sub-basins comprised by the territory of Tocantins. The adjusted regional functions were suitable for use respecting the application limits (drainage areas) and observing the caveats regarding the behavior of the curves. Most of the municipalities in Tocantins presented a water poverty index classified as good, a fact observed considering the average of the municipalities to determine this indicator for Tocantins, which cannot be interpreted as an abundance of water resources. The great variation of information related to agribusiness in the 139 municipalities of Tocantins is evident, which also follows the disparities presented in the distribution of rainfall, with the lowest annual values in the southeast portion; the regionalization of flows, which reveals greater concern with the southern region; and with the IPH, which has a higher concentration of municipalities in a critical situation in the north of Tocantins. The results therefore indicate priority situations, where greater pressure from agribusiness on the use of water and greater vulnerabilities related to water resources converge. Adding up the area destined for agribusiness, considering rice, sugar cane, corn, soy and cattle raising, 24 municipalities had a value greater than 100 thousand ha. In this relation, in Porto Nacional this indicator is classified as “very good”, Dois Irmãos and Bandeirantes do Tocantins present this indicator classified as “poor”. Based on this combined area, Araguaçu, Peixe and

Formoso do Araguaia are the ones with the greatest extension, over 200,000 ha. These municipalities fit the classification of this indicator as “good”.

Key-words: Rain-flow. Geostatistics. Virtual water. Water footprint.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Estrutura da tese.	25
Figura 2 – Demanda hídrica do estado do Tocantins por tipo de uso (%)	36
Figura 3 – Distribuição espacial no Tocantins da produção de (A) milho, (B) Cana-de-açúcar, (C) Soja e (D) Arroz	44
Figura 4 - Total das vendas de agrotóxicos e afins no Brasil entre 2009 e 2020	49
Figura 5 – Exemplo de semivariograma experimental.	56
Figura 6 – Modelo digital de elevação para o estado do Tocantins contendo 95 estações pluviométricas utilizadas por Silva Neto et al. (2020) em procedimentos geoestatísticos	57
Figura 7 – Localização das estações pluviométricas utilizadas no mapeamento da precipitação pluvial e Modelo Digital de Elevação para o estado do Tocantins	64
Figura 8 – Gráficos <i>box plot</i> e de tendência obtidos para a precipitação anual acumulada.	68
Figura 9 – Estações que apresentaram tendência no teste de Mann-Kendall ($\alpha = 0,05$).....	70
Figura 10 – Modelos de semivariograma cruzado ajustados ao semivariograma experimental	73
Figura 11 – Distribuição espacial da precipitação em mm para o estado do Tocantins para os períodos chuvoso e seco, respectivamente	73
Figura 12 – Distribuição espacial da precipitação anual e semivariograma teórico ajustado aos modelos esféricos, exponencial e gaussiano	74
Figura 13 – Semivariogramas teóricos ajustados para o mapeamento da precipitação mensal no Tocantins.	78
Figura 14 – Distribuição espacial da precipitação mensal em mm no estado do Tocantins	79
Figura 15 – Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo e modelo digital de elevação da Bacia do Tocantins-Araguaia.....	84
Figura 16 – Método <i>index-flood</i> aplicado às séries de vazão média para os períodos seco (A) e chuvoso (B).	88
Figura 17 – Método de <i>index-flood</i> aplicado às séries de vazão média para os períodos seco (I) e chuvoso (II).....	89
Figura 18 – Regionalização das vazões para o Estado do Tocantins no período seco (A) e chuvoso (B).	92
Figura 19 – Rendimento específico para o período seco por região no Estado do Tocantins em $L s^{-1} km^{-2}$	94

Figura 20 – Rendimento específico para o período chuvoso por região no Estado do Tocantins em $L s^{-1} km^{-2}$	97
Figura 21 - Índice de Pobreza Hídrica (IPH) dos municípios tocantinenses.....	111
Figura 22 - Polígono do IPH para os municípios com melhores e piores condições, respectivamente	113
Figura 23 - Situação dos municípios tocantinenses para cada componente: Recurso (R), Acesso (A), Capacidade (C), Uso (U) e Meio Ambiente (MA)	115
Figura 24 - Evolução da área de cultivo (em ha) das principais <i>commodities</i> de origem agrícola no Estado do Tocantins entre 1989 a 2018.....	131
Figura 25 - Evolução da pecuária bovina (número de cabeças) no Estado do Tocantins entre 1989 e 2018	133

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Base de dados utilizado neste estudo.....	29
Quadro 2 – Principais projetos de irrigação no estado do Tocantins	45
Quadro 3 – Componentes do Índice de Pobreza Hídrica (IPH) para os municípios tocan- tinentes	103

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área dos estabelecimentos agropecuários (ha) no estado do Tocantins de acordo com utilização das terras	46
Tabela 2 – Relação das estações pluviométricas utilizadas no presente estudo	65
Tabela 3 – Análise de tendência pelo Teste de Mann–Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,05$	69
Tabela 4 – Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance km (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (Bias %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os períodos seco, chuvoso e anual .	71
Tabela 5 – Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (Bias %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os meses de janeiro a dezembro	75
Tabela 6 – Características dos postos fluviométricos utilizados neste estudo.	85
Tabela 7 – Modelos matemáticos de regionalização da vazão Q_{90} na Bacia do Tocantins-Araguaia em função da área de drenagem (w).	89
Tabela 8 – Análise de Tendência dos dados das estações fluviométricas pelo Teste de Mann–Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,01$ e definição das regiões homogêneas no período seco e no período chuvoso.	91
Tabela 9 – Sistema Hidrográfico do Tocantins com as sub-bacias que integram as bacias do Rio Araguaia e do Rio Tocantins	93
Tabela 10 - Adequação das classes para o atributo Precipitação	105
Tabela 11 - Pontuação da categoria Meio Ambiente, com base nas faixas de cobertura vegetal nativa	107
Tabela 12 - Classificação do Índice de Pobreza Hídrica (IPH).....	108
Tabela 13 - Valores dos componentes individuais recurso (R), acesso (A), capacidade (C), uso (U), meio ambiente (MA) e Índice de Pobreza Hídrica (IPH) e posição segundo o IPH para os municípios tocantinenses.....	108
Tabela 14 - Área de cultivo das <i>commodities</i> (em ha) no ano de 2018 e o efetivo de rebanho bovino (em nº de cabeças) para os municípios do Tocantins	126
Tabela 15 - Produção de <i>commodities</i> (%) no Tocantins em relação ao total nacional nos anos de 1998, 2008 e 2021.....	130

Tabela 16 - Pegada Hídrica Total das culturas de soja e milho produzidas na região Oeste do Estado da Bahia	132
Tabela 17 - Produtividade (P), Demanda de água por tonelada (D) e pegada hídrica total (PHT) por hectare para os cultivos de arroz, cana-de-açúcar, milho e soja referentes ao ano agrícola de 2021/2022	132
Tabela 18 - Relação entre Consumo de carne, Pegada Hídrica da Carne por país e Pegada Hídrica por país	134

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
APP	Área de Preservação Permanente
ASF DAAC	Alaska Satellite Facility DAAC
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
BIAS	Viés estatístico
CEPEA	Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CSR/UFMG	Centro de Sensoriamento Remoto/Universidade Federal de Minas Gerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EMPA	Erro Médio Percentual Absoluto
FNS	Ferrovia Norte-Sul
GDE	Grau de Dependência Espacial
IAC	Índice de Anomalia de Chuvas
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPH	Índice de Pobreza Hídrica
LAGESA/UFMG	Laboratório de Gestão de Serviços Ambientais da Universidade Federal de Minas Gerais
LAPIG/UFG	Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás
LICON	Linhas de Instabilidade Continental
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
MDE	Modelo Digital de Elevação
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
PAT	Perfil do Agronegócio Tocantinense
PIB	Produto Interno Bruto
PPG-CIAMB	Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente
PRODECER	Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados
Q _{7,10}	Vazão mínima de sete dias consecutivos associada a uma recorrência de 10 anos
Q ₉₀	Vazão igualada ou superada durante 90% do tempo no curso d'água

Q ₉₅	Vazão igualada ou superada durante 95% do tempo no curso d'água
Q _{mt}	Vazão média de longo termo
RE	Rendimento Específico
SEPLAN	Secretaria de Planejamento e Orçamento
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
TIN	Triangulated Irregular Network
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UC	Unidades de Conservação
VCAN	Vórtice Ciclônico de Altos Níveis
WMO	World Meteorological Organization
ZCAS	Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	21
1.1.	Justificativa.....	22
1.2.	Estrutura da Tese	23
2.	OBJETIVOS	26
2.1.	Objetivo Geral	26
2.2.	Objetivos Específicos	26
3.	METODOLOGIA.....	27
3.1.	Metodologia da Pesquisa	27
3.2.	Caracterização da área de estudo.....	28
3.3.	Base de Dados	29
3.4.	Modelo Digital de Elevação (MDE).....	30
4.	CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	32
4.2.	Disponibilidade hídrica	32
4.2.	Outorga para captação e disponibilidade natural das águas superficiais.....	38
4.3.	O agronegócio no Tocantins e a pressão ambiental	40
4.4.	Injustiças ambientais e vulnerabilidade.....	50
4.5.	Geoestatística.....	54
4.6.	Regionalização de vazões.....	57
4.7.	Índice de Pobreza Hídrica (IPH)	59
5.	CAPÍTULO 2: VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO TOCANTINS	62
5.1.	Introdução.....	62
5.2.	Procedimentos metodológicos.....	64
5.3.	Resultados e Discussão.....	68
5.4.	Conclusão	81
6.	CAPÍTULO 3: PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES PARA O ESTADO DO TOCANTINS	82
6.1.	Introdução.....	82
6.2.	Procedimentos metodológicos.....	84
6.3.	Resultados e Discussão.....	88
6.4.	Conclusão	99

7. CAPÍTULO 4: ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS NO ESTADO DO TOCANTINS	100
7.1. Introdução.....	100
7.2. Procedimentos metodológicos.....	102
7.3. Resultados e Discussão.....	108
7.4. Conclusão	119
8. CAPÍTULO 5: A PRESSÃO DO AGRONEGÓCIO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO TOCANTINS FRENTE A REALIDADE DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS	121
8.1. Introdução.....	121
8.2. Procedimentos Metodológicos	124
8.3. Resultados e Discussão.....	125
8.4. Conclusão	136
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS	137
9.1. Contribuições da tese.....	138
9.2. Trabalhos futuros.....	139
REFERÊNCIAS.....	141
ANEXO A - BACIAS E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS E O SISTEMA A QUE PERTENCEM, CONFORME A SEPLAN (2012).....	155

1. INTRODUÇÃO

Essencial à toda e qualquer atividade humana, a água não é somente a base para a existência de qualquer espécie como um elemento cada vez mais valioso para as atividades antrópicas, seja pelo crescimento populacional ou pela demanda econômica, fatores que estão relacionados de forma intrínseca.

Campos Filho (2010) afirma que no mercado internacional intensifica-se o interesse pela produção de *commodities* e, logo, o sistema de grandes latifúndios que caracteriza a produção agrícola no Cerrado passa a atender a esses investimentos, acelerando o seu processo de ocupação e ao mesmo tempo acentuando a sua devastação. Neste sentido, a água figura como um elemento indispensável a essa necessidade de intensificação da produção agrícola e até mesmo da pecuária, servindo não somente à dessedentação dos animais, mas também como “matéria-prima” indispensável nas indústrias agroalimentares.

O Cerrado desempenha papel de destaque no que se refere aos recursos hídricos, fornecendo água para bacias que possuem suas nascentes nesse Domínio, como as bacias do Paraná, do São Francisco e do Tocantins-Araguaia, reforçando o caráter estratégico da região para o desenvolvimento do país (LIMA, 2011). Desempenha papel importante no processo de distribuição dos recursos hídricos pelo país e caracteriza-se como local de origem de grandes regiões hidrográficas brasileiras.

Pinto (2017) afirma que a humanidade contribui em ritmo acelerado para a escassez e/ou inutilização dos recursos hídricos, e que a crescente demanda por água potável tem impactos sociais, políticos e econômicos, causando conflitos entre nações, cidades e comunidades rurais, grupos étnicos, nações industrializadas e não industrializadas, corporações e cidadãos, além de grupos de classes sociais distintas. Portanto, é essencial a ampla reflexão, pautada em debates, sobre como promover políticas públicas e sociais que contribuam para maior responsabilidade na gestão do uso das águas.

Analisando a ocorrência de variabilidades e tendências em séries temporais de dados hidroclimáticos medidos em locais distribuídos ao longo dos rios Tocantins, Araguaia e seus afluentes, Penereiro et al. (2016) afirmam que a distribuição das tendências relacionadas à vazão média configura-se de forma negativa ao longo do Rio Tocantins, com exceção da localidade de Marabá (estado do Pará). Já em seus estudos sobre tendências sazonais e regimes climáticos e hidrológicos na bacia do Tocantins-Araguaia, Penereiro et al. (2015) afirmam que não há registro de tendências positivas ou negativas ao longo do rio Araguaia, porém, nas

estações utilizadas no seu estudo, as estações de Peixe (TO), Miracema do Tocantins (TO) e Descarreto (TO) apresentaram tendências negativas de vazão.

Em seus estudos sobre a precipitação na região Centro-Oeste, em grande parte inserida no Domínio Cerrado, Marcuzzo e Goularte (2012) descrevem uma tendência das chuvas em torno de -1,5% a partir de 2026, -3% em 2031 e de -5% em 2036. Quanto à evolução temporal da precipitação anual, o período de 1990 a 2006 apresenta uma diminuição média da precipitação pluviométrica no estudo, e, ao utilizar o Índice de Anomalia de Chuvas (IAC), conclui que há uma mudança nos padrões de precipitação e que o “ponto de inflexão” médio, para o período úmido, ocorreu no ano de 1989. Antes de 1989, para a média total anual, 9 anos são secos e 3 anos são úmidos, após o ano de 1989 são 17 anos secos.

Concomitante a esta possível redução dos regimes de chuva, temos o aumento do agronegócio no Tocantins, que vem provocando o aumento da pressão sobre os recursos hídricos. Produtores rurais, providos de capital para investimento, a cada ano promovem o aumento do consumo da água por meio de projetos de irrigação. O aumento das atividades agrícolas no Tocantins é perceptível. O agronegócio tocantinense vem ocupando papel de destaque no cenário econômico regional e a expansão da fronteira agrícola fez deste estado uma das principais rotas para o crescimento da atividade agropecuária em áreas que, em um passado recente, eram consideradas inapropriadas para a produção agrícola, assim como para a pecuária. É importante destacar que a produção de soja em grãos no Tocantins passou de a soja passou de apenas 8.910 toneladas em 1991 para 113.363 toneladas em 1999, atingindo 875.428 toneladas em 2009 (FORNARO, 2012), até alcançar a produção de 2 milhões de toneladas em 2017 (IBGE, 2017).

1.1. Justificativa

A justificativa deste estudo está na necessidade de espacialização de dados hidrológicos para melhor planejamento dos recursos hídricos no Estado, uma vez que somadas as atividades econômicas da agricultura e pecuária, somam-se mais de 90% da demanda hídrica no estado do Tocantins (TOCANTINS, 2016).

Assim, conhecer e compreender a distribuição espacial da disponibilidade hídrica é uma estratégia importante para identificar áreas com diferentes graus de disponibilidade deste recurso, seu acesso, a capacidade da população em obtê-lo, os usos e as condições ambientais,

relacionando-as com atividades econômicas com alta demanda por água, como a agropecuária de larga escala, e características dos locais onde a população dos municípios são diretamente afetadas pela oferta de recursos hídricos e/ou pressão ambiental exercida pelo agronegócio.

Neste sentido, este estudo busca compreender as condições hidro-socioeconômicas dos municípios do Tocantins, por meio de levantamento e espacialização de dados de estações fluviométricas e pluviométricas na porção da bacia do Tocantins-Araguaia, que se encontra nos limites do Estado, e assim, estabelecer uma relação com o agronegócio, que interfere na disponibilidade hídrica, e nos municípios em função da natureza do seu trabalho. Assim, consolida-se o caráter interdisciplinar desta proposta que envolve o diálogo entre diferentes áreas do conhecimento como a Hidrologia, a Climatologia, a Geografia Agrária, a Cartografia e o Geoprocessamento, a fim de abordar uma temática de interface que envolve a água, o clima, o agronegócio, a população e os conflitos socioambientais que decorrem de diferentes usos e apropriações do território e da natureza.

Esses temas têm se tornado mais relevantes, além de serem mais frequentemente citados no contexto das mudanças climáticas e, em especial, no que tange à exposição e à adaptação face aos eventos climáticos extremos (IWAMA et al., 2016), sobretudo os valores negativos de precipitação.

Diante deste contexto, este estudo visa fazer uma contribuição para área das Ciências Ambientais com foco no uso e gestão dos recursos hídricos frente à natureza do trabalho predominante nos municípios do Tocantins, identificadas pelo índice de pobreza hídrica (IPH), diante da pressão exercida pelas atividades ligadas ao agronegócio sobre o consumo da água no Tocantins.

1.2. Estrutura da Tese

Visando à apresentação clara e objetiva das ideias que permeiam a pesquisa, o presente estudo está organizado da seguinte forma:

A **Introdução** do trabalho realizado, apresentando conceitos importantes à compreensão do tema investigado, contemplando a justificativa e a descrição desta estrutura de tese.

Os **Objetivos** (geral e específicos) que este estudo se propõe a atingir.

A **Metodologia** utilizada pela pesquisa, bem como a caracterização da área de estudo, que para efeito de análise, concentra-se nos limites territoriais do estado do Tocantins, embora informações importantes tenham sido utilizadas mesmo estando na região de contorno e na

extensão de toda a bacia Tocantins-Araguaia. Além disso, neste capítulo é descrita a base de dados utilizada e o modelo digital de elevação adotado, processado e considerado para realização deste estudo. Por fim, é mencionado que os procedimentos metodológicos adotados para realização de cada etapa deste estudo serão minuciosamente descritos nos capítulos 2, 3, 4 e 5, que concentram as principais contribuições da tese.

O **Capítulo 1** apresenta a fundamentação teórica, com os principais conceitos relacionados à disponibilidade e índice de pobreza hídrica, outorga, vazão de referência, o avanço do agronegócio tocantinense e a crescente demanda por água, a (in)justiça ambiental e vulnerabilidade social, além de conceitos importantes sobre a geostatística e a regionalização de vazões.

O **Capítulo 2** faz uma abordagem sobre o componente hidrológico mais importante no que se refere à entrada de água na bacia hidrográfica: a precipitação pluvial. Este capítulo faz uma análise da distribuição espacial e temporal da precipitação pluvial no estado do Tocantins. Esta abordagem é de importância fundamental para a compreensão da disponibilidade hídrica que será tratada no capítulo seguinte.

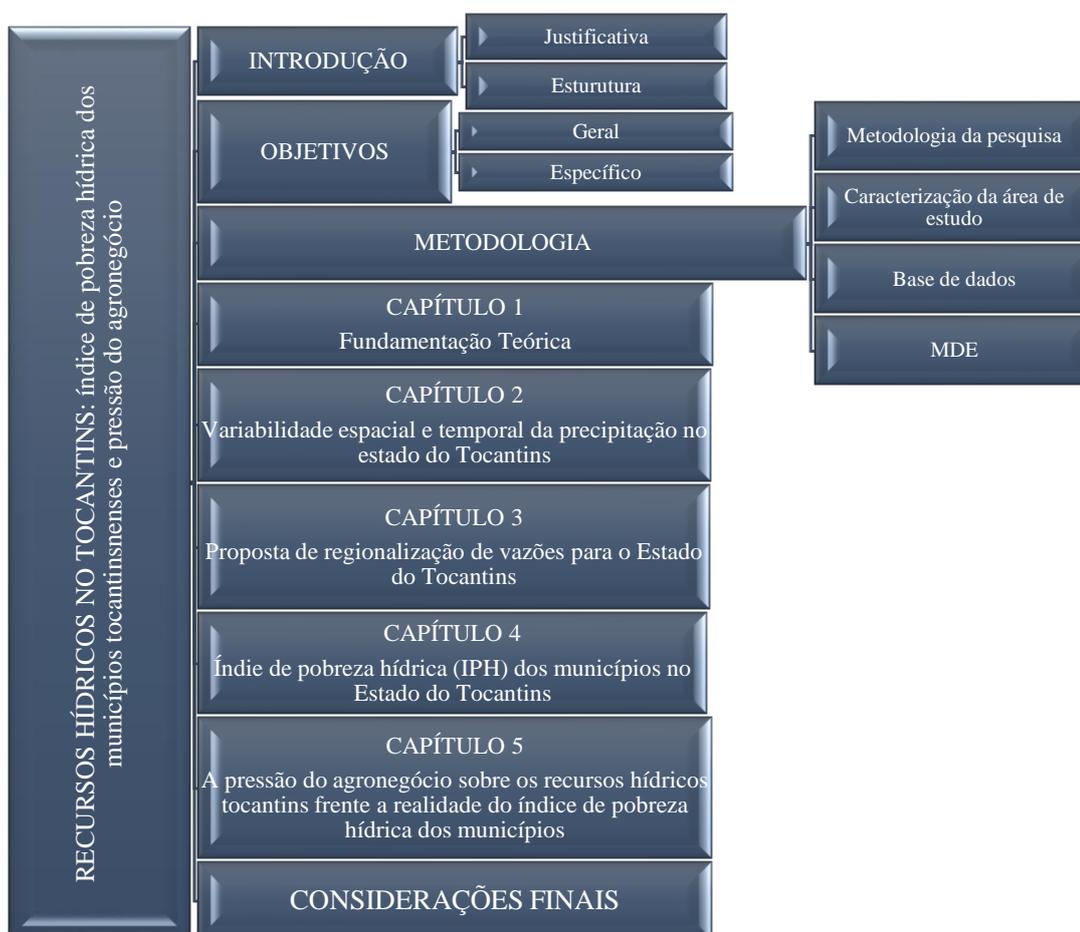
O **Capítulo 3** consiste em uma proposta de regionalização de vazões para o Tocantins, considerando agrupar vazões de rios que apresentam características semelhantes ao longo do ano, mas considerando também tais características específicas dos períodos seco e chuvoso. Neste capítulo, é realizada uma análise do rendimento específico (RE) com base na vazão de referência adotada pelo Tocantins, a Q_{90} . A partir desta vazão de referência da vazão média de longo termo (Q_{mt}) é feito o processo de regionalização das vazões.

O **Capítulo 4** apresenta um estudo sobre o índice de pobreza hídrica dos 139 municípios tocantinenses, com base em cinco componentes (recurso, capacidade, acesso, uso e meio ambiente), identificando os municípios com as condições mais críticas e mais favoráveis com relação à pobreza hídrica no Estado.

O **Capítulo 5** apresenta um diálogo entre os resultados obtidos nos capítulos anteriores, destacando evolução da produção de *commodities* agrícolas em diferentes regiões do Tocantins, com ênfase na pressão que as atividades do agronegócio exercem não somente sobre os recursos hídricos, como em outros aspectos ambientais nos diferentes municípios.

Por fim, as **considerações finais** do estudo realizado apontam as contribuições do trabalho desenvolvido, identificando a relevância técnico-científica da pesquisa, bem como o apontamento de trabalhos futuros. A Figura 1 representa de forma objetiva a estrutura da tese.

Figura 1 – Estrutura da tese.



Fonte: Org. O autor.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um estudo integrado sobre os recursos hídricos no Tocantins, envolvendo a distribuição da precipitação e a disponibilidade hídrica, a pressão exercida pelo agronegócio (sua demanda por água ou pressão exercida sobre esses recursos) e a vulnerabilidade dos municípios tocantinenses por meio do índice de pobreza hídrica (IPH).

2.2. Objetivos Específicos

Identificar a variabilidade espacial e temporal, bem como as tendências da precipitação pluvial no estado do Tocantins, por meio de técnicas geoestatísticas.

Estimar a disponibilidade hídrica para o estado do Tocantins, por meio de postos pluviométricos e fluviométricos da ANA, com vistas à realização da distribuição espacial da disponibilidade hídrica superficial por meio do rendimento específico (RE_{90}), em $L s^{-1} Km^{-2}$.

Determinar o índice de pobreza hídrica dos municípios tocantinenses e analisar a pressão exercida pelo agronegócio sobre os recursos hídricos do Estado.

3. METODOLOGIA

O presente estudo apresentará os procedimentos metodológicos específicos em cada capítulo desenvolvido. Porém, pode-se destacar que de forma geral, a metodologia de pesquisa pode ser caracterizada sob o ponto de vista de sua natureza, forma de abordagem do problema, base de dados e delineamento de seus objetivos, conforme descrito a seguir.

3.1. Metodologia da Pesquisa

O método utilizado no presente estudo é o indutivo-dedutivo, uma vez que a partir da constatação ou levantamento de informações particulares, a pesquisa visa chegar a um conhecimento mais generalizado, buscando a relação entre os fenômenos existentes (os recursos hídricos, a expansão do agronegócio e a demanda por água em função das atividades praticadas nas economias municipais) para explicação mais ampla que abarque todos os fenômenos considerados (MAZUCATO, 2018).

No entanto, o caráter dedutivo desta pesquisa deve-se ao fato de, a partir das teorias e dos modelos empregados, percebendo a insuficiência do conhecimento para a explicação dos fenômenos, surge o problema (possibilidade de escassez destes recursos e vulnerabilidade da população dos municípios); para expressar as dificuldades do problema são formuladas hipóteses; das hipóteses deduzem-se consequências a serem testadas ou falseadas (PEREIRA, 2018).

Sob o ponto de vista de sua natureza, a pesquisa é classificada como científica pura, também denominada pesquisa teórica, pois pretende-se articular a produção das informações em diversas áreas do conhecimento e criar novas questões em um processo de incorporação e superação do que já está produzido (ZANELLA, 2011). Embora o conhecimento aqui construído possa subsidiar a gestão de recursos hídricos e a adoção de políticas públicas e socioeconômicas, não se pretende aqui solucionar os problemas identificados, como sugere a pesquisa aplicada.

No âmbito da abordagem do problema, optou-se predominantemente pela pesquisa quantitativa. Pereira et al. (2018) afirmam que este método se caracteriza pela coleta de dados numéricos, por meio do uso de medições de grandezas, e obtém-se números com suas respectivas unidades por meio da metrologia. Assim, a pesquisa gera um conjunto ou massa de dados que podem ser analisados por meio de técnicas matemáticas, como é o caso tanto na investigação da distribuição temporal e espacial da precipitação no estado do Tocantins, quanto

na regionalização de vazões e também no cálculo do IPH dos municípios, capítulos 2, 3 e 4, respectivamente.

Quanto aos objetivos, a pesquisa é explicativa. Segundo Fontelles et al. (2009), a pesquisa explicativa tem por objetivo central explicar os fatores determinantes para a ocorrência de um fenômeno, processo ou fato, ou seja, visa explicar o “porquê” das coisas. Neste estudo, pretende-se identificar áreas com maior ou menor ocorrências de precipitações e disponibilidade hídrica através do rendimento específico, além da determinação do IPH por município e o exame de dados relacionados ao agronegócio no Tocantins, contrapondo as informações do meio físico com as condições socioeconômicas, tentando trazer um conjunto de informações capaz de justificar os resultados obtidos.

Uma consideração importante é preciso registrar aqui, com relação à enorme dificuldade de colaboração do Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS), que não contribuiu com a disponibilização de dados das vazões outorgadas no Estado, o que poderia fomentar outras abordagens, voltadas para a avaliação do nível de comprometimento dos recursos hídricos através da confrontação da disponibilidade x demanda outorgada.

3.2. Caracterização da área de estudo

O Tocantins está localizado entre os paralelos 5°10'06” e 13°27'59” de latitude sul e os meridianos 45°44'46” e 50°44'33” de longitude oeste, com área de 277.620,9 km². Isto equivale a 3,26% do território brasileiro e a 7,2% da região Norte do Brasil (TOCANTINS, 2012). Os biomas presentes no Estado são a Amazônia (9% do território do Tocantins) e o Cerrado, em 91% do território (IBGE, 2019).

No que se refere ao clima, Souza et al. (2019) elaboraram uma proposta de classificação climática de Thornthwaite e Matter para o Estado do Tocantins, onde se destacam três regiões climáticas homogêneas: C1A'w2a': Subúmido seco, megatérmico, com grande excedente hídrico de verão e regime de eficiência de temperatura normal a megatérmico; C2A'wa': Subúmido úmido, megatérmico, com deficiência hídrica moderada no inverno e regime de eficiência de temperatura normal a megatérmico; e B1A'wa': Úmido, megatérmico, com deficiência hídrica moderada no inverno e regime de eficiência de temperatura normal a megatérmico.

No capítulo 2, adiante, observa-se que durante os meses mais chuvosos (dezembro a março) as chuvas concentram-se na porção centro-oeste, variando entre 1104 a 1363 mm, com os menores valores de precipitação encontrados a sudeste do estado, entre 611 e 840 mm neste

período. Já durante no período mais seco (abril a novembro), a porção sudeste do Tocantins apresenta os menores valores de precipitação pluvial, variando entre 313 e 469 mm, aumentando gradativamente a noroeste, onde os valores de precipitação para o período seco variam entre 700 e 755 mm.

A maior parte da precipitação acumulada durante o ano no Tocantins está concentrada durante os meses de dezembro a março (VIOLA et al., 2014). No que se refere ao bioma, deve-se considerar “a posição do Cerrado em uma transição entre a Caatinga e a Amazônia. Em vários sentidos, o Tocantins demonstra ser uma área de transição climática, inclusive considerando-se as massas de ar” (SILVA NETO et al., 2021, p. 12).

3.3. Base de Dados

Foram utilizados dados de estações pluviométricas e fluviométricas pertencentes à rede meteorológica da Agência Nacional das Águas (ANA), considerando séries temporais de pelo menos 10 anos e processadas através do software ArcGis® 10.05. O Quadro 1 apresenta as bases em que os dados foram obtidos.

Quadro 1 – Base de dados utilizado neste estudo

Natureza da informação	Responsável	Referência (ano)
Modelo Digital de Elevação	ASF DAAC	2019
Rede Hidrográfica	ANA	2012
Mapa das Bacias Hidrográficas no Tocantins na escala: 1:2.500.000	TOCANTINS	2012
Dados hidrológicos de estações fluviométricas e pluviométricas	ANA (HidroWeb)	2020
Limites municipais	SEPLAN	2012
Dados referentes às atividades agropecuárias desenvolvidas no estado	IBGE, Censo Agropecuário	2017
Dados referentes aos indicadores socioeconômicos	IBGE/IPEA	2010 / 2015
Informações sobre produção agropecuária / mapas produção agropecuária no Tocantins	Geoportal/Seplan IBGE	2010/2020
Informações sobre os biomas Cerrado e Amazônia	LAPIG/UFG	2019
Informações sobre extensão de área irrigada dos municípios	(ANA) - Atlas de irrigação	2019

Fonte: Org. Autor (2022).

Foi identificado, para cada estação fluviométrica, o valor da vazão mínima pertinente à Q_{90} , bem como o valor da $Q_{máx}$ anual e sazonal, para então estabelecer o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries. No intuito de calcular a vazão Q_{90} , inicialmente, foi obtida a curva de permanência para cada uma das estações fluviométricas em estudo. Em seguida, foi determinada a vazão associada a 90% de permanência no tempo, a partir da curva de permanência obtida para as diferentes estações. A vazão média de longo termo (Q_{mlt}) foi obtida para cada estação fluviométrica pela média da série anual e sazonal.

Em seguida, foi quantificada a disponibilidade hídrica superficial por meio da técnica de regionalização de vazões. Segundo Silva (2014), este procedimento é realizado para superar a escassez de informações hidrológicas em localidades de interesse, fundamentais ao gerenciamento mais preciso dos recursos hídricos de uma região. Assim, a técnica de regionalização de vazões foi adotada para transferir, especialmente, as informações sobre Q_{90} , Q_{mlt} e $Q_{máx}$, a partir dos dados disponíveis em determinadas localidades.

Para o estado do Tocantins, considerou-se a divisão hidrográfica utilizada como referência e descrita por TOCANTINS (2012), que considera 16 áreas no sistema hidrográfico do rio Araguaia e 18 áreas no sistema hidrográfico do rio Tocantins, além de 232 sub-bacias hidrográficas conforme o Anexo A, dentro dos limites territoriais do estado. Porém, no que diz respeito à água superficial, fez-se necessário identificar regiões homogêneas para proceder a regionalização, já que os produtos de regionalização dependem da identificação dessas regiões.

3.4. Modelo Digital de Elevação (MDE)

Originado do sensor ASTER, o MDE utilizado no estudo teve o formato de 12,5 x 12,5 metros, obtido junto a sites próprios com disponibilidade livre ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASF DAAC, 2021), compreendendo toda a extensão da bacia do Tocantins-Araguaia, com ênfase nos limites territoriais do estado do Tocantins, que delimita de fato a área contemplada pelo presente estudo.

O relevo tocantinense varia entre plano e suavemente ondulado na maior parte do estado. Na região central da bacia do rio Araguaia, na região sudoeste do estado, fica a Ilha do Bananal, a uma altitude abaixo de 200 m. No sudeste, na fronteira com os estados da Bahia e Piauí, na Serra Geral e na Serra de Tabatinga, a altitude é superior a 1.200 m (AVANZI et al., 2019).

Sobre o Modelo Digital de Elevação e sua utilização, Viola (2008) afirma que

o modelo digital de elevação (MDE) consiste de uma “superfície” com valores que variam continuamente no espaço, sendo tradicionalmente obtida por modelagem “Triangulated Irregular Network” (TIN), a qual permite a geração de um modelo da superfície no qual os topos de morros e depressões são modelados de acordo com as tendências dos dados mais próximos (VIOLA, 2008, p. 9).

A utilização do MDE é uma etapa importante para identificar regiões hidrológicas e o ajuste das equações. Assim, a partir da quantificação da disponibilidade hídrica com base nas vazões de referência do estado, por meio de equações geradas como função da área de drenagem, foram elaborados mapas derivados destas equações de regionalização para realizar a espacialização do rendimento específico (RE_{90}).

4. CAPÍTULO 1: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.2. Disponibilidade hídrica

O planeta tem 70% da sua superfície recobertos por água, o que faz deste recurso um dos mais abundantes, porém deve-se compreender que apenas uma pequena parcela é constituída de água doce, que pode ser usada para o consumo humano, após a parametrização de suas características estruturais, tornando-a potável. Assim, a abundância deste recurso é ameaçada na medida em que ocorre o crescimento populacional e a exploração com fins econômicos. Consequentemente, menos se respeita o ciclo da água, que vai se degradando e tornando-se inapropriada para o consumo (BARROS e AMIN, 2008).

A água não é como os demais recursos naturais da Terra, nem somente uma matéria-prima. Ela é primordialmente um bem ambiental de uso comum e tem sido tratada, de modo crescente, como um bem econômico, a despeito de implicações éticas. É a única matéria-prima ambiental cuja utilização tem um efeito de retorno sobre o manancial utilizado. Desta forma, a gestão dos recursos hídricos – água de chuva, rios, águas subterrâneas e de reuso não-potável no meio urbano, nas indústrias e na agricultura, principalmente – deve considerar o uso cada vez mais eficiente da água disponível, ou seja, a obtenção de cada vez mais benefícios com o uso de cada vez menos água e a proteção da sua qualidade (REBOUÇAS, 2001), além do acesso democrático por parte dos diferentes grupos sociais.

Atualmente, na maioria dos países, continentes e regiões, a água consumida na agricultura é de cerca de 70% da disponibilidade hídrica total. Segundo Tundisi (2008), há uma enorme necessidade de redução desse uso com a introdução de tecnologias adequadas, eliminação dos desperdícios e introdução de reuso e reciclagem. O autor afirma que os usos da água incluem uma excessiva utilização para irrigação a partir de águas subterrâneas. Deve-se enfatizar que mesmo a agricultura não irrigada é responsável por um elevado consumo de água, promovendo alterações na relação escoamento/infiltração. Além disso, deve-se considerar a “água virtual” demandada pelo setor agrícola, inclusive para exportação.

Carmo et al. (2007) afirmam que, em sua essência, “água virtual” diz respeito ao comércio indireto da água que está embutida em certos produtos, especialmente as *commodities* agrícolas, enquanto matéria-prima intrínseca desses produtos. Isto é, o total de água envolvido no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola passa a ser denominado de água virtual. Sendo assim, a concepção de água virtual se apoia em um argumento relativamente simples, muito embora exista uma grande complexidade para sua aferição empírica.

Define-se o conceito de água virtual como o volume de água demandada para produção de determinada *commodity*. Ou seja, o volume em m³ de água necessários para a produção de *x* toneladas de soja, arroz, açúcar etc. Pode-se assumir que, juntamente com as divisas geradas pela exportação destes produtos, existe um valor adicionado que não é contabilizado e que, visto desta maneira, pode representar muito mais do que apenas o equilíbrio da balança comercial de determinado país, mas, sobretudo, a sua sustentabilidade ambiental a médio e longo prazo. (CARMO et al., 2007, p. 85).

Como recurso natural, de domínio público, a água demanda que o governo promova sua gestão de forma a garantir o acesso de todo cidadão, a atender aos usos prioritários para a sustentabilidade socioambiental, bem como a qualidade necessária e condizente com os diferentes usos. Considerando as variadas formas e fases de ocorrência, a água superficial e subterrânea tem efeitos diretos sobre as atividades econômicas (MELLO et al., 2008).

Gerir recursos hídricos é uma necessidade que tem o objetivo de ajustar as demandas econômicas, sociais e ambientais por água em níveis sustentáveis, de modo a permitir, sem conflitos, a convivência de seus usos atuais e futuros (SOARES et al., 2010). Para Carvalho et al. (2012), a ausência de planejamento na utilização dos recursos naturais faz com que o uso de técnicas inadequadas acabe gerando um ciclo de consequências negativas. Entre elas estão a má conservação do solo e da água, a erosão, a baixa produtividade e as perdas econômicas e ambientais.

Segundo Vestena et al. (2012), os aspectos qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos são essenciais à manutenção do equilíbrio ambiental de qualquer sistema fluvial. A variabilidade temporal e espacial da água, a demanda mundial crescente e o avanço da poluição hídrica vêm agravando as condições dos mananciais. Nos ambientes urbanos e rurais, onde há concentração populacional ou de atividades produtivas, essa relação é ainda mais dependente, sendo que a demanda por água só tem aumentado nas últimas décadas.

A preocupação com estes aspectos vem desde os primórdios de nossa civilização. Os nômades e as primeiras comunidades sedentárias procuravam viver próximos aos rios para suprir suas necessidades vitais, como sua dessedentação, alimentação e higiene. O “viver”, neste contexto, refere-se tanto à moradia em um local fixo quanto à vida em movimento, ambas associadas aos corpos hídricos. Com o aumento populacional e da exploração econômica (ou da produção em larga escala), e o conseqüente aumento da demanda, observou-se a necessidade de se avaliar a oferta de água disponível, visando à manutenção ou sustentabilidade das atividades de uma determinada área (BRANCO, 2006).

Baseando-se nesta premissa, é importante estabelecer a relação entre demanda e disponibilidade para conhecer a situação hidrológica de uma região, como relatam Albuquerque e Silva (2008):

Para a avaliação da situação hidrológica de uma região, é fundamental comparar a disponibilidade com a demanda hídrica e, conforme indicado anteriormente, a irrigação é prática que necessita de muita água. Se o seu emprego for feito de forma rápida e desordenada, sem as devidas avaliações prévias de impactos ambientais, pode gerar sérios conflitos de interesses pelo uso da água, o que, apesar de seu uso recente, já vem sendo observado em algumas bacias hidrográficas inseridas no Domínio Cerrado. Esse fato corrobora a importância da adoção de instrumentos de gestão dos recursos hídricos e de práticas adequadas para o manejo da irrigação, como forma de mitigar e minimizar esses conflitos bem como os impactos ambientais que eles podem gerar (ALBUQUERQUE e SILVA, 2008 p. 67).

Neste sentido, a disponibilidade hídrica é entendida como a parcela da vazão que pode ser utilizada pela sociedade para o seu sustento e desenvolvimento, sem comprometer o meio ambiente aquático (CRUZ e TUCCI, 2008). Cruz (2001) descreve a disponibilidade hídrica como o total da vazão de uma bacia hidrográfica, à medida que parte é utilizada pela sociedade para o seu desenvolvimento (e para seu sustento) e parte é mantida na bacia para conservação da integridade de seu sistema ambiental, bem como para atender a usos que não necessitam extrair ou derivar de um curso natural, como a navegação e a recreação.

Benetti et al. (2003) afirmam que o volume total de água utilizado de um curso fluvial para atender a usos externos como abastecimento público, industrial, dessedentação animal, irrigação, energia elétrica etc. não deve afetar a vazão ecológica. Vestena et al., (2012, p. 213) apontam que “a vazão ecológica também possibilita identificar a disponibilidade de água real nos mananciais de uma determinada região, com potencialidade de serem captados e aproveitados”.

Amorim Neto (1989) define o balanço hídrico como a contabilidade de entrada e saída de água no solo, sendo que a entrada de água é representada pela precipitação ou irrigação e a saída pela evapotranspiração potencial. O balanço hídrico tradicional de Thornthwaite e Mather (1955) é um método contábil que fornece o saldo de água disponível no solo. Ressalta-se que os estudos sobre o balanço hídrico devem ser desenvolvidos visando à relação cultura/clima, o que possibilita um ajuste do cultivo às condições climáticas, evitando as consequências desastrosas de um planejamento agrícola deficiente com relação ao clima. O balanço hídrico constitui-se um indicador climatológico da disponibilidade hídricas de determinada região (AQUINO e OLIVEIRA, 2017).

A alta vulnerabilidade decorrente de um balanço hídrico desfavorável, associada a baixos investimentos em infraestrutura hídrica, principalmente dos sistemas de produção e armazenamento de água, e períodos de precipitação abaixo da média, podem agravar a situação e conduzir a períodos de crise hídrica por escassez, como verificado em diversas regiões do país nos últimos anos (ANA, 2018).

E, como mencionado anteriormente, a parcela mais vulnerável à escassez hídrica, bem como às demais consequências das mudanças climáticas, é justamente a população mais pobre. Segundo Pinto (2017), nos países ricos, o maior volume do consumo se concentra no setor industrial, e nos países pobres na agricultura. O consumo nos domicílios dos países de renda elevada também é maior que nos de renda média e baixa.

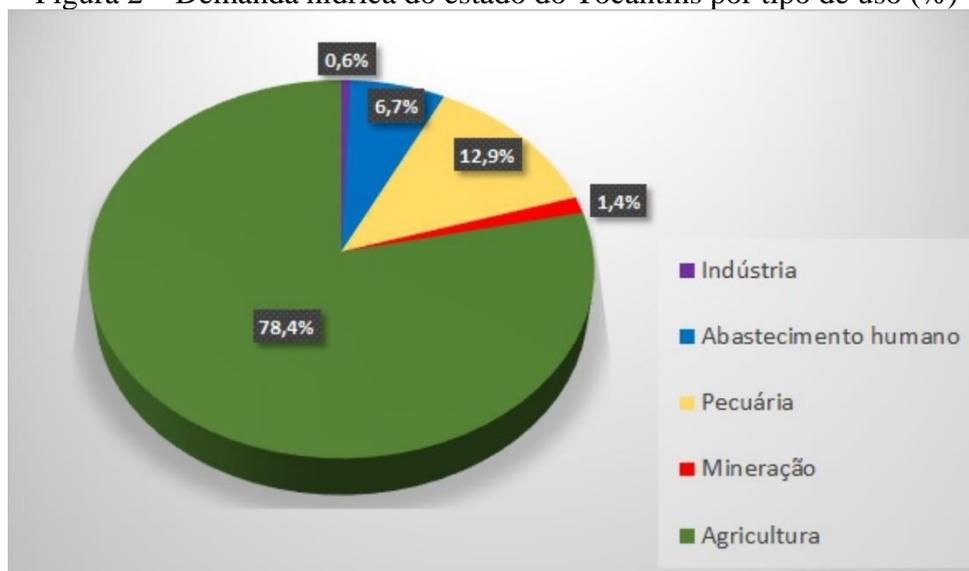
Carvalho (2012) afirma que para analisar a vulnerabilidade hídrica deve-se tomar como pressuposto a relação entre os condicionantes ambientais de um determinado espaço geográfico que irão determinar a vulnerabilidade hídrica local e a sociedade ali instituída. Suas condições de vida, estrutura institucional, econômica e política irão determinar os usos e/ou desusos das águas, evidenciando o caráter socioambiental desta questão.

A disponibilidade hídrica de águas superficiais, de acordo com a Agência Nacional das Águas - ANA (2005), é a vazão regularizada pelo sistema de reservatórios a montante da seção de interesse, com 100% de garantia, somada à vazão incremental de estiagem (vazão com permanência de 95%, no trecho não regularizado). Em rios sem regularização, portanto, a disponibilidade é considerada como apenas a vazão de estiagem (com permanência de 95%). Em outras palavras, representa uma garantia de que um determinado valor de vazão esteja presente em 95% do tempo, em uma determinada seção do curso d'água.

O Brasil conta com boa disponibilidade média de água, mas com enormes disparidades regionais. Enquanto 83% da disponibilidade hídrica estão na Região Hidrográfica Amazônica, onde habitam cerca de 5% da população brasileira, (densidade de 2,7 habitantes por km² e participação de 3,7% do PIB), a Região Hidrográfica do Atlântico Sudeste conta com 1,7% da disponibilidade hídrica brasileira, densidade demográfica de 136,7 habitantes por km² e participação de 17,7% no PIB (CNI, 2018). Para Tundisi (2008, p. 10), “economias regionais e nacionais dependem da disponibilidade adequada de água para geração de energia, abastecimento público, irrigação e produção de alimentos (agricultura, aquicultura e pesca, por exemplo)”.

As demandas hídricas do estado do Tocantins totalizam 35 mil l/s, e estão representadas conforme a Figura 2:

Figura 2 – Demanda hídrica do estado do Tocantins por tipo de uso (%)



Fonte: (Adaptado) Relatório final sobre o perfil do agronegócio tocantinense (TOCANTINS, 2016).

Segundo o Relatório Final sobre o Perfil do Agronegócio Tocantinense (TOCANTINS, 2016), realizado pela Secretaria de Planejamento, o estado do Tocantins apresenta elevada disponibilidade hídrica, porém existem regiões que sofrem com a escassez de água devido à sazonalidade das chuvas, registrando-se também crescentes conflitos em função da quantidade de água, como nas bacias dos rios Urubu, Formoso e Javaés. Nessas bacias, além da agricultura comercial e de unidades de conservação, coabitam populações indígenas e assentados rurais. Estima-se que a área irrigável (por inundação e outros métodos) corresponde a aproximadamente 107.235 hectares. Com base neste documento, a caracterização dessa demanda hídrica no estado pode ser assim descrita:

I – Consumo Humano: o estado do Tocantins possui uma população total de pouco mais de 1,3 milhão de habitantes, sendo que aproximadamente 76% dessa população está em áreas urbanas. Entretanto, 78% da população urbana é atendida por sistemas de abastecimento de água, totalizando uma demanda anual de 2.158 L/s.

II – Mineração: o Diagnóstico das Potencialidades Minerárias do Tocantins (2008) identificou as potencialidades minerárias dos 139 municípios do estado, sendo constatado que além do potencial para a construção civil e a predominância de indústrias cerâmicas, o Tocantins também é rico em minérios como: fósforo, grafita, talco, cobre, ouro, calcário, zirconita, gesso, granito, entre outros.

III – Pecuária: o estado do Tocantins possui rebanho total de aproximadamente 12 milhões cabeças, representando 1% do rebanho total brasileiro e 17% do total da região norte, sendo o efetivo bovino o principal. A demanda total da pecuária é 4.643 L/s.

IV – Agricultura: a área colhida no estado do Tocantins para as culturas de soja, arroz, milho e feijão é de 541 mil ha, sendo que cerca de 14% do total dessa área é irrigada. As áreas do estado com produção agrícola representativa em termos de impacto na demanda apontam, principalmente para o sudoeste

do estado, concentrando-se nas cabeceiras do Rio Araguaia, nos municípios de Formoso do Araguaia e de Lagoa da Confusão. A demanda total de água dessas culturas é em torno de 28 mil L/s.

V – Industrial: a demanda hídrica industrial atualmente outorgada é de 207 L/s, sendo que 54% deste total é proveniente de mananciais subterrâneos. (TOCANTINS, 2016, p. 24-26).

No Brasil, alguns estudos sobre disponibilidade hídrica se destacam, como os desenvolvidos por Cruz e Tucci (2008), que abordaram a determinação da disponibilidade hídrica de um sistema hídrico no Rio Grande do Sul, objetivando apresentar uma análise de diferentes critérios utilizados para estimativa da curva de permanência e sua representatividade para caracterizar a disponibilidade hídrica. Pruski et al. (2011) desenvolveram estudos sobre a disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos em Minas Gerais, na bacia do rio Paracatu. Vestena et al. (2012) avaliaram a disponibilidade hídrica na bacia do Rio das Pedras, manancial da cidade de Guarapuava, região Centro-Sul do Estado do Paraná. Todos estes estudos evidenciam a importância do conhecimento acerca da disponibilidade hídrica, indicador de importância para a sociedade e o ambiente.

No Tocantins, Leite (2015) desenvolveu estudos sobre disponibilidade hídrica objetivando avaliar o comportamento hidrológico de sub-bacias hidrográficas do Tocantins-Araguaia inseridas no estado. Segundo este autor, “a disponibilidade hídrica superficial em uma bacia hidrográfica, avaliada através do escoamento, tem participação de seus componentes subterrâneo, sub-superficial e superficial direto” (LEITE, 2015, p.7).

Nos estudos para a utilização dos recursos hídricos, frequentemente a disponibilidade hídrica precisa ser avaliada em locais onde não existe série histórica de vazão ou, se existe, a extensão da série é insuficiente para avaliação. Assim, torna-se necessário aplicar metodologias que permitam transferir a informação de locais amostrados para outros locais da bacia hidrográfica (SILVA et al., 2017).

Outro aspecto que merece ser destacado refere-se à espacialização dos dados. Mello et al., (2008), em estudos sobre Zoneamento Ecológico-Econômico para Minas Gerais, consideraram a divisão do espaço físico territorial a partir de dois referenciais. O primeiro resultou da pressão antrópica, que são as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos. Estas unidades localizam-se dentro das bacias hidrográficas, com identidade regional caracterizada por aspectos físicos, socioculturais, econômicos e políticos. O outro referencial considerado pelos autores é determinado pelas regionais criadas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental de Minas Gerais, que geralmente não considera os limites das bacias hidrográficas, pois tem como principais referências os limites municipais.

A proposta que se pretende apresentar aqui tem seu caráter pioneiro na realização da distribuição espacial da disponibilidade hídrica superficial a partir do rendimento específico (RE_{90}) para o estado do Tocantins, com base em dados de estações fluviométricas e pluviométricas disponíveis para a área em estudo como etapa fundamental para determinar o índice de pobreza hídrica de cada município tocantinense.

4.2. Outorga para captação e disponibilidade natural das águas superficiais

Em estudos que resultaram no Zoneamento Ecológico-Econômico para o estado de Minas Gerais, Mello et al., (2008) consideram a disponibilidade hídrica como o volume de água extraído sem que se comprometa a fauna e a flora existentes na área de uma bacia hidrográfica. A estimativa do valor da disponibilidade hídrica em uma seção de um curso hídrico demanda estudos multidisciplinares amplos e locais.

Para quantificar a vazão outorgável, adota-se uma vazão de referência. No âmbito nacional, as vazões de referência mais adotadas pelos órgãos gestores são: (a) Q_{90} : vazão igualada ou superada durante 90% do tempo no curso d'água; (b) Q_{95} : vazão igualada ou superada durante 95% do tempo no curso d'água e (c) $Q_{7,10}$: vazão mínima de sete dias consecutivos associada a uma recorrência de 10 anos (LEITE, 2015).

Silva (2017) afirma que a vazão Q_{90} representa a vazão em que 90% do tempo se têm valores iguais ou superiores a ela. Em outras palavras, representa uma garantia de que um determinado valor de vazão esteja presente em 90% do tempo, em uma determinada seção do curso d'água. A vazão Q_{90} tem sido utilizada em estudos de avaliação de impactos ambientais e, principalmente, na concessão de outorgas do uso da água. Outra vazão de referência é a média de longo termo (Q_{MLT}) que permite caracterizar a capacidade de gerar deflúvio superficial e o potencial da bacia de gerar hidroenergia, pois, ela representa a vazão máxima possível de ser regularizada (RODRIGUEZ, 2004).

Nos estudos de Leite (2015), a vazão outorgável é descrita como uma parcela da vazão de referência, e é estabelecida pela União ou pelos Estados, de acordo com a dominialidade do curso d'água em questão. A ANA (2013) adota uma quantificação com base na curva de permanência tendo como referência a Q_{95} , assumindo um risco de não atendimento da demanda de 5% do tempo. Deve-se enfatizar que a quantificação das vazões outorgáveis varia de acordo com a Unidade da Federação.

De acordo com ANA (2013), para o estado da Bahia adota-se 80% da Q_{90} , até 20% para cada usuário, no Distrito Federal são adotados os $Q_{7,10}$ ou Q_{90} , sendo que o somatório das vazões

a serem outorgadas não poderá ultrapassar 80% das vazões regularizadas. No estado de Goiás, o critério de outorga é de 75% da Q_{95} , no Paraná, 50% da Q_{95} . Em Minas Gerais, 30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água e em reservatórios, sendo que podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo. Já em São Paulo, o critério é de 50% da $Q_{7,10}$ por bacia, com até 20% da $Q_{7,10}$ para cada usuário.

No Estado do Tocantins, o instrumento regulador para outorga é baseado no decreto nº 2432, de 6 de junho de 2005 (TOCANTINS, 2005). Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos de que dispõem os artigos 8º, 9º e 10º da Lei 1.307, de 22 de março de 2002. Nas disposições preliminares, este instrumento atribui ao Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, o papel de outorgar o direito de uso dos recursos hídricos, condicionado à disponibilidade hídrica.

Está disposto na Seção III, que trata da outorga para captação em águas superficiais, nos artigos 6º, 7º e 8º, em que a vazão referência para outorga quando:

I – não houver barramento será calculada com base nas informações hidrológicas da bacia hidrográfica, para uma vazão de até 90% de permanência, com valores diários, enquanto não for aprovado pelo Plano de Bacia, ou este não apresentar definições sobre a vazão de referência para outorga;

II – houver barramento será calculada por meio de balanço hídrico do reservatório, com uma garantia de 90% de atendimento das demandas definidas mensalmente, enquanto não for aprovado o Plano de Bacia e este não apresentar definições de valores diferentes desta proposição.

Art. 7º Os somatórios das vazões a serem outorgadas deverão seguir os seguintes limites para captação:

I – a fio d'água, até 75% da vazão de referência do manancial;

II – para captação em reservatório de barragem de regularização, até 90% da vazão de referência do manancial.

§ 1º Nos casos de mananciais intermitentes, os limites poderão chegar a até 95% dos valores de referência, definidos para cada mês em que haja escoamento nos rios.

§ 2º Havendo barramento, a vazão de descarga mínima a ser mantida escoando para jusante, por descarga de fundo ou por qualquer outro dispositivo que não inclua bombas de recalque, será de 25% da vazão de referência para captação a fio d'água.

§ 3º Nenhum usuário, individualmente, receberá autorização acima de 25% da vazão de referência, de um dado manancial, quando a captação for a fio d'água.

Art. 8º Em casos especiais, não havendo o respectivo Plano de Bacia aprovado, poderão ser fixados valores diferentes de vazões de referência para outorga, mediante Portaria do NATURATINS, desde que solicitado pelo Comitê de Bacia e aprovado pelo CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HIDRÍCOS. (TOCANTINS, DECRETO Nº 2432, de 6 de junho de 2005, p. 3).

Apesar das normas instituídas, existe a dificuldade de monitoramento e fiscalização por parte do órgão responsável, o que pode comprometer a efetiva obediência aos limites outorgados, além dos casos de captação clandestina.

4.3. O agronegócio no Tocantins e a pressão ambiental

Segundo Silva e Almeida (2007), entende-se o agronegócio como sendo o conjunto de operações, produtos e serviços produzidos no meio rural, englobando desde o produtor de insumos para a plantação e criação até a distribuição dos produtos acabados para o consumidor final desses produtos ou serviços. Os autores definem esta atividade econômica como um sistema integrado, uma cadeia de negócios, pesquisa, estudos, ciência, tecnologia etc., desde a origem vegetal/animal até produtos finais com valor agregado, no setor de alimentos, fibras, energia, têxtil, bebidas, couro e outros, incluindo também as atividades de prestação de serviços no meio rural. Cabe ressaltar aqui que este estudo não pretende contemplar o agronegócio em sua totalidade, mas apenas determinados componentes relacionados à agricultura e à pecuária no âmbito do Tocantins, isto é, as principais *commodities* de origem agropecuária.

O Tocantins é constituído por 91% do Domínio Cerrado (IBGE, 2019), a atividade agropecuária somente ganhou destaque nas últimas décadas. Oliveira e Piffer (2016) afirmam que o Cerrado se caracteriza pela acidez do seu solo, trechos predominantemente arenosos e quantidades significativas de pedregulhos e alumínio. Por isso, desaconselhava-se a prática agrícola até a década de 1970, quando a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA utilizou de pesquisas científicas para viabilizar o plantio de grãos neste Domínio. O tipo de agricultura desenvolvido em certas áreas do Cerrado brasileiro promoveu transformações acentuadas em diversas dimensões da vida local e regional. Consorciando uma série de elementos discursivos a algumas propriedades geográficas e técnicas, a “agriculturização” do Cerrado atraiu levas de migrantes que impuseram novas formas de uso da terra (OLIVEIRA e BÜHLER, 2016).

Segundo Bessa et al. (2011), a bacia hidrográfica do rio Tocantins-Araguaia é um importante manancial brasileiro, e que vem sofrendo nos últimos anos importantes alterações em sua cobertura vegetal e uso do solo, necessitando, em detrimento disto, de gerenciamento estratégico focado na redução da degradação ambiental.

Considerando “um olhar para dentro” do Domínio Cerrado, destaca-se a importância da Bacia do Tocantins-Araguaia como fonte mantenedora de usos como os de abastecimento, indústria, irrigação, navegação, recreação e turismo, além da crescente demanda energética.

Aliado a estes aspectos, tem-se o avanço crescente do agronegócio, que será abordado adiante, e que encontrou no estado do Tocantins uma das mais recentes rotas de expansão da fronteira agrícola, exercendo ainda mais pressão sobre os recursos hídricos.

No que se refere à conjuntura que possibilitou este avanço, Fornaro (2012) considera a emancipação do estado um marco importante para a expansão do agronegócio no Tocantins, uma vez que, a partir disso, cria-se uma nova dimensão político-administrativa que dá outro rumo aos usos e à estruturação do território. O autor destaca outros fatores que contribuíram para esta expansão, como a implantação da Ferrovia Norte-Sul (FNS), com seis terminais que servem para o escoamento da produção agrícola estadual. Atualmente, a FNS permite novas possibilidades para o transporte de *commodities* agrícolas produzidas no interior do país, principalmente das áreas de Cerrado. Ainda no âmbito da infraestrutura, no caso das rodovias, em especial ao eixo da BR-153 que atravessa o estado de norte a sul, trata-se de um importante eixo de circulação para o Tocantins, conectada com muitas rodovias que cruzam o território tocantinense.

Fornaro (2012) afirma ainda que a disponibilidade de terras a baixo custo, se comparadas com outras regiões, e as estruturas técnicas recentemente instaladas, configuram as condições materiais necessárias para que os sistemas agrícolas modernos se desenvolvam no estado. Além dessas características, o Tocantins possui grande potencial energético, mineral e hídrico, que pode atender às demandas do agronegócio.

Sobre a ocupação do Cerrado brasileiro, Rodrigues et al. (2009) afirmam que

a partir dos anos 1970, foi alicerçado, fundamentalmente, na implantação de um modelo, a partir do cultivo de *commodities* em larga escala, caracterizado por ocupação inicial com arroz e pastagem e, após a década de 1980, pela acentuada expansão da cultura da soja. Uma das estratégias utilizadas foi o apoio de recursos financeiros nacionais e internacionais, traduzidos em programas de desenvolvimento, com uma lógica ligada à monocultura e à exportação. (RODRIGUES et al., 2009, p. 301).

Historicamente, a primeira importante atividade econômica no Tocantins foi a mineração. Somente após a crise pela qual esta atividade passou, no final do século XVIII, as atividades agropecuárias passam a garantir certa rentabilidade aos produtores rurais. Porém, Cerqueira (2016), considerando este contexto histórico, afirma que

tanto a pecuária quanto a agricultura, que nesse momento caminhavam lentamente rumo a um nível de produção, esbarram na sua incapacidade de promover o desenvolvimento econômico para a região: carência de meios e via de comunicação, escassez de mão-de-obra e ausência de mercado consumidor. Marcado pelos grandes “vazios demográficos” e por um relativo abandono em relação a outras regiões do Brasil o antigo norte goiano permaneceria até os anos 50 do século XX, sem grandes alterações no que diz

respeito às comunicações. Essa realidade só viria mudar com o advento da Belém-Brasília, obra do então presidente da República Juscelino Kubitschek de Oliveira (CERQUEIRA, 2016 p. 7).

Segundo Borges (2000), a implantação de vias de transporte possibilitou uma maior articulação da economia do estado de Goiás ao mercado nacional logo nas primeiras décadas do século XX, enquanto a área que corresponde ao Tocantins permaneceu isolada e esparsamente povoada até a década de 1960. Feitosa (2011) afirma que até este período o setor produtivo do antigo norte goiano estava associado às lavouras de autossustento (arroz, milho e mandioca) e à pecuária extensiva. Muitas áreas eram consideradas demograficamente desocupadas e economicamente inexploradas, constituindo verdadeiros “vazios” produtivos. Após esse período, com a melhoria no sistema de comunicação e com as políticas de incentivos fiscais e creditícios, além da própria criação do estado do Tocantins, a região passou gradativamente a se integrar à dinâmica produtiva nacional, definindo o seu papel da divisão inter-regional do trabalho do país.

No tocante às políticas públicas que subsidiaram a expansão do agronegócio no estado, destaca-se a solidariedade institucional na escala estadual (FORNARO, 2012). No código tributário do estado do Tocantins, Art. 4º inciso II, ficam isentas da incidência de ICMS¹ as operações que destinam produtos primários e industrializados semielaborados ao exterior, tornando clara a inclusão de produtos do agronegócio destinados à exportação, como a soja e seus derivados. Outro aspecto importante consistiu no PRODECER, Programa de Cooperação Nipo-Brasileiro para o Desenvolvimento dos Cerrados, que se trata de um projeto de cooperação econômica bilateral Brasil-Japão, assinado em 1976. Segundo Pessôa e Inocêncio (2014), o uso intensivo de capital foi responsável pela expansão agrícola e ocupação do Cerrado, fazendo com que esse território assumisse uma importância estratégica para o desenvolvimento de uma agricultura moderna, com altos índices de produtividade.

De acordo com TOCANTINS (2016), o processo histórico de crescimento econômico do que é hoje o Tocantins foi marcado pela abertura da rodovia BR-153, impondo novas relações com o Sudeste, e as já existentes com o Nordeste e o Norte do país. Esse fato permitiu a implantação e o crescimento de inúmeros núcleos urbanos ao longo de seu trajeto, fundamentando a estruturação daquela que constituiu a rede urbana do estado do Tocantins.

¹ Imposto sobre operações relativas à Circulação de Mercadorias e sobre Prestações de Serviços de Transporte Interestadual e Intermunicipal e de Comunicação – ICMS.

Feitosa (2019) descreve a importância da pecuária e, posteriormente, da agricultura, na expansão da fronteira agrícola pelo Tocantins após a construção da rodovia BR-153:

Até a primeira metade do século XX, a economia tocaninense esteve pouco integrada à dinâmica produtiva nacional. Somente após a construção da rodovia Belém-Brasília, o Tocantins tornou-se área de expansão de fronteira agropecuária, alinhando-se ao processo de modernização da agricultura brasileira. Deste modo, a partir da década de 1970 e, principalmente, após os anos 1990, o que se observou foi uma expressiva expansão da atividade pecuária e da produção de grãos, principalmente a soja, para exportação (FEITOSA, 2019, p. 156).

Segundo Souza (2016), de todos os processos recentes de incorporação do Cerrado tocaninense ao espaço produtivo brasileiro, a expansão da agropecuária comercial merece destaque, seja por conta do volume de recursos movimentados, pelas imbricações com outros fenômenos (tais como a ampliação da infraestrutura logística a as alterações no espaço urbano), ou ainda pelas extensas áreas utilizadas por esse setor produtivo.

Segundo Fornaro (2012), as culturas agrícolas mais tradicionais e de maior expressividade quantitativa no Tocantins são as do arroz, da soja, do sorgo, do milho e da cana-de-açúcar, além da mandioca, da melancia, do abacaxi e da banana, muito frequentes no que o autor considera como agricultura familiar. O autor afirma que o cultivo do arroz, principalmente o de sequeiro, está presente em praticamente todos os municípios do Tocantins e pode ser considerado tradicional, não somente devido às técnicas empregadas na produção, mas também à história de sua presença no estado. Os municípios que se destacam são: Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia, Dueré, Goiatins, Mateiros, Pium e Campos Lindos. A região de maior destaque é a sudoeste, com maior quantidade produzida. Em 2017, a produção de arroz ocorreu em 5.495 estabelecimentos, equivalendo a 513.794 toneladas (IBGE, 2017).

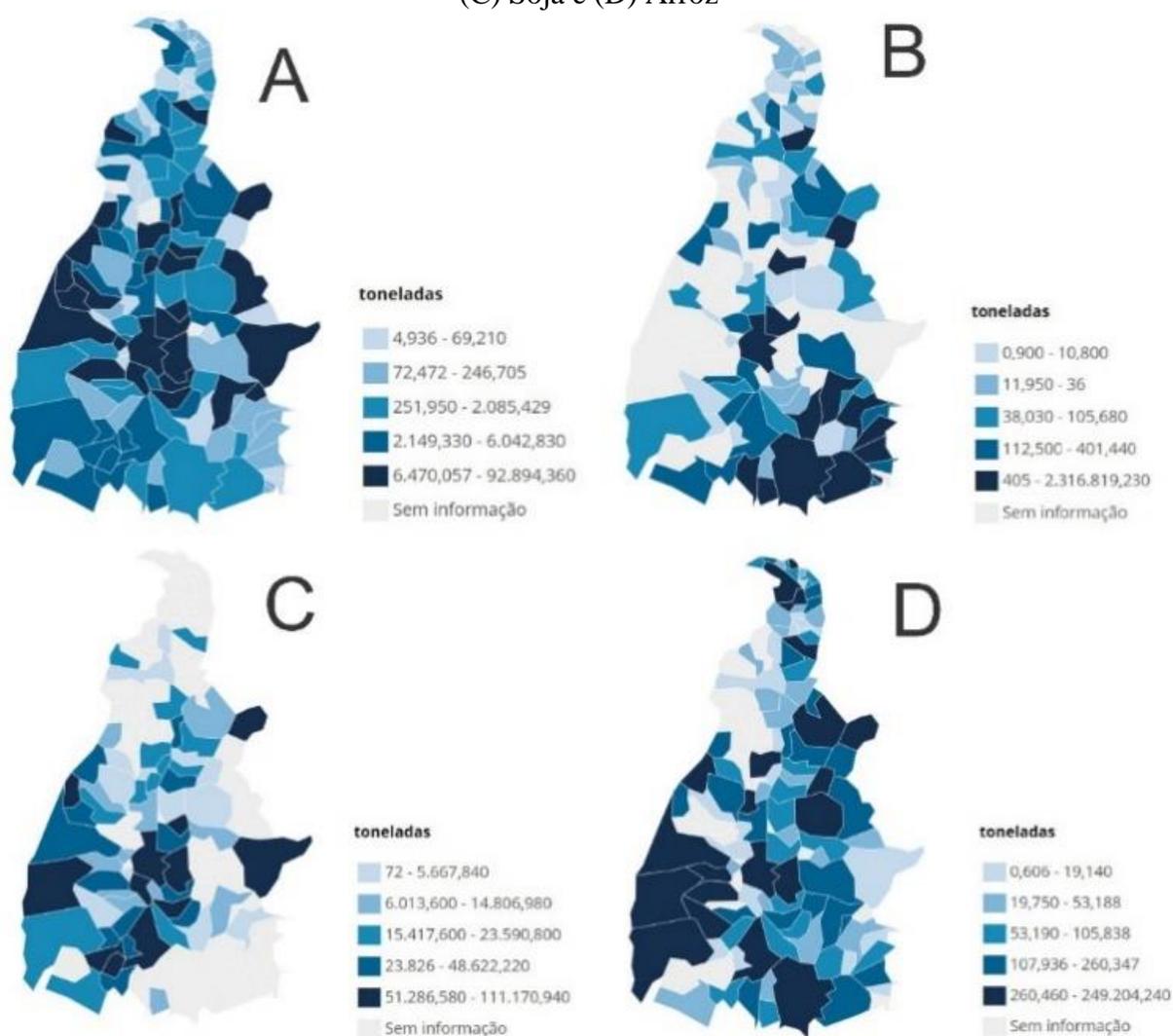
A soja, que atualmente ocupa o maior destaque nas exportações do Tocantins, contava em 2014 com a área plantada equivalente a 719.356 ha, um aumento de 118,5% em relação ao ano de 2006 (MEDINA e SANTOS, 2017) . Em 2017, o IBGE aponta a produção em 1.070 estabelecimentos, equivalente a um total de 1.887.840 toneladas (IBGE, 2017).

Segundo Fornaro (2012), a produção do milho ocorre em maior quantidade nos municípios de Mateiros, Campos Lindos, Dianópolis, Taguatinga e Lagoa da Confusão. Com algumas exceções, sua produção é bem distribuída no território tocaninense e nos últimos anos teve um aumento significativo. Esta produção ocorreu em 11.320 estabelecimentos, com uma produção total de 648.768 toneladas em 2017. Os municípios que se destacaram foram Campos

Lindos (92,8 mil toneladas), Caseara (80,5 mil toneladas) e Porto Nacional com 38,1 mil toneladas registrados neste último censo agropecuário (IBGE, 2017) .

Na atualidade, a cana-de-açúcar é um dos principais produtos da economia brasileira, servindo não somente para produção de açúcar, mas também para a crescente produção de álcool combustível (etanol), impulsionada pela tecnologia dos automóveis com motor flexível, que funcionam com gasolina e/ou etanol (FORNARO, 2012) . O censo agropecuário de 2017, aponta que no Tocantins a cana-de-açúcar foi produzida em 1.603 estabelecimentos, responsáveis pela produção de 2.353.782 toneladas (IBGE, 2017). A distribuição espacial dos principais produtos agrícolas tocantinenses pode ser observada na Figura 3.

Figura 3 – Distribuição espacial no Tocantins da produção de (A) milho, (B) Cana-de-açúcar, (C) Soja e (D) Arroz



Fonte: Adaptado de Censo Agropecuário, IBGE (2017)

Considerando o aspecto econômico, no Tocantins estão implantados (ou em implantação) sete projetos de agricultura irrigada, com possibilidade de criação de mais 5 projetos que fazem parte da estratégia governamental de desenvolvimento agrícola do estado (MORAIS et al., 2017). Diante desse cenário, há uma necessidade crescente de políticas públicas voltadas para a gestão da água, como consequência do aumento da demanda para essas atividades econômicas.

Outro aspecto importante na matriz produtiva do estado do Tocantins é a participação de relevantes projetos de irrigação, que devem ser considerados tanto no âmbito do setor produtivo quanto no consumo dos recursos hídricos. Estes projetos podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 – Principais projetos de irrigação no estado do Tocantins

Projeto	Implantação	Cultivo	Município/Bacia
Javaés e Formoso	Início da década de 1970	Duas safras de arroz irrigado, milho, soja, feijão, melão e melancia	Situa-se no vale do rio Javaés e no entorno do rio Formoso, abrangendo os municípios de Formoso do Araguaia, Dueré, Pium, Lagoa da Confusão e Cristalândia
Campos Lindos	1988	Produção de soja, arroz e milho, além de frutas tropicais.	Município de Campos Lindos.
Prodecer III (Programa de Desenvolvimento do Cerrado)	1997	Produção de soja, arroz sequeiro e milho sequeiro e irrigado	Parceria do governo brasileiro com a Agência de Cooperação Internacional do Japão (JICA), numa área de 40 mil ha. A terceira etapa do Programa teve início em 1996, quando foi implantado nos municípios de Pedro Afonso (TO) e Balsas (MA). O principal instrumento do programa é o crédito supervisionado, com linhas de financiamento abrangentes, e foram previstos empréstimos fundiários para investimentos, despesas operacionais e assistência ao colono (RODRIGES et al., 2009).
Projeto São João	2002	Fruticultura irrigada e hortifrutigranjeira	Criado com o enchimento do lago da Usina Hidrelétrica Luis Eduardo Magalhães. Área de 3.600 ha, localizada entre os municípios de Palmas e Porto Nacional
Programa de Desenvolvimento da Região do Bico do Papagaio	2002	Frutas e arroz nas áreas inundadas, milho e feijão no sistema de subirrigação e hortifrutigranjeiros no sistema de	Localizada entre os municípios de Sampaio, Augustinópolis e Carrasco Bonito. O projeto é constituído de um dique no rio Tocantins, com cerca de 13 km de extensão junto com um sistema de captação de água através de canais a uma área de 7322 mil ha.

		aspersão convencional	
Projeto Manuel Alves	2002	Cultura de abacaxi, banana, coco, mamão, maracujá e melancia, além de mandioca, milho, tomate, abóbora cabutiá, cana-de-açúcar, goiaba e pupunha (PROLO et al., 2019) .	Entre os municípios de Dianópolis e Porto Alegre, às margens do rio Bahia, Formiga, São Valério e Manuel Alves da Natividade.
Projeto Gurita	2002	Frutas como abacaxi, manga, banana, mamão, maracujá e coco.	Município de Itapiratins, na Fazenda Barraca, no entorno de um povoado denominado Gurita, numa área de 200 ha.
Fruticultura do abacaxi	1986	Abacaxi	Entre os municípios de Miracema, Miranorte, Dois Irmãos, Rio dos Bois e Barrolândia.

Fonte: Adaptado de Nascimento (2019).

De acordo com o IBGE (2017), comparando a utilização das terras no Tocantins com o censo de 2006, temos variação de +1,2% de lavouras permanentes, +6,8% de lavouras temporárias, -16% de pastagens naturais, +40% de pastagens plantadas, -31,7% de matas naturais e +0,6% de matas plantadas. A Tabela 1 apresenta os dados de utilização das terras no Tocantins entre 1985 e 2017. Os dados revelam que nesse período houve um expressivo aumento da área utilizada no estado com lavouras permanentes e temporárias.

Tabela 1 – Área dos estabelecimentos agropecuários (ha) no estado do Tocantins de acordo com utilização das terras

	Ano			
	1985	1995	2006	2017
Total	17.354.402	16.765.716	14.387.949	14.857.426
Lavouras permanentes	54.299	22.528	99.489	172.006
Lavouras temporárias	600.654	244.700	539.320	1.003.944
Tocantins Pastagens naturais	7.353.321	5.800.950	2.840.193	2.379.039
Pastagens plantadas	3.297.579	5.277.206	5.272.926	6.019.023
Matas naturais	2.912.432	3.035.928	5.026.047	4.102.890
Matas plantadas	2.828	78	44.850	84.543

Fonte: IBGE (2017).

Um ponto importante que deve ser observado está na intensa redução da área de pastagens naturais entre 1985 e 2006, que pode estar relacionado com a forte antropização do

Cerrado, o que pode ser constatado também no aumento da área de pastagem plantada (de 3,3 milhões de ha para 5,3 milhões de ha). Deve-se atentar também para o expressivo aumento de matas naturais e plantadas de 1985 a 2017, o que representa constante alteração no uso da terra no espaço agrário tocantinense. Porém, esse aumento nas décadas anteriores difere do cenário mais recente, em que se observa uma inversão, justamente quando o agronegócio se consolida no estado. Já as matas plantadas, cujo termo adotado pelo Censo Agropecuário de 2017 não é o mais adequado (já que são monoculturas – eucalipto especialmente, mais recentemente o mogno), seguem seu crescimento esperado.

Segundo o IBGE (2017), há no Tocantins 203 mil trabalhadores ocupados em atividades agropecuárias. Se comparados aos dados de 1985, 1995 e 2006, o total de pessoas ocupadas em estabelecimentos agropecuários apresentou uma redução de 239,5 mil, 194,2 mil e 176,8 mil pessoas, respectivamente, com retomada de crescimento em 2017. Aqui, cabe uma ressalva relacionada ao trabalho no setor agropecuário, já que parte significativa das atividades especializadas acaba sendo desempenhada por migrantes de outros estados brasileiros ou por mão-de-obra urbana capacitada para tal (agrônomos, veterinários, operadores de máquinas agrícolas, mecânicos especializados etc.), conforme a experiência tem mostrado. Logo, é de se supor que no Tocantins a população mais pobre não tenha, de modo geral, o perfil desejado (em termos de escolaridade e capacitação técnica) para exercer determinadas atividades e acaba se beneficiando pouco dos postos de trabalho gerados.

No contexto ambiental, devem-se considerar os impactos advindos da produção agropecuária. Segundo Souza e Barros (2019), diferentes problemas induzidos ou agravados pelo agronegócio acometem o Cerrado, por conta da intensiva utilização de suas terras com finalidades de ganho privado e corporativo. A exploração da natureza para a produção nos moldes vigentes desse setor envolve, em primeiro lugar, modificações de superfície que levam a mudanças do clima (via balanço de radiação) e ampliação do escoamento superficial das águas (em detrimento da infiltração), aceleração dos processos erosivos e de acumulação, entre outras implicações.

No âmbito socioeconômico, com relação ao Estado do Tocantins, alguns estudos foram produzidos no sentido de expor conflitos pelo uso da água e do solo nas bacias hidrográficas. Um destes estudos foi realizado por Pereira Filho e Mendonça (2016), que afirmaram que as pessoas, ao serem expulsas, têm suas terras tomadas por grileiros e incorporadas aos grandes latifúndios, aumentando ainda mais a concentração da terra e os problemas sociais no município de Arraias.

Alves et al. (2015) identificaram conflitos de uso do solo nas APP's de cursos d'água amostradas por municípios, em 1985, 1998 e 2011. No estudo, os autores apresentaram áreas em conflito em 15 municípios, com destaque para Formoso do Araguaia, Araguaçu e Dueré.

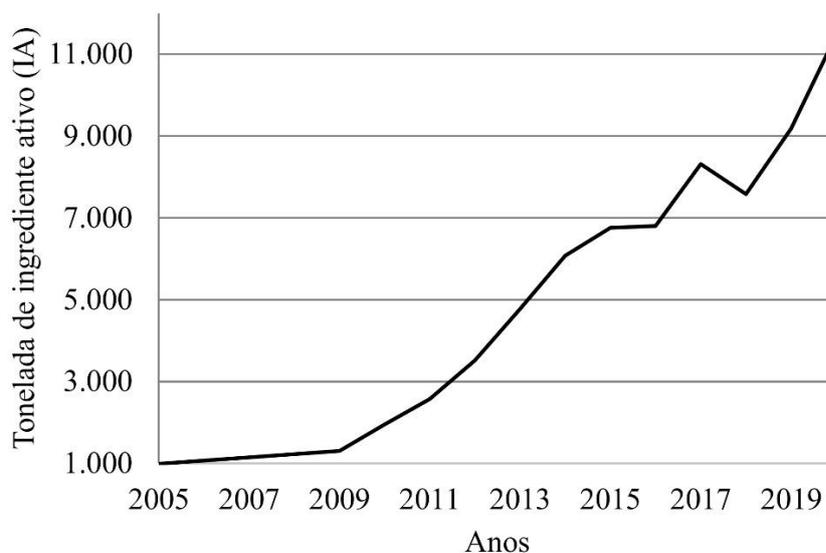
Outro estudo desta natureza foi realizado por Machado (2019), que fez um levantamento do quantitativo de processos distribuídos entre os anos de 2017 e 2019 referentes ao tema água/conflitos nas comarcas que contêm municípios da Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas. Há registros desses conflitos em Palmas, Gurupi, Porto Nacional e Paraíso do Tocantins, entre outros municípios.

A demanda mundial para a produção de alimentos aumenta progressivamente a taxas muito altas, embora esta produção não tenha resolvido os problemas relacionados à fome, uma vez que tais alimentos constituem mercadorias. Áreas com maior quantidade de problemas ambientais e territoriais são aquelas em pior situação alimentar. Por exemplo, em estudos sobre (in)segurança alimentar em comunidades quilombolas no Tocantins, Monego et al. (2010), afirmam que é necessária a ampliação da produção de alimentos para o autoconsumo; a busca de alternativas para a obtenção de acesso ao saneamento básico; a formação de educadores sintonizados com a fixação da criança quilombola em seu território e a utilização de ferramentas da promoção da saúde junto aos diferentes segmentos da comunidade, com vistas a oportunizar autonomia e melhoria na qualidade de vida da população.

Um aspecto importante sobre as consequências da expansão do agronegócio para o meio ambiente é a o crescente uso de agrotóxicos e afins. No estado do Tocantins este é outro fator que contribuiu para a expansão do agronegócio, sendo esse quesito, ao mesmo tempo, causa e consequência dessa expansão. O alto consumo de agrotóxicos faz parte do pacote tecnológico que sustenta a agricultura nos moldes atuais, ao passo em que é também um reflexo dessa expansão. Dados do IBAMA (2021) revelam o avanço na comercialização de agrotóxicos, conforme Figura 4.

Considerando todas as Unidades Federativas do Brasil, em 2009 o Tocantins situou-se como o 16º estado maior comercializador de agrotóxicos. Em 2013, tornou-se o 12º e o 1º da Região Norte, comercializando mais de 4,7 mil toneladas de agrotóxicos. Em 2020, o Tocantins comercializou 1.471,69, continuando a ser o 12º maior comercializador de agrotóxico do Brasil e o 2º maior da Região Norte, atrás apenas do Estado do Pará (IBAMA, 2021).

Figura 4 - Total das vendas de agrotóxicos e afins no Brasil entre 2009 e 2020



Fonte: IBAMA (2021)

Outro aspecto relacionado à questão ambiental está na alteração do escoamento superficial, em virtude das alterações provocadas nas coberturas vegetais nativas, em detrimento da expansão das lavouras. Balduino (2019), em estudos sobre a caracterização do sedimento de fundo no reservatório de abastecimento público do município de Porto Nacional, Tocantins, afirma que

levando em consideração o avanço da agricultura nas mediações do reservatório de abastecimento, e conseqüentemente, a retirada de cobertura do solo e exposição a intempéries, acarretará na produção de sedimentos que irá afetar a operação do reservatório e favorecerá a poluição química e física da água, prejudicando assim a qualidade para consumo humano (BALDUÍNO, 2019, p. 52).

O autor supracitado destaca uma outra consequência do agronegócio baseado no elevado consumo de agrotóxico no estado, que é a poluição química. Sobre este aspecto, Balduino (2019) aponta que vem aumentando consideravelmente o consumo de agrotóxicos nas lavouras tocantinenses, sendo o glifosato o mais vendido no estado, equivalendo a 2.869,37 ton.IA.ano⁻¹ (toneladas de ingredientes ativos por ano), comprometendo a qualidade ambiental e trazendo riscos à saúde humana, além da fauna e flora.

No que tange às alterações climáticas provocadas pelo agronegócio, em estudos realizados na comunidade quilombola no Morro de São João, Tocantins, Castro e Souza (2022) afirmam que a partir da expansão do agronegócio sobre áreas quilombolas, se observa a formação de microclimas com temperaturas do ar mais elevadas, dentro de um quadro de

mudanças ambientais. Os autores apontam ainda para uma tendência de formação de mosaicos com respostas térmicas distintas, o que pode trazer implicações sobre a qualidade de vida, o uso dos bens comuns da natureza e o autossustento dessa comunidade, entre outros aspectos.

No âmbito dos biomas, Pelicice et al. (2021) afirmam, por exemplo, que a expansão do agronegócio de soja e outras *commodities* tem causado a perda de 50% do Cerrado, com avanço progressivo sobre os remanescentes de áreas naturais. Segundo os autores, em 2019, as pastagens e monoculturas cobriam mais de 42% da bacia Tocantins-Araguaia. Gomes (2019) afirma que

os impactos ambientais causados pela atividade agropecuária nos recursos naturais são decorrentes da mudança do uso do solo, provocado pela supressão da vegetação natural e sua conversão em áreas cultivadas, da degradação do solo das áreas cultivadas, causada por práticas de manejo inadequadas e do uso indiscriminado de agrotóxicos e fertilizantes. A erosão provocada pelo pisoteio do gado nas vertentes é uma das principais fornecedoras de sedimentos para os cursos d'água, pois altera a geometria das encostas, remove partículas do solo, induz e/ou intensifica a erosão laminar e em sulco e compacta o solo. É importante indicar que as pastagens degradadas apresentam altas taxas de perda de solo e água e baixa capacidade produtiva, tornando-as mais vulneráveis aos ataques de pragas, doenças e plantas invasoras (GOMES, 2019, p. 69).

Neste contexto, Gomes (2019) afirma ainda que grande parte da expansão agrícola na região do MATOPIBA ocorreu sobre vegetação nativa: 68% (0,78 milhão de hectares) entre 2000 e 2007, e 62% (1,3 milhão de hectares) entre 2007 e 2014, principalmente nos estados do Maranhão e no Piauí, que apresentam áreas pertencentes a atual fronteira agrícola no bioma.

4.4. Injustiças ambientais e vulnerabilidade

A disponibilidade hídrica é um indicador hidrológico importante para todos os habitantes de uma localidade. Seja pelo aspecto econômico (mineração, indústria, agropecuária, turismo), lazer e consumo humano. A escassez deste recurso pode impactar em qualquer aspecto anteriormente citado, porém, neste tópico, será traçado um panorama inicial da população dos municípios do estado do Tocantins.

Após a análise do comportamento das chuvas e da estimativa da disponibilidade hídrica por meio do rendimento específico (RE_{90}) nos sistemas hidrográficos em que o estado está inserido, foi possível identificar o índice de pobreza hídrica dos municípios tocantinenses, cujos resultados serão apresentados no capítulo 4. Lamim-Guedes (2012) afirma que os problemas ambientais acontecem de forma desigual espacialmente, com algumas localidades mais

suscetíveis à ameaças ambientais, como secas, chuvas torrenciais e perdas de plantações – e as pessoas respondem às alterações também de formas diferentes, conforme o acesso à tecnologia e a renda de cada um, ou a condição do país em que vivem.

De acordo com Sullivan et al. (2003), o IPH é uma forma de medir o estado da água com foco na pobreza e nos meios de subsistência dos menos favorecidos financeiramente. Os cinco componentes do IPH são análogos aos meios de subsistência. Não há uma equivalência estrita, de um para um, mas os conceitos de IPH e de meios de subsistência se encaixam. Sullivan et al. (2003), afirma ainda que índice de pobreza hídrica

foi concebido como uma ferramenta complexa e interdisciplinar, ligando indicadores de água e bem-estar humano para indicar o grau em que a escassez de água impacta as populações humanas. O foco principal do índice é nas pessoas pobres, que mais sofrem com o acesso inadequado à água. O IPH combina informações físicas, sociais, econômicas e ambientais associadas à escassez de água, acesso à água e capacidade de uso da água para fins produtivos (SULLIVAN et al., 2003, p. 191).

Considerando este contexto, Carvalho (2012) afirma que os processos que ocorrem na bacia hidrográfica irão repercutir de alguma forma nos recursos hídricos superficiais e/ou subterrâneos. As condições climáticas, a cobertura vegetal, o embasamento geológico e a ação antrópica são alguns dos fatores que podem contribuir para uma maior ou menor vulnerabilidade hídrica.

Em meio às tensões ambientais geradas pelas atividades econômicas sobre o meio físico e humano, surge a preocupação com a disponibilidade hídrica no Tocantins, demandando amplos estudos sobre a capacidade dos recursos hídricos de suportar as pressões exercidas por agentes que exploram a natureza e cometem injustiças em favor da produção mercantil de alimentos.

É nesse contexto que, se considerarmos a relação agronegócio-disponibilidade hídrica, deve ser pensada a magnitude do impacto da possível redução da água para a população dos municípios tocantinenses. Nesse sentido, Herculano (2008) define o conceito de injustiça ambiental como o mecanismo pelo qual sociedades desiguais destinam a maior carga dos danos ambientais do desenvolvimento a grupos sociais de trabalhadores, população de baixa renda, grupos raciais discriminados e/ou marginalizados e mais vulneráveis. Sobre este conceito de injustiça ambiental, Moura (2009) considera que

a injustiça ambiental resulta da lógica perversa de um sistema de produção, de ocupação do solo, de destruição de ecossistemas, de alocação espacial de processos poluentes, que penaliza as condições de saúde da população

trabalhadora, moradora de bairros pobres e excluída pelos grandes projetos de desenvolvimento (MOURA, 2009, p. 3).

Assim, injustiça ambiental é qualquer processo em que os impactos negativos provocados pela exploração e uso de recursos naturais e da geração de resíduos indesejáveis sejam distribuídos sócio e espacialmente de forma assimétrica a partir das segregações de classes, ou seja, a desigualdade na exposição dos riscos gerados pelos modelos hegemônicos de organização do espaço e na capacidade de acesso a recursos ambientais (SOUZA, 2019).

Em estudos sobre justiça ambiental realizado no Cerrado brasileiro, Wolford (2008) afirma que nos últimos 40 anos, a região se tornou uma potência agroindustrial. Segundo a autora, a soja é o principal produto agrícola da região e o Brasil é agora um dos dois maiores exportadores do mundo, ameaçando até a produção dos Estados Unidos. A autora destaca dois aspectos da (in)justiça ambiental no agronegócio praticado no Cerrado brasileiro: I – desigualdade distributiva, que se refere à concentração de recursos nas mãos de uma minoria elitizada; II – desigualdade processual, que se refere ao processo pelo qual as desigualdades são constituídas e naturalizadas.

Segundo a autora, há uma crença popular e acadêmica de que a forma como se deu o desenvolvimento no Cerrado, com fatores ecológicos e econômicos combinados, favoreceu a agricultura em larga escala. Esta produção em larga escala seria a única resposta às características “naturais” deste ambiente, particularmente de solo infértil que requer intensivo tratamento antes do plantio e sua topografia plana que facilita a mecanização.

Acselrad et al. (2009) afirmam que a noção de justiça ambiental está ligada ao direito a um meio ambiente seguro, sadio e produtivo para todos, considerando-o em sua totalidade, com suas dimensões ecológicas, físicas, sociais, políticas, estéticas e econômicas, respeitando as identidades individuais e de grupo, a dignidade e autonomia das comunidades.

Especificamente no estado do Tocantins, Souza (2016), considerando a consolidação do agronegócio como principal via de exploração capitalista da natureza no Cerrado, afirma que a agricultura de subirrigação praticada em grandes propriedades nas várzeas do médio Araguaia, como as bacias dos rios Formoso e Urubu, no município de Lagoa da Confusão (TO), tem contribuído para uma redução sem precedentes dos níveis desses cursos d'água, enquanto comunidades de assentados da reforma agrária instaladas na mesma região, porém nos interflúvios, sofrem com as dificuldades de acesso à água durante a estação seca.

Valencia Rojas et al. (2014) realizaram estudos sobre vulnerabilidade de fontes de água com resultados regionais para a sub-bacia de Las Piedras e Michicao (Colômbia), considerando os seguintes parâmetros: incorporação de indicadores relevantes para fontes de água

municipais; conhecimento local sobre percepção, clima e identificação de problemas relacionados; procedimentos matemáticos e ajuste de algoritmos para calcular a vulnerabilidade; e articulação com instrumentos de planejamento territorial. Em seus resultados, afirmaram que as mudanças climáticas e a variabilidade climática afetam a disponibilidade de água nas bacias hidrográficas e constituem uma preocupação global, especialmente por suas implicações nas comunidades humanas.

A discussão sobre vulnerabilidade está especialmente presente nos estudos sobre riscos ambientais, sendo que é possível encontrar subsídios conceituais em trabalhos voltados a essa temática. Souza e Zanella (2009) afirmam que a noção de risco como produto da probabilidade de ocorrência de um fenômeno natural indutor de acidentes pelas consequências geradas em uma comunidade, embora difundida no Brasil e no exterior, pode ser questionada. Segundo os autores, há na literatura também um entendimento da noção de risco caracterizada pela presença concomitante de dois componentes: ameaça e vulnerabilidade.

A ameaça está relacionada às condições físico-naturais do terreno ou da área ocupada, indicando sua maior ou menor suscetibilidade à ocorrência de fenômenos que podem colocar o homem em situação de perigo, como os escorregamentos, as inundações, os terremotos, os furacões etc. Já a vulnerabilidade diz respeito às condições objetivas e subjetivas de existência, historicamente determinadas, que originam ou aumentam a predisposição de uma comunidade a ser afetada pelos possíveis danos decorrentes de uma ameaça (SOUZA e ZANELLA, 2009 p. 13).

No âmbito da vulnerabilidade social, deve-se atentar que ela

identifica as características da população que aumentam ou diminuem a sua capacidade de preparação para a resposta e a recuperação de um acontecimento perigoso ou de um desastre. A vulnerabilidade social ajuda também a compreender a distribuição dos riscos e das perdas potenciais, ou seja, a relação existente entre as populações vulneráveis e os ambientes naturais vulneráveis (CUTTER, 2011, p. 62).

No Tocantins não será diferente, considerando a forte expansão das atividades que constituem o agronegócio, há uma expectativa natural pelo aumento da demanda de recursos hídricos, que se concretizando, implicará em ameaças à população de diferentes municípios, em espaços urbanos e rurais. Com recursos financeiros limitados por parte desta população, o acesso à água pode ser comprometido. Considerando a quantidade e a qualidade, possíveis ameaças ao abastecimento domiciliar urbano e alteração das atividades produtivas no campo,

pode inclusive, ocorrer movimentos migratórios como o êxodo rural. Este tipo de deslocamento populacional pode ocasionar a perda do conhecimento relacionado à sociobiodiversidade, devido ao rompimento do elo entre essas populações e a natureza, deixando gradativamente de existir.

Em estudos sobre o avanço da pecuária e da soja na Amazônia Legal, Domingues e Bermann (2012) observam o deslocamento da população das áreas rurais das regiões de expansão da fronteira agrícola para as grandes cidades, devido à introdução da monocultura da soja por meio da mecanização, uso de fertilizantes e sementes melhoradas geneticamente, além de expansão de latifúndios. As grandes empresas ocupam espaços no campo antes ocupado por culturas camponesas diversificadas, reduzindo o trabalho no campo e a capacidade de produção de alimentos tradicionais, comprometendo a segurança alimentar da população.

Monego et al. (2010) afirmam que no Tocantins, considerando as comunidades quilombolas, um dos aspectos estudados que mostrou maior relevância foi o relato sobre a (falta de) qualidade da alimentação e preocupação com sua obtenção. A restrição e/ou deficiência quantitativa na alimentação, e até mesmo a fome, estão presentes para uma parcela significativa das famílias quilombolas, conforme os autores.

As consequências das mudanças climáticas provavelmente apresentarão grande variabilidade entre as diferentes regiões do planeta e os setores econômicos. Particularmente, haverá um impacto desproporcional sobre os pobres em áreas rurais, onde o autossustento da maioria depende diretamente dos recursos naturais (FISCHER et al., 2002).

4.5. Geoestatística

A variabilidade espacial de certos atributos do solo é objeto de investigação de pesquisadores desde o início do século XX, porém, as ferramentas adotadas neste período baseavam-se na estatística clássica e utilizavam grandes quantidades de dados amostrais, visando caracterizar ou descrever a distribuição espacial da característica de interesse em cada estudo (CAMARGO, 1998).

Diante desta realidade, a geoestatística começou a ser utilizada por volta dos anos 1950 pela indústria da mineração, com objetivo de contribuir com as estimativas dos teores de ouro em painéis e minas subterrâneas na África do Sul, pelo engenheiro Daniel Krige e o estatístico Hebert Sichel. Esse trabalho atraiu o interesse de pesquisadores como Georges Matheron, que agregou os conceitos de Krige com sua teoria das variáveis regionalizadas, criando uma única

estrutura, que foi amplamente difundida nos anos 1970 para outras áreas das Ciências da Terra (MIRANDA, 2021).

Landim (2006) afirma que, embora muitos geólogos considerem a geoestatística como a aplicação de métodos estatísticos em Geologia, este conceito não corresponde à definição do termo. O autor afirma que na década de 1960, na França, estudos sobre variáveis regionalizadas receberam o nome de Geoestatística, a partir da análise destas variáveis com um condicionamento espacial. Considera-se uma “variável regionalizada uma função numérica com distribuição espacial, que varia de um ponto a outro com continuidade aparente, mas cujas variações não podem ser representadas por uma função matemática simples” (CAMARGO, 1998, p.3).

A geoestatística, mais do que aplicar métodos matemáticos, utiliza os dados de duas maneiras: primeiramente para estimar a autocorrelação espacial, e depois para fazer previsões e estimativas, com base em um conceito probabilístico. Assim, a geoestatística parte da premissa de que a diferença de valor entre duas observações aleatórias é função da distância e da direção em que ocorre o afastamento entre os pontos de medida, indicando que as diferenças na área estudada devam ser consistentes em sua totalidade, o que não significa que sejam constantes. É o que se define por hipótese intrínseca, ou quase estacionaridade (ANDRIOTTI, 2002).

Sobre a utilização da geoestatística, Andriotti (2002) afirma que as técnicas geoestatísticas podem ser usadas para “descrever e modelizar padrões através da variografia; prever valores em locais não amostrados, pela Krigagem; estimar a incerteza associada a um valor estimado em locais não amostrados pela variância de Krigagem (ANDRIOTTI, 2002, p. 4).

Em estudos sobre análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC), Mello e Oliveira (2016) afirmam que a Krigagem é uma técnica univariada de inferência espacial que considera a dependência no espaço, expressa em um gráfico denominado semivariograma, entre amostras vizinhas para estimar valores em qualquer posição da área de estudo, sem tendência e com variância mínima, tornando-se um ótimo estimador. A utilização da krigagem possibilita o cálculo de uma medida do erro de estimação para cada valor e de um intervalo de confiança (MELLO e OLIVEIRA, 2016).

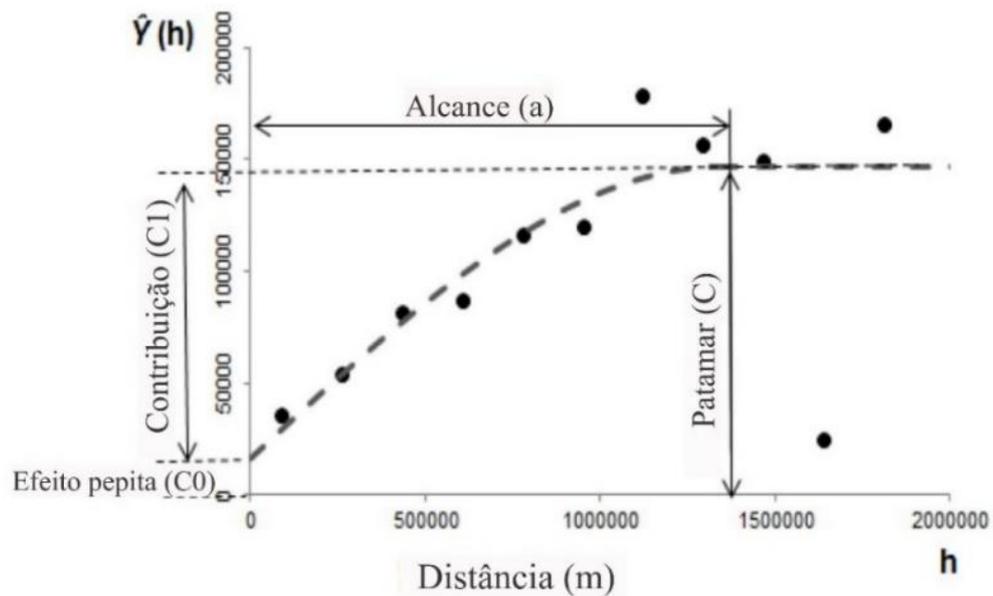
Sobre o semivariograma,

se trata de uma ferramenta que permite individualizar a ocorrência de alguma estrutura espacial no conjunto de dados. O semivariograma é o modelo matemático que captura a correlação espacial entre os dados. O

semivariograma é uma medida de variabilidade, aumenta à medida que as amostras se tornam mais diferentes (FERRARI, 2013, p. 13).

O semivariograma empírico é o modelo pelo qual se identifica o comportamento espacial de uma variável a ser estudada. A partir deste modelo é possível identificar alguns parâmetros que podem ser ajustados, tais como: o alcance (a): representa a distância na qual tem-se correlação espacial entre as amostras; o patamar (C): o valor da variância em que o semivariograma se estabiliza; o efeito pepita (C0): valor da semivariância para a distância igual a zero e; e a contribuição (C1): consiste na diferença entre os valores do patamar e do efeito pepita, cujo resultado permite quantificar a variabilidade dos dados (PEREIRA, 2020), que podem ser observados na Figura 5.

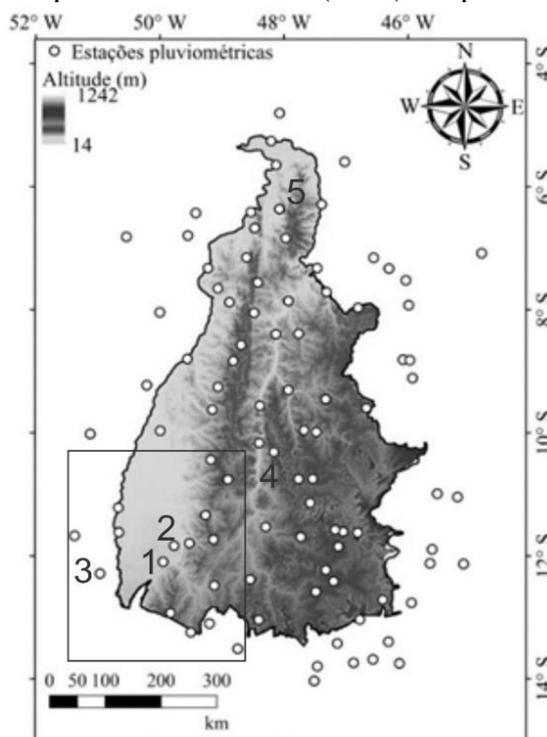
Figura 5 – Exemplo de semivariograma experimental.



Fonte: Souza (2016)

Em estudos realizados sobre chuvas intensas no Tocantins, Silva Neto et al. (2020) consideraram 95 estações pluviométricas, dentre as quais, 5 amostras foram destacadas e uma seção no sudoeste do Tocantins para compreensão do fundamento geoestatístico a partir do interpolador Krigagem empregado no Capítulo 1 (Figura 6).

Figura 6 – Modelo digital de elevação para o estado do Tocantins contendo 95 estações pluviométricas utilizadas por Silva Neto et al. (2020) em procedimentos geoestatísticos



Fonte: Adaptado de Silva Neto et al. (2020)

Partindo do princípio que ocorra uma relação espacial entre as intensidades registradas, estes valores serão muito próximos em localidades vizinhas e gradativamente diferentes na medida em que as localidades estão mais distantes. Assim, é razoável deduzir que os volumes precipitados das amostras 1, 2 e 3 sejam similares aos valores médios do bloco destacado, sendo que as amostras 4 e 5, por estarem mais distantes, apresentem intensidades médias bem diferentes à média do bloco.

Neste sentido, Landim (2006) afirma, em outras palavras, que amostras situadas perto do bloco deverão apresentar valores altamente relacionados com ele e poderão, portanto, serem utilizadas para estimar o seu valor médio e, à medida que se situem a distâncias maiores, o seu relacionamento diminui até se tornar independente.

O Capítulo 2 aborda a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica no Tocantins com base nessas técnicas geoestatísticas.

4.6. Regionalização de vazões

A precipitação pluvial é a principal entrada de água em uma bacia hidrográfica (MELLO e VIOLA, 2013). Por isso é tão importante conhecer as características espaciais e temporais das

precipitações em uma localidade (bacia hidrográfica, estado, país, etc.), por meio de análises exploratórias e técnicas geostatísticas, entre outros procedimentos que permitam identificar tendências de aumento ou redução de volumes precipitados. Assim, podem-se operacionalizar análises para uma compreensão mais precisa do comportamento das vazões ao longo do tempo.

Um fator limitante dos estudos hidrológicos está na quantidade escassa de estações pluviométricas e fluviométricas nas bacias hidrográficas brasileiras, que possam fornecer informações essenciais para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos. Diante disso, Lopes et al., (2016) afirmam que a utilização de modelos hidrológicos é fundamental para a estimativa dos valores de vazões de bacias hidrográficas que não tenham registros suficientes destes dados hidrológicos.

Um dos métodos que vêm sendo amplamente difundidos para o conhecimento das vazões é o da regionalização, que consiste em um conjunto de procedimentos que exploram o máximo das informações disponíveis, com o objetivo de estimar variáveis hidrológicas em locais sem dados ou com informações insuficientes.

Neste sentido, “as características fisiográficas e climáticas são consideradas uniformes dentro de uma bacia, o que possibilita aplicação da regionalização, sendo então, adotadas como variáveis explanatórias para as modelagens determinadoras da vazão em questão” (GASQUES et al., 2018, p. 61). Assim, os procedimentos de regionalização de vazões podem ser utilizados para explorar melhor as amostras pontuais, melhorar estimativas das variáveis, verificar inconsistências de séries hidrológicas e identificar a falta de postos de observação (TUCCI, 2009).

Os principais métodos aplicados à regionalização de vazões em uma região hidrologicamente homogênea são: 1 – o método que regionaliza os quantis associados a um risco previamente especificado; e 2 – o método que regionaliza uma curva de probabilidade adimensional, que é chamado de método índice-cheia. (NAGHETTINI e PINTO 2007). Rodrigues et al. (2021) afirmam que o método 1 é aplicado para regionalizar Q_{mlt} , Q_{90} , Q_{95} e $Q_{7,10}$. Já o método 2 é utilizado para regionalizar as vazões máximas anuais em função do período de retorno. Essas regionalizações possibilitam estimar quantis variados para diversas demandas em uma região homogênea, constituindo assim, ferramentas de extrema importância para a gestão dos recursos hídricos.

As vazões associadas a riscos específicos podem ser regionalizadas por meio do ajuste de um modelo de regressão, que considera a vazão a ser regionalizada como variável dependente e, como no estudo apresentado no capítulo 3, a área de drenagem como variável independente.

4.7. Índice de Pobreza Hídrica (IPH)

Problemas relacionados à água sempre são alvo de preocupações, especialmente quando afetam a população mais pobre. Isso impõe aos governos e agências a adoção de ferramentas necessárias para monitorar o progresso das ações no setor hídrico através de metodologias interdisciplinares, capazes de avaliar quantitativa e qualitativamente os problemas identificados (LUNA, 2007).

Goel et al. (2019) discutem o conceito de estresse hídrico, que é caracterizado quando a demanda ecológica e humana de água não pode ser atendida devido à disponibilidade insuficiente de água ou a má qualidade restringe seu uso. Os autores afirmam que, segundo a UNESCO, mais de 2 bilhões de pessoas residem em países que vivenciam alto nível de estresse hídrico. Além disso, as regiões que enfrentam um alto nível de estresse hídrico físico estão localizadas principalmente na África e na Ásia.

Senna (2015) afirma que “os indicadores vêm tomando um papel fundamental no processo de desempenho, tornando-se uma importante ferramenta de gestão por estabelecerem diretrizes na política de gestão e alocação de recursos” (SENNA, 2015, p. 12). Neste sentido, o índice de pobreza hídrica (IPH) vem sendo amplamente difundido em diversas regiões do globo, como alternativa para avaliar as condições hídricas agregadas aos aspectos socioeconômicos.

A professora de Economia e Política Ambiental australiana Caroline A. Sullivan desenvolveu em 2002, o modelo para calcular o índice de pobreza hídrica, agregando subíndices chamados neste estudo de componentes ligados aos recursos hídricos, acesso, capacidade, uso e meio ambiente, capazes de refletir as condições socioeconômicas e hidrológicas de uma região. Segundo Sullivan (2002), onde há pobreza hídrica, quaisquer medidas para reduzir a pobreza de renda provavelmente não serão bem-sucedidas.

Crispim (2015) afirma que o IPH pode ser utilizado em várias escalas, tanto a global quanto as mais reduzidas, como a local (comunidades). Porém, é preciso uma avaliação mais minuciosa para as escalas menores. Segundo o autor, o IPH utilizado no âmbito local ou em comunidades, “pode auxiliar os encarregados pela gestão das águas a analisar o desenvolvimento das atividades e a priorizar o consumo conforme a atividade que mostrar mais necessidade” (CRISPIM, 2015, p. 23).

Sullivan (2002), com o objetivo de desenvolver o IPH como ferramenta holística, com base nas ciências físicas e sociais, para a aplicação em diferentes escalas, visava ao aprimoramento de tal índice, permitindo aos gestores direcionar questões transversais de forma

integrada, identificando e acompanhando os fatores físicos, econômicos e sociais que relacionam a água e a pobreza. Neste sentido, a autora afirma que:

embora os recursos hídricos globais possam ser finitos, o mesmo não pode ser dito da demanda de água. O crescimento da população humana está criando uma demanda crescente por água e, se, ao mesmo tempo, se os padrões de vida aumentarem, o consumo de água *per capita* também provavelmente aumentará. Isso significa que a disponibilidade de recursos hídricos, ou a falta dela, está ligada ao progresso econômico e social, sugerindo que o desenvolvimento provavelmente será influenciado pela forma como os recursos hídricos são administrados. Em nível nacional, percebe-se que países com maiores níveis de renda tendem a ter maior nível de uso de água (SULLIVAN, 2002, p. 1196)

O IPH integra uma série de aspectos que retratam as principais preocupações dos países em desenvolvimento relacionadas à disponibilidade física dos recursos hídricos, extensão do acesso à água e ao saneamento, capacidade das pessoas de administrar a água para sustentar o acesso, uso da água para diferentes propósitos e a fatores ambientais que afetam o abastecimento de água (EL-GAFY, 2018). Além disso, o IPH combina dados sobre recursos hídricos utilizados pela população local e por agências de desenvolvimento hídrico, para monitorar o progresso no fornecimento de água em diferentes níveis de escala (SULLIVAN et al., 2003).

Um argumento defendido pelos críticos da metodologia desenvolvida por Sullivan (2002) refere-se à atribuição de pesos. Senna (2015) afirma que esta atribuição de pesos pode ser considerada um processo arbitrário e que nenhuma ponderação pode justificar racionalmente a distribuição de peso atribuída a um determinado indicador. Entretanto, no trabalho desenvolvido por Sullivan (2003), a autora discorre sobre esta questão:

A estrutura do índice de pobreza hídrica permite que diferentes pesos sejam aplicados tanto aos componentes quanto aos subcomponentes. Nestes resultados, pesos iguais são usados. Isso significa que há algum grau de ponderação implícita de subcomponentes, uma vez que existem diferentes números deles dentro de cada componente principal. No entanto, tendo determinado que esses cinco componentes-chave representam os aspectos significativos a serem expressos no IPH, isso não é considerado inadequado (SULLIVAN, et al., 2003, p. 195).

Segundo Senna (2015), um obstáculo que deve ser superado para o desenvolvimento desta abordagem e sua metodologia é a dificuldade no desenvolvimento de indicadores em função da escassez de dados.

Além disso, segundo Olivas-Palma e Camberos-Castro (2021), é importante destacar que a pobreza hídrica é um problema que vai além da falta de água como recurso natural, que transcende os aspectos econômicos e sociais e, portanto, precisa ser avaliado pela síntese de

informações de diferentes componentes, dimensões e indicadores. Os autores também afirmam que é importante o desenvolvimento de um índice que represente o quão satisfeita uma população está com a disponibilidade de água ou, se não, o que falta à população para alcançá-la e quais são os componentes do índice sobre os quais se baseia.

Assim, este estudo se dedica, de maneira geral, a uma análise dos indicadores e variáveis necessários para determinação do IPH na unidade federativa mais jovem do Brasil, o Tocantins. Para isso, buscou-se superar inicialmente a limitação imposta pela escassez de dados, no que se refere à disponibilidade hídrica superficial para os 139 municípios, associando as informações produzidas como alternativa referente aos recursos hídricos (chuva e vazão) aos aspectos socioeconômicos e ambientais, o que permitiu uma compreensão geral da situação dos municípios tocantinenses, conforme será demonstrado no Capítulo 4.

5. CAPÍTULO 2: VARIABILIDADE ESPACIAL E TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO NO ESTADO DO TOCANTINS²

Resumo: O objetivo deste estudo é realizar o mapeamento da precipitação pluvial mensal e anual com base em procedimentos da geoestatística e analisar as tendências espaciais e temporais das chuvas para o estado do Tocantins. Foram constituídas séries históricas de precipitação mensal e anual em um período padronizado entre 1988 e 2019, gerando-se valores médios para proceder com a espacialização e interpolação dos dados. A análise exploratória dos dados foi realizada a partir de gráficos de tendência para a precipitação anual, que demonstram o comportamento geral apresentado nesta análise entre os diferentes eventos em estudo, submetendo os dados ao teste de tendências de Mann-Kendall. Procedeu-se com o ajuste do modelo de semivariograma teórico, a partir da obtenção dos valores para os parâmetros estruturais como o efeito pepita, a contribuição e o alcance. Para a precipitação mensal, o grau de dependência espacial para os modelos com melhor desempenho variou entre 72,4% e 100%. Sob o ponto de vista espacial, o sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação e o mês de dezembro os maiores. Já pelo viés temporal, durante o mês de julho, a porção centro-sul tocaninense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm, enquanto nos meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). Os meses entre julho e setembro são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a precipitação no período apresentou variação de 0 a 25 mm.

Palavras-chaves: Geoestatística. Mann-Kendall. Pluviosidade.

5.1. Introdução

A compreensão das características espaciais e temporais da precipitação pluvial de uma localidade é fundamental para a eficácia da gestão dos recursos hídricos de forma sustentável. Ou seja, é preciso conhecer o comportamento pluvial para utilização da água no intuito de solucionar problemas existentes onde este recurso é escasso e prevenir problemas futuros como conflitos pelo uso da água, inundações urbanas e falta de água para abastecimento público, já que a precipitação pluvial é o principal componente do ciclo hidrológico, diretamente responsável pela entrada da água numa bacia hidrográfica (MELLO e VIOLA, 2013). Tanto no âmbito das demandas para o consumo humano quanto para as atividades agrícolas, há a possibilidade de a precipitação ocasionar prejuízos em situações de excesso ou escassez, pois afeta diretamente o consumo doméstico, a irrigação, a qualidade e a disponibilidade hídrica de um modo geral (OLIVEIRA et al., 2017).

² Artigo publicado no periódico científico Research, Society and Development, v. 10, n. 3, p. 1-11, 2021.

Neste sentido, a “variabilidade climática e o aumento dos eventos meteorológicos [excepcionais], especialmente quanto à precipitação pluviométrica e à temperatura do ar, tem preocupado, tanto as autoridades governamentais, quanto os tomadores de decisão, em todos os segmentos da sociedade” (ANDRADE et al., 2018, p. 127). Diversas atividades antrópicas sofrem influência direta do clima em diferentes graus, sobretudo a agricultura, em que o clima é um fator condicionante para as diferentes culturas, que devem ser compatíveis com a oferta climática variável no tempo e no espaço, o que justifica o estudo da precipitação pela Climatologia e pela Agrometeorologia, assim como das tendências climáticas (ELY e DUBREUIL, 2017).

No que se refere aos dados de precipitação, Baptista e Severo (2018) afirmam que são consequência das características do clima de uma determinada região e que as séries históricas apresentam componentes como variabilidade, tendências, aleatoriedade e sazonalidade, que podem ser analisadas por meio de testes não paramétricos como o de Mann-Kendall, recomendado para a verificação de tendências em séries temporais de elementos climáticos.

Penereiro et al. (2016) afirmam que a análise da precipitação pluvial tem recebido atenção especial por parte da comunidade científica em função de sua influência nas condições da qualidade de vida das pessoas, produção energética, gestão da água e diversas outras atividades, como industriais e turísticas.

No mapeamento da precipitação pluvial, são empregados métodos de interpolação espacial, em que se destacam as técnicas geoestatísticas. Nelas, o “semivariograma é uma das ferramentas mais importantes dessa metodologia, pois permite determinar a amplitude da dependência espacial e descreve o comportamento da variável” (GOMES, 2011, p. 693). Já a estatística clássica considera que as realizações das variáveis aleatórias são independentes entre si, desconsiderando assim a influência entre observações vizinhas (SANTOS et al., 2011).

Diversos estudos sobre a precipitação foram realizados nos últimos anos, em diferentes abordagens, com foco na relação intensidade-duração-frequência, desagregação de chuvas diárias, precipitação máxima ou mínima provável, bem como a variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial. Dentre estes, podem ser mencionados os trabalhos de Viola et al. (2010), que avaliaram o desempenho de diferentes métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial; Gomes (2011), que realizou a análise geoestatística da precipitação pluvial do estado da Paraíba; Mello et al. (2012) estudaram a continuidade espacial das grandezas precipitação pluviométrica e erosividade da chuva em escala de tempo mensal e anual, aplicando procedimentos de geoestatísticas; Marcuzzo e Goularte (2013) caracterizaram o ano hidrológico, mapeando as chuvas nos períodos úmido e seco do estado do Tocantins;

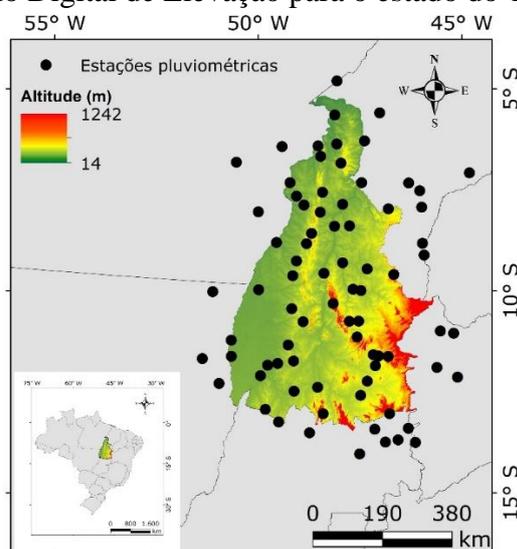
Santos et al. (2014), que abordaram a variabilidade da precipitação no estado do Pará; Penreiro et al. (2015), que apresentaram um diagnóstico sazonal sobre os comportamentos climáticos e hidrológicos na região da bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia; e Barros et al. (2020) que utilizaram a geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco.

Diante do exposto, a questão norteadora é como a precipitação pluviométrica varia temporal e espacialmente no território tocantinense? Assim, o objetivo deste estudo é realizar o mapeamento da precipitação pluvial mensal e anual com base em procedimentos da geoestatística e analisar as tendências espaciais e temporais das chuvas para o estado do Tocantins, considerando o período entre 1989 e 2019.

5.2. Procedimentos metodológicos

Em uma etapa preliminar, foram utilizados dados de 93 estações pluviométricas, obtidos por meio do site Hidroweb, pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas, conforme a Figura 7. Inicialmente, foram constituídas séries históricas de precipitação mensal e anual em um período padronizado entre 1988 e 2019 para cada estação, gerando-se valores médios para proceder com a espacialização e interpolação dos dados. É importante destacar que foram descartados os anos que continham falhas em suas séries históricas, sobretudo durante o período chuvoso, o que determinou um período médio padronizado de aproximadamente 30 anos.

Figura 7 – Localização das estações pluviométricas utilizadas no mapeamento da precipitação pluvial e Modelo Digital de Elevação para o estado do Tocantins



Fonte: ANA (2019); ASF DAAC (2021). Org. Autor (2021)

A análise exploratória dos dados foi realizada a partir de gráficos de tendência para a precipitação anual, que demonstram o comportamento geral apresentado nesta análise entre as diferentes situações analisadas. O resultado desta etapa foi essencial para se avaliar a aplicação das técnicas geoestatísticas (ALVES et al., 2016), os dados foram submetidos ao teste de tendências de Mann-Kendall ($\alpha = 0.05$). Para o mapeamento da precipitação média mensal e anual no Tocantins, as estações que apresentaram resultados menores que 0,05 no teste de tendência, foram descartadas antes da análise geoestatística e, conseqüentemente, da espacialização dos dados. Foi utilizado o software ArcGIS9.2® (ESRI, 2004). Foram adotadas a Projeção Cônica de Albers e o Datum SIRGAS 2000 para a produção dos mapas, conforme descrito por Silva Neto et al. (2020).

É importante destacar que do total de 93 estações pluviométricas representadas pela Figura 7, 34 estações estão fora do território tocantinense, porém, com relevância para o processo de interpolação na região de contorno. O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido através de ASF DAAC (2019) e utilizado para obtenção dos valores de altitude das estações pluviométricas, conforme Tabela 2.

Tabela 2 – Relação das estações pluviométricas utilizadas no presente estudo

Código da Estação	Município-UF	Latitude	Longitude	Altitude (m)
949000	Abreulândia-TO	-9,624	-49,155	237
1147000	Almas-TO	-11,579	-47,174	419
1447000	Alto Paraíso-GO	-14,035	-47,512	1552
945011	Alto Parnaíba-MA	-9,113	-45,926	286
1249000	Alvorada-TO	-12,484	-49,124	315
648001	Ananás-TO	-6,364	-48,073	195
849002	Araguacema-TO	-8,802	-49,556	155
1249001	Araguaçu-TO	-12,931	-49,829	293
548000	Araguatins-TO	-5,648	-48,125	117
749000	Arapoema-TO	-7,655	-49,065	221
1246001	Aurora do Tocantins-TO	-12,714	-46,409	467
746006	Balsas-MA	-7,523	-46,034	259
950001	Santana do Araguaia-PA	-9,228	-50,211	214
1249003	Sandolândia-TO	-12,099	-49,948	206
1151000	Alto Boa Vista-MT	-11,675	-51,376	249
846005	Alto Parnaíba-MA	-8,813	-46,078	295
749001	Araguaína-TO	-7,323	-49,224	127
746007	Balsas-MA	-7,929	-45,989	332
547005	Buritirana-MA	-5,594	-47,019	231
1346004	Campos Belos-GO	-13,037	-46,777	637
847002	Campos Lindos-TO	-7,971	-46,806	291
950002	Pium-TO	-9,970	-49,994	177
747000	Carolina-MA	-7,323	-47,464	172
848000	Colinas-TO	-8,053	-48,482	232
1248001	Peixe-TO	-12,388	-48,544	319
748001	Bernardo Sayão-TO	-7,878	-48,879	160
1247000	Conceição do Tocantins-TO	-12,233	-47,324	413
1146000	Dianópolis-TO	-11,625	-46,811	687
949001	Dois Irmãos do Tocantins-TO	-9,257	-49,064	267

1149000	Dueré-TO	-11,339	-49,265	231
1349003	Porangatu-GO	-13,103	-49,201	352
1048000	Fátima-TO	-10,764	-48,902	358
1145004	Formosa do Rio Preto-BA	-10,993	-45,527	508
650001	Marabá-PA	-6,815	-50,539	296
1346002	São Domingos-GO	-13,686	-46,566	532
1245014	Barreiras-BA	-12,126	-45,644	712
1148000	S. Valério da Natividade	-11,531	-48,295	252
1346006	Correntina-BA	-13,752	-46,140	959
748002	Nova Olinda-TO	-7,561	-48,423	266
1245004	Barreiras-BA	-12,135	-45,104	484
649001	Sapucaia-PA	-6,795	-49,549	186
1247005	Fátima-TO	-12,585	-47,487	341
649000	Marabá-PA	-6,428	-49,420	134
1145001	Formosa do Rio Preto-BA	-11,048	-45,202	486
1149001	Formoso do Araguaia-TO	-11,797	-49,525	260
747001	Goiatins-TO	-7,715	-47,315	191
848001	Guaraí-TO	-8,832	-48,817	241
1149002	Gurupi-TO	-11,737	-49,136	346
845005	Alto Parnaíba-MA	-8,821	-45,968	310
847001	Itacajá-TO	-8,392	-47,763	184
848002	Itaporã do Tocantins -TO	-8,574	-48,690	341
1047001	Novo Acordo-TO	-9,991	-47,479	221
946003	Lizarda-TO	-9,597	-46,673	420
1050000	Luciara-MT	-11,219	-50,669	191
947001	Rio Sono-TO	-9,458	-47,327	331
948000	Miracema do Tocantins -TO	-9,564	-48,388	199
746008	Riachão-MA	-7,158	-46,554	486
748003	Muricilândia-TO	-7,154	-48,603	197
1147001	Natividade-TO	-11,697	-47,728	311
1346001	Nova Roma-GO	-13,743	-46,878	626
1145014	Barreiras-BA	-11,853	-47,122	370
1047000	Novo Acordo-TO	-9,961	-47,675	211
1349001	Novo Planalto-GO	-13,245	-49,502	291
747009	Palmeirante-TO	-7,859	-47,929	168
1248003	Palmeirópolis-TO	-13,042	-48,407	445
1048001	Paraíso do Tocantins-TO	-10,165	-48,399	209
1147002	Pindorama do Tocantins-TO	-11,140	-47,577	427
648002	Araguanã-TO	-6,672	-48,470	157
1049001	Pium-TO	-10,441	-49,179	286
1047004	Ponte Alta do Tocantins-TO	-10,751	-47,536	329
1347001	Teresina de Goiás-GO	-13,425	-47,139	365
1145013	Barreiras-BA	-11,896	-45,612	730
1147003	Porto Alegre do Tocantins-TO	-11,610	-47,045	379
1047002	Monte do Carmo-TO	-10,755	-47,765	294
948001	Pedro Afonso-TO	-9,307	-47,929	199
1249002	Formoso do Araguaia-TO	-11,839	-49,772	203
746009	Balsas-MA	-7,331	-46,308	305
850000	Redenção-PA	-8,044	-50,001	208
1247002	Conceição do Tocantins-TO	-12,416	-47,200	341
1245015	São Desidério-BA	-12,765	-45,944	827
448000	São Domingos do Capim-PA	-4,804	-48,069	200
1250001	Novo Santo Antônio-MT	-12,290	-50,966	214
1346000	São Domingos-GO	-13,398	-46,316	657
744000	São Félix de Balsas-MA	-7,081	-44,813	175
1150001	S. Félix do Araguaia-TO	-11,620	-50,663	178
548001	São Sebastião do Tocantins-TO	-5,260	-48,207	127
1048005	Palmas-TO	-10,313	-48,163	410
647000	Tocantinópolis-TO	-6,289	-47,392	142
1348003	Trombas-GO	-13,513	-48,745	393

848003	Tupiratins-TO	-8,399	-48,130	193
951000	Vila Rica-MT	-10,019	-51,123	260
647001	Wanderlândia-TO	-6,839	-47,971	246
648000	Xambioá-TO	-6,413	-48,533	139

Fonte: ANA (2019).

A Tabela 2 contém informações importantes sobre as estações pluviométricas utilizadas no presente estudo, como a localização e altitude. Das 93 estações pluviométricas, 59 estão localizadas no estado do Tocantins, cuja baixa altimetria é um fator que apresenta influência menor que outros fenômenos atmosféricos. A média da altimetria onde as estações estão localizadas é de 329 m, sendo a estação de Alto Paraíso, na região nordeste do estado de Goiás, a estação com altitude mais elevada (1552 m) e a estação de Araguatins, ao norte do Tocantins, a estação com menor altimetria (117 m).

Outra etapa com fundamental importância na análise geoestatística está no ajuste do modelo de semivariograma teórico, a partir da obtenção dos valores para os parâmetros estruturais de tais modelos, como o efeito pepita, a contribuição e o alcance. No presente estudo, foram testados os modelos esférico, exponencial e gaussiano, aplicando-se o método de ajuste dos Mínimos Quadrados Ponderados (MQP). Os modelos esférico, exponencial e gaussiano estão descritos nas Equações 1, 2 e 3, respectivamente.

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[\frac{3}{2} \cdot \left(\frac{h}{a}\right) - \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^3 \right], \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h \geq a \quad (1)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{3 \cdot h}{a}\right) \right], \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (2)$$

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left\{ 1 - \exp\left[-3 \cdot \left(\frac{h}{a}\right)^2\right] \right\}, \text{ se } 0 < h < a; \gamma(h) = C_0 + C_1; h > a \quad (3)$$

Em que,

$\gamma(h)$ = semivariância,

C_1 = contribuição do semivariograma (patamar menos o efeito pepita),

a = alcance,

C_0 = efeito pepita, e

h = distância entre os pares de pontos.

A dependência espacial dos modelos ajustados de semivariograma foi analisada com base no cálculo do grau de dependência espacial (GDE), obtido de acordo com o descrito por Cambardella et al. (1994):

$$GDE = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \cdot 100 \quad (4)$$

Considerando o GDE, pode-se adotar a seguinte classificação: GDE < 25% (fraco), entre 25 e 75% (moderado) e > 75 % (forte) (CAMBARDELLA et al., 1994).

Para avaliar qual modelo de semivariograma obteve o melhor desempenho, procedeu-se com a validação cruzada. Foi determinado o erro médio percentual absoluto (EMPA), identificando o modelo que apresentou o menor erro de estimativa, e que será considerado para o mapeamento da precipitação em cada uma das situações analisadas. Mesmo procedimento foi adotado em outros estudos, como os de Silva Neto et al. (2020) e Prólo et al. (2021). Já o *Bias* (viés estatístico) foi determinado pelas médias da diferença entre as estimativas e as observações, apontando o erro sistemático do interpolador (subestimativa ou superestimativa). O valor do *Bias* equivale ao percentual de viés da variável estimada com relação à variável observada.

O EMPA e o *Bias* foram obtidos em %, conforme Cambardella (1994) e Liew et al. (2007), respectivamente, por meio das Equações 5 e 6.

$$EMPA = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^n \left| \frac{Obs_i - Est_i}{Obs_i} \right| \cdot 100 \quad (5)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (Obs_i - Est_i)}{\sum_{i=1}^n (Obs_i)} \cdot 100 \quad (6)$$

Onde,

n = número de postos pluviométricos

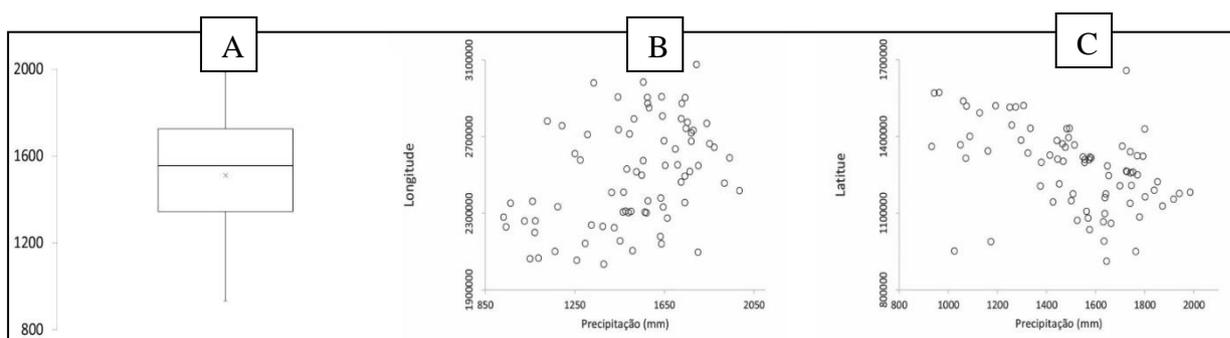
Obs_i = precipitação observada para o posto i , e

Est_i = precipitação estimada por krigagem para a posição do posto i .

5.3. Resultados e Discussão

O gráfico *box plot* e a tendência da precipitação anual acumulada são apresentados na Figura 8 e caracterizam o comportamento geral demonstrado na análise exploratória de dados entre diferentes eventos no presente estudo.

Figura 8 – Gráficos *box plot* e de tendência obtidos para a precipitação anual acumulada.



Fonte: o autor (2021).

É possível observar na Figura 8B e 8C, a distribuição de dados satisfatória no sentido Latitude/Longitude indicando boa dispersão dos dados, ou seja, inexistência de tendência espacial dos mesmos, o que segundo Mello e Viola (2013), permite a verificação da aplicabilidade das técnicas geoestatísticas. Já o gráfico *box plot* (Figura 8A) permitiu a observação de valores discrepantes no banco de dados que, aliado à realização do teste de Mann-Kendall, permitiu a remoção das estações que apresentaram tendenciosidade da análise geoestatística, visto que estas podem prejudicar a variância aleatória, influenciando diretamente a correlação espacial (MELLO et al., 2008).

A Tabela 3 apresenta o resultado do teste de tendência de Mann-Kendall para as 93 estações pluviométricas consideradas inicialmente para a realização deste estudo.

Tabela 3 – Análise de tendência pelo Teste de Mann-Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,05$.

Município-UF	Mann-Kendall	Município-UF	Mann-Kendall
Abreulândia-TO	0,050	Gurupi-TO	0,707
Almas-TO	0,591	Alto Parnaíba-MA	0,570
Alto Paraíso-GO	0,086	Itacajá-TO	0,135
Alto Parnaíba-MA	0,390	Itaporã do Tocantins -TO	0,446
Alvorada-TO	0,984	Novo Acordo-TO	0,186
Ananás-TO	0,907	Lizarda-TO	0,161
Araguacema-TO	0,000	Luciara-MT	0,972
Araguaçu-TO	1,000	Rio Sono-TO	1,000
Araguatins-TO	0,540	Miracema do Tocantins -TO	1,000
Arapoema-TO	0,123	Riachão-MA	0,034*
Aurora do Tocantins-TO	0,014*	Muricilândia-TO	0,001*
Balsas-MA	0,536	Natividade-TO	0,045*
Santana do Araguaia-PA	0,006*	Nova Roma-GO	0,669
Sandolândia-TO	0,398	Barreiras-BA	0,171
Alto Boa Vista-MT	0,748	Novo Acordo-TO	0,559
Alto Parnaíba-MA	0,002*	Novo Planalto-GO	0,388
Araguaína-TO	0,187	Palmeirante-TO	0,599
Balsas-MA	0,830	Palmeirópolis-TO	0,091
Buritirana-MA	0,372	Paraíso do Tocantins-TO	0,001*
Campos Belos-GO	0,726	Pindorama do Tocantins-TO	0,866
Campos Lindos-TO	0,302	Araguanã-TO	0,726
Pium-TO	0,536	Pium-TO	0,528
Carolina-MA	0,734	Ponte Alta do Tocantins-TO	0,786
Colinas-TO	0,163	Teresina de Goiás-GO	0,172
Peixe-TO	0,138	Barreiras-BA	0,086
Bernardo Sayão-TO	0,212	Porto Alegre do Tocantins-TO	0,453
Conceição do Tocantins-TO	0,860	Monte do Carmo-TO	0,156
Dianópolis-TO	0,751	Pedro Afonso-TO	0,758
Dois Irmãos do Tocantins-TO	0,544	Formoso do Araguaia-TO	0,792
Dueré-TO	0,770	Balsas-MA	0,915
Porangatu-GO	0,045*	Redenção-PA	0,086
Fátima-TO	0,272	Conceição do Tocantins-TO	0,040*
Formosa do Rio Preto-BA	0,113	São Desidério-BA	0,005*
Marabá-PA	0,454	São Domingos do Capim-PA	0,311
São Domingos-GO	0,785	Novo Santo Antônio-MT	0,144
Barreiras-BA	0,001*	São Domingos-GO	1,000
S. Valério da Natividade	0,041*	São Félix de Balsas-MA	0,605

Correntina-BA	0,183	S. Félix do Araguaia-TO	0,536
Nova Olinda-TO	0,767	São Sebastião do Tocantins-TO	0,045*
Barreiras-BA	0,837	Palmas-TO	0,624
Sapucaia-PA	0,017*	Tocantinópolis-TO	0,823
Fátima-TO	0,128	Trombas-GO	0,427
Marabá-PA	0,628	Tupiratins-TO	0,284
Formosa do Rio Preto-BA	0,133	Vila Rica-MT	0,887
Formoso do Araguaia-TO	0,833	Wanderlândia-TO	0,528
Goiatins-TO	0,000*	Xambioá-TO	0,597
Guaraí-TO	0,260		

* Indicam que a série histórica apresentou tendência constatada pelo teste realizado.

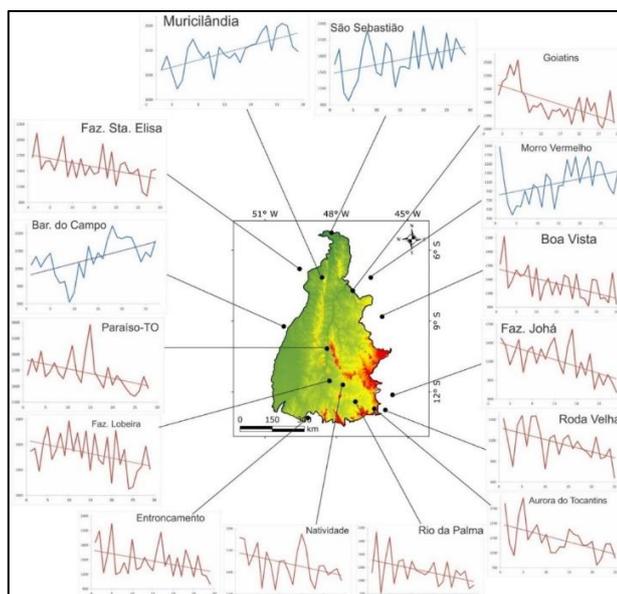
Nota: Números antecedidos por (*) e municípios em negrito, indicam que há evidências estatística para rejeitar a inexistência de tendência (H_0) na série de dados para o período analisado.

Fonte: O autor (2021).

Por meio da Tabela 3, é possível identificar os municípios cujas estações pluviométricas foram reprovadas pelo teste de Mann-Kendall. Desta forma, as estações localizadas nos municípios de Riachão-MA, Muricilândia-TO, Aurora-TO, Natividade-TO, Santana do Araguaia-PA, Alto Parnaíba-MA, Paraíso-TO, Porangatu-GO, Conceição do TO, São Desidério-BA, Barreiras-BA, São Valério da Natividade-TO, Sapucaia-PA, Goiatins-TO e São Sebastião do Tocantins-TO foram retiradas do banco de dados inicial, o que acarretou a exclusão de 15 estações pluviométricas, para a realização da análise geoestatística a partir das demais 78 estações.

A Figura 9 apresenta os resultados das 15 estações pluviométricas que apresentaram tendência e, por consequência disso, foram retiradas da relação utilizada para análise geoestatística. É possível observar nítida redução dos valores de precipitação ao longo da série histórica para a maior parte das estações excluídas.

Figura 9 – Estações que apresentaram tendência no teste de Mann-Kendall ($\alpha = 0,05$)



Fonte: ANA. Org.: o autor, 2021.

Pode-se constatar que quase todas as estações que apresentaram tendência de redução da precipitação estão localizadas na região central, sul e sudeste do Tocantins. Do total de quinze estações descartadas da análise geoestatística, 11 apresentaram redução e quatro tiveram tendência de aumento. Destas, duas estão localizadas fora do estado, Barreira do Campo, situada em Santana do Araguaia-PA e Morro Vermelho, situada em Riachão-MA.

Em estudos sobre elaboração de cartas climáticas para o estado, TOCANTINS (2020) descreve que os dados de 1990 a 2019 apontam a tendência de redução das chuvas em três das quatro estações pluviométricas que se situam na Região Programa³ Extremo Norte do Tocantins (Bico do Papagaio), a única que apresenta aumento nos volumes anuais é a estação de São Sebastião do Tocantins. A estação de Muricilândia, que está localizada na região Norte do estado, também demonstrou tendência de redução dos valores de precipitação, como está representado na Figura 9. As estações de Barreira do Campo e Morro Vermelho estão localizadas em Santana do Araguaia-PA e Riachão-MA, respectivamente.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os parâmetros dos modelos de semivariograma cruzado para os períodos seco, chuvoso e o acumulado anual e mensal, respectivamente, a partir das séries históricas entre 1988 e 2019. É importante destacar que entende-se aqui como período seco os meses entre abril e novembro, de acordo com o que foi descrito por Viola et al. (2014) sobre a precipitação no estado do Tocantins, segundo os quais “em termos médios para o Estado, os meses mais chuvosos corresponderam àqueles entre dezembro e março, com lâmina média acumulada que ultrapassou 1.000 mm” (VIOLA et al., 2014, p. 129).

Tabela 4 – Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance km (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (Bias %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os períodos seco, chuvoso e anual

Parâmetros	Período seco	Período Chuvoso	Precipitação anual
Modelo Esférico			
C0	1227,6	7984,9	15418,5
A (Km)	809	541	666
C1	21676,8	20818,6	74000,2
Bias (%)	1,1	1,7	1,3
EMPA (%)	10,3	10,24	9,7
GDE (%)	94,6	72,3	82,8

³ O estado do Tocantins possui 139 municípios que se distribuem em dez Regiões Programa, a saber: Central, Centro- Oeste, Extremo Norte (Bico do Papagaio), Leste (Jalapão), Nordeste, Noroeste, Norte, Sudeste, Sudoeste (Ilha do Bananal) e Sul, segundo regionalização definida pela Secretaria do Planejamento e Orçamento. (SEPLAN, 1997).

Modelo Exponencial			
C0	0,0	5905,5	7784,5
A (Km)	840	634	733
C1	20868,5	23478,5	80421,9
Bias (%)	1,0	1,7	1,3
EMPA (%)	10,4	10,2*	9,6*
GDE (%)	100,0	79,9	91,2
Modelo Gaussiano			
C0	3012,7	10711,4	22246,9
A (Km)	627	473	540
C1	19803,5	18730,8	68098,4
Bias (%)	1,0	1,7	1,3
EMPA (%)	10,2*	10,4	9,8
GDE (%)	86,8	63,6	75,4

* Em destaque o modelo com melhor desempenho.

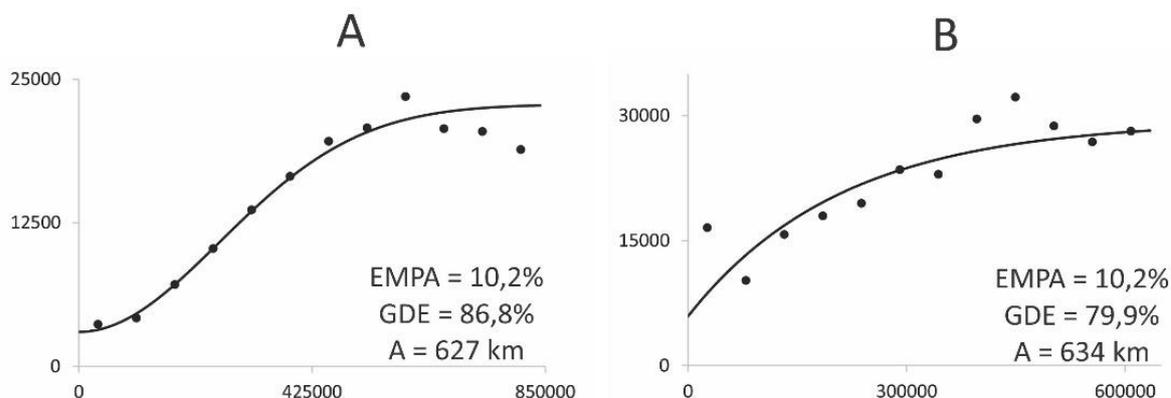
Fonte: o autor.

Por meio da observação da Tabela 4 e com base no EMPA, o modelo que obteve o melhor desempenho para o período seco foi o gaussiano (EMPA = 10,2), já para o período chuvoso e o acumulado anual, o modelo exponencial apresentou os menores valores do EMPA, 10,2 e 9,6, respectivamente. O valor do EMPA igual a 10,2% está de acordo com os valores encontrados por Silva Neto et al. (2020) no mapeamento de chuvas para o Tocantins, onde *Bias* e EMPA variaram entre 0,9% e 1,6% e entre 7% e 10%, respectivamente.

Nos estudos de Silva et al. (2010) sobre o mapeamento da Erosividade da chuva no vale do Rio Doce, centro-leste de Minas Gerais, o modelo gaussiano obteve também o melhor desempenho, exceto para os meses de junho, novembro e dezembro. Outra situação em que o modelo gaussiano obteve melhor desempenho que os modelos esférico e exponencial é descrita nos trabalhos de Silva Neto et al (2020) sobre o mapeamento de chuvas intensas para o estado do Tocantins, considerando as situações de chuvas intensas com duração entre 10 e 1440 minutos. Porém, considerando a precipitação máxima diária anual no Tocantins, os referidos autores obtiveram melhor desempenho com o modelo esférico.

A Figura 10A apresenta o semivariograma cruzado para os períodos seco e chuvoso, enquanto a Figura 10B demonstra o ajuste do semivariograma referente à precipitação anual.

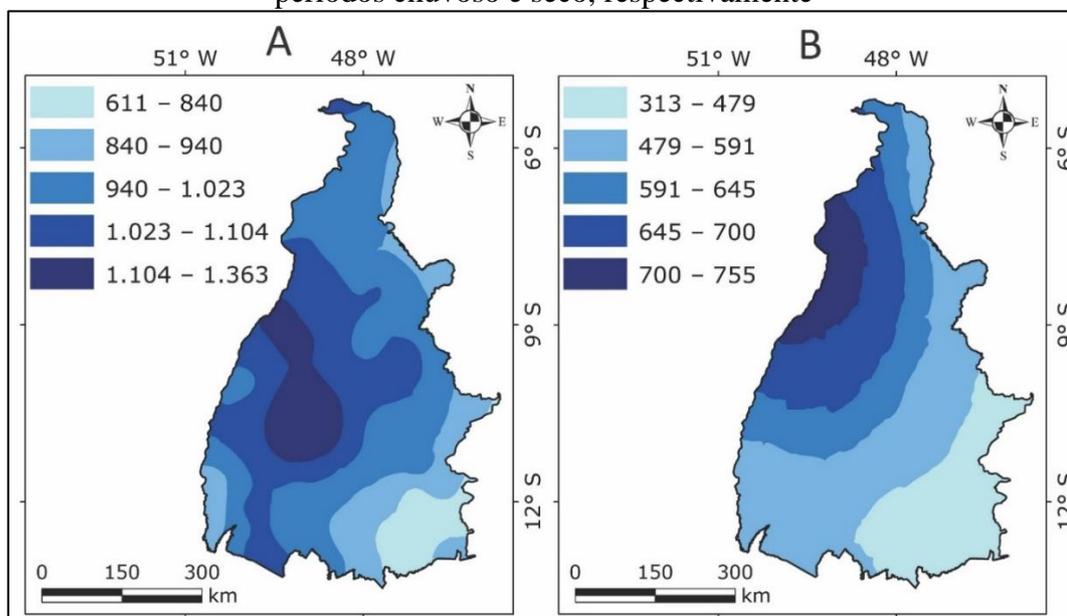
Figura 10 – Modelos de semivariograma cruzado ajustados ao semivariograma experimental



Fonte: o autor (2021).

Por meio da observação da Figura 11, é possível observar boa aderência dos modelos teóricos de semivariograma ajustados para os períodos seco e chuvoso, sendo o melhor desempenho com base no EMPA os modelos gaussiano e exponencial, respectivamente. A distribuição espacial da precipitação anual acumulada pode ser observada a partir da Figura 11.

Figura 11 – Distribuição espacial da precipitação em mm para o estado do Tocantins para os períodos chuvoso e seco, respectivamente



Fonte: o autor (2021).

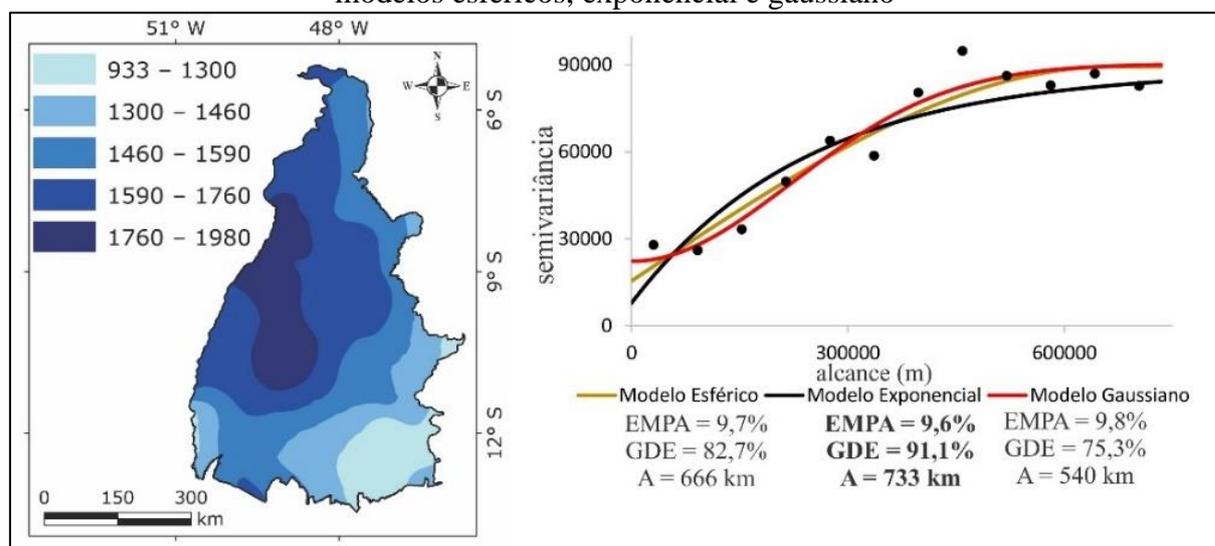
Com base na Figura 11A, pode-se perceber que durante o período chuvoso, a precipitação no Tocantins concentra-se na porção centro-oeste do estado, variando entre 1104

a 1363 mm, com os menores valores de precipitação anual concentrados a sudeste do estado, com valores entre 611 e 840 mm. Marcuzzo e Goularte (2013), afirmam que a precipitação anual no estado está concentrada no período chuvoso em 90%, já no presente estudo, o período chuvoso concentra 63,3% da precipitação anual. Esta diferença pode ser explicada pelo fato de os autores considerarem como período chuvoso o intervalo de sete meses entre outubro e abril, enquanto neste estudo denomina-se período chuvoso apenas os quatro meses mais chuvosos entre dezembro e março, conforme descrito por Viola et al. (2014). Na Figura 11B pode-se observar que a porção sudeste do Tocantins apresenta os menores valores de precipitação pluvial, variando entre 313 e 469 mm, aumentando gradativamente ao noroeste, onde os valores de precipitação para o período seco variam entre 700 e 755 mm.

Os resultados descritos na Figura 11 corroboram os estudos descritos por TOCANTINS (2012), TOCANTINS (2020) e Pinto et al. (2017), mostrando um incremento no sentido SE – NW. Isso mostra a posição do Cerrado em uma transição entre a Caatinga e a Amazônia. Em vários sentidos, o Tocantins demonstra ser uma área de transição climática, inclusive considerando-se as massas de ar.

A precipitação anual e o semivariograma teórico ajustado para o acumulado anual estão representados por meio da Figura 12.

Figura 12 – Distribuição espacial da precipitação anual e semivariograma teórico ajustado aos modelos esféricos, exponencial e gaussiano



Fonte: o autor (2021).

Pela observação da Figura 12, pode-se inferir que a distribuição da precipitação anual acompanha a distribuição das chuvas durante o período chuvoso, o que significa dizer que a maior parte da precipitação acumulada durante o ano no Tocantins está concentrada durante os

meses de dezembro a março, corroborando os estudos de Viola et al. (2014). No entanto, Pinto et al. (2017) descreve que o trimestre mais chuvoso muda ligeiramente no espaço, não sendo o mesmo para todo o estado. “É importante destacar que “Toda a metade oeste do Tocantins sofre a influência de diversos sistemas meteorológicos produtores de chuvas abundantes, citando-se a circulação de oeste da mEc [Massa Equatorial Atlântica], [...], ZCAS [Zona de Convergência do Atlântico Sul], LICON [Linhas de Instabilidade Continental] e VCAN [Vórtice Ciclônico de Altos Níveis], todos com atuação predominantemente entre os meses de outubro a abril” (TOCANTINS, 2020, p. 55).

Com relação ao viés estatístico, conforme Souza et al. (2019), o Bias representa a porcentagem de enviesamento da precipitação especializada pelos interpoladores, onde valores positivos indicam tendência de subestimação e, negativos, de superestimação. Neste estudo, o Bias mensal pode ser observado na Tabela 5, onde é possível inferir que a maioria dos resultados apresentou boa acurácia, indicando que os parâmetros foram ajustados satisfatoriamente.

Tabela 5 – Parâmetros do semivariograma ajustado aos modelos esférico, exponencial e gaussiano: Efeito Pepita (C0), Alcance (A), Contribuição (C1), Viés Estatístico (Bias %), Erro Médio Percentual Absoluto (EMPA) e Grau de Dependência Espacial (GDE) para os modelos de semivariograma exponencial e esférico para os meses de janeiro a dezembro

Parâmetros	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Modelo Esférico												
C0	861,1	589,9	588,7	34,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	129,1	213,0	265,4
A (Km)	499	1281	1281	1281	1281	206	206	122	702	629	108	135
C1	1461,4	3437,9	3871,0	5493,2	1559,8	32,0	12,6	6,7	360,5	1123,2	371,3	1044,7
Bias (%)	2,3	2,2	2,1	2,9	3,1	24,2	73,0	26,4	5,2	3,3	2,1	2,7
EMPA (%)	12,2	12,1	11,8	15,0*	19,2	52,0*	112,3	45,6*	22,5	14,6	10,5	11,8
GDE (%)	62,9	85,4	86,8	99,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	89,7	63,6	79,7
Modelo Exponencial												
C0	666,6	446,2	517,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	154,9	0,0
A (Km)	605	1281	1281	1281	1281	352	341	122	733	730	145	156
C1	1748,0	2878,2	3058,6	4265,0	1213,7	36,7	14,4	6,4	321,5	1278,2	467,5	1392,7
Bias (%)	2,4	2,1	2,1	3,1	3,3	27,0	83,7	28,7	5,5	3,1	2,2	2,9
EMPA (%)	12,0*	11,9*	11,7*	15,0	19,0*	52,1	119,2	47,4	22,0*	14,7	10,3*	11,8*
GDE (%)	72,4	86,6	85,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	75,1	100,0
Modelo Gaussiano												
C0	1075,2	988,9	965,9	405,7	65,6	2,4	1,8	0,0	34,3	254,4	297,0	471,3
A (Km)	440	1161	1088	1281	1281	175	176	82	545	543	102	120
C1	1281,5	3639,5	4014,0	8162,5	2513,6	30,3	10,9	6,3	319,7	1043,7	294,2	847,5
Bias (%)	2,4	2,3	2,4	3,4	5,2	23,6	71,1	27,6	5,4	3,3	2,1	2,7
EMPA (%)	12,3	13,1	12,1	15,2	20,3	58,5	110,7*	47,1	22,7	14,3*	10,6	11,9
GDE (%)	54,4	78,6	80,6	95,3	97,5	92,6	86,0	99,9	90,3	80,4	49,8	64,3

* Em destaque o modelo com melhor desempenho. Fonte: O autor (2021).

A Tabela 5 permite constatar o melhor desempenho do modelo esférico nos meses de abril, junho e agosto (EMPA equivalente a 14%, 52% e 45%, respectivamente), a partir da observação dos menores erros nestes meses, o que corresponde a 20% das situações analisadas. O modelo exponencial apresentou melhor desempenho durante os meses de janeiro, fevereiro, março, junho, setembro, novembro e dezembro (EMPA variando entre 10% e 22%, considerando os melhores desempenhos). Nas demais situações analisadas, o modelo gaussiano apresentou EMPA variando entre 14% e 110%. Deve-se enfatizar que os maiores erros observados foram obtidos para os meses com menor precipitação pluvial, junho, julho e agosto para todos os modelos testados.

Na literatura os valores dos erros estão nos mesmos patamares. Alves et al. (2014) apresentaram valores do EMPA que variaram entre 11% a 187%, ao estudarem as precipitações prováveis para a bacia do Rio Formoso, também no Tocantins. Nota-se que os maiores valores também foram registrados para os meses de estiagem. Santos et al. (2011) obtiveram valores do EMPA entre 6,7% e 25,7% para a variabilidade da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do rio João Leite-GO. Souza et al. (2019), na regionalização climática para o Tocantins, obtiveram valores do EMPA entre 4% e 58%.

Mello et al. (2007), ao analisarem a continuidade espacial da Erosividade das chuvas no estado de Minas Gerais, também observaram melhor desempenho do modelo exponencial. Mello e Viola (2013), em estudos sobre chuvas intensas, fazem também a recomendação pelo uso do modelo exponencial para propostas de mapeamento da variável hidrológica, devido ao bom desempenho observado. Barros et al. (2020) também obtiveram melhor desempenho do modelo exponencial utilizando a geoestatística como ferramenta para investigação da variabilidade da precipitação pluvial para o estado de Pernambuco.

Na Tabela 5 também podem ser observadas a variação no efeito pepita, que indica haver uma descontinuidade entre valores separados por distância menores que aquele utilizado no intervalo de amostragem. Prólo et al. (2021) afirmam que isso indica a aleatoriedade de um ponto para outro, sendo que, quanto menor seus valores, mais parecidos são os valores vizinhos.

Outro parâmetro essencial para a análise geoestatística é a amplitude do semivariograma (alcance). Trata-se da distância a partir da qual as amostras passam a não apresentar correlação espacial, isto é, a partir da qual a variação média entre duas observações não é mais função da distância entre elas. Este parâmetro indica a homogeneidade das amostras. O alcance reflete a homogeneidade entre as amostras, quanto maior for o seu valor, mais homogêneo será o fenômeno ou processo estudado (PRÓLO et al., 2021). No presente estudo, o alcance variou entre 1281 km para os meses de março, abril e maio, com o modelo exponencial, e 82 km com

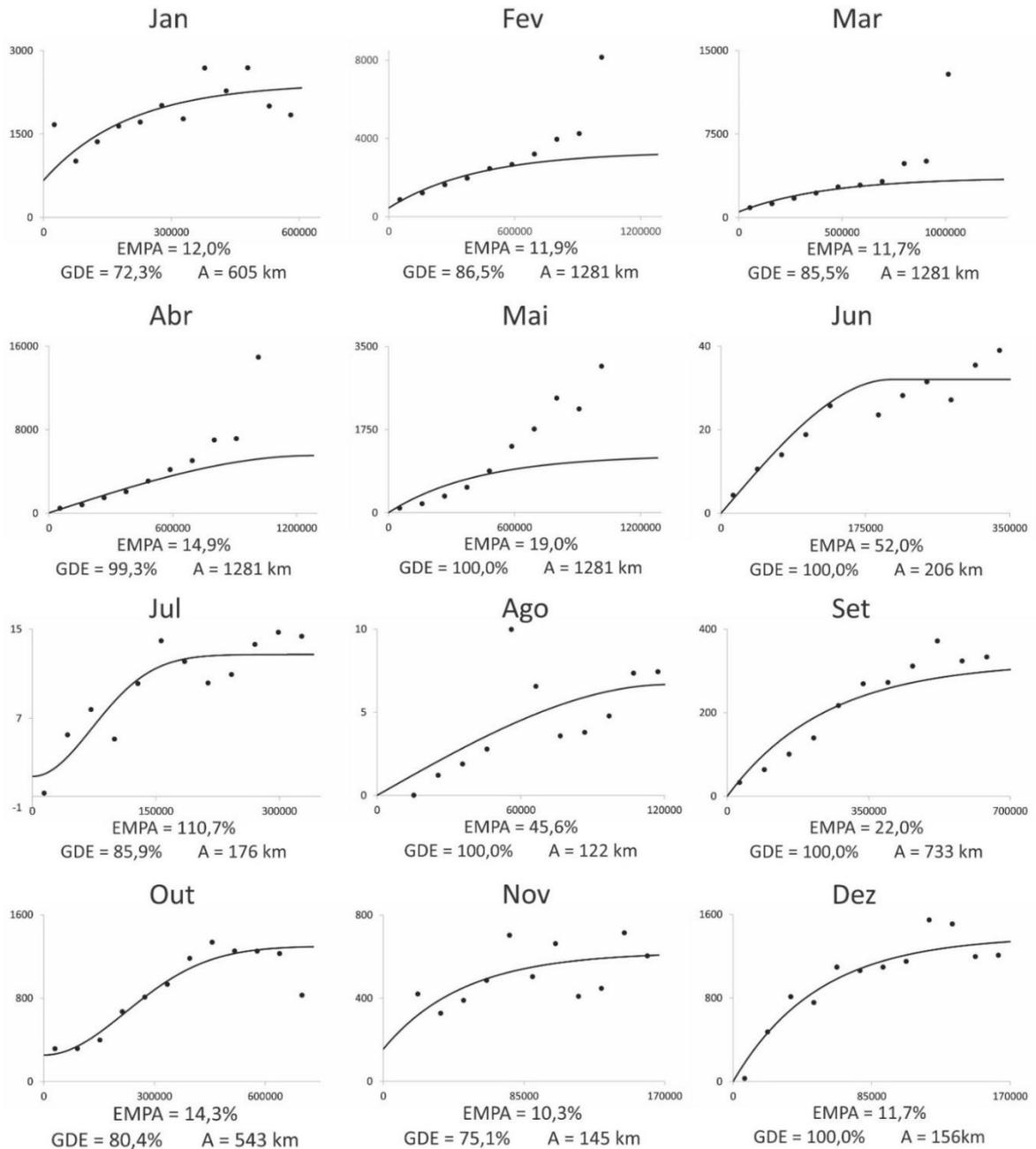
o modelo gaussiano para o mês de agosto. O mês de novembro foi o que demonstrou o menor valor da amplitude semivariográfica para todos os modelos testados, variando entre 82 e 122 km. Silva Neto et al. (2020) encontraram valores do alcance para o modelo de melhor desempenho variando entre 349 e 456 km. Barros et al. (2020) obtiveram valores entre 57 e 85 km. Silva et al. (2010) registraram o alcance variando entre 10 km, em outubro, e 177 km, em junho. Mello e Viola (2013) descreveram alcance variando de 100 a 450 km para as durações de 30, 360 e 720 min e de 300 a 550 km para a duração de 1.440 minutos. O grau de dependência espacial (GDE) determinado neste estudo para a interpolação da precipitação anual no Tocantins variou entre 75,3% (modelo gaussiano) e 91,1% (modelo exponencial – melhor desempenho para esta situação). Para a precipitação mensal, os valores obtidos para o grau de dependência espacial para os modelos com melhor desempenho variaram entre 72,4% e 100%.

Pode-se afirmar que, com a exceção do modelo exponencial para o mês de janeiro (72,4%), todos os demais valores são classificados como forte grau de dependência espacial, de acordo com Cambardella (1994). O GDE foi de 86,6% com modelo com melhor desempenho para o mês de fevereiro, 85,5% para o mês de março, 86% para o mês de julho, 80,4% para o mês de outubro, 75,1% para o mês de novembro e para todos os outros meses o GDE apresentou 100% de dependência espacial. Para o período seco, o GDE do modelo com melhor desempenho foi de 86,8%, enquanto para o período chuvoso foi de 79,9%.

A Figura 13 apresenta os 77 semivariogramas teóricos ajustados aos modelos que apresentaram melhor desempenho na interpolação, com ênfase no EMPA, Bias e GDE.

Outros estudos enfatizam a importância do GDE na análise geoestatística na espacialização de dados de precipitação. Xavier Júnior et al. (2020) apresentaram este parâmetro sempre inferiores a 70% para precipitação no estado da Paraíba (fraco e moderado GDE), enquanto Silva et al. (2020), em estudos sobre distribuição espacial de índices climáticos para o estado da Bahia, obtiveram sempre forte grau de dependência espacial, variando entre 85% e 97%. Barni et al. (2020), em estudos realizados no estado de Roraima, extremo norte da Amazônia, também descreveram forte dependência espacial (DE) da variável aleatória modelada.

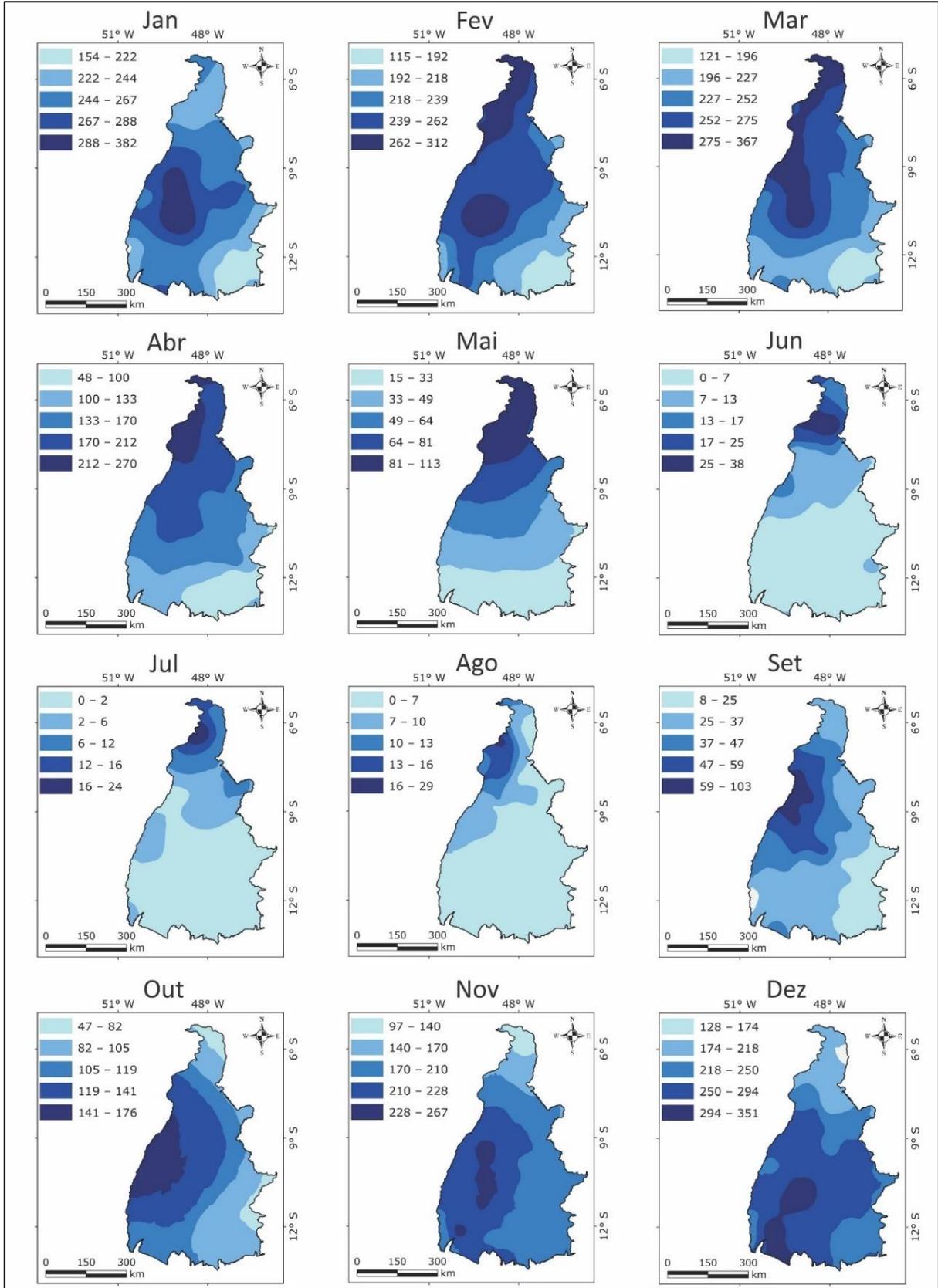
Figura 13 – Semivariogramas teóricos ajustados para o mapeamento da precipitação mensal no Tocantins.



Fonte: o autor (2021).

Com base na Figura 13, pode-se observar a adequabilidade das técnicas geoestatísticas na interpolação da precipitação mensal para o estado do Tocantins, a partir da análise do EMPA, Bias e GDE. Estes são parâmetros essenciais para recomendação ou não dos modelos de krigagem testados na interpolação desta variável, em que na maior parte das situações, constata-se boa aderência ao semivariograma teórico dos modelos que apresentaram melhor desempenho e que foram considerados para a realização do mapeamento da precipitação mensal para o Tocantins. A Figura 14 representa o mapeamento da precipitação mensal para o estado do Tocantins.

Figura 14 – Distribuição espacial da precipitação mensal em mm no estado do Tocantins



Fonte: o autor (2021).

A Figura 14 permite observar que na maior parte das situações analisadas a região sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação, enquanto no mês de dezembro podem ser observados até 250 mm de chuva nesta região, sendo este o mês em que as precipitações são mais expressivas. Durante o mês de julho, considerado o auge do período seco, a porção centro-sul tocantinense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm.

Em contrapartida, considerando os meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). A precipitação, nestes meses, concentra-se na porção centro-oeste do Tocantins, abrangendo o sudoeste tocantinense próximo à Ilha do Bananal durante o mês de dezembro e uma faixa na porção noroeste durante os meses de fevereiro e março. O mês de março também foi responsável pelas maiores lâminas de precipitação mensal acumulada na região do Bico do Papagaio, extremo norte do Tocantins, abrangendo também a porção noroeste onde se localiza o Parque Estadual do Cantão, com extensão até a porção centro-oeste do estado. Os meses entre junho e agosto são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a precipitação no período apresentou variação de 0 a 7 mm.

Os resultados corroboram com os estudos de TOCANTINS (2020), em que está descrito que

no mês de janeiro observa-se uma maior uniformidade na distribuição espacial da chuva, pois este é um mês em que o maior número de sistemas meteorológicos atua sobre Tocantins. Apesar das diversas origens, tais sistemas provocam acumulados de chuva quase igualitários em todo o território. A uniformidade, agora de baixa precipitação mensal, observada no mês de julho, está relacionada com o baixíssimo número de sistemas meteorológicos de macro e mesoescala atuantes no Estado neste mês, destacando-se a atuação da mTa estável (TOCANTINS, 2020, p. 59).

É importante destacar que no período chuvoso há um ritmo mais oscilante entre os diferentes sistemas atmosféricos geradores de chuva no estado. Esse fato é potencializado pela posição de transição do Tocantins, entre diferenças massas de ar (mTa, mEa mEc e sistemas perturbados vindos de sul, como a frente polar atlântica). No período seco, o ritmo é mais monótono ou repetitivo, com longas atuações da mTa e da mEa em situação de estabilidade (SOUZA, 2016). Estes dados também corroboram os estudos sobre a distribuição espacial da precipitação na região do MATOPIBA⁴, realizados por Reis et al. (2020). Os autores afirmam

⁴ MATOPIBA é uma região formada por áreas majoritariamente de cerrado nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia, para onde a agricultura se expandiu a partir da segunda metade dos anos 1980. Produz de tubérculos a frutas, passando pela pecuária, mas se destaca mesmo é no cultivo de grãos e fibras, especialmente soja, milho e algodão (EMBRAPA, 2021).

que “os maiores volumes de chuvas apresentam na faixa oeste da região, abrangendo parte do estado do Tocantins, onde os volumes médios ultrapassam valores de 150 mm” (Reis et al., 2020, p. 1429).

Enfatiza-se que os maiores valores de precipitação acumulada na porção ocidental do estado do Tocantins é consequência direta da mEc, cujas características estimula a produção de chuva, como umidade e temperatura do ar mais elevadas. Além disso, a topografia também é um fator que influencia a umidade de origem amazônica, retendo-a a oeste da Serra do Estrondo e à oeste da Serra do Lajeado que, ainda com altitudes pouco acentuadas, dificultam o avanço da corrente de oeste da mEc (TOCANTINS, 2020).

5.4. Conclusão

O modelo exponencial apresentou o melhor desempenho na maior parte das situações analisadas, constatando-se a adequabilidade das técnicas geoestatísticas na interpolação da precipitação mensal para o estado do Tocantins.

Na região sudeste do Tocantins o mês de julho apresentou os menores valores de precipitação, enquanto no mês de dezembro os maiores. Durante o mês de julho, considerado o auge do período seco, a porção centro-sul tocaninense apresentou índices muito reduzidos, entre 0 e 2 mm, enquanto nos meses mais chuvosos, de dezembro a março, a precipitação mensal variou entre 382 mm (janeiro) e 262 mm (fevereiro). Os meses entre julho e setembro são o período crítico de estiagem no Tocantins, quando a precipitação no período apresentou variação de 0 a 25 mm.

O presente estudo apresenta potencial para ser utilizado como subsídio ao planejamento e gestão de recursos hídricos para o Estado do Tocantins, bem como para o planejamento da produção agrícola. Para estudos futuros, recomenda-se avaliar o desempenho de outros tipos de interpoladores como os de natureza determinística, ampliando assim o conhecimento sobre técnicas de mapeamento da precipitação no estado, relacionando-as profundamente com o tipo de culturas agrícolas praticadas no Tocantins, relacionando-as com os diferentes tipos de agricultura e seus respectivos manejos, praticados com finalidade comercial ou de autossustento no Tocantins.

6. CAPÍTULO 3: PROPOSTA DE REGIONALIZAÇÃO DE VAZÕES PARA O ESTADO DO TOCANTINS⁵

Resumo: A regionalização constitui um recurso que vem sendo adotado, por meio de métodos específicos, como alternativa para suprir a escassez de dados hidrológicos a partir da transferência de variáveis, funções ou parâmetros de um local a outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. O objetivo deste estudo consiste na obtenção de modelos matemáticos para estimativa das vazões Q_{90} , utilizando a metodologia *index-flood*, para o estado do Tocantins e a espacialização do Rendimento Específico (RE_{90}) através da regionalização de vazões nos períodos seco e chuvoso. Foi realizada a análise regional de consistência de dados, a organização e adimensionalização das séries, a definição das curvas empíricas de frequência de cada estação hidrometeorológica, bem como a definição das regiões homogêneas e das curvas de frequência regional. As informações das 73 estações fluviométricas na bacia do rio Tocantins-Araguaia, foram examinadas com base no teste de Mann-Kendall e o método não paramétrico de homogeneidade hidrológica *index-flood*. A análise de tendência foi considerada eficiente para as sub-bacias compreendidas pelo território tocaninense. As funções regionais ajustadas para Q_{90} são adequadas para utilização respeitando os limites de aplicação (áreas de drenagem). As regiões com os menores RE_{90} durante o período seco foram as regiões E e G, com valores de 1,40 e 0,16 $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, respectivamente. Já no período chuvoso, os menores valores de RE_{90} foram observados nas regiões J e P, com valores de 8,10 e 8,22, respectivamente. Os maiores valores de RE_{90} foram observados durante o período seco nas regiões B e D, com valores de 11 e 25 $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, respectivamente. Já no período chuvoso, os maiores valores foram identificados nas regiões H e N, com 254,91 e 97,73 $L \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$, respectivamente.

Palavras-chaves: Curva de vazão adimensionalizada. Estatística hidrológica. Gestão de recursos hídricos

6.1. Introdução

Em outubro de 2021, a Organização Meteorológica Mundial (WMO, 2021) publicou um relatório sobre a crise hídrica no planeta, afirmando que 3,6 bilhões de pessoas tinham acesso inadequado à água pelo menos um mês por ano em 2018, sendo que em 2050, a previsão é que este número aumente para 5 bilhões de pessoas.

Para que a previsão acima seja minimizada deve-se fazer o manejo eficiente dos recursos hídricos, e isto somente é possível se a disponibilidade hídrica natural for conhecida, especialmente as vazões mínimas. Portanto, no âmbito da hidrologia, é preciso compreender os

⁵ Artigo submetido na Revista Brasileira de Climatologia, em 18 de Janeiro de 2023.

processos hidrológicos para a análise de vazões, sabendo que se trata de um conhecimento qualitativo, motivo pelo qual há certa dificuldade de gestão destes recursos através de bases ambientalmente sustentáveis (GASQUES et al., 2018). Segundo Silva et al. (2017), nos estudos para aproveitamento dos recursos hídricos, geralmente é necessário que a disponibilidade hídrica seja analisada em locais onde não existe série histórica de vazão, ou sua extensão é insuficiente para uma avaliação adequada.

Pruski et al. (2012) afirmam que a regionalização constitui um recurso que vem sendo adotado, por meio de métodos específicos, como alternativa para suprir a escassez de dados hidrológicos a partir da transferência de variáveis, funções ou parâmetros de um local a outro dentro de uma área com comportamento hidrológico semelhante. Além disso, relaciona os processos hidrológicos com características físicas e climáticas de uma bacia (NUNES et al., 2013).

Diversos estudos se dedicam ao estudo da regionalização de vazões: Costa et al. (2012) abordaram a regionalização de curvas de permanência de vazões para os rios das regiões hidrográficas da Calha Norte e do Xingu, no Estado do Pará; Molina et al. (2014) caracterizaram a disponibilidade hídrica comparando diferentes metodologias para regionalização de vazões para a Bacia Hidrográfica do Rio Amambai, localizada na região Sul do Estado de Mato Grosso do Sul; Wolff et al. (2014) testaram uma nova metodologia de regionalização para o estado de São Paulo; Amorim et al. (2020) desenvolveram estudos sobre a regionalização de vazões para a bacia hidrográfica do Rio das Mortes, a montante da Usina Hidrelétrica do Funil, em Minas Gerais.

Recentemente, destacam-se também os estudos de Morais et al. (2020), que desenvolveram funções regionais para vazão máxima (Q_{max}) aplicáveis a diferentes períodos de retorno, vazão média em longo prazo (Q_{mlt}) e vazão com 95% de permanência (Q_{95}) para as sub-bacias de alto e médio curso do rio Araguaia. Amorim et al. (2020) desenvolveram modelos de regionalização para vazões máximas e mínimas de referência para a bacia hidrográfica do Rio das Mortes, sul do estado de Minas Gerais e Rodrigues et al. (2021) desenvolveram a regionalização das vazões máximas, médias e mínimas na bacia do rio Tocantins.

Apesar dos trabalhos mencionados, é importante que sejam realizados estudos de regionalização de vazões baseados em metodologias específicas que possibilitam contribuir com as informações fluviométricas existentes, por meio da extrapolação de dados para os locais em que estes sejam insuficientes ou inexistentes.

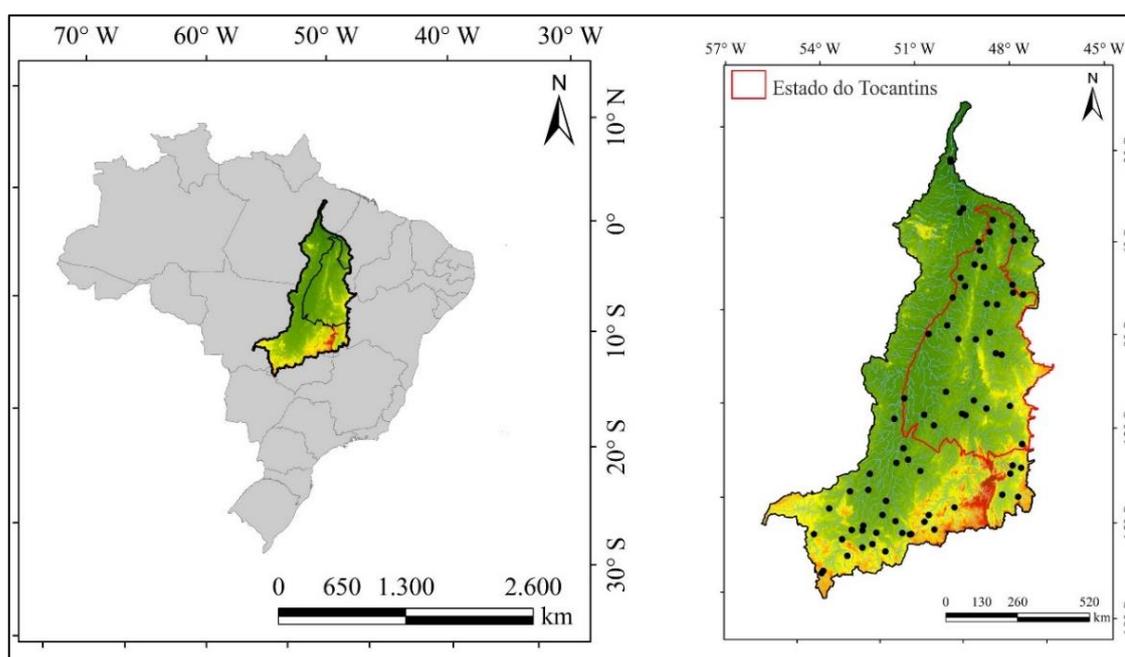
Com base nesse panorama, o objetivo deste estudo foi a obtenção de modelos matemáticos para estimativa das vazões Q_{90} , utilizando a metodologia *index-flood*, para o

estado do Tocantins e a espacialização do Rendimento Específico (RE_{90}) através da regionalização de vazões nos períodos seco e chuvoso.

6.2. Procedimentos metodológicos

Inicialmente, foram coletados dados de 164 postos fluviométricos pertencentes à rede hidrometeorológica da Agência Nacional das Águas – (ANA, 2019), no *site* Hidroweb. Após uma análise prévia, objetivando melhorar a qualidade das séries e compor um período homogêneo de dados, foram descartados os postos contendo a partir de 11% de falhas nas séries históricas em relação ao total de dados disponíveis. Foram consideradas as informações de 73 postos fluviométricos em toda a bacia hidrográfica do Tocantins-Araguaia, para o estudo de regionalização das vazões de referência Q_{90} nos limites territoriais do Estado do Tocantins, conforme pode ser observado na Figura 15.

Figura 15 – Localização das estações pluviométricas utilizadas neste estudo e modelo digital de elevação da Bacia do Tocantins-Araguaia



Fonte: ANA (2019); ASF DAAC (2021).

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido através de imagens ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASF DAAC, 2021), disponível em <https://earthexplorer.usgs.gov/>, utilizado para obtenção dos valores de altitude dos postos fluviométricos apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 – Características dos postos fluviométricos utilizados neste estudo.

Estação	Latitude	Longitude	Altitude (m)	Área de Drenagem (km ²)	Início da série	Final da série
20050000	-14,9775	-48,6739	515,9	11117,15	01/01/00	01/11/14
20100000	-15,7242	-49,3219	601,3	1945,87	01/11/00	01/12/14
20200000	-15,4961	-49,6908	562,0	3655,66	01/12/00	01/12/14
20250000	-15,2753	-49,5519	537,1	10541,05	01/11/00	01/11/14
21220000	-14,4508	-47,0472	444,9	7186,70	01/06/00	01/12/14
21300000	-14,4769	-46,4906	504,0	3697,37	01/10/00	01/12/14
21500000	-13,7625	-46,8375	419,0	22330,22	01/10/00	01/12/14
21560000	-13,4986	-46,7803	417,8	2756,92	01/04/00	01/12/14
21580000	-13,5514	-46,4694	469,7	383,45	01/10/00	01/12/14
21750000	-12,7936	-46,5122	395,2	989,76	01/10/00	01/12/14
22050001	-12,0231	-48,5328	236,9	75589,54	01/09/00	01/12/14
22150000	-11,9819	-48,6572	235,3	13685,30	01/12/00	01/12/14
22190000	-11,6114	-47,0447	372,8	1782,97	01/08/00	01/12/14
22220000	-11,7586	-47,8367	270,9	10082,23	01/08/00	01/12/14
22250000	-11,5328	-48,2886	233,9	14433,58	01/08/00	01/12/14
22500000	-9,5681	-48,3800	184,4	181958,46	01/07/00	01/12/14
22680000	-9,9953	-47,4725	230,1	16616,51	01/01/00	01/12/14
22700000	-9,9633	-47,6747	222,7	17721,52	01/12/00	01/12/14
22900000	-9,3069	-47,9292	200,9	43611,10	01/08/00	01/12/14
23100000	-9,3069	-47,9292	200,9	67530,94	01/08/00	01/12/14
23150000	-8,3917	-47,7653	188,9	2489,77	01/08/00	01/12/14
23220000	-7,9939	-46,9269	257,2	2860,64	01/01/00	01/12/14
23230000	-7,9633	-47,2611	197,8	4056,55	01/01/00	01/12/14
23250000	-7,7078	-47,3117	177,9	9981,09	01/11/00	01/12/14
23600000	-6,2886	-47,3919	137,3	287474,37	01/01/00	01/12/14
23650000	-6,1958	-47,0411	176,2	2505,81	01/11/00	01/12/14
23700000	-5,7894	-47,4689	115,0	295466,96	01/05/00	01/12/14
24050000	-17,3011	-53,2172	650,2	1969,99	01/01/00	01/12/14
24070000	-17,2208	-53,1631	621,2	1716,53	01/09/00	01/12/14
24196000	-16,7186	-52,3322	477,2	1667,88	01/06/00	01/12/14
24200000	-16,2006	-52,5497	314,9	18181,99	01/05/00	01/12/14
24500000	-16,0778	-53,5481	389,1	2147,55	01/07/00	01/12/14
24700000	-15,8914	-52,2278	290,0	28135,11	01/11/00	01/12/14
24750000	-16,3025	-51,4692	359,9	6349,07	01/06/00	01/12/14
24780000	-16,4306	-51,8164	346,9	1345,86	01/10/00	01/12/14
24800000	-15,8897	-51,8528	294,2	11903,22	01/11/00	01/12/14
24850000	-15,7381	-51,8281	278,4	41240,73	01/04/00	01/12/14
24900000	-16,5125	-50,9967	442,1	1962,40	01/06/00	01/12/14
24950000	-15,9397	-51,3575	298,8	8879,36	01/11/00	01/12/14
25090000	-15,9147	-50,1278	528,2	104,22	01/10/00	01/12/14
25100000	-15,9222	-50,1717	425,3	227,88	01/02/00	01/12/14
25120000	-15,8969	-50,4386	380,8	525,86	01/03/00	01/12/14
25130000	-15,5358	-50,7047	296,1	5269,35	01/06/00	01/12/14

25140000	-15,3625	-51,1756	261,6	3305,70	01/07/00	01/12/14
25200000	-14,9128	-51,0814	253,0	10944,62	01/11/00	01/12/14
25700000	-13,6897	-50,8000	245,1	87563,41	01/07/00	01/12/14
25750000	-13,8986	-49,9514	261,8	8678,71	01/11/00	01/12/14
25800000	-13,5614	-50,4011	228,1	18219,48	01/09/00	01/12/14
25950000	-13,2097	-50,5850	218,9	38608,82	01/08/00	01/12/14
26050000	-15,2492	-53,0558	350,9	15981,97	01/12/00	01/12/14
26100000	-14,6725	-52,3550	267,0	23452,29	01/01/00	01/12/14
26150000	-14,5997	-51,7197	242,3	9305,91	01/10/00	01/12/14
26200000	-14,0867	-51,6964	231,7	38507,66	01/11/00	01/12/14
26300000	-12,2919	-50,9636	207,9	56388,38	01/09/00	01/12/14
26350000	-11,6181	-50,6625	195,2	63950,19	01/08/00	01/12/14
26710000	-12,0986	-49,9481	198,0	6953,97	01/04/00	01/12/14
26720000	-12,4178	-49,5892	203,4	6619,22	01/04/00	01/12/14
26790000	-11,3231	-49,2592	210,9	1416,83	01/09/00	01/12/14
27110000	-9,5003	-49,9831	166,2	465,90	01/08/00	01/12/14
27370000	-9,6036	-48,9708	235,8	182,20	01/05/00	01/12/14
27380000	-9,1839	-49,3775	180,9	1666,62	01/08/00	01/12/14
27500000	-8,2694	-49,2594	148,0	320562,81	01/10/00	01/12/14
27530000	-7,8758	-48,8775	163,9	1793,36	01/05/00	01/12/14
27550000	-7,6136	-49,0453	169,1	1186,58	01/03/00	01/12/14
28150000	-7,1464	-48,6108	169,0	1576,20	01/08/00	01/12/14
28200000	-7,2075	-48,2958	194,0	1331,55	01/03/00	01/12/14
28240000	-6,6717	-48,4697	154,0	3452,10	01/08/00	01/12/14
28300000	-6,4097	-48,5422	120,0	365646,97	01/09/00	01/12/14
28840000	-6,0428	-48,1997	117,9	0,00129	01/10/00	01/12/14
28850000	-5,6514	-48,1325	104,0	376955,47	01/08/00	01/12/14
29050000	-5,3386	-49,1244	80,0	687482,40	01/10/00	01/12/14
29100000	-5,4867	-49,2214	93,2	36940,23	01/08/00	01/12/14
29680080	-3,8322	-49,6456	70,1	747278,26	01/01/00	01/06/14
29700000	-3,7578	-49,6533	21,4	749199,06	01/07/00	01/12/14

Fonte: ANA, 2019.

O período de análise homogêneo para todos os postos, entre os anos 2000 e 2014, permitiu a composição de um banco de dados consistido em 386.282 registros de vazões diárias. Importante enfatizar que, de acordo com Tucci (2009), as amostras representativas devem ter pelo menos 5 anos de extensão da série histórica, porém, o presente estudo considerou o período médio de 15 anos, adotando o critério de Vezza et al. (2010), também adotado por Silva et al. (2017), que consideram a necessidade de um período mínimo de 10 anos de dados observados de vazões diárias.

Seguido os procedimentos descritos por Naghettini e Pinto (2007), as etapas para realização da regionalização de vazões pelo método *index-flood* são as seguintes: I. Análise Regional de Consistência de Dados; II. Organização e adimensionalização das séries; III.

Definição das curvas empíricas de frequência de cada estação hidrometeorológica; IV. Definição das regiões homogêneas e das curvas de frequência regional.

No presente estudo, as informações das 73 estações fluviométricas na bacia do rio Tocantins-Araguaia, foram examinadas com base no teste de Mann-Kendall e o método não paramétrico de homogeneidade hidrológica *index-flood*.

Uma das etapas iniciais deste estudo foi determinar quais séries eram estacionárias, somente as séries que não apresentaram tendências foram utilizadas na regionalização. Para identificação das séries adequadas utiliza-se um teste estatístico de tendência (RODRIGUES et al., 2021), o teste aplicado foi o de Mann-Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,01$, selecionadas as estações procedeu-se a definição das regiões homogêneas no período seco e no período chuvoso.

Posteriormente, observou-se graficamente as séries adimensionalizadas apresentavam o mesmo comportamento de inclinação e magnitude, assim delimitação das regiões homogêneas e foi realizada “graficamente e a sentimento”, procedimento que implica na análise visual da inclinação dos valores de vazões mínimas a partir da observação de tendências no processo de regionalização. Assim, a hipótese do método adotado determina que, numa região homogênea as distribuições de frequência nos postos que a compõe são similares, a menos de um fator de escala local denominado *index-flood* (MORAIS et al., 2020).

Conforme explicam Naghettini e Pinto (2007), para determinar uma região homogênea, é necessário observar a similaridade das tendências das curvas de frequências individuais, agrupando curvas com a mesma tendência dentro de uma região com características locais semelhantes.

Geralmente, o método *index-flood* se caracteriza pela análise de uma distribuição de frequência gráfica dos fluxos adimensionais de cada estação (RODRIGUES et al., 2021). As funções regionais para os quantis Q_{90} e Q_{mlt} foram obtidas por regressão linear e não linear simples, sendo ajustadas pelo método dos mínimos quadrados. Os modelos matemáticos utilizados foram potencial e quociente.

Para cada posto, a vazão de referência Q_{90} , vazão igualada ou superada em 90% do tempo, foi obtida de acordo com Mello e Silva (2013). A vazão média de longo termo (Q_{mlt}), amplamente utilizada em estudos hidrológicos no âmbito das vazões de referência, é determinada por cada estação pela média aritmética da vazão anual. É importante destacar que a Q_{mlt} foi utilizada, exclusivamente, para proceder com a adimensionalização das vazões de referência. Após este procedimento, “as curvas empíricas individuais são delineadas por meio de plotagem, em papel de probabilidades, dos valores das séries adimensionalizadas e das

posições de plotagem a eles associadas” (NAGHETTINI e PINTO, 2007, p.421).

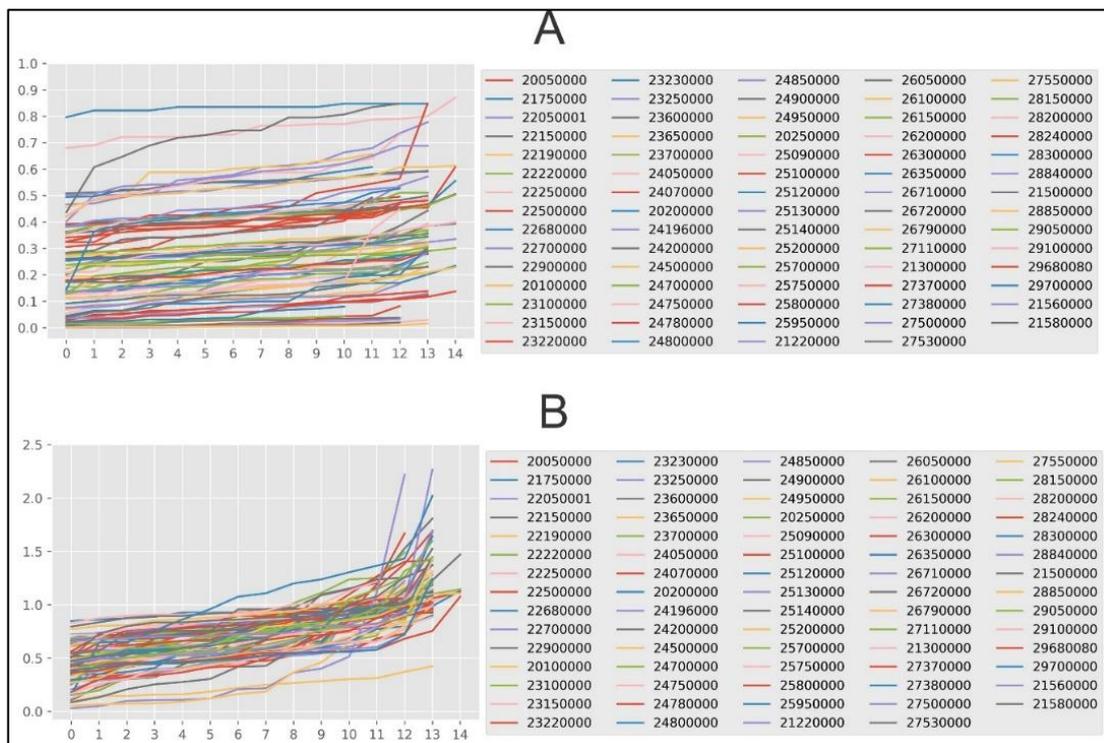
Por fim, a disponibilidade hídrica foi determinada a partir dos rendimentos específicos com 90% de permanência (RE_{90}) e, considerando os modelos regionais, a variável explicativa utilizada foi a área de drenagem a montante da seção de interesse, uma vez que esta refere-se a um importante componente do comportamento hidrológico (TUCCI, 2002; MORAIS *et al.*, 2020).

Para o processamento do modelo digital de elevação – MDE e a delimitação das bacias hidrográficas bem como a elaboração dos mapas foi utilizado o sistema de informações geográficas ArcGIS® (ESRI, 2004), adotando-se o sistema geodésico brasileiro SIRGAS 2000. A partir do formato raster, foram produzidos arquivos vetorizados no formato *shapefile* para facilitar o processamento das informações.

6.3. Resultados e Discussão

Para cada vazão de referência, foi observada e plotada a inclinação das curvas de vazão adimensionalizada, em seguida, a sentinela, definiu-se as regiões homogêneas para os períodos seco e chuvoso (Figuras 16A e 16B, respectivamente).

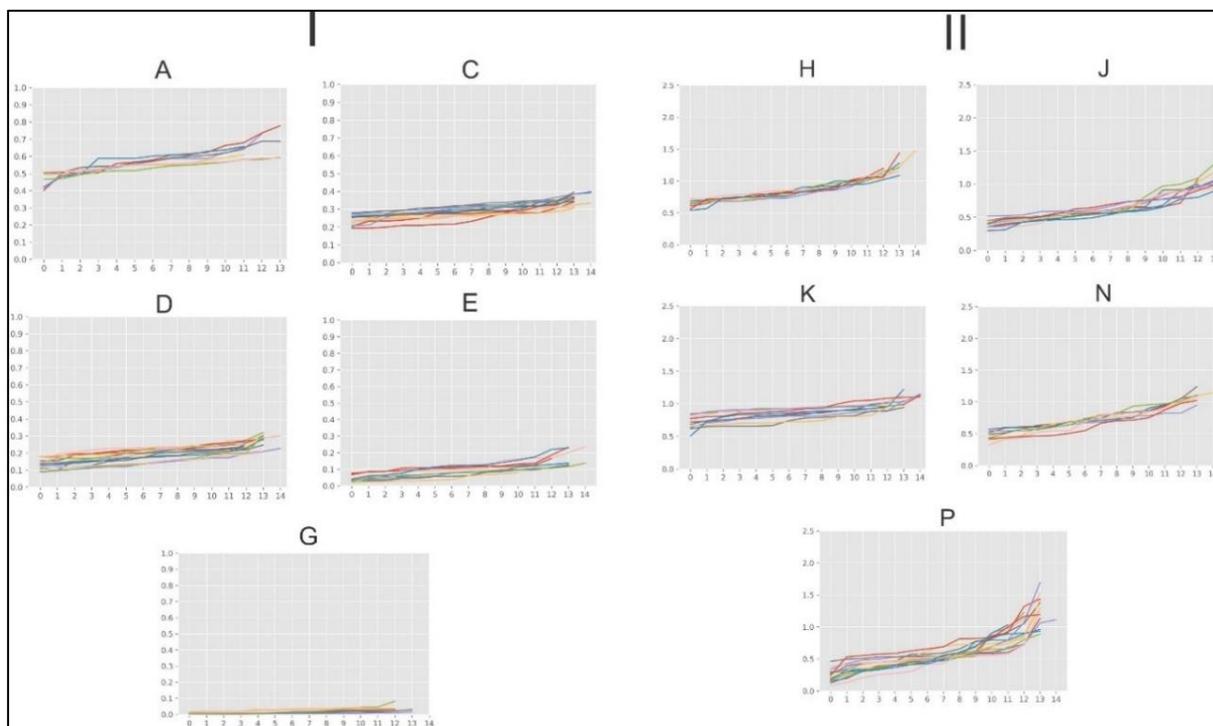
Figura 16 – Método *index-flood* aplicado às séries de vazão média para os períodos seco (A) e chuvoso (B).



Fonte: o autor (2022).

Observando a tendência apresentada pelas séries adimensionalizadas e plotadas foi possível definir 5 regiões homogêneas para cada período, conforme Figuras 17 (I e II).

Figura 17 – Método de *index-flood* aplicado às séries de vazão média para os períodos seco (I) e chuvoso (II).



Fonte: o autor (2022).

Algumas estações não puderam ser regionalizadas, 21580000, 21750000, 24050000, 24070000, e 29100000 (no período seco); e as estações 22150000, 23650000, 24850000, 26710000, 26790000, 27380000, e 29680080 (no período chuvoso). Isto ocorreu pelo fato de, nestes casos, as séries não apresentarem comportamento similar às demais e nem entre si.

Utilizando o software ArcGis[®], visando à espacialização dos valores de RE₉₀ para todo o estado do Tocantins, são apresentadas na Tabela 7 as funções de regionalização com o intervalo de validade de aplicação por área de drenagem.

Tabela 7 – Modelos matemáticos de regionalização da vazão Q₉₀ na Bacia do Tocantins-Araguaia em função da área de drenagem (w).

Região	Período	Modelo	Coeficientes		R ²	Intervalo de Aplicação (Km ²)
			a	b		
A	Seco	$f(W) = aW^b$	0,0086	1,0128	0,99	1782 – 75589
B	Seco	$f(W) = aW^b$	0,0154	0,9258	0,95	0,0013 – 747278
D	Seco	$f(W) = \frac{aW}{b + W}$	1342	233376	0,98	1186 – 376955

E	Seco	$f(W) = \frac{aW}{b+W}$	8,5588	4327,8897	0,77	182, - 5269
G	Seco	$f(W) = \frac{aW}{b+W}$	11561903,193	72118387634,5	0,76	1416 – 18219
H	Chuvoso	$f(W) = aW^b$	1,5765	0,6060	0,89	1782 – 295466
J	Chuvoso	$f(W) = aW^b$	0,0112	0,9745	0,99	525 – 365646
K	Chuvoso	$f(W) = aW^b$	0,2015	0,7459	0,94	383 – 43611
N	Chuvoso	$f(W) = \frac{aW}{b+W}$	1223,9876	12421,1739	0,88	1186 – 87563
P	Chuvoso	$f(W) = \frac{aW}{b+W}$	24727,1755	2703661,8971	0,99	0,0013 – 749199

Modelo Potencial: $f(W) = aW^b$; Modelo Quociente: $f(W) = aW(b+W)^{-1}$. Onde $W = \text{Área da bacia a montante}$.
Fonte: o autor (2022).

Com exceção dos modelos aplicados às regiões E e G (ambos referentes ao período seco), as funções de regionalização das vazões Q_{90} apresentaram o valor do coeficiente de determinação superior a 0,88, denotando a qualidade dos dados utilizados no presente estudo. Pelos valores do $R^2 \geq 0,76$, e vêm reforçar os resultados anteriores sobre a qualidade do modelo, bem como sua aplicabilidade.

Assim, conclui-se que os modelos poderão gerar bons resultados, se aplicados para estimativa da disponibilidade hídrica, sendo uma ferramenta para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos no estado do Tocantins.

Considerando um modelo potencial, o valor do coeficiente “a” indica a capacidade de geração do escoamento superficial da área de drenagem, ou seja, quanto maior o valor maior será essa propriedade. O valor do coeficiente “b” indica como essa capacidade varia com o aumento da área de drenagem, determinando que, quanto mais próximo de 1 menor é a amplitude de variação, e, quanto mais afastado de 1 maior será a variação dessa capacidade (SILVA et al., 2017).

Observando os intervalos de aplicação dos modelos (Km^2), verifica-se que em determinadas situações o valor ultrapassa a extensão territorial do estado do Tocantins ($277.620,9 \text{ km}^2$), devido ao fato de estes modelos terem sido produzidos com estações fluviométricas que se estendem ao longo de toda Bacia Tocantins-Araguaia. Todavia, as representações cartográficas tomaram como referência os limites políticos estaduais, uma vez que o foco deste estudo se concentra no Estado do Tocantins.

Na Tabela 8 apresenta-se o resultado do teste não paramétrico de Mann-Kendall, com o $\alpha = 0,01$ como nível de significância. Observa-se que as estações fluviométricas 23250000 e 26100000 apresentaram tendência, sendo, portanto, descartadas do processo de regionalização.

Tabela 8 – Análise de Tendência dos dados das estações fluviométricas pelo Teste de Mann–Kendall ao nível de significância $\alpha = 0,01$ e definição das regiões homogêneas no período seco e no período chuvoso.

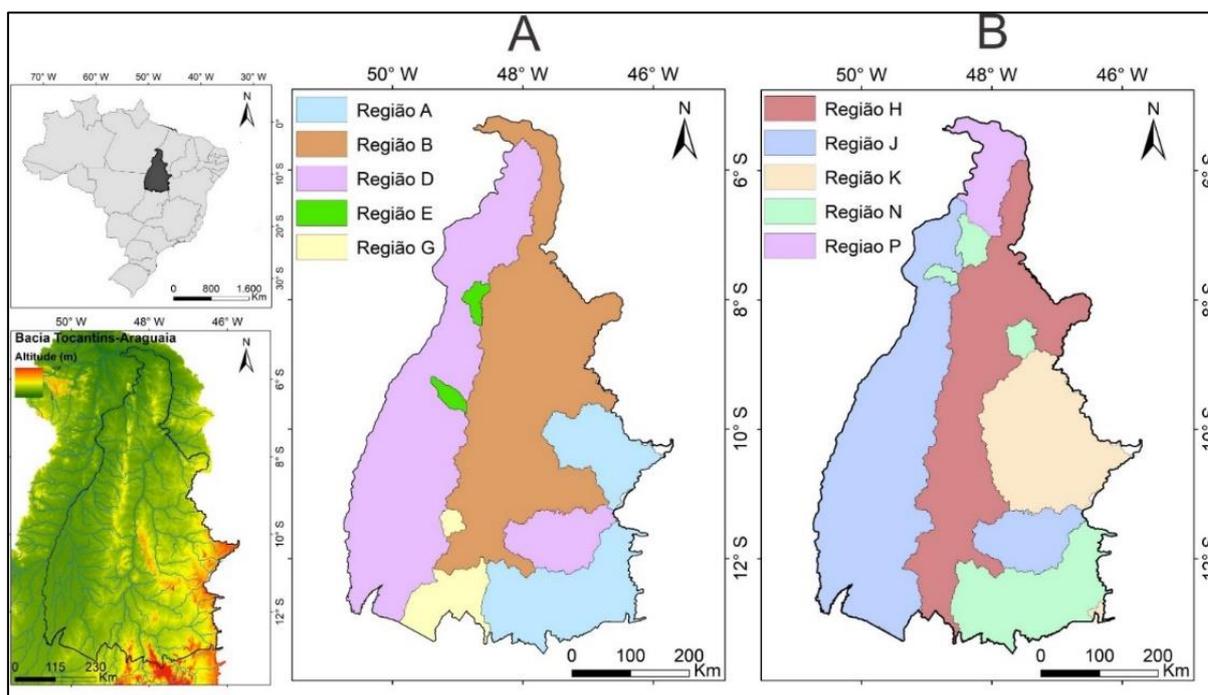
Estação	Estação seca	Estação chuvosa	Estação	Estação seca	Estação chuvosa
20050000	0,33 F	0,15 I	24900000	0,41 C	0,66 J
20100000	0,96 C	0,15 P	24950000	0,38 D	1,00 J
20200000	0,74 D	0,51 I	25090000	0,84 F	0,45 P
20250000	0,58 F	0,04 I	25100000	0,65 E	0,49 P
21220000	0,33 F	0,95 P	25120000	0,03 E	0,62 J
21300000	0,01 A	0,95 I	25130000	0,35 E	0,83 P
21500000	0,13 B	0,30 I	25140000	0,74 F	0,96 I
21560000	0,03 A	1,00 K	25200000	0,10 C	0,83 N
21580000	0,36 –	0,54 K	25700000	0,37 D	0,77 N
21750000	0,56 –	0,14 K	25750000	0,07 G	0,17 P
22050001	0,78 A	0,83 N	25800000	0,04 G	0,83 I
22150000	0,07 G	0,66 –	25950000	0,05 D	0,51 N
22190000	0,84 A	0,39 H	26050000	0,35 A	1,00 K
22220000	0,58 D	0,20 J	26100000	*0,00 –	0,11 K
22250000	0,13 D	0,95 J	26150000	0,83 C	0,41 I
22500000	0,25 F	0,85 I	26200000	0,02 B	0,91 H
22680000	0,15 A	0,08 K	26300000	0,58 B	0,66 H
22700000	0,05 A	0,66 K	26350000	0,21 C	0,66 I
22900000	0,13 B	0,74 K	26710000	0,05 G	0,30 –
23100000	0,62 B	0,08 H	26720000	0,08 G	0,44 P
23150000	0,62 C	0,07 N	26790000	0,05 G	0,74 –
23220000	0,11 B	0,13 H	27370000	0,10 E	1,00 P
23230000	0,40 B	0,09 H	27380000	0,12 E	1,00 –
23250000	0,55 B	*0,00 –	27500000	0,13 D	0,70 P
23600000	0,30 B	0,49 H	27530000	0,30 E	0,14 H
23650000	0,35 E	0,58 –	27550000	0,07 D	0,78 N
23700000	0,77 B	0,11 H	28150000	0,66 D	0,48 I
24050000	0,04 –	0,01 K	28200000	0,52 C	0,23 J
24070000	0,17 –	0,11 I	28240000	0,87 D	0,23 N
24196000	0,16 E	0,30 P	28300000	0,13 D	0,58 J
24200000	0,52 C	1,00 J	28840000	0,36 B	0,90 P
24500000	0,20 C	0,66 N	28850000	0,02 D	0,32 P
24700000	0,23 C	0,21 K	29050000	0,91 C	0,32 I
24750000	0,25 D	0,55 J	29100000	0,62 –	0,87 P
24780000	0,96 E	0,70 P	29680080	0,01 B	0,17 –
24800000	0,18 D	0,83 J	29700000	0,71 F	0,23 P
24850000	0,20 C	0,19 –			

Fonte: ANA (2019). Org.O autor (2022).

Nota: Números antecedidos por * indicam que há evidências estatística para rejeitar a inexistência de tendência (H0) na série de dados para o período analisado. Valores seguidos de mesma letra, no mesmo período, pertencem à mesma região e quando seguidos de “–” não foram regionalizados

A partir da análise de tendência, foram determinadas as regiões homogêneas com base na vazão de referência Q_{90} e seu respectivo Rendimento Específico R_{90} . Apresenta-se na Figura 18 a espacialização das regiões homogêneas para Q_{90} , respectivamente no período seco e no período chuvoso.

Figura 18 – Regionalização das vazões para o Estado do Tocantins no período seco (A) e chuvoso (B).



Fonte: o autor (2022).

Confrontando os resultados obtidos na Figura 18 com as referências com a delimitação das bacias descritas em TOCANTINS (2012), pode-se observar que, considerando o período seco, a Região A destacada na Figura 18A, contempla as bacias T1 até a montante da usina hidrelétrica de Peixe-Angical, T3, T4 e a bacia T10 ao sul do município de Novo Acordo; a Região B é composta pelas bacias T1 (em uma faixa que se estende do Bico do Papagaio a jusante da UH de Peixe-Angical), T6, T7, T8, T9, T10 (a jusante do município de Novo Acordo), T12, T13 e T14; a Região D contempla parte da bacia A1 (próximo ao município de Araguatins), A2, A3, A4 (exceto a área drenada pelo alto curso do rio Dueré), A5, A6, A7, a porção norte da bacia A8, A9, A10, A12, A13, A14, A15 e A16 e a bacia T5; a Região E contempla o sul do sistema A8 (área de drenagem do rio Piranhas) e A11, e por fim, a Região G que contempla a área drenada pelo alto curso do rio Dueré e a bacia T2.

Com base nas informações fornecidas por TOCANTINS (2012) e a regionalização proposta no presente estudo, considerando o período chuvoso conforme Figura 18B, a Região H contempla as bacias T1 em uma faixa que se estende do Bico do Papagaio (Terra indígena Apinayé) até o sul do Estado junto ao município de Palmeirópolis, T2, T6, T7, T8, T10, T11 e T14; a Região J, com a exceção das bacias A15, A16 e A1 (ao norte do Bico do Papagaio), é constituída por todas as bacias do sistema hidrográfico do Rio Araguaia (A) e mais a bacia T5; a Região K contempla a porção leste do Estado e uma pequena porção no extremo sudeste do

Tocantins, bacias T4, T9, T10 (abrangendo a porção leste da Terra Indígena Xerente) e T12; a Região N é constituída pelas bacias A12, A14, T3, T4 e T13 até próximo ao município de Itacajá; e, finalizando a regionalização para o período chuvoso, a Região P, que contempla as bacias A1 e T1 ao norte do Bico do Papagaio, A15 e A16. O nome das bacias hidrográficas pode ser observado na Tabela 9.

Tabela 9 – Sistema Hidrográfico do Tocantins com as sub-bacias que integram as bacias do Rio Araguaia e do Rio Tocantins

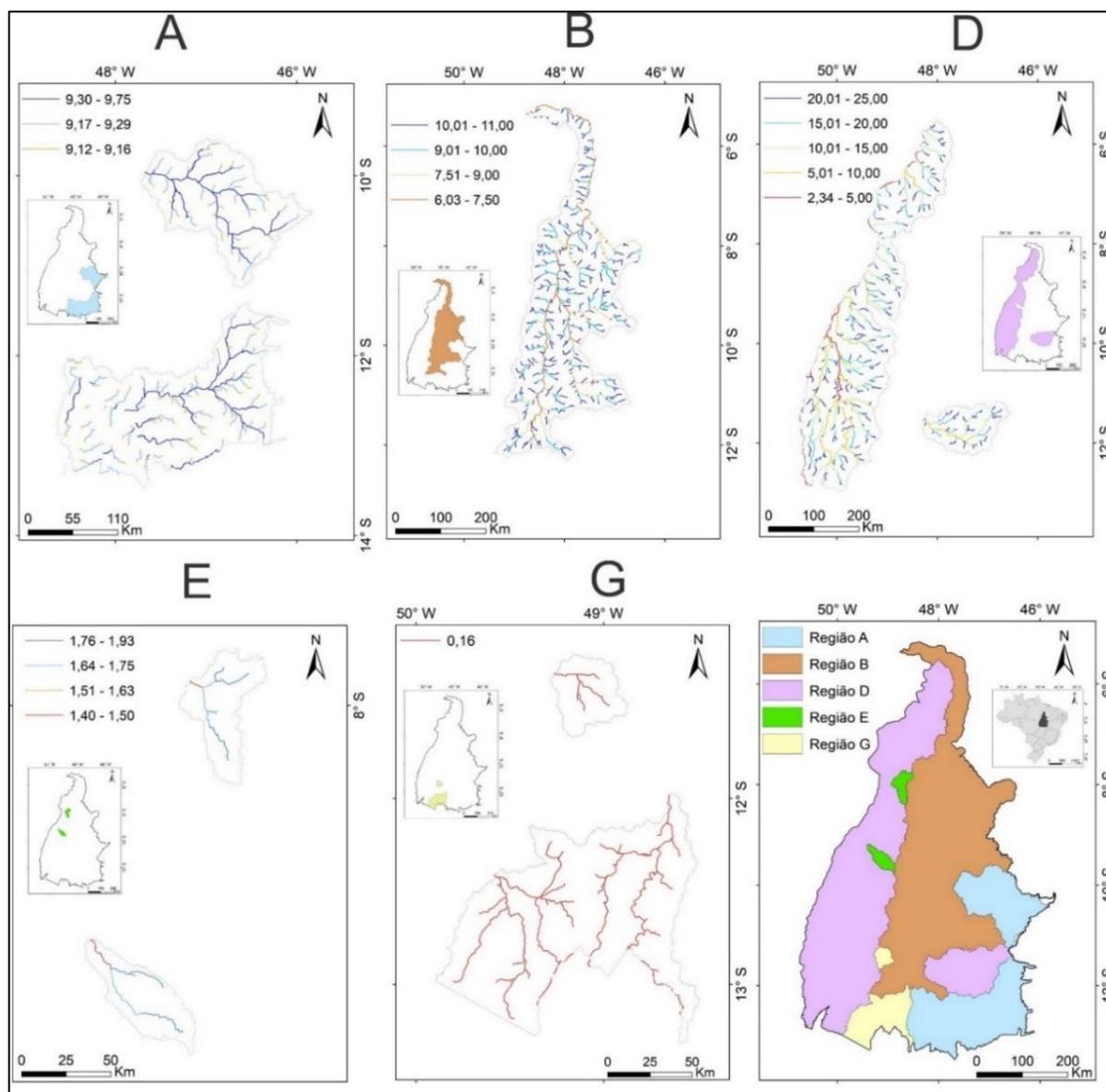
Cód.	Nome da Bacia	Área (km ²)	Cód.	Nome da Bacia	Área (km ²)
A1	Rio Araguaia	18.063,8	T1	Rio Tocantins	57.776,7
A2	Rio Riozinho	10.923,7	T2	Rio Santa Tereza	5.950,9
A3	Rio Javaés	12.329,6	T3	Rio Paranã	8.175,5
A4	Rio Formoso	20.654,3	T4	Rio Palma	17.055,2
A5	Rio Pium	5.044,5	T5	Rio Manuel Alves da Natividade	14.917,1
A6	Rio do Côco	5.022,4	T6	Rio São Valério	2.189,2
A7	Rio Caiapó	5.382,1	T7	Rio Santo Antônio	3.057,4
A8	Rio Lajeado	5.985,1	T8	Rio Crixás	3.407,4
A9	Rio Bananal	2.853,9	T9	Rio das Balsas	12.352,5
A10	Rio Barreiras	1.738,2	T10	Rio Sono	25.572,5
A11	Rio das Cunhãs	2.776,3	T11	Ribeirão dos Mangues	2.797,8
A12	Rio Jenipapo	1.576,5	T12	Rio Perdida	9.522,7
A13	Rio Muricizal	3.375,6	T13	Rio Manuel Alves Pequeno	1.552,6
A14	Rio Lontra	3.835,9	T14	Rio Manuel Alves Grande	8.500,7
A15	Ribeirão Corda	3.508,6			
A16	Rio Piranhas	1.741,3			

Fonte: Adaptado de TOCANTINS (2012).

A Figura 19 apresenta a espacialização do RE₉₀ para cada região no período seco. É importante destacar que a disponibilidade hídrica no período seco é mais relevante porque se trata de um período crítico, de maior escassez, quando eventuais disputas pelos usos da água podem se acentuar. Também se deve atentar para o fato de que em todas elas há certa preocupação com a disponibilidade hídrica.

A Região A, que contempla o leste e o sudeste tocantinense, apresentou RE₉₀ entre 9,16 e 9,75 L s⁻¹ km⁻². É importante destacar, conforme abordado no capítulo anterior, que o sudeste do Tocantins apresenta os menores valores de precipitação pluvial, entre 313 e 479 mm, durante o período seco. Nesta região, destacam-se os cultivos de milho ao leste (município de Mateiros) e principalmente cana-de-açúcar ao sudeste do Estado (Arraias, Taguatinga e Natividade, principalmente).

Figura 19 – Rendimento específico para o período seco por região no Estado do Tocantins em $L s^{-1} km^{-2}$



Fonte: o autor.

A Região B abrange parte do norte, leste, centro e sul do Tocantins, apresentando RE_{90} entre 6 a $11 L s^{-1} km^{-2}$, com destaque para grande parte do fluxo do rio Tocantins, que apresentou RE_{90} entre 6,03 e $7,50 L s^{-1} km^{-2}$, um rendimento específico que preocupa, dada a importância deste rio principal. Nesta porção do Estado, conforme observado no capítulo anterior, a precipitação pluvial no período analisado varia entre 479 e 700 mm. Nesta região hidrológica, estão quatro dos cinco municípios tocantinenses mais populosos (Palmas, Gurupi, Porto Nacional e Paraíso do Tocantins), com grande destaque também no setor do agronegócio.

A Região D contempla praticamente todo o sistema hidrográfico do Rio Araguaia, a oeste, e a bacia do rio Manuel Alves da Natividade, ao leste (T5). Considerando o período seco,

o RE₉₀ apresenta-se entre 2,34 e 25,00 L s⁻¹ km⁻², porém essa informação deve ser analisada com cautela, pois os valores mais elevados de RE₉₀ pertencem a pequenos trechos de afluentes e subafluentes do Rio Araguaia. Situação mais grave nesta região é o RE₉₀ apresentado em uma pequena extensão a médio e baixo curso do Rio Javaés e também do Rio Araguaia, apresentando valores de 2,34 e 5,00 L s⁻¹ km⁻².

Considerando que esta região compreende praticamente o sistema hidrográfico do Rio Araguaia, deve-se enfatizar que os maiores valores de precipitação pluviométricas ocorrem na porção noroeste do Estado durante o período seco, variando entre 479 e 755 mm, conforme resultados descritos no Capítulo 2.

No âmbito do agronegócio, o PAT (TOCANTINS, 2016) descreve que a demanda total de água para o setor agrícola (irrigação) considerando as culturas de arroz, feijão, milho e soja é de aproximadamente 28.173 L/s, considerando uma área equivalente a 5.414,09 km², sendo destes 741,4 km² (14%) de área irrigada. De acordo com o IBGE (2017), a área irrigada dos estabelecimentos agropecuários no Estado do Tocantins no ano de 2006 era de 42.527 ha, aumentando quase quatro vezes no ano de 2017, passando para 146.517 ha.

O Plano Estadual de Recursos Hídricos do Tocantins – PERH/TO também descreve que

as áreas do Estado com produção agrícola representativa em termos de impacto na demanda, considerando o critério estatístico adotado para seleção, apontam principalmente para o extremo sudoeste do Estado, concentrando-se nas cabeceiras do Rio Araguaia, nos municípios de Formoso do Araguaia e de Lagoa da Confusão. A demanda total de água para o setor agrícola (irrigação) considerando as culturas de arroz, feijão, milho e soja é de aproximadamente 28.173 L s⁻¹. (TOCANTINS, 2011, p. 20).

Isto significa que a demanda hídrica no sudoeste do Tocantins para as áreas de cultivo irrigado das culturas supracitadas equivale a 38 L s⁻¹ km⁻², sendo que no período seco, como já mencionado, o RE₉₀ varia entre 2,34 e 25,00 L s⁻¹ km⁻² em toda a Região D. De acordo com o PERH/TO (TOCANTINS, 2011), o potencial de impacto na gestão de recursos hídricos é classificado como médio para o município de Lagoa da Confusão e médio baixo para Formoso do Araguaia, entretanto, para Lagoa da Confusão, considerando a produção agrícola como aspecto relevante para a gestão de recursos hídricos, a classificação é de alto impacto.

Especificamente no que se refere ao sistema T5, Rodrigues et al. (2015) obtiveram rendimento específico mínimo de sete dias e tempo de retorno de 10 anos (RE_{7,10}) de 1,35 L s⁻¹ km⁻² e RE₉₀ igual a 2,38 L s⁻¹ km⁻². Os autores afirmaram que “tal resultado está enquadrado na classe de alta vulnerabilidade natural dos recursos hídricos superficiais, de acordo com a classificação apresentada pelo Zoneamento Ecológico Econômico do Estado de Minas Gerais” (RODRIGUES *et. al.*, 2015, p. 76). Cabe ressaltar, de acordo com o estudo apresentado no

Capítulo 2, que os valores de precipitação neste sistema são inferiores aos apresentados nos sistemas que integram o Rio Araguaia, entre 313 e 479 mm neste período seco e que a precipitação máxima diária anual varia entre 72 a 100 mm com incremento no sentido sudeste-noroeste desta bacia (PRÓLO et al., 2021).

A Região E compreende duas porções da menor região hidrológica estabelecida neste estudo, uma situada no centro-oeste do Estado, abrangendo parte dos municípios de Dois Irmãos e Abreulândia, e a outra a noroeste, onde se localiza o município de Bandeirantes do Tocantins e parte dos municípios de Bernardo Sayão e Itaporã. Esta região apresenta RE_{90} entre 1,40 e 1,76 $L s^{-1} km^{-2}$, apresentando uma situação de vulnerabilidade natural classificada como muito alta. Como observado no capítulo anterior, a precipitação no período seco varia entre 591 e 700 mm.

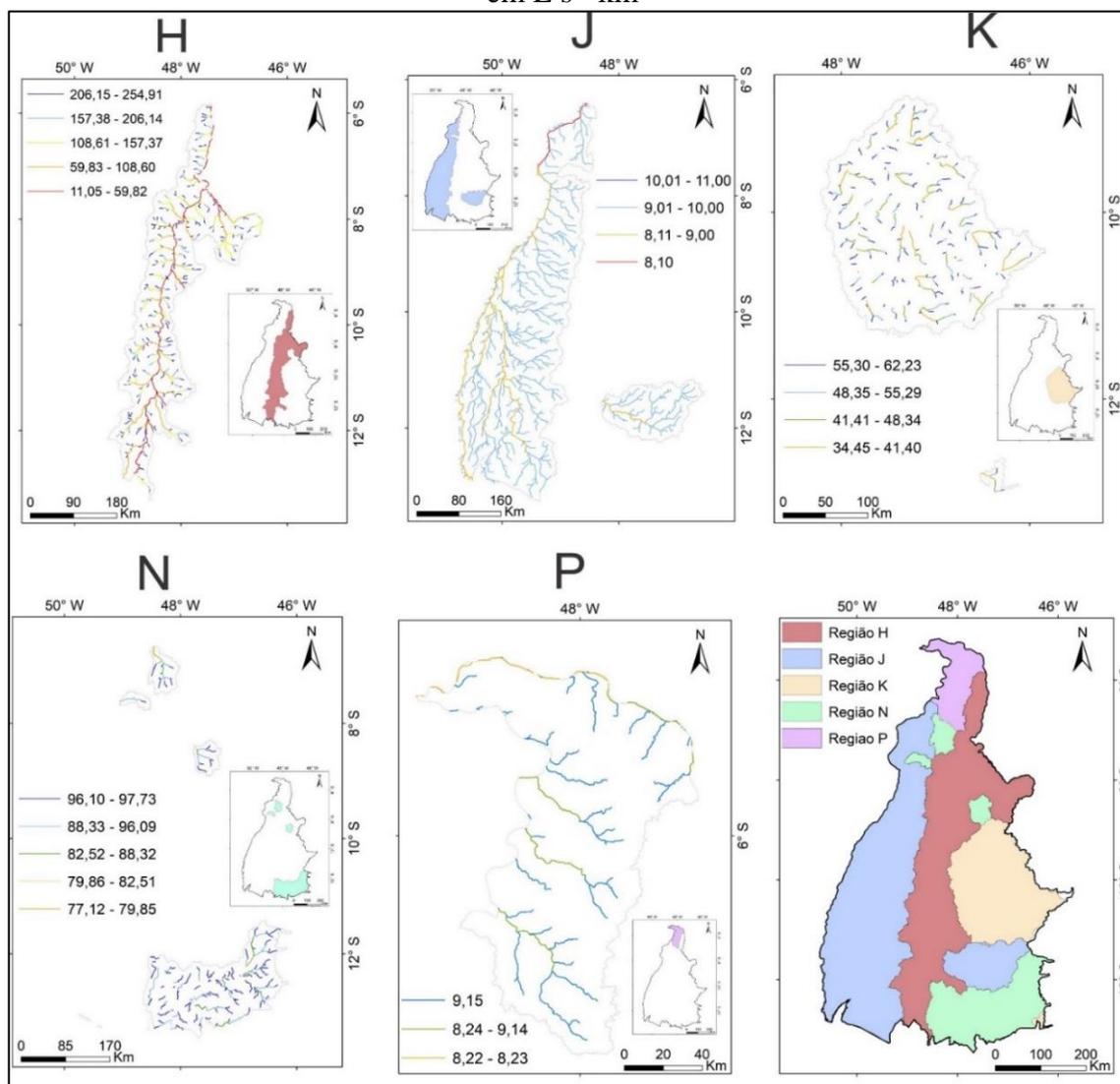
A Região G, localizada ao sul do Tocantins, também apresenta vulnerabilidade natural muito alta, embora nessa área a situação seja mais crítica em relação à disponibilidade hídrica, com RE_{90} de apenas 0,16 $L s^{-1} km^{-2}$. Essa região abrange os municípios de Dueré e Aliança, em uma porção descontínua mais ao norte dessa região hidrológica (onde também se encontra a bacia do rio Urubu Grande) e parte dos municípios de Talismã, Sucupira, Sandolândia, Peixe, Jaú do Tocantins, Figueirópolis, Alvorada e Araguaçu. De acordo com o PERH/TO, em Araguaçu predomina a atividade pecuarista, que provoca alto impacto na gestão dos recursos hídricos. No período seco, a precipitação pluvial nesta região varia entre 479 e 591 mm.

De acordo com a WMO (2021), para mitigar os impactos relacionados a escassez dos recursos hídricos é necessário amplo apoio à sua gestão, serviços climáticos voltados para alerta precoce da escassez da água, além de investimentos sustentáveis.

No entanto, ainda de acordo com o relatório da WMO, cerca de 60% dos serviços meteorológicos e hidrológicos nacionais – as agências públicas nacionais encarregadas de fornecer informações hidrológicas básicas e serviços de alerta ao governo, ao público e ao setor privado – carecem de todas as capacidades necessárias para fornecer serviços climáticos para a água. Esta realidade foi constatada no presente estudo, com a impossibilidade de acesso aos dados de outorga junto o Instituto Natureza do Tocantins – NATURATINS, que não contribuiu com a disponibilização de dados das vazões outorgadas no Estado, o que poderia fomentar outras abordagens, voltadas para a avaliação do nível de comprometimento dos recursos hídricos através da confrontação da disponibilidade x demanda outorgada.

A Figura 20 representa a regionalização das vazões durante os 4 meses mais chuvosos, considerados no presente estudo como o período chuvoso no Tocantins entre dezembro a março, porém, este intervalo pode variar ligeiramente entre as diferentes porções do estado.

Figura 20 – Rendimento específico para o período chuvoso por região no Estado do Tocantins em $L s^{-1} km^{-2}$



Fonte: o autor (2022).

É importante compreender que a “aparente abundância dos recursos hídricos” durante o período chuvoso requer igual preocupação para o planejamento e gestão. Com exceção das regiões J e P, que apresentaram menores rendimentos específicos, há moderado conforto no que se refere à vulnerabilidade natural da disponibilidade hídrica superficial no Estado.

A Região H apresentou RE₉₀ entre 11,05 e 294,91 $L s^{-1} km^{-2}$, com maior preocupação com a descarga do Rio Tocantins e Rio Manuel Alves Grande, ambos com RE₉₀ entre 11,05 e 59,82 $L s^{-1} km^{-2}$. Correspondente à Região B durante o período seco, a Região H apresenta considerável incremento dos volumes superficiais durante os meses mais chuvosos. No capítulo anterior, nota-se que a precipitação pluvial nesta região, para o período chuvoso, varia entre 479 a 700 mm, com incremento no sentido sul-norte. Algumas estações pluviométricas apresentaram tendência de redução da precipitação pluvial ao longo desta região hidrológica,

como as localizadas nos municípios de São Valério de Natividade (Faz. Lobeira), Paraíso do Tocantins e Goiatins, constatação feita a partir do teste de tendência Mann-Kendall com séries históricas com mais de 30 anos. Com base no PAT (TOCANTINS, 2016), é possível observar a produção dos quatro principais cultivos agrícolas já elencados neste estudo ao longo de todo o sistema hidrológico do Rio Tocantins.

Os valores apresentados pelo RE₉₀ da Região J estão entre 8,10 e 11,00 L s⁻¹ km⁻². Estes valores são referentes aos sistemas integrados ao Rio Araguaia, em praticamente toda a porção oeste do Tocantins. Esta região corresponderia à Região D durante o período seco, quando os menores valores de RE₉₀ estão em torno de 2,34 L s⁻¹ km⁻². Já no período chuvoso, a Região J apresenta a situação mais preocupante na sua porção mais a jusante do sistema do Rio Araguaia, com RE₉₀ em torno de 8,10 L s⁻¹ km⁻².

A Região K, que compreende a porção leste do Estado e uma pequena área no extremo sudeste do Tocantins, apresentou valores de RE₉₀ entre 34,45 e 62,23 L s⁻¹ km⁻² durante o período chuvoso, apresentando uma situação mais confortável diante da vulnerabilidade natural dos recursos hídricos. Durante o período chuvoso, a precipitação na maior parte desta região varia entre 840 e 1023 mm, conforme visto no Capítulo 2. O trabalho desenvolvido pela Secretaria de Planejamento do Tocantins (TOCANTINS, 2007) para regionalização de vazões, descreve a vazão média específica para esta mesma área estimada em 26,9 L s⁻¹ km⁻². Nessa região, de acordo com o Censo Agropecuário (IBGE, 2017), (e também Figura 3), destacam-se os cultivos de milho e soja.

Na Região N, que no período chuvoso apresentou vazões homogêneas no sudeste do Tocantins e áreas no nordeste e noroeste do Estado, também se observam os menores valores e RE₉₀ mais confortáveis durante este período, correspondendo ao que seriam basicamente áreas constituintes da Região A no período seco. Durante os meses mais chuvosos, o RE₉₀ variou entre 77,12 e 97,73 L s⁻¹ km⁻². Nesta região, o destaque do agronegócio concentra-se na produção de cana-de-açúcar (Figura 3). Ainda é importante enfatizar que, de acordo com a caracterização do Estado com foco nos recursos hídricos (TOCANTINS, 2011), nesta região, onde se encontra praticamente todo o município de Araguaína, o potencial de impacto na gestão de recursos hídricos é classificado como muito alto.

A Região P, assim como a Região J, apresenta situação mais preocupante quanto à vulnerabilidade natural durante o período chuvoso, com RE₉₀ entre 8,22 e 9,15 L s⁻¹ km⁻². Segundo resultados apresentados no Capítulo 2, a precipitação durante o período chuvoso para essa região varia entre 840 e 1023 mm. Esta região compreende a porção do extremo norte do

Tocantins, área conhecida como Bico do Papagaio, caracterizada pela confluência dos rios Tocantins e Araguaia, onde se destacam os cultivos de milho e, principalmente, arroz.

6.4. Conclusão

A análise de tendência para definição à sentimento das regiões homogêneas das vazões adimensionalizadas foi considerada eficiente para as sub-bacias compreendidas pelo território tocantinense. Os resultados obtidos também permitem concluir que as funções regionais ajustadas para Q_{90} são adequadas para utilização respeitando os limites de aplicação (áreas de drenagem) e observando as ressalvas quanto ao comportamento das curvas.

As regiões com os menores RE_{90} durante o período seco foram as regiões E e G, com valores de 1,40 e 0,16 $L s^{-1} km^{-2}$, respectivamente. Já no período chuvoso, os menores valores de RE_{90} foram observados nas regiões J e P, com valores de 8,10 e 8,22, respectivamente. Os maiores valores de RE_{90} foram observados durante o período seco nas regiões B e D, com valores de 11 e 25 $L s^{-1} km^{-2}$, respectivamente. Já no período chuvoso, os maiores valores foram identificados nas regiões H e N, com 254,91 e 97,73 $L s^{-1} km^{-2}$, respectivamente.

Para estudos futuros, recomenda-se a investigação do nível de comprometimento dos recursos hídricos no Estado, relacionando a disponibilidade hídrica com a demanda caracterizada pelas outorgas para o uso da água junto aos órgãos responsáveis, para completar a análise da situação hidrológica do Tocantins. Estudos desse tipo poderão contribuir para dimensionar possíveis conflitos pelo uso da água no futuro, considerando a expansão das monoculturas e a presença de grupos de populações originárias, tradicionais e camponesas nas diferentes regiões do estado.

7. CAPÍTULO 4: ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS NO ESTADO DO TOCANTINS

Resumo: O Índice de Pobreza Hídrica (IPH) é uma alternativa que pode ser utilizada para diagnosticar as condições em que a população de diferentes localidades se encontra diante da oferta de água e, ao mesmo tempo, pode auxiliar o planejamento e a gestão deste recurso. O objetivo deste estudo é determinar o IPH dos 139 municípios tocantinenses, visando à espacialização de cada componente e a representação do IPH, para analisar as condições dos municípios diante dos recursos hídricos em diferentes regiões do estado do Tocantins. Devido à diversidade de informações de cada componente que constitui o IPH, os valores obtidos em cada subcomponente foram normalizados, adotando-se valores máximos e mínimos de acordo com a escala espacial, permitindo assim realizar uma análise comparativa. O peso atribuído para os componentes que compõem o IPH foi de 1 para recurso, acesso, capacidade, e de 0,5 para o componente uso, aplicados na equação que representa o IPH. Conforme a escala, que parte de 0 para a situação mais crítica e atinge 1 para a condição excelente, a maior parte dos municípios tocantinenses, assim como a média do IPH do Estado do Tocantins, apresenta IPH classificado como bom. Contudo, tal resultado não pode ser interpretado como abundância de recursos hídricos, mas como uma combinação favorável de fatores que permite boas condições no que se refere aos recursos, acessos, capacidades, usos e meio ambiente. Os municípios com as melhores condições foram Palmas (0,70), Porto Nacional (0,65), Miracema e Pedro Afonso (0,63) e Paraíso do Tocantins (0,61), todos na porção central do estado. Já os municípios que apresentaram IPH crítico foram Praia Norte (0,29), Juarina (0,28), Aragominas (0,27), Piraquê (0,24) e Riachinho (0,22), localizados na parte norte do estado.

Palavras-chaves: Análise espacial. Condição hidrológica-socioeconômica. Gestão da água.

7.1. Introdução

Um dos temas mais importantes e preocupantes para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos concentra-se na disponibilidade hídrica, independentemente da finalidade do seu uso, dada a crescente demanda por água nas últimas décadas e a perspectiva de aumento desta demanda para o futuro próximo (SANTOS, 2015).

Sabendo que a água é um pré-requisito para o desenvolvimento econômico, Sullivan (2002) afirma que embora haja uma vasta literatura voltada para o estudo de indicadores que permitem acompanhar o processo de transformação do meio ambiente e propostas de eliminação da pobreza, nenhum especificamente reconhece a importância da água para todas as formas de vida. Segundo a autora, sem recursos adequados e eficientes, ou seja, onde há pobreza hídrica, quaisquer medidas para reduzir a pobreza de renda não serão bem sucedidas.

Embora o Tocantins possua uma considerável abundância de recursos hídricos, tanto a sua disponibilidade quanto o acesso da população de diferentes municípios ocorrem de forma

desigual ao longo de toda a extensão do território tocantinense, impactando de forma peculiar a população dos municípios em diferentes regiões do Estado. Em uma reflexão sobre o paradoxo da água na Amazônia brasileira, por exemplo, Bordalo (2017) afirma que não existe uma crise de disponibilidade de água doce, mas sim a crise do desigual acesso à água potável.

Visando a uma compreensão ampla do fenômeno, capaz de associar aspectos físicos, sociais e econômicos para descrever a relação entre os recursos hídricos e o desenvolvimento humano, o Índice de Pobreza Hídrica (IPH) é uma alternativa que pode ser utilizada para diagnosticar as condições em que a população de diferentes localidades se encontram diante da oferta de água e, ao mesmo tempo, pode auxiliar o planejamento e a gestão deste recurso. Morais et al. (2019), por exemplo, afirmam que O IPH “analisa o grau de pobreza hídrica de uma região e possibilita ao gestor uma visão holística dos problemas atrelados a esse contexto para uma gestão eficaz da água” (MORAIS et al., 2019, p. 29).

Este índice (IPH) foi utilizado em 147 países, sendo que sua validação ocorreu em 12 áreas-piloto, em países como África do Sul, Tanzânia e Sri-Lanka, abordando comunidades urbanas e rurais, sendo identificados em um contexto de escala global pontos fortes e fracos dos recursos hídricos de diversas localidades (LUNA, 2007).

O conceito de pobreza considerado aqui baseia-se no estudo realizado por Desai (1995), que considera pobreza como uma condição decorrente da privação de capacidade, sendo resultado da falta de condições essenciais para uma vida cujas necessidades básicas sejam atendidas. Neste sentido, Sullivan et al. (2003) afirmam que baixas quantidades de água, por exemplo, têm relação direta com a saúde, pois a higiene pessoal e a produção alimentar serão menos eficientes.

Crispim (2015) analisou a situação hídrica das comunidades rurais do município de Pombal-PB, determinando o IPH de 14 comunidades, utilizando 21 subcomponentes e 61 indicadores abrangendo as 5 componentes principais. Adaptando os procedimentos utilizados neste estudo, Brito et al. (2020) avaliaram a situação do acesso e do uso da água na ilha de Cotijuba, situada no município de Belém-PA, para determinar o IPH local.

No Tocantins, Morais et al. (2019) determinaram o IPH para duas cidades no sudeste do Estado: Aurora do Tocantins e Paranã. Os autores descrevem a dificuldade para a obtenção de informações no que se refere à demanda hídrica, fazendo com que fosse considerado na categoria recurso apenas a disponibilidade *per capita* de água ($\text{m}^3 \text{ hab}^{-1} \text{ ano}^{-1}$), o que determinou um universo amostral reduzido para representação deste índice.

Outro estudo relevante no sudeste do Tocantins foi desenvolvido por Pinto (2017), ao propor o índice de vulnerabilidade socioambiental para 12 municípios, a partir da análise da

vulnerabilidade socioambiental, considerando a sobreposição das informações acerca das características das fragilidades físicas (declividade, tipo de solo, cobertura vegetal, pluviosidade) e também das vulnerabilidades socioeconômicas (habitação e saneamento, educação, trabalho e renda).

Sullivan et al. (2003) afirmam que o IPH combina dados sobre os recursos hídricos com o acesso, o uso, a capacidade social e econômica e a qualidade ambiental relacionados à água a ser utilizada pela população de uma localidade e agências de desenvolvimento hídrico para monitorar o progresso no fornecimento de água.

É importante destacar que o IPH resulta da média simples ou ponderada dos componentes: recurso (R), acesso (A), capacidade (C), uso (U) e meio ambiente (MA) (TORRES e ÁLVARES, 2020).

Morais et al. (2019) afirmam que

As evidências apresentadas a partir da construção dessas categorias permitem aos gestores o delineamento de problemas direta ou indiretamente relacionados à escassez hídrica e podem formar ligações entre pobreza, exclusão social, integridade do meio ambiente, saúde, disponibilidade de água e estabelecer políticas públicas que viabilizem medidas adequadas de mitigação para o enfrentamento de escassez hídrica (MORAIS et al., 2019, p. 29).

Diante do exposto, o objetivo deste estudo é determinar o índice de pobreza hídrica (IPH) dos 139 municípios tocantinenses, visando à espacialização de cada componente e a representação do IPH, para analisar as condições dos municípios diante dos recursos hídricos em diferentes regiões do estado do Tocantins.

7.2. Procedimentos metodológicos

O estudo foi desenvolvido considerando os 139 municípios do Estado do Tocantins, localizado na Região Norte do Brasil, com as coordenadas entre os paralelos 5°10'06" e 13°27'59" de latitude sul e os meridianos 45°44'46" e 50°44'33" de longitude oeste, com área de 277.620,9 km² (SILVA NETO et al., 2020) e população estimada em 1.607.363 (IBGE, 2021).

O presente estudo adotou uma abordagem quali-quantitativa articulada por meio de pesquisa bibliográfica, utilizando como fontes sites governamentais, livros e teses em acervos e portais de periódicos nacionais e estrangeiros, procedimento análogo ao realizado por Moraes et al. (2019).

O índice de pobreza hídrica (IPH) foi determinado, com base na metodologia proposta por Sullivan et al. (2003), a partir de cinco componentes combinados, descritos no Quadro 3.

Quadro 3 – Componentes do Índice de Pobreza Hídrica (IPH) para os municípios tocantinenses

Componentes	Definição	Dados utilizados (referência, ano)
I Recurso (R)	Disponibilidade física da água, levando em consideração a variabilidade e a quantidade de água. Ênfase na variação espacial/temporal da precipitação e a produção hídrica obtida a partir da regionalização de vazões, considerando a área de cada município.	1. Precipitação no período seco (o autor, 2022); 2. Precipitação no período chuvoso (o autor, 2022); 3. Produção hídrica a partir do RE ₉₀ no período seco (o autor, 2022); 4. Produção hídrica a partir do RE ₉₀ no período seco (o autor, 2022);
II Acesso (A)	Nível de acesso à água para uso humano. Neste estudo, o acesso considera também o sistema de eliminação de dejetos humanos e a quantidade de casas com esgotos tratados.	5. % da população em domicílios com água encanada (IBGE, 2010); 6. % da população em domicílios com banheiro ou sanitário e esgotamento sanitário (IBGE, 2010); 7. % da população em domicílios com coleta de lixo (IBGE, 2010).
III Capacidade (C)	Trata da capacidade do manejo efetivo dos recursos hídricos, permitindo, através das relações com a água, que se tenha acesso à saúde, à educação e aos bens duráveis. Está diretamente ligada às condições econômicas e sociais das comunidades residentes.	8. Taxa de alfabetização de pessoas com 10 anos ou mais (IBGE, 2010); 9. % de 18 anos ou mais com fundamental completo (IBGE, 2010); 10. Renda <i>per capita</i> (IPEA, 2015); 11. Taxa de mortalidade infantil, até 5 anos de idade (IBGE, 2010). 12. Índice de Gini (IPEA, 2010);
IV Uso (U)	Considera-se a eficiência da utilização dos recursos hídricos por diferentes setores: uso doméstico, agropecuária e indústria.	13. Vazão de consumo humano (urbano e rural) em L s ⁻¹ (ANA, 2019); 14. Consumo de água <i>per capita</i> /dia, (SNIS, 2020). 15. Área irrigada (ha) (ANA 2019); 16. Pecuária expressa pelo rebanho bovino (LAPIG, 2022); 17. Vazão de consumo para dessedentação animal em L s ⁻¹ (ANA, 2021); 18. Vazão de consumo da indústria de transformação L s ⁻¹ (ANA, 2021).
V Meio Ambiente (MA)	Avaliação da integridade ambiental relacionada à água e à produtividade agrícola em relação ao uso dos recursos naturais.	19. % mata nativa em relação a área total (LAPIG,2022); 20. Capacidade de suporte, (LAPIG, 2022).

Fonte: Adaptado de Sullivan et al. (2003); Maranhão (2010); Torres e Álvares (2020).

Todas as informações contempladas por cada componente são importantes para caracterizar as relações entre a população de cada município e o meio ambiente onde estão inseridos (MARANHÃO, 2010). O Quadro 3 representa uma adaptação dos estudos desenvolvidos em diferentes localidades, havendo para o caso específico do Tocantins a necessidade de acrescentar e/ou retirar determinadas informações que foram consideradas na literatura consagrada, por não estarem disponíveis para os municípios tocantinenses ou por terem sido produzidas especificamente para este fim, nos Capítulos 2 e 3 deste estudo.

Devido à diversidade de informações de cada componente que constitui o IPH, os valores obtidos em cada subcomponente foram normalizados por meio da Equação 7, a qual adota valores máximo e mínimo de acordo com a escala espacial, permitindo assim realizar uma análise comparativa (MORAIS et al., 2019).

$$In = \frac{Va - Vmi}{Vma - Vmi} \quad (7)$$

Onde, *In* corresponde ao índice normalizado, *Va* o valor que está sendo analisado, *Vmi* o valor mínimo do universo pesquisado e *Vma* o valor máximo do universo pesquisado. A partir dos valores obtidos com base na Equação 8, adotou-se o modelo matemático originalmente desenvolvido por Sullivan et al. (2003), que consiste na mediana dos dados que quantificam as componentes. Tal modelo e sua versão simplificada estão representados nas Equações 8 e 9, respectivamente.

$$IPH = \frac{\sum_{i=1}^N W_{X_i} X_i}{\sum_{i=1}^N W_{X_i}} \quad (8)$$

$$IPH = \frac{R_{wR} A_{wA} C_{wC} U_{wU} MA_{wMA}}{wR + wA + wC + wU + wMA} \quad (9)$$

Em que, *w* é o peso atribuído às componentes adotadas para a geração do IPH e *X* representa o valor de cada uma das seguintes componentes: R, A, C, U e MA. Em alguns estudos o valor do IPH pode variar de 0 a 100, porém este estudo adotou a escala de 0 a 1, conforme Sullivan et al. (2003) e Morais et al. (2019).

O peso atribuído para os componentes que compõem o IPH foi de 1 para R, A, C e MA, e 0,5 para o componente U, aplicados na Equação 9. Inicialmente, o presente estudo optaria por utilizar o mesmo peso para todos os componentes do IPH para o Tocantins, procedimento que

foi adotado em diversos estudos como Luna (2007), Maranhão (2010) e Morais et al. (2019). Porém, de acordo com Sullivan et al. (2003), esta metodologia permite que diferentes pesos, bem como diferentes componentes do IPH, sejam utilizados em diferentes situações, adaptando o índice às necessidades e às disponibilidades de dados locais.

Dois aspectos foram considerados no presente estudo para justificar o peso diferente para o componente U, com valor correspondente à metade do peso dos demais componentes do IPH: primeiro o fato de a atividade industrial de transformação ser pouco desenvolvida (e até inexistente) em boa parte dos municípios do Tocantins, o que poderia acarretar a distorção do resultado final do IPH; e segundo, o fato de que os municípios com a base econômica concentrada na atividade agropecuária (dessedentação animal e irrigação) teriam valores deste componente superestimados dentro do universo observado. Desta forma, optou-se por reduzir o peso deste componente perante aos demais na composição final do índice.

O componente R que foi utilizado neste estudo não considera a disponibilidade hídrica, mas sim a precipitação em dois períodos distintos: seco e chuvoso. Os valores das classes de precipitações apresentados no Capítulo 2 foram convertidos em intervalos de classe que variaram entre 0 e 1, empregando-se amplitude estatística (AM), conforme Equação 10, a partir de uma adaptação do procedimento adotado por Santos (2015), Tabela 10.

O fato de a disponibilidade hídrica (superficial e subterrânea) não ter sido considerada não representa uma limitação ao desenvolvimento do estudo, já que Sullivan et al. (2003) afirmam que

essa abordagem tem a vantagem de que o índice pode ser calculado mesmo quando alguns dos dados não estão disponíveis. Sempre existe a possibilidade de que isso ocorra, e a flexibilidade na metodologia permite que esse problema seja superado, embora possa haver alguma perda de comparabilidade estrita entre diferentes localidades (SULLIVAN et al. 2003, p. 195).

Tabela 10 - Adequação das classes para o atributo Precipitação

Grau	Período seco		Período chuvoso	
	P (mm)	Valor atribuído	P (mm)	Valor atribuído
Crítico	< 479	0,3	< 840	0,3
Pobre	480 - 591	0,4	841 - 940	0,4
Bom	592 - 645	0,6	941 - 1023	0,6
Muito Bom	646 - 700	0,8	1024 - 1104	0,8
Excelente	> 700	1	> 1105	1

Fonte: O autor, adaptado de Santos (2015).

$$Am = \frac{Vma - Vmi}{Qcl} \quad (10)$$

Onde, Am é a amplitude estatística, Vma é o valor máximo e Vmi é o valor mínimo e Qcl é a quantidade de classes adotadas, que no presente estudo corresponde a 5. Ainda no tratamento dos dados do componente R, a produção hídrica foi determinada em função da área dos municípios tocantinenses, com base nas funções de regionalização de vazões descritas no Capítulo 3 (Tabela 7), sendo os valores normalizados para composição do IPH.

O componente A foi determinado a partir de informações relacionadas ao saneamento básico de cada município em que a população está inserida, tendo sido calculado através dos dados normalizados de saneamento, considerando a escala estadual para os valores máximos e mínimos de cobertura de serviços de saneamento básico no universo dos 139 municípios do Tocantins. Neste componente, Morais et al. (2019) consideram ainda a porcentagem de área irrigada dos municípios, mas o presente estudo trata dessas informações no componente U, uma vez que Sullivan et al. (2003) originalmente propõem que este indicador seja utilizado tanto no componente A quanto no componente U.

O componente C foi obtido pela normalização dos dados referentes à escolarização, renda e mortalidade infantil, caracterizando assim o desenvolvimento humano de cada município. É importante enfatizar que a mortalidade infantil e o índice de Gini⁶ que, em função das suas relações indiretas com o IPH, tiveram seus valores submetidos à Equação 11 antes da composição do IPH.

$$i = X^{-1} \quad (11)$$

Onde i é a informação obtida para cada município e X é o valor obtido para composição do IPH.

O componente U, no presente estudo, contempla as diferentes formas de utilização do recurso hídrico, seguindo na íntegra a proposta de Sullivan et al. (2003) no que se refere aos dados necessários para este componente: água para o consumo humano, uso agrícola,

⁶ O Índice de Gini, criado pelo matemático italiano Conrado Gini, é um instrumento para medir o grau de concentração de renda em determinado grupo. Ele aponta a diferença entre os rendimentos dos mais pobres e dos mais ricos. Numericamente, varia de zero a um (alguns apresentam de zero a cem). O valor zero representa a situação de igualdade, ou seja, todos têm a mesma renda. O valor um (ou cem) está no extremo oposto, isto é, uma só pessoa detém toda a riqueza (PROVEDELLO, 2004).

dessedentação animal e uso industrial da água (considerando neste último caso a água consumida pela indústria de transformação).

Por fim, o componente MA considerou a extensão de mata nativa relativa à área total do município (em ha). Os valores foram obtidos a partir da compilação de mapeamentos organizado pelo LAPIG/UFG (Laboratório de Processamento de Imagem e Geoprocessamento da Universidade Federal de Goiás). Para os biomas Amazônia e Cerrado, os dados são referentes ao ano de 2012 (LAPIG, 2019). Segundo Ferreira et al. (2009),

a importância deste componente, começa a ser remetida a um uso futuro, podendo ser medida pela gama de benefícios (diretos e indiretos) para com o meio ambiente. Por exemplo, da vegetação nativa depende a manutenção dos recursos hídricos, do solo, da fauna e flora da região (FERREIRA et al., 2009, p. 38).

A partir da obtenção das informações referentes a área de cobertura vegetal nativa (em ha), foi determinada a porcentagem desta cobertura em relação à área total de cada município. A partir deste dado, empregou-se uma pontuação que variou entre 1 e 5 para posterior normalização dos dados, conforme a Tabela 11, que é uma adaptação em relação aos estudos de Maranhão (2010) e Moraes et al. (2019).

Tabela 11 - Pontuação da categoria Meio Ambiente, com base nas faixas de cobertura vegetal nativa

Cobertura vegetal nativa (%)	Pontuação
> 75	5
54 – 75	4
32 – 54	3
15 – 32	2
< 15	1

Fonte: Adaptado de Maranhão (2010); Moraes et al. (2019).

Ainda no tocante ao componente MA, devido a indisponibilidade de informações propostas originalmente por Sullivan et al. (2003), como relatórios de perdas de safras nos últimos 5 anos ou relatos de perdas de solo, foi considerada outra variável: a capacidade de suporte, expressa em termos do número máximo de animais suportados pela pastagem, sem causar a degradação da mesma (em UA ha⁻¹). Esses dados também foram obtidos junto ao LAPIG/UFG (LAPIG, 2019), porém foram produzidos pelo CSR/UFG e pelo LAGESA/UFG, posteriormente aplicando-se aos valores a normalização dos dados.

A Tabela 12 apresenta os intervalos de classes considerados no estudo do IPH para o Tocantins.

Tabela 12 - Classificação do Índice de Pobreza Hídrica (IPH)

Grau	Classes
Crítico	0,00 0,30
Pobre	0,30 0,40
Bom	0,40 0,60
Muito Bom	0,60 0,90
Excelente	0,90 1,00

Fonte: Adaptado de El-Gafy (2018); Moraes et al. (2019). Org.: o autor (2022).

7.3. Resultados e Discussão

Os valores obtidos para cada componente de forma individual, bem como o IPH de cada município do Tocantins, estão apresentados na Tabela 13.

Tabela 13 - Valores dos componentes individuais recurso (R), acesso (A), capacidade (C), uso (U), meio ambiente (MA) e Índice de Pobreza Hídrica (IPH) e posição segundo o IPH para os municípios tocantinenses

MUNICÍPIOS	R	A	C	U*	MA	IPH	Ordem	Classificação
Abreulândia	0,48	0,56	0,59	0,08	0,59	0,50	24°	Bom
Aguiarnópolis	0,08	0,73	0,43	0,04	0,56	0,40	84°	Bom
Aliança do Tocantins	0,40	0,71	0,45	0,09	0,68	0,51	23°	Bom
Almas	0,27	0,63	0,33	0,08	0,81	0,46	46°	Bom
Alvorada	0,15	0,87	0,67	0,09	0,43	0,48	39°	Bom
Ananás	0,30	0,72	0,40	0,26	0,17	0,38	99°	Pobre
Angico	0,23	0,60	0,34	0,04	0,39	0,35	115°	Pobre
Aparecida do Rio Negro	0,31	0,73	0,38	0,05	0,75	0,49	33°	Bom
Aragominas	0,42	0,22	0,19	0,10	0,32	0,27	137°	Crítico
Araguacema	0,62	0,46	0,39	0,10	0,70	0,49	29°	Bom
Araguaçu	0,34	0,67	0,36	0,37	0,54	0,46	44°	Bom
Araguaína	0,54	0,93	0,56	0,35	0,35	0,57	8°	Bom
Araguanã	0,30	0,77	0,39	0,09	0,15	0,37	104°	Pobre
Araguatins	0,33	0,49	0,57	0,19	0,30	0,40	90°	Bom
Arapoema	0,45	0,75	0,45	0,16	0,56	0,51	21°	Bom
Arraias	0,15	0,58	0,43	0,20	0,93	0,49	31°	Bom
Augustinópolis	0,22	0,73	0,36	0,09	0,46	0,40	86°	Bom
Aurora do Tocantins	0,05	0,68	0,41	0,06	0,83	0,44	58°	Bom
Axixá do Tocantins	0,15	0,69	0,23	0,03	0,54	0,36	109°	Pobre
Babaçulândia	0,26	0,31	0,33	0,08	0,79	0,38	98°	Pobre
Bandeirantes do Tocantins	0,44	0,58	0,35	0,15	0,20	0,37	106°	Pobre
Barra do Ouro	0,17	0,44	0,24	0,04	0,76	0,36	107°	Pobre
Barrolândia	0,45	0,86	0,41	0,09	0,82	0,57	7°	Bom
Bernardo Sayão	0,44	0,62	0,29	0,12	0,32	0,39	94°	Pobre
Bom Jesus do Tocantins	0,29	0,58	0,49	0,05	0,89	0,51	22°	Bom

Brasilândia do Tocantins	0,41	0,82	0,49	0,05	0,50	0,50	27°	Bom
Brejinho de Nazaré	0,33	0,69	0,48	0,05	0,68	0,49	32°	Bom
Buriti do Tocantins	0,38	0,65	0,25	0,04	0,25	0,34	120°	Pobre
Cachoeirinha	0,24	0,58	0,31	0,05	0,76	0,43	67°	Bom
Campos Lindos	0,15	0,36	0,22	0,05	0,68	0,32	130°	Pobre
Cariri do Tocantins	0,21	0,57	0,48	0,08	0,56	0,41	75°	Bom
Carmolândia	0,29	0,61	0,40	0,04	0,20	0,34	121°	Pobre
Carrasco Bonito	0,23	0,77	0,13	0,03	0,43	0,35	117°	Pobre
Caseara	0,39	0,57	0,46	0,05	0,57	0,45	54°	Bom
Centenário	0,25	0,35	0,11	0,04	0,79	0,34	122°	Pobre
Chapada da Natividade	0,23	0,33	0,34	0,06	0,83	0,39	93°	Pobre
Chapada de Areia	0,44	0,53	0,25	0,06	0,57	0,41	80°	Bom
Colinas do Tocantins	0,42	0,96	0,57	0,15	0,22	0,50	25°	Bom
Colméia	0,37	0,71	0,42	0,12	0,25	0,40	82°	Bom
Combinado	0,06	0,84	0,46	0,06	0,75	0,48	40°	Bom
Conceição do Tocantins	0,04	0,53	0,21	0,04	0,83	0,36	108°	Pobre
Couto Magalhães	0,51	0,40	0,29	0,07	0,34	0,35	118°	Pobre
Cristalândia	0,45	0,82	0,50	0,12	0,57	0,53	15°	Bom
Crixás do Tocantins	0,38	0,50	0,43	0,04	0,55	0,42	71°	Bom
Darcinópolis	0,24	0,58	0,24	0,02	0,39	0,32	127°	Pobre
Dianópolis	0,17	0,84	0,58	0,08	0,82	0,55	11°	Bom
Divinópolis do Tocantins	0,40	0,66	0,48	0,13	0,59	0,49	34°	Bom
Dois Irmãos do Tocantins	0,58	0,24	0,34	0,18	0,47	0,38	96°	Pobre
Dueré	0,27	0,66	0,58	0,19	0,69	0,51	19°	Bom
Esperantina	0,40	0,42	0,17	0,04	0,40	0,31	131°	Pobre
Fátima	0,37	0,75	0,53	0,03	0,68	0,52	17°	Bom
Figueirópolis	0,21	0,70	0,38	0,12	0,55	0,42	69°	Bom
Filadélfia	0,32	0,48	0,37	0,11	0,81	0,45	50°	Bom
Formoso do Araguaia	0,42	0,59	0,48	0,37	0,83	0,56	10°	Bom
Fortaleza do Tabocão	0,40	0,88	0,46	0,09	0,39	0,48	36°	Bom
Goianorte	0,46	0,36	0,36	0,11	0,35	0,35	116°	Pobre
Goiatins	0,39	0,26	0,19	0,07	0,79	0,37	101°	Pobre
Guaraí	0,48	0,90	0,71	0,14	0,38	0,56	9°	Bom
Gurupi	0,25	0,93	0,84	0,16	0,57	0,59	6°	Bom
Ipueiras	0,23	0,66	0,35	0,02	0,69	0,43	64°	Bom
Itacajá	0,38	0,53	0,34	0,09	0,95	0,50	26°	Bom
Itaguatins	0,16	0,50	0,27	0,07	0,68	0,37	105°	Pobre
Itapiratins	0,36	0,23	0,30	0,06	0,86	0,40	88°	Bom
Itaporã do Tocantins	0,44	0,59	0,46	0,11	0,55	0,47	43°	Bom
Jaú do Tocantins	0,15	0,45	0,46	0,13	0,72	0,41	76°	Bom
Juarina	0,46	0,40	0,29	0,04	0,10	0,28	136°	Crítico
Lagoa da Confusão	0,60	0,43	0,41	0,30	0,86	0,54	12°	Bom
Lagoa do Tocantins	0,17	0,59	0,20	0,02	0,85	0,40	85°	Bom
Lajeado	0,29	0,72	0,53	0,02	0,86	0,54	13°	Bom
Lavandeira	0,06	0,58	0,31	0,04	0,98	0,43	63°	Bom
Lizarda	0,31	0,24	0,23	0,03	0,72	0,33	124°	Pobre
Luzinópolis	0,17	0,65	0,30	0,02	0,68	0,40	87°	Bom
Marianópolis do Tocantins	0,41	0,57	0,37	0,10	0,56	0,43	62°	Bom

Mateiros	0,33	0,49	0,30	0,03	0,73	0,42	74°	Bom
Maurilândia do Tocantins	0,16	0,42	0,17	0,03	0,75	0,34	123°	Pobre
Miracema do Tocantins	0,49	0,86	0,58	0,17	0,81	0,63	3°	Muito bom
Miranorte	0,39	0,88	0,46	0,11	0,38	0,48	37°	Bom
Monte do Carmo	0,30	0,34	0,26	0,09	0,87	0,40	83°	Bom
Monte Santo do Tocantins	0,45	0,46	0,40	0,08	0,63	0,44	60°	Bom
Muricilândia	0,42	0,47	0,18	0,07	0,24	0,30	134°	Pobre
Natividade	0,19	0,72	0,53	0,09	0,83	0,51	18°	Bom
Nazaré	0,15	0,61	0,34	0,05	0,65	0,40	91°	Bom
Nova Olinda	0,32	0,62	0,33	0,10	0,33	0,37	102°	Pobre
Nova Rosalândia	0,40	0,68	0,41	0,02	0,70	0,49	30°	Bom
Novo Acordo	0,36	0,76	0,41	0,03	0,86	0,54	14°	Bom
Novo Alegre	0,04	0,79	0,52	0,05	0,71	0,46	45°	Bom
Novo Jardim	0,07	0,80	0,22	0,02	0,84	0,43	65°	Bom
Oliveira de Fátima	0,36	0,76	0,46	0,02	0,58	0,48	35°	Bom
Palmas	0,40	0,98	0,93	0,24	0,73	0,70	1°	Muito bom
Palmeirante	0,43	0,09	0,22	0,06	0,82	0,36	113°	Pobre
Palmeiras do Tocantins	0,13	0,46	0,40	0,05	0,60	0,36	112°	Pobre
Palmeirópolis	0,10	0,78	0,50	0,10	0,70	0,47	41°	Bom
Paraíso do Tocantins	0,46	0,94	0,54	0,15	0,74	0,61	5°	Muito bom
Paraná	0,38	0,30	0,47	0,16	0,80	0,45	49°	Bom
Pau D'Arco	0,50	0,51	0,36	0,10	0,25	0,37	103°	Pobre
Pedro Afonso	0,26	0,87	0,73	0,37	0,77	0,63	4°	Muito bom
Peixe	0,26	0,51	0,47	0,24	0,57	0,43	68°	Bom
Pequizeiro	0,50	0,34	0,32	0,12	0,24	0,32	128°	Pobre
Pindorama do Tocantins	0,23	0,57	0,27	0,07	0,90	0,45	57°	Bom
Piraquê	0,31	0,20	0,29	0,11	0,25	0,24	138°	Crítico
Pium	0,45	0,53	0,43	0,25	0,69	0,50	28°	Bom
Ponte Alta do Bom Jesus	0,10	0,36	0,31	0,06	0,89	0,37	100°	Pobre
Ponte Alta do Tocantins	0,33	0,53	0,34	0,09	0,82	0,46	48°	Bom
Porto Alegre do Tocantins	0,11	0,56	0,34	0,03	0,85	0,42	72°	Bom
Porto Nacional	0,55	0,86	0,69	0,22	0,71	0,65	2°	Muito bom
Praia Norte	0,15	0,48	0,10	0,05	0,55	0,29	135°	Crítico
Presidente Kennedy	0,38	0,75	0,45	0,05	0,36	0,44	61°	Bom
Pugmil	0,39	0,78	0,46	0,02	0,72	0,53	16°	Bom
Recursolândia	0,20	0,23	0,07	0,05	0,87	0,31	132°	Pobre
Riachinho	0,22	0,36	0,19	0,04	0,20	0,22	139°	Crítico
Rio da Conceição	0,08	0,89	0,39	0,01	0,70	0,46	47°	Bom
Rio dos Bois	0,42	0,44	0,21	0,04	0,81	0,42	70°	Bom
Rio Sono	0,39	0,24	0,32	0,08	0,85	0,41	77°	Bom
Sampaio	0,22	0,73	0,18	0,02	0,58	0,38	97°	Pobre
Sandolândia	0,36	0,50	0,38	0,18	0,66	0,44	59°	Bom
Santa Fé do Araguaia	0,38	0,67	0,36	0,11	0,70	0,48	38°	Bom
Santa Maria do Tocantins	0,26	0,44	0,34	0,05	0,94	0,45	56°	Bom
Santa Rita do Tocantins	0,51	0,36	0,49	0,12	0,69	0,47	42°	Bom
Santa Rosa do Tocantins	0,24	0,24	0,31	0,04	0,68	0,33	125°	Pobre
Santa Tereza do Tocantins	0,23	0,65	0,46	0,03	0,94	0,51	20°	Bom
Santa Terezinha do Tocantins	0,15	0,55	0,27	0,03	0,62	0,36	111°	Pobre

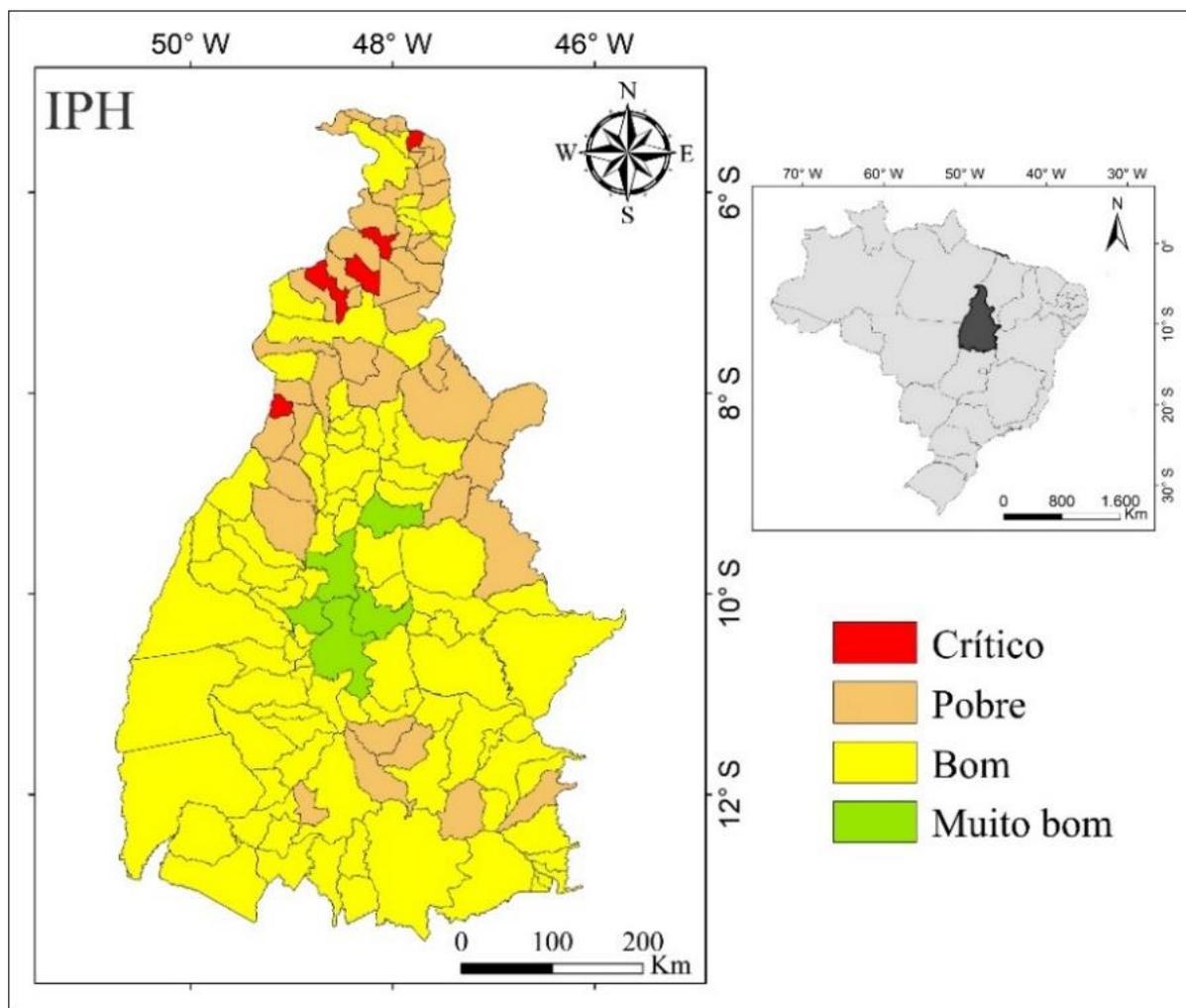
São Bento do Tocantins	0,28	0,37	0,41	0,04	0,40	0,33	126°	Pobre
São Félix do Tocantins	0,22	0,55	0,33	0,02	0,72	0,41	78°	Bom
São Miguel do Tocantins	0,18	0,45	0,22	0,04	0,56	0,32	129°	Pobre
São Salvador do Tocantins	0,12	0,57	0,28	0,04	0,83	0,40	81°	Bom
São Sebastião do Tocantins	0,36	0,54	0,20	0,04	0,23	0,30	133°	Pobre
São Valério	0,20	0,54	0,34	0,07	0,66	0,39	92°	Pobre
Silvanópolis	0,22	0,58	0,27	0,05	0,72	0,41	79°	Bom
Sítio Novo do Tocantins	0,15	0,40	0,29	0,07	0,68	0,35	119°	Pobre
Sucupira	0,15	0,51	0,34	0,06	0,57	0,35	114°	Pobre
Taguatinga	0,06	0,62	0,40	0,13	0,79	0,43	66°	Bom
Taipas do Tocantins	0,07	0,72	0,24	0,03	0,83	0,42	73°	Bom
Talismã	0,22	0,52	0,42	0,14	0,56	0,40	89°	Bom
Tocantínia	0,42	0,33	0,36	0,02	0,90	0,45	53°	Bom
Tocantinópolis	0,14	0,77	0,40	0,06	0,69	0,45	51°	Bom
Tupirama	0,37	0,48	0,42	0,03	0,73	0,45	52°	Bom
Tupiratins	0,35	0,49	0,26	0,03	0,90	0,45	55°	Bom
Wanderlândia	0,24	0,58	0,31	0,06	0,45	0,36	110°	Pobre
Xambioá	0,35	0,70	0,47	0,12	0,14	0,38	95°	Pobre

* O componente U apresentado sem a atribuição do peso, conforme descrito nos procedimentos metodológicos.
Elaboração: Autor (2022).

Analisando as informações da Tabela 13 à luz do conceito de injustiça ambiental descrito por Herculano (2009) no Capítulo 1, o município de Campos Lindos se destaca com a maior área de cultivo de milho e soja, além de ser o município que mais lucrou com a produção destas e de outras *commodities*, arrecadando cerca de 203 milhões de reais em 2018 (IBGE, 2017). Porém, pode-se notar que no componente MA aparece apenas na 74ª posição dentre os 139 municípios. Além disso, se considerarmos também as injustiças socioeconômicas, Campos Lindos apresenta a 4ª maior concentração de renda do Estado (IPEA, 2015) e o 33º pior desempenho em renda *per capita* (IBGE, 2010) dentre os municípios tocantinenses.

Considerando os 139 municípios do estado do Tocantins, é possível identificar na Tabela 13 que 3,6% (5 municípios) apresentam IPH classificado como “muito bom”, 61,9% (86 municípios) possuem IPH “bom”, 30,9% (43 municípios) possuem IPH “pobre” e 3,6% (5 municípios) com IPH classificado como crítico. Nenhum município tocantinense apresentou IPH “excelente”. Os valores encontrados para o IPH dos municípios tocantinenses variaram entre 0,22 e 0,70. Estes resultados estão espacializados na Figura 21.

Figura 21 - Índice de Pobreza Hídrica (IPH) dos municípios tocantinenses

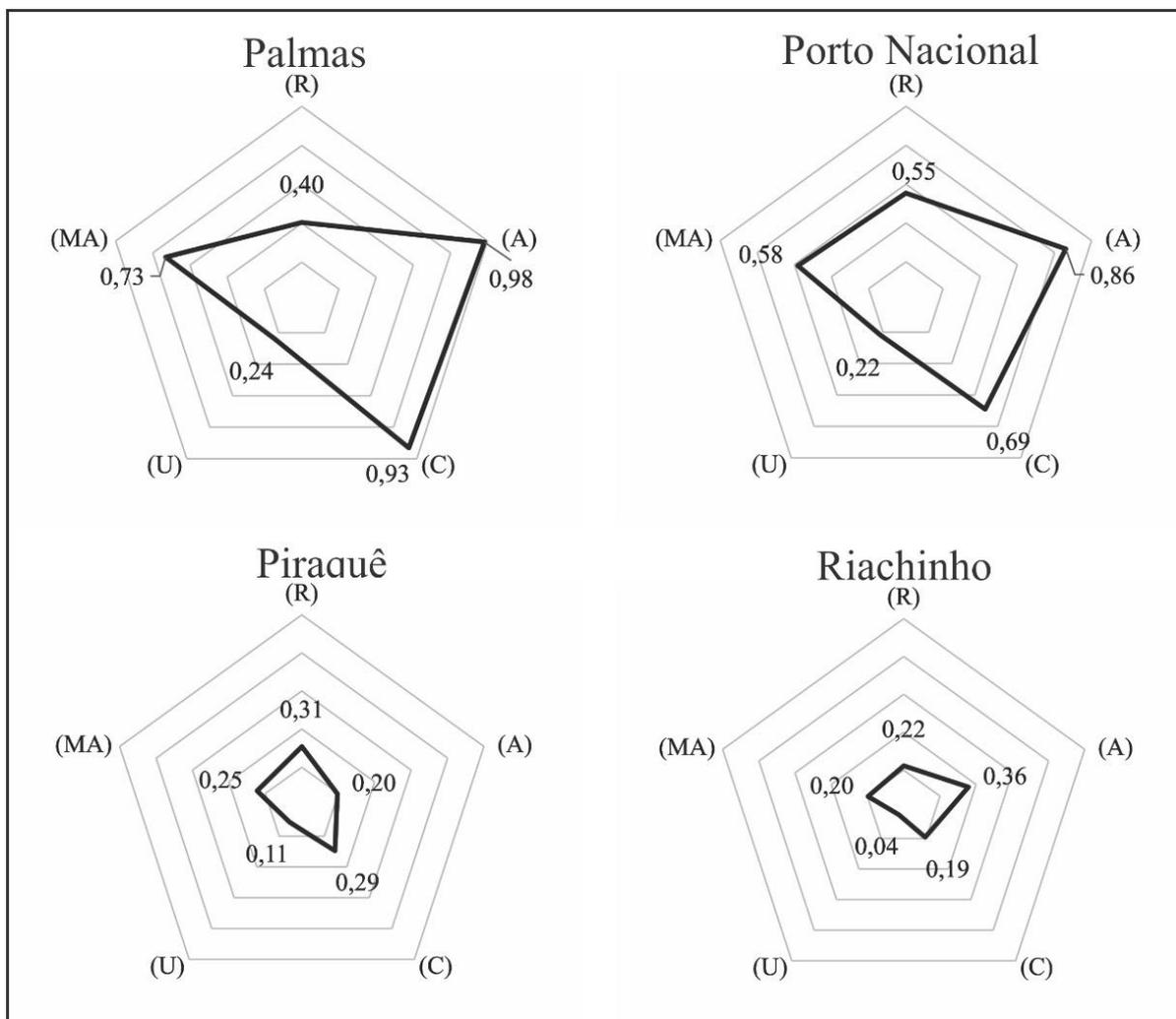


Fonte: O Autor (2022).

No grupo composto pelos municípios com IPH “muito bom”, estão: Palmas (0,70), Porto Nacional (0,65), Miracema e Pedro Afonso (0,63) e Paraíso do Tocantins (0,61), todos localizados na porção central do estado. Já no grupo composto pelos municípios com IPH crítico, estão: Praia Norte (0,29), Juarina (0,28), Aragominas (0,27), Piraquê (0,24) e Riachinho (0,22), concentrados na parte norte do estado. No grupo dos municípios com IPH “bom” estão os municípios com posição ordenada na Tabela 13 entre 6° e 91° e os municípios com IPH “pobre” estão os com posição ordenada entre 92° e 134°.

A Figura 22 representa na forma gráfica de polígono os resultados para a capital do Estado, Palmas e a cidade de Porto Nacional que obtiveram as melhores condições para o IPH. Também foram representadas as cidades de Piraquê e de Riachinho com as piores condições, cujos valores foram os mais críticos. Cabe ressaltar que, conforme descrito por Torrez e Álvares (2019), “o polígono ideal é aquele em que todos os componentes do IPH alcancem valores de 1 e formem um polígono regular, pois as condições de disponibilidade da água seriam ótimas para o desenvolvimento aceitável da população” (TORREZ; ÁLVARES, 2020, p. 16).

Figura 22 - Polígono do IPH para os municípios com melhores e piores condições, respectivamente



Elaboração: O autor (2022).

Sobre os polígonos de Palmas e Porto Nacional, apesar de apresentarem valores médios ou altos para a maior parte dos componentes, têm valores de Uso mais baixos, o que torna os polígonos menos regulares. Já Piraquê e Riachinho apresentam todos os componentes com valores baixos, o que torna seus polígonos mais regulares, apesar de pequenos. Nos casos de Palmas e de Porto, melhorias no componente Uso poderiam elevar o IPH consideravelmente, em seu valor global. Já nos outros dois municípios, todos os componentes precisam melhorar, o que torna a tarefa mais complicada. De todo modo, deve-se considerar o porte desses municípios, já que estamos falando de situações bastante distintas no âmbito do estado (Palmas tem a maior população e Porto Nacional a quarta, enquanto Piraquê e Riachinho figuram entre as menores populações).

O valor médio do IPH para os municípios do Tocantins é de 0,43 (IPH “bom”) na escala que varia entre 0 e 1. Crispim (2015) encontrou valor médio de 5,6 nas comunidades rurais do município de Pombal-PB, considerando uma escala que varia de 0 a 10. Em estudos realizados por Torrez e Álvares (2020), para determinar o IPH da Zona Média de San Luís Potosí, México, foi obtido o valor médio de 0,55, considerando escala similar. Também na escala de 0 a 1, Santos e Ferreira (2016) obtiveram IPH de 0,74 para comunidade de Gargaú, em São Francisco do Itabapoana-RJ. Ogata (2014) determinou IPH entre 0,45 e 0,52 para bacia hidrográfica do Rio Paraíba. Olivas-Palma e Camberos-Castro (2021) determinaram valores do IPH para 78 municípios do noroeste do México, com valores variando entre 0,36 e 0,71.

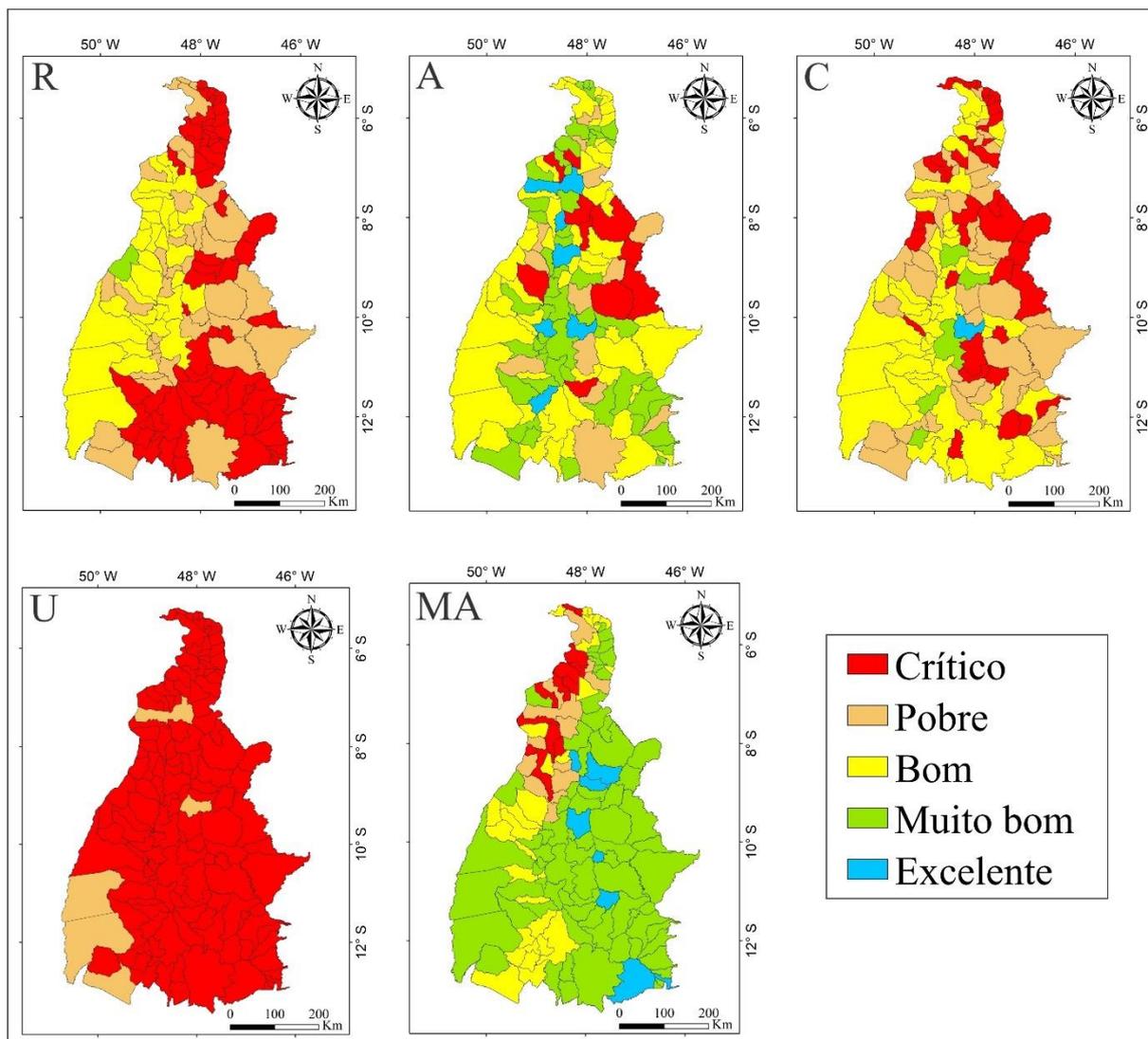
Nos estudos realizados no Sudeste do Tocantins, nas cidades de Aurora do Tocantins e Paranã, Moraes et al. (2019) determinaram IPH de 0,36 e 0,32, respectivamente, valores classificados como IPH “alto” (equivalente a “pobre”, na classificação aqui empregada). No presente estudo, estes municípios apresentam IPH de 0,44 e 0,45, respectivamente, sendo classificados como IPH “bom” (equivalentes a “moderado” nos estudos de Moraes et al., 2019).

Três pontos podem explicar as diferenças obtidas para estes municípios: o primeiro ponto deve considerar a ponderação utilizada no presente estudo. O segundo ponto deve considerar a maior gama de informações aqui utilizadas, contemplando 20 variáveis para composição do IPH de cada município, enquanto o estudo supracitado possui 12 variáveis. O terceiro ponto considerado é que, para o componente R, informações sobre a distribuição de chuvas e a produção hídrica com base na vazão em função da área do município foram consideradas em detrimento da utilização de apenas um dado para este componente: a disponibilidade hídrica por habitante.

Esta opção foi a alternativa encontrada para suprir a escassez de dados para este componente para a maior parte dos municípios tocantinenses. Também nos estudos realizados por Crispim (2015), o subcomponente disponibilidade hídrica foi substituído por três subcomponentes e 12 variáveis no que se refere ao componente R, para composição do IPH da população rural do município de Pombal-PB.

A Figura 23 apresenta a espacialização dos resultados dos municípios para cada componente do IPH no Tocantins.

Figura 23 - Situação dos municípios tocantinenses para cada componente: Recurso (R), Acesso (A), Capacidade (C), Uso (U) e Meio Ambiente (MA)



Fonte: o autor (2022).

Para o componente R, pode-se afirmar que Araguacema, (0,62) no oeste do Tocantins, apresentou valor para este componente classificado como “muito bom”. Os municípios em que este componente é considerado crítico estão predominantemente localizados nas regiões sudeste, sul, porção oriental do Bico do Papagaio (extremo norte) e leste do Tocantins, demonstrado que os municípios drenados pelo sistema hidrográfico do Rio Tocantins apresentam uma situação pior em relação aos drenados pelo sistema hidrográfico do Rio Araguaia (oeste do Estado), que apresenta este componente classificado predominantemente “bom”.

Deve-se considerar que o componente R é um indicador composto pela precipitação no período seco e chuvoso, assim como pela vazão determinada por equações de regionalização em função da área também nos períodos anteriormente citados, neste caso aplicada à extensão

territorial do município. Desta forma, é preciso enfatizar que não são consideradas as realidades de regularização das vazões ou a proximidade dos corpos hídricos, o que permitiria a representação de um subcomponente obtido pela disponibilidade hídrica/habitante.

Assim, observa-se que, para este componente, o município de Araguacema, localizado na APA Ilha do Bananal/Cantão, apresentou melhor situação com valor de 0,62 (muito bom), enquanto 51% dos municípios do Tocantins apresentam situação crítica, sendo as piores situações obtidas para os municípios de Novo Alegre e de Conceição do Tocantins (0,04), Aurora do Tocantins (0,05), Combinado, Taguatinga e Lavandeira com 0,07, todos localizados na porção sudeste do estado. 25,1% dos municípios apresentaram “boa” situação e 25,2% com índice deste componente classificado como “pobre”.

Se considerarmos a mesma escala, Sullivan (2003) obteve valores para este componente que variaram entre 0,10 (área urbana de Majengo, na Tanzânia, e Awarakotuwa, no Sri Lanka) e 0,50 (área urbana de Wembezi e rural de Ethembeni, ambas na África do Sul). Luna (2007), em estudos sobre o IPH dos municípios localizados na bacia do Rio Salgado (sul do estado do Ceará), obteve valores entre 0,00 e 0,50. Morais et al. (2019) obteve valores de 0,26 a 0,58 para o sudeste do Tocantins, em Paranã e em Aurora do Tocantins, respectivamente, em estudos sobre IPH para estes municípios.

Para o componente A, os municípios que apresentaram IPH com as melhores condições foram Palmas (0,98), Colinas do Tocantins (0,96), Paraíso do Tocantins (0,94), Gurupi (0,93), Araguaína (0,93) e Guaraí (0,90), componente classificado como “excelente”. Estes municípios estão localizados no eixo central do Estado, no sentido norte-sul. Os municípios que apresentaram valores mais baixos (críticos) para este componente foram Goiatins (0,26), Dois Irmãos do Tocantins, Santa Rosa do Tocantins, Lizarda e Rio Sono (0,24), Recursolândia e Itapiratins (0,23), Aragominas (0,22), Piraquê (0,20) e Palmeirante (0,09). Estes municípios estão localizados predominantemente ao leste do Tocantins.

Nos estudos realizados por Olivas-Palma e por Camberos-Castro (2021) para determinar o IPH de 78 municípios da região noroeste do México, foram determinados para o componente A valores entre 0,18 e 0,98. Para 14 comunidades rurais no município de Pombal-PB, Crispim (2015) constatou que este componente é classificado como “regular” (bom) para 12 comunidades e “ruim” (pobre) para 2 comunidades rurais, com valores variando entre 0,39 e 0,64, considerando escala similar à do presente estudo.

Este componente considera a população com água encanada (%), sendo as melhores situações observadas (por meio de valores normalizados) nos municípios de Palmas (1,00), Buriti do Tocantins e Araguaína (0,97). As piores foram observadas em Itapiratins (0,00),

Sandolândia (0,02) e Santa Rita do Tocantins (0,04). No entanto, deve-se esclarecer que estes valores correspondem a 34,04%, 35,31% e 36,18%, respectivamente. O fato de estarem iguais ou próximos ao valor 0,00 deve-se ao processo de normalização destes dados, que considera o universo em que os municípios estão inseridos.

Além disso, considera também a população em domicílios com banheiro e esgotamento sanitário (%), em que as melhores condições foram observadas em Alvorada (1,00), Gurupi (0,99), Paraíso do Tocantins e Fortaleza do Tabocão (0,98). Neste aspecto, as piores condições foram registradas em Rio Sono (0,16), Goiatins (0,09) e Recursolândia (0,00). Por fim, este componente também considera população em domicílios com coleta de lixo (%). Neste caso, Palmas (1,00), Gurupi (0,99) e Paraíso do Tocantins (0,98) apresentaram as melhores condições. Cachoeirinha (0,20), Lizarda (0,08) e Palmeirante (0,00) apresentaram as piores situações neste quesito. Porém, assim como foi enfatizado no parágrafo anterior, sem considerar a normalização dos dados, estes valores correspondem a 32%, 23% e 17% da população atendida, respectivamente.

Os valores obtidos para o componente capacidade (C), que considera a taxa de alfabetização de pessoas a partir de 10 anos (%), pessoas acima de 18 anos com ensino fundamental completo (%), renda *per capita*, mortalidade de crianças até 5 anos de idade e o índice de Gini, variaram entre 0,07 e 0,96. As melhores condições foram observadas na cidade de Palmas (0,96) (excelente), seguida pelos municípios de Gurupi (0,84), e Pedro Afonso (0,73) (muito bom). As piores situações para este componente foram observadas em Recursolândia (0,07), Praia Norte (0,10) e Centenário (0,11) (crítico).

Palmas apresentou as melhores situações em todas as variáveis que compõem este componente, com a exceção da mortalidade de crianças até 5 anos e do índice de Gini. Sua posição na hierarquia urbana tocantinense, como capital estadual, é um fator que pode auxiliar na compreensão de seus indicadores. Os municípios com os piores indicadores deste componente estão localizados principalmente no nordeste e extremo norte do Tocantins.

Em estudos realizados sobre IPH na Bacia do Rio Seridó, estados do Rio Grande do Norte e Paraíba, Senna (2015) obteve valores para o componente C variando entre 0,10 (Cubati-PB) e 0,98 (Caiacó-RN). Moraes et al. (2019), nos estudos sobre IPH para duas cidades no sudeste do Tocantins, chegou a valores de 0,48 (Aurora do Tocantins) e de 0,43 (Paranã). No presente estudo, foram determinados para estes municípios valores de 0,41 e de 0,47, respectivamente. Prince et al. (2021), em estudos sobre o IPH para avaliar as condições da água no distrito de Nagapattinam, Tamil Nadu, e no distrito de Karaikal, Puducherry, sul da Índia, determinaram valores para o componente C que variaram entre 0,59 e 0,70.

O componente U merece uma atenção especial, uma vez que 134 municípios se enquadraram na classificação “crítica” para este componente e 5 em classificação “pobre”, que considera a eficiência da utilização dos recursos hídricos para uso doméstico, agropecuário e industrial, conforme pode ser observado no Quadro 3.

Os valores deste componente variaram entre 0,01 e 0,37 (sem considerar a atribuição do peso, o que é feito apenas na composição final para obtenção do IPH). Os baixos valores podem ser explicados pelo consumo humano de água em um Estado cuja população é relativamente pequena, cerca de 1,38 milhão de habitantes (IBGE, 2010), aliados ao baixo uso deste recurso pela atividade industrial no Estado. Há que se considerar também que a área irrigada nos municípios tocantinenses apresenta enormes disparidades em função das atividades econômicas em cada município, o que também ocorre com a pecuária expressa pelo rebanho bovino, realidade que justifica a redução do peso deste componente.

Olivas-Palma e Camberos-Castro (2021), nos estudos para determinar o IPH de 78 municípios da região noroeste do México, obtiveram valores para o componente U que variaram entre 0,19 e 0,68. Morais et al. (2019), no sudeste do Tocantins, determinaram os valores 0,01 e 0,03 para Paranã e Aurora do Tocantins, respectivamente. Os resultados no presente estudo para este componente foram de 0,16 e de 0,06, respectivamente. Observando os municípios com os maiores valores para este componente, encontram-se Pedro Afonso, Formoso do Araguaia e Araguaçu (0,37), Araguaína (0,35) e Lagoa da Confusão (0,30), sendo que se pode identificar a predominância da atividade agropecuária na economia destes municípios.

Por fim, temos o componente MA, que apresentou as melhores situações entre os componentes que compõem o IPH dos municípios tocantinenses. As variáveis consideradas pelo componente MA, como já descrito, são: mata nativa em relação à área do município (ha) (%) e a capacidade de suporte ($UA\ ha^{-1}$).

Os valores obtidos variam entre 0,10 e 0,98. Os municípios com este componente na classe “excelente” são Lavandeira (0,98), Itacajá (0,95), Santa Maria do Tocantins e Santa Tereza do Tocantins (0,94), Arraias (0,93), Tocantínia, Tupiratins e Pindorama do Tocantins (0,90). Os piores resultados (classificação crítica) foram obtidos para 15 municípios situados predominantemente ao norte e noroeste do Estado, sendo as piores situações identificadas em Araguanã (0,15), Xambioá (0,14) e Juarina (0,10). Em termos gerais, pode-se afirmar que 5,8% dos municípios estão com o índice para este componente classificado como “excelente”, a maior parte dos municípios (52,5%) apresentou componente classificado como “muito bom”, 21,5% como “bom”, 9,4% foram classificados como “pobre” e 10,8% foram classificados como “crítico”.

Considerando a variável “perda de renda por enchentes” para o componente MA, Santos e Ferreira (2016), em estudos sobre o IPH para comunidade de Gargaú, São Francisco do Itabapoana-RJ, obtiveram o valor de 0,92 para este componente. Moraes et al. (2019) obtiveram valores para Aurora do Tocantins e Paranã de 0,53 e de 0,73, respectivamente, lembrando que os autores consideraram as variáveis Porcentagem de cobertura vegetal nativa (%), condutividade elétrica da água ($\mu\text{S}/\text{cm}$) e oxigênio dissolvido (mg/L). No presente estudo, estes municípios localizados no sudeste do Estado expressaram o componente MA com valores de 0,83 e 0,80, respectivamente.

A diferença pode ser explicada pelas variáveis utilizadas pelos autores citados, que diferem das usadas neste estudo, como a condutividade elétrica, que acarretou a redução do valor deste componente no estudo de Moraes et al. (2019). Além disso, houve diferença das fontes utilizadas pelos autores no que tange ao percentual de área desmatada nos municípios, com dados da SEPLAN Tocantins referentes a 2007, enquanto nesta pesquisa foram utilizados dados do LAPIG (2019) com referência ao ano de 2012.

7.4. Conclusão

A maior parte dos municípios tocaninenses apresenta IPH classificado como bom, fato observado considerando a média dos municípios para determinar o IPH do Tocantins. Todavia, tal resultado não pode ser interpretado pelo simples sentido de abundância dos recursos hídricos no estado. De modo mais complexo, reflete uma combinação favorável de fatores que permite boas condições no que se refere à disponibilidade da água, às formas de acessá-la, às capacidades para manejá-la de modo adequado, às suas formas de uso e a outras circunstâncias ambientais diretamente relacionadas com a conservação das águas.

Os municípios com as melhores condições foram Palmas (0,70), Porto Nacional (0,65), Miracema e Pedro Afonso (0,63) e Paraíso do Tocantins (0,61). E os municípios que apresentaram IPH crítico foram Praia Norte (0,29), Juarina (0,28), Aragominas (0,27), Piraquê (0,24) e Riachinho (0,22). Os piores índices estão concentrados na porção norte e os melhores índices concentrados na porção central do Estado, ainda que alguns desvios desse padrão, envolvendo alguns municípios específicos, sejam merecedores de cuidados em outras partes do Tocantins.

O componente com as melhores condições, considerando todos os municípios do Estado foi o meio ambiente (MA), enquanto o uso (U) foi o componente que apresentou as piores condições.

No que se refere ao componente (MA), isto pode ser resultado da quantidade de variáveis contempladas (apenas vegetação nativa e capacidade de suporte), porém, não se trata de uma limitação, uma vez que há literaturas que consideram apenas a vegetação nativa. Quanto ao componente (U), a explicação para isso, como já mencionado, está no fato da disparidade que caracteriza o uso da água quando se compara a realidade dos municípios no Estado, havendo casos com grandes extensões de áreas irrigadas em alguns e literalmente nenhuma área irrigada em outros.

Também deve-se considerar que a depender do ethos das oligarquias rurais que se impõem no Tocantins, critérios como a formação e a renda da população poderão distorcer os resultados do IPH, uma vez que os valores sociais estão fortemente relacionados à ideia de exploração da natureza e da propriedade privada da terra.

Este estudo buscou trazer contribuições ao planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Tocantins, o que pode envolver políticas públicas específicas para esta finalidade ou voltadas a questões tangenciais, como as de saúde e de educação. Além disso, pode auxiliar em desenhos estratégicos de monitoramento e de fiscalização ambientais, incluindo o próprio acompanhamento do IPH ao longo do tempo.

Por fim, para estudos futuros, uma alternativa para mitigar eventuais distorções no IPH dos municípios tocantinenses, pode-se considerar no componente MA a inclusão de uma variável que determinada pela presença de Unidades de Conservação (UC's) nos limites municipais na composição deste índice.

8. CAPÍTULO 5: A PRESSÃO DO AGRONEGÓCIO SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS NO TOCANTINS FRENTE A REALIDADE DO ÍNDICE DE POBREZA HÍDRICA DOS MUNICÍPIOS

Resumo: A expansão do agronegócio no Estado do Tocantins é um fator de extrema importância para o planejamento de políticas públicas que envolvem a gestão dos recursos hídricos, bem como de políticas sociais que visem ao desenvolvimento humano. Com base nessa premissa, o objetivo deste estudo é apresentar a evolução das atividades agropecuárias no Estado do Tocantins, destacando a expansão dos principais cultivos agrícolas e da pecuária bovina, em diálogo com os resultados sobre a distribuição temporal e espacial das chuvas, a regionalização das vazões e o IPH (Índice de Pobreza Hídrica) no território estadual. As informações relacionadas ao agronegócio tocantinense foram obtidas através de um levantamento junto ao GeoPortal da Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins, e também junto ao IBGE, além de um levantamento bibliográfico que trata especificamente sobre o agronegócio nesse estado. É evidente a grande variação das informações relacionadas ao agronegócio nos 139 municípios do Tocantins, o que também acompanha as disparidades apresentadas na distribuição das precipitações, com os menores valores anuais na porção sudeste; da regionalização das vazões, que revela maior preocupação com a região sul; e com o IPH, que apresenta maior concentração de municípios em situação crítica no norte do Tocantins. Os resultados indicam, pois, situações prioritárias, onde convergem maior pressão do agronegócio sobre o uso da água e maiores vulnerabilidades relacionadas aos recursos hídricos.

Palavras-chaves: água virtual, desenvolvimento regional, produção de *commodities*, pegada hídrica

8.1. Introdução

O agronegócio é um conjunto de atividades de grande importância para a economia, embora o desenvolvimento ou a geração de riquezas (e mesmo de alimentos) não seja igualitária para todos os grupos sociais que compõem cada nação. O agronegócio não se apresenta de um modo homogêneo, existem diferenças consideráveis entre seus modos de agir.

A participação do agronegócio no PIB brasileiro, de 2007 a 2018, corresponde a 21,1%, sendo que o valor absoluto do PIB nacional em 2007 foi de 2,7 trilhões de reais, chegando a 6,8 trilhões de reais em 2018 (CEPEA, 2020). Segundo o IBGE (2017), o Tocantins contribuiu com 0,5% no total do PIB brasileiro no ano de 2017, cerca de 34 bilhões de reais.

Embora tenha uma contribuição indiscutível nos números da economia brasileira, o agronegócio é uma atividade frequentemente relacionada a passivos socioambientais, da mesma forma como não fomenta o desenvolvimento social na mesma magnitude de seus resultados

econômicos (SANTOS, 2020). A exemplo disso, considerando o número de estabelecimentos agropecuários com produção e valor da produção (vegetal e animal) no Tocantins, dos 59.800 estabelecimentos, 17.350 correspondem a agricultura comercial e 42.450 correspondem à agricultura familiar. Porém, considerando as classes de valor da produção com ganhos acima de 500 mil reais, na agricultura comercial isto equivale a 1.698 estabelecimentos, o que na agricultura familiar, corresponde a apenas 106 estabelecimentos agropecuários IBGE (2017) .

Uma das características mais marcantes do agronegócio nas nações periféricas é o impacto social decorrente da concentração de terras, muitas vezes consequência de conflitos históricos entre diferentes grupos sociais. Lima e Nóbrega (2017) afirmam que “uma das principais características da constituição da propriedade da terra do Brasil é a propriedade de domínio privado que se deu num processo de domínio do patrimônio público” (LIMA e NÓBREGA, 2017, p. 163).

Considerar a expansão do agronegócio no Estado do Tocantins é um fator de extrema importância para o planejamento de futuras políticas públicas que envolvem a gestão dos recursos hídricos, bem como de políticas sociais que visem ao desenvolvimento humano. Isto se deve à reconhecida pressão que as atividades agropecuárias exercem sobre os recursos hídricos, afetando sobretudo, como discutido no Capítulo 4, aspectos da população relacionados não só aos recursos hídricos como o acesso, uso, capacidade, entre outros.

Um estudo importante sobre o agronegócio no Estado do Tocantins foi desenvolvido por Souza e Barros (2019), com o objetivo de traçar um panorama da situação dos municípios do estado do Tocantins com base em diferentes indicadores: agropecuários (tais como áreas de cultivo, de pastagens e rebanhos) e ambientais (tais como desmatamento acumulado e déficits de reserva legal e de áreas de proteção permanente). Os autores afirmam que ver o agronegócio sob a ótica dos “discursos quase sempre vazios voltados à questão da sustentabilidade e da contribuição para a economia do estado, somam-se à omissão quanto as potenciais consequências negativas do agronegócio para o ambiente” (SOUZA e BARROS, 2019, p. 126).

Deste modo, na via oposta dos avanços econômicos promovidos pelas atividades do setor primário da economia, sobretudo pela produção de *commodities*, estão os impactos ambientais acarretados. Entre tais impactos, destacam-se não somente a pressão exercida sobre os recursos hídricos, potencializada pelo desmatamento, mas também pelo esgotamento dos solos, pelas alterações climáticas, pela contaminação por agrotóxicos de solos e corpos hídricos, como também pelas desigualdades socioeconômicas e injustiças ambientais junto a comunidades tradicionais e de camponeses (SOUZA e BARROS, 2019).

A grosso modo, pode-se considerar a pegada hídrica como o fator imediato de pressão sobre os recursos hídricos, auxiliando a interpretação dos mapas de avanço do agronegócio no Tocantins, bem como os mapas produzidos no Capítulo 4, que tratam do índice de pobreza hídrica - IPH (e seus componentes) nos municípios tocantinenses.

Desta forma, é importante compreender os conceitos de pegada hídrica (verde, azul e cinza) para melhor concepção da pressão exercida pelo agronegócio sobre os recursos hídricos.

A pegada hídrica verde indica o consumo de água da chuva que não foi escoada, ou seja, para o contexto deste trabalho aponta o consumo de água da chuva no desenvolvimento das culturas. A pegada hídrica azul refere-se ao consumo de água superficial ou subterrânea, ou seja, da captação de rios e aquíferos, por exemplo, no caso de cultivos, está associada com a água de irrigação. A pegada hídrica cinza é relativa ao potencial poluidor da atividade em questão, ela calcula a quantidade de água necessária para que o poluente utilizado seja diluído até a sua concentração natural ou inicial (antes do contato com o poluente) no corpo hídrico. Ela leva em conta padrões de qualidade de água estabelecidos no local onde se insere (CARVALHO, 2019, p. 135).

Neste contexto, a pegada hídrica pode ser compreendida como fator de apropriação dos recursos hídricos, contrapondo-se ao conceito padrão de simples mensuração de extração de água, em função de três aspectos principais: contabiliza águas pluviais e o volume de água poluída pelos efluentes e não apenas pela captação da água superficial e subterrânea; considera a utilização da água em toda a cadeia do processo produtivo e desconta a água que for retornada para o local de captação com boa qualidade (HOEKSTRA; CHAPAGAIN, 2007; GIACOMIN; OHNUMA, 2012m).

Giacomin e Ohnuma (2012) descrevem também a importância da pegada hídrica como indicador essencial à gestão dos recursos hídricos:

A pegada hídrica é um indicador que permite monitorar os efeitos da escassez de água, podendo ser útil como ferramenta de avaliação na gestão das águas. Trata-se de um conceito facilitador enquanto indicador quantitativo capaz de acessar não somente os volumes de água consumidos por região, mas também o período em que ocorre o consumo de água. A pegada hídrica prevê dessa forma uma possibilidade de gestão mais adequada dos recursos hídricos. Assim, pode-se evitar a exploração nos locais onde a água é mais escassa e direcionando o consumo para as regiões do planeta onde é mais abundante (GIACOMIN; OHNUMA, 2012, p. 1565).

Ainda no âmbito da pressão exercida pelo agronegócio sobre os recursos hídricos está outro aspecto importante que é o conceito de água virtual. Segundo Bleninger e Kotsuka (2015), este conceito foi inicialmente desenvolvido por Anthony Allan em 1998, que o definia como água incorporada em *commodities*, isto é, a água envolvida no processo produtivo de qualquer bem industrial ou agrícola.

A partir desta premissa, compreender o agronegócio apenas como atividade produtiva de bens ou serviços agrícolas seria no mínimo simplista, já que não somente alimentos estão envolvidos neste setor produtivo, mas toda a água utilizada direta ou indiretamente em sua produção. Deve-se compreender que o consumo de água não está somente no uso diário que fazemos deste recurso, mas também pela água no conteúdo dos produtos consumidos, além da água utilizada na produção, fabricação e transporte, que deve ser avaliada e quantificada (CARMO et al., 2007).

Norteados pela complexidade do tema, o objetivo deste estudo é apresentar a evolução das atividades agropecuárias no Estado do Tocantins, com seus 139 municípios, destacando a expansão dos principais cultivos agrícolas e da pecuária bovina, em diálogo com os resultados obtidos para o IPH (Índice de Pobreza Hídrica) no território estadual.

8.2. Procedimentos Metodológicos

As informações relacionadas ao agronegócio tocantinense foram obtidas através de um levantamento junto ao GeoPortal da SEPLAN - Tocantins (Secretaria do Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins) e ao SIDRA (Sistema IBGE de Recuperação Automática), além de um levantamento bibliográfico que trata especificamente sobre o agronegócio no Estado do Tocantins.

A expansão do agronegócio no Tocantins foi analisada através da evolução das principais atividades agropecuárias representadas pela área de cultivo de arroz, cana-de-açúcar, milho e soja e também pelo número efetivo de animais na pecuária bovina, considerando os limites territoriais dos 139 municípios. Isso permitiu o diálogo com as condições de IPH observadas no capítulo anterior, bem como os resultados da distribuição espacial e temporal da precipitação e a regionalização das vazões no Estado. Os mapas obtidos expressam a evolução destas atividades agropecuárias ao longo do tempo, o que pode ser relacionado a determinadas tendências econômicas, sociais e ambientais para os próximos anos no Estado.

A observação cuidadosa dessa evolução tempo-espacial das atividades agropecuárias, juntamente com os dados de IPH, permite identificar áreas prioritárias para políticas públicas, monitoramento e fiscalização, com vistas à conservação dos recursos hídricos e à garantia dos seus diferentes tipos de uso, considerando as prioridades constitucionais.

8.3. Resultados e Discussão

Com relação à área plantada de arroz (em ha) nos municípios tocantinenses, é notável a concentração desta atividade na região sudoeste do Tocantins, sendo que em 1989 havia municípios com área plantada de até 33 mil ha (de um total de 383 mil ha no Estado). Já em 2018, havia municípios com área de até 53 mil ha destinada a este cultivo. No ano de 2018, os municípios com maior área destinada a este cultivo foram Lagoa da Confusão (53.000 ha), Formoso do Araguaia (23.502 ha), Dueré (8.512 ha) e Santa Rita do Tocantins (6.000 ha), totalizando no Estado cerca de 112.000 ha no Tocantins (TOCANTINS, 2022).

Importante destacar entre as *commodities* apresentadas neste estudo, que a área total destinada ao arroz foi a única que apresentou redução entre 1989 e 2018. Um dos fatores que justifica a redução da área destinada ao cultivo do arroz no estado do Tocantins é o crescimento da importância da soja, que ao longo deste período tornou-se o principal produto das exportações tocantinenses.

Mesmo com a redução descrita no período tratado neste estudo, Feitosa (2019) afirma que em 2017 a produção de arroz no Tocantins ocupou a terceira posição no ranking nacional, com 694 mil toneladas produzidas.

Segundo levantamento realizado no Geoportal da SEPLAN – Tocantins (TOCANTINS, 2022), a área plantada de cana-de-açúcar nos municípios do estado chegou a 2.700 ha (Arraias), 1.240 ha (Peixe) e 400 ha (Tocantinópolis), de um total no Tocantins em torno de 5910 ha em 1989. Em 2018, havia municípios com área destinada ao cultivo de cana com até 35.000 ha (Pedro Afonso), 1.791 ha (Tupirama) e 1.640 (Bom Jesus do Tocantins), num total de 39.294 ha no Tocantins. Estes municípios estão localizados na região central do Tocantins.

Com relação à área plantada de milho, em 1989 havia municípios com até 10 mil ha destinados a esta *commodity* (Palmeirópolis), sendo que em 2018 Campos Lindos chegou a possuir 27.120 ha destinados a este cultivo. Com base nos dados de 2018, os municípios com maior extensão de área destinada ao cultivo de milho foram Campos Lindos (27.120 ha), no leste do Estado, Caseara (21.450 ha), no oeste, Porto Nacional (13.000 ha) e Palmas (12.250 ha) estes últimos na porção central do Tocantins, de um total de 217.873 ha no Estado.

De acordo com os dados disponibilizados por TOCANTINS (2022), no que se refere à evolução da área plantada de soja no estado, em 1989 havia 13.350 ha no município de Formoso do Araguaia, 4.600 ha em Ponte Alta do Tocantins e a mesma área destinada em Palmeirópolis, de um total equivalente a 59 mil ha no Tocantins destinados à produção de soja. Em 2018, os municípios que se destacaram na extensão da área de cultivo de soja foram Campos Lindos

(67.000 ha), Peixe (51.510 ha), Mateiros (51.000 ha), Porto Nacional (39.635 ha), Lagoa da Confusão (38.977 ha) Monte do Carmo (36.143 ha) e Casera (31.397 ha), de um total de 917.608 ha no Estado. As maiores áreas destinadas ao cultivo da soja em 2018 foram observadas no leste, nordeste e sul do Tocantins, conforme a Figura 24, que traz a evolução área de cultivo (em ha) das principais *commodities* de origem agrícola no Estado do Tocantins entre 1989 a 2018.

É importante enfatizar que a produção de soja assumiu papel de destaque nas exportações tocantinenses, o que está relacionado à expansão deste cultivo por praticamente todo o território do Tocantins. Segundo IBGE (2017), o valor de venda da produção de soja no Tocantins ultrapassou 1,9 bilhão de reais. Os municípios que mais lucraram com a venda desta *commodity* foram Campos Lindos (203 milhões), Peixe (114 milhões) e Porto Nacional (108 milhões). Feitosa (2019) afirma que o crescimento da produção desta *commodity* está associado aos programas que visaram à ocupação do Cerrado com culturas de exportação, além do aumento do preço da soja no mercado internacional.

A Tabela 14, a seguir, apresenta a área de cultivo das *commodities* arroz, cana-de-açúcar, milho e soja, além do número efetivo de cabeças de gado por cada um dos 139 municípios do Tocantins.

Tabela 14 - Área de cultivo das *commodities* (em ha) no ano de 2018 e o efetivo de rebanho bovino (em nº de cabeças) para os municípios do Tocantins

Município	Arroz	Cana-de-açúcar	Milho	Soja	Efetivo dos rebanhos nº de cabeças
Abreulândia	50	10	4.187	5.270	62.539
Aguiarnópolis	9	0	55	0	9.967
Aliança do Tocantins	110	0	550	6.500	72.874
Almas	55	0	400	8.426	57.186
Alvorada	150	0	2.550	27.000	51.420
Ananás	18	0	142	0	88.681
Angico	32	0	210	0	14.812
Aparecida do Rio Negro	450	0	300	22.002	19.717
Aragominas	20	10	850	400	91.568
Araguacema	300	0	5.700	13.599	59.247
Araguaçu	100	15	500	9.275	362.898
Araguaína	129	20	1.040	7.000	242.035
Araguanã	0	0	16	0	81.268
Araguatins	300	3	500	0	150.615
Arapoema	0	0	750	800	135.588
Arraias	220	40	700	0	190.701
Augustinópolis	20	1	100	0	58.631
Aurora do Tocantins	7	15	100	0	44.602
Axixá do Tocantins	40	0	125	0	34.233

Babaçulândia	62	40	400	2.200	52.831
Bandeirantes do Tocantins	10	0	170	500	143.086
Barra do Ouro	145	0	350	5.833	28.062
Barrolândia	6	0	16	0	60.662
Bernardo Sayão	10	0	130	0	91.489
Bom Jesus do Tocantins	100	1.640	5.000	9.749	27.640
Brasilândia do Tocantins	10	0	250	0	35.294
Brejinho de Nazaré	180	0	2.902	23.505	49.321
Buriti do Tocantins	30	0	40	0	29.621
Cachoeirinha	28	0	70	0	8.142
Campos Lindos	521	10	27.120	67.000	26.414
Cariri do Tocantins	20	0	955	17.590	58.640
Carmolândia	0	0	4	0	36.150
Carrasco Bonito	30	0	10	0	20.565
Caseara	170	0	21.450	31.397	32.053
Centenário	110	0	200	3.000	17.250
Chapada da Natividade	37	10	600	11.000	30.937
Chapada de Areia	15	0	30	0	29.722
Colinas do Tocantins	0	0	30	0	103.742
Colméia	7	0	100	0	90.806
Combinado	68	15	40	0	23.516
Conceição do Tocantins	62	10	140	0	30.785
Couto de Magalhães	20	0	700	3.560	56.396
Cristalândia	3.975	0	220	2.716	66.145
Crixás do Tocantins	1.980	0	240	5.390	34.742
Darcinópolis	315	0	4.000	9.000	19.817
Dianópolis	55	60	220	560	47.158
Divinópolis do Tocantins	300	30	1.150	7.363	110.846
Dois Irmãos do Tocantins	143	0	1.500	3.906	156.729
Dueré	8.512	40	465	3.868	139.699
Esperantina	70	0	80	0	25.051
Fátima	3	0	150	1.972	20.828
Figueirópolis	12	0	930	25.537	91.653
Filadélfia	6	0	50	0	99.245
Formoso do Araguaia	23.502	25	450	19.329	244.891
Fortaleza do Tabocão	20	0	3.100	4.952	52.800
Goianorte	15	0	300	3.000	92.501
Goiatins	1.200	30	8.700	15.700	53.385
Guaraí	200	0	300	11.000	112.700
Gurupi	260	50	150	11.000	88.517
Ipueiras	35	25	300	3.141	18.916
Itacajá	150	0	1.820	7.600	71.043
Itaguatins	25	1	30	0	57.548
Itapiratins	15	0	1.600	12.150	52.773
Itaporã do Tocantins	0	0	230	0	96.855
Jaú do Tocantins	30	0	500	1.850	86.419
Juarina	7	0	100	0	24.188
Lagoa da Confusão	53.105	0	3.458	38.977	92.394

Lagoa do Tocantins	37	0	31	2.400	12.603
Lajeado	10	0	200	0	5.480
Lavandeira	8	15	60	0	19.858
Lizarda	60	0	2.150	3.500	20.850
Luzinópolis	0	0	206	0	9.232
Marianópolis do Tocantins	100	15	5.630	18.574	102.721
Mateiros	7	0	4.200	45.000	7.161
Maurilândia do Tocantins	0	0	115	0	22.951
Miracema do Tocantins	600	0	1.600	8.500	119.200
Miranorte	150	0	3.200	12.368	67.446
Monte do Carmo	300	10	6.180	36.143	70.435
Monte Santo do Tocantins	120	25	300	500	59.841
Muricilândia	0	0	15	1.200	67.107
Natividade	65	0	380	2.340	69.903
Nazaré	15	0	74	0	20.884
Nova Olinda	5	0	300	370	71.480
Nova Rosalândia	15	5	2.000	5.910	18.593
Novo Acordo	28	0	1.170	5.283	12.797
Novo Alegre	48	0	66	0	19.692
Novo Jardim	10	20	115	0	11.423
Oliveira de Fátima	0	0	50	1.448	9.529
Palmas	700	19	12.250	12.552	27.147
Palmeirante	50	0	3.550	13.200	57.298
Palmeiras do Tocantins	40	0	171	0	33.237
Palmeirópolis	32	0	380	2.250	59.331
Paraíso do Tocantins	100	10	219	720	86.617
Paranã	45	25	150	0	128.025
Pau d'Arco	15	0	80	0	85.700
Pedro Afonso	400	35.000	3.600	17.000	22.600
Peixe	1.060	23	2.600	51.510	192.781
Pequizeiro	50	0	250	0	99.580
Pindorama do Tocantins	130	0	194	871	48.352
Piraquê	20	14	1.110	5.050	90.530
Pium	1.950	50	4.750	14.017	165.566
Ponte Alta do Bom Jesus	86	50	180	0	32.481
Ponte Alta do Tocantins	90	0	90	0	65.427
Porto Alegre do Tocantins	55	0	55	0	8.134
Porto Nacional	180	25	13.000	39.635	107.205
Praia Norte	25	0	27	0	22.294
Presidente Kennedy	10	0	200	200	43.365
Pugmil	50	20	253	1.935	14.936
Recursolândia	400	0	80	0	35.268
Riachinho	27	0	89	0	36.569
Rio da Conceição	20	0	40	0	1.232
Rio dos Bois	100	0	4.640	8.500	12.600
Rio Sono	190	0	1.100	2.125	47.132
Sampaio	160	0	165	0	10.391
Sandolândia	27	20	110	360	172.216

Santa Fé do Araguaia	0	0	7.090	12.300	114.602
Santa Maria do Tocantins	50	0	2.800	6.500	26.743
Santa Rita do Tocantins	6.000	0	3.000	13.137	86.797
Santa Rosa do Tocantins	126	0	5.500	29.321	29.377
Santa Tereza do Tocantins	0	0	40	0	18.042
Santa Terezinha do Tocantins	20	0	80	0	10.072
São Bento do Tocantins	314	0	421	600	28.390
São Félix do Tocantins	6	0	35	0	3.663
São Miguel do Tocantins	25	0	90	0	19.294
São Salvador do Tocantins	10	0	50	0	26.064
São Sebastião do Tocantins	50	0	40	0	26.491
São Valério da Natividade	35	30	600	17.000	50.130
Silvanópolis	37	1	3.200	15.275	34.087
Sítio Novo do Tocantins	40	0	25	0	37.675
Sucupira	30	0	630	17.200	50.873
Taguatinga	70	0	2.500	820	99.439
Taipas do Tocantins	10	16	70	0	14.660
Talismã	125	0	450	13.500	95.640
Tocantínia	3	0	350	2.300	15.639
Tocantinópolis	0	7	172	0	22.055
Tupirama	10	1.791	1.500	10.027	11.800
Tupiratins	50	0	100	1.000	15.814
Wanderlândia	62	0	2.040	550	27.708
Xambioá	2	3	190	0	93.709

Fonte: TOCANTINS (2022). Org.: o autor (2023)

É interessante notar a especialização do arroz no sudoeste do Tocantins, ao longo dos anos. Ou seja, a produção tende a se tornar mais restrita a essa região. Já quanto à soja, o fenômeno é inverso, já que há uma diversificação dos municípios que abrigam esse tipo de cultivo. Esses dois são casos mais notáveis, possivelmente frutos das políticas fiscais que incentivam as *commodities* para exportação (caso da soja), em detrimento dos produtos voltados ao mercado interno (caso do arroz).

Mesmo com toda a expansão do agronegócio no estado do Tocantins, pode-se considerar a participação ainda modesta destas *commodities* em relação à produção nacional. Em 1998, a produção de arroz no Tocantins correspondia a 3,10% em relação ao total nacional, em 2008, 3,75% e em 2021 5,38% em relação ao total de arroz produzido no Brasil. A cana-de-açúcar produzida no Estado correspondia a 0,06% do total nacional em 1998, 0,16% em 2008 e 0,39% em 2021. Já a produção de milho no Tocantins equivalia a 0,37% em relação ao total do país em 1998, 0,56% em 2008 e 0,56% em 2021. No que se refere à soja, em 1998 o total produzido no Tocantins correspondia a 0,39% do total produzido no Brasil, em 2008 1,55% e em 2021 2,82% (IBGE, 2021a), conforme pode ser observado na Tabela 15.

Tabela 15 - Produção de *commodities* (%) no Tocantins em relação ao total nacional nos anos de 1998, 2008 e 2021

<i>Commodities</i>	Ano	Brasil	Tocantins	%
Arroz (em casca)	1998	2.247.187	69.592	3,10
	2008	6.998.506	262.557	3,75
	2021	19.146.736	1.030.765	5,38
Cana-de-açúcar	1998	6.060.685	3.655	0,06
	2008	20.650.551	32.552	0,16
	2021	75.284.266	292.381	0,39
Milho (em grão)	1998	3.875.030	14.467	0,37
	2008	20.746.305	115.424	0,56
	2021	116.396.867	2.041.729	1,75
Soja (em grão)	1998	6.495.000	25.126	0,39
	2008	39.077.161	605.724	1,55
	2021	341.747.600	9.650.713	2,82

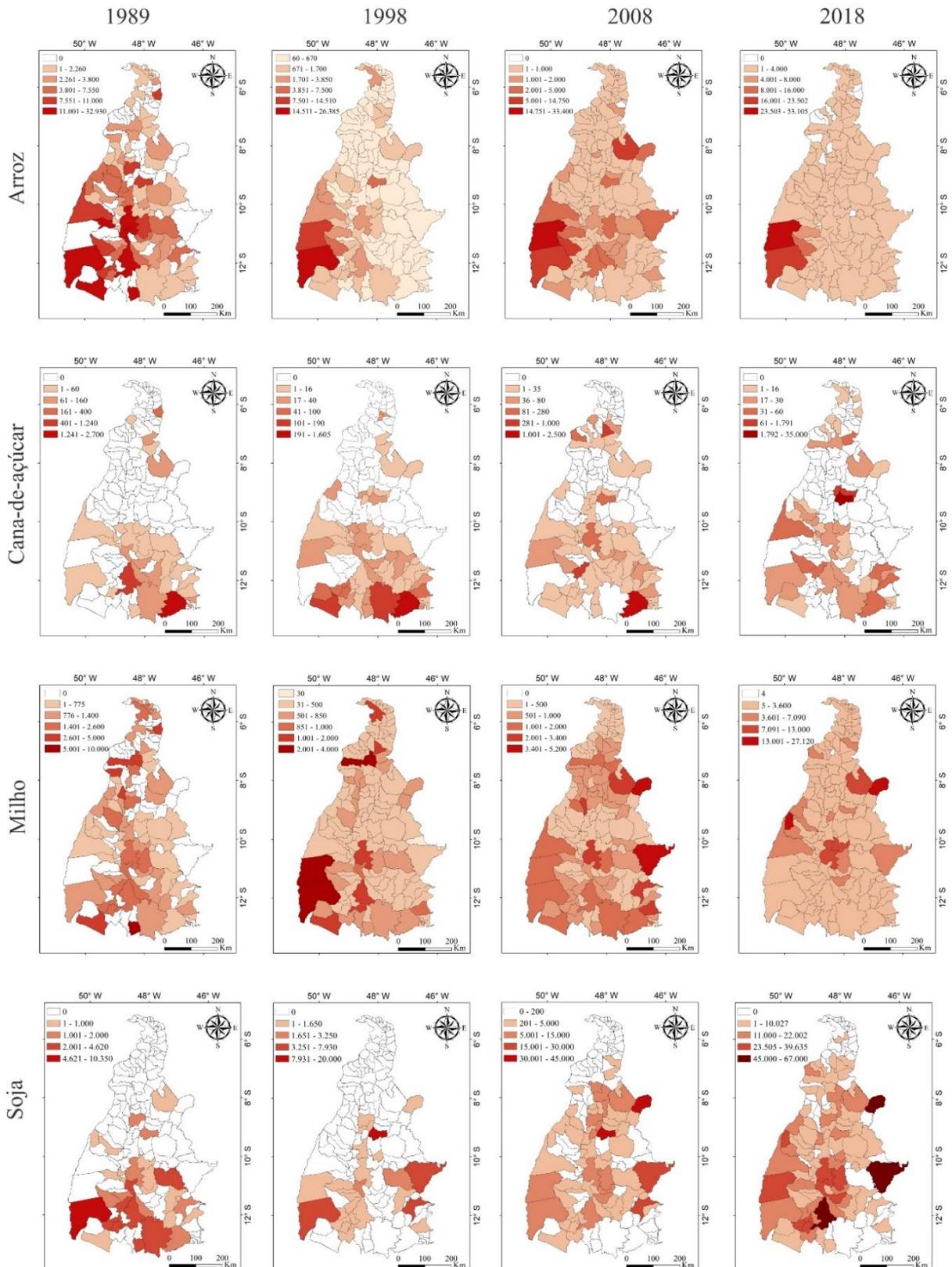
Fonte: IBGE, 2021a.

A espacialização das informações que apresentam a evolução destas atividades (*commodities* agrícolas arroz, milho, cana-de-açúcar e soja) ao longo do período entre 1989 e 2018 podem ser observadas na Figura 24.

Na via oposta ao crescimento do agronegócio no Tocantins, deve-se fazer uma reflexão sobre os impactos socioambientais ao longo deste período. No que se refere ao consumo dos recursos hídricos, pode-se afirmar que o crescimento do agronegócio é diretamente proporcional ao aumento da demanda por água. Uma das formas de compreender esta demanda é por meio do conceito de pegada hídrica, já descrito neste estudo.

Santos (2020), em estudos sobre o passado e o futuro da pegada hídrica da soja e os impactos socioeconômicos nos estados que compõem o MATOPIBA, afirma que quanto maior o tempo de consolidação da produção de soja no município, maior foi a média de sua pegada hídrica absoluta interanual. O mesmo comportamento foi verificado com a pegada hídrica absoluta máxima e isso se deve, principalmente, à maior área ocupada pela soja nos municípios com maior tempo de produção. O autor afirma ainda que “apesar de apresentar grande variabilidade espaço-temporal, PHA (Pegada Hídrica Absoluta) da soja nas áreas estudadas, tende a aumentar na medida em que há elevação de temperatura, devido a maior necessidade de irrigação” (SANTOS, 2020, p. 179).

Figura 24 - Evolução da área de cultivo (em ha) das principais *commodities* de origem agrícola no Estado do Tocantins entre 1989 a 2018



Fonte: TOCANTINS (2022), Org. O Autor

Em estudos sobre a pegada hídrica das culturas de soja, algodão e milho na região oeste do Estado da Bahia, Costa et al. (2018) determinaram a pegada hídrica total destas *commodities* no período de 2012 a 2016, em que constam os valores da pegada hídrica por tonelada e volume total descritos na Tabela 16.

Tabela 16 - Pegada Hídrica Total das culturas de soja e milho produzidas na região Oeste do Estado da Bahia

Ano	Soja (m ³ /t)	Soja (m ³)	Milho (m ³ /t)	Milho (m ³)
2012	2.012,4	6.678.704.512	610,5	1.339.399.915
2013	2.288,9	7.274.950.272	640,6	1.264.621.950
2014	1.875,0	7.666.603.904	476,8	1.742.168.710
2015	1.645,1	8.648.980.608	461,8	1.436.558.295
2016	2.040,0	9.229.915.648	372,5	1.024.280.315
Média	1.972	7.899.830.989	512	1.361.405.837

Fonte: Adaptado de Costa et al. (2018)

As informações contidas na Tabela 16, embora representem a realidade do oeste baiano, transmitem uma mensagem muito importante para os responsáveis pelos recursos hídricos onde quer que as *commodities* soja e milho sejam produzidas. Elas refletem uma enorme demanda por água, sendo necessária uma gestão eficiente deste recurso para não comprometer o acesso da população dos municípios. Como exemplo de preocupação, podem ser mencionados os municípios do sudeste do Tocantins, que apresentaram baixos valores referentes ao componente R, descrito no capítulo anterior.

Considerando o disposto anteriormente, pode-se inferir o aumento da demanda por água em função do crescimento do agronegócio. A Tabela 17 apresenta informações obtidas junto à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB, 2022) para determinar a pegada hídrica total das *commodities* por hectare, referente ao ano agrícola 2021/2022. As informações apresentadas na Tabela 16, tomando como base os anos de 2012 a 2016, foram utilizadas para obtenção da média no período para compor as informações descritas na Tabela 17.

Tabela 17 - Produtividade (P), Demanda de água por tonelada (D) e pegada hídrica total (PHT) por hectare para os cultivos de arroz, cana-de-açúcar, milho e soja referentes ao ano agrícola de 2021/2022

	P (ton ha ⁻¹)	D (m ³ ton ⁻¹)	PHT (m ³ ha ⁻¹)
Arroz	5,60	1.116,61	6.253,00
Cana-de-açúcar	84,30	144,72	12.200,00
Milho	5,08	1.082,68	5.500,00
Soja	3,40	1.972,30	6.705,82

Fonte: Adaptado de CONAB (2022); Costa et al. (2018); Silva et al. (2020) Manke et al. (2021).
Org. Autor (2022)

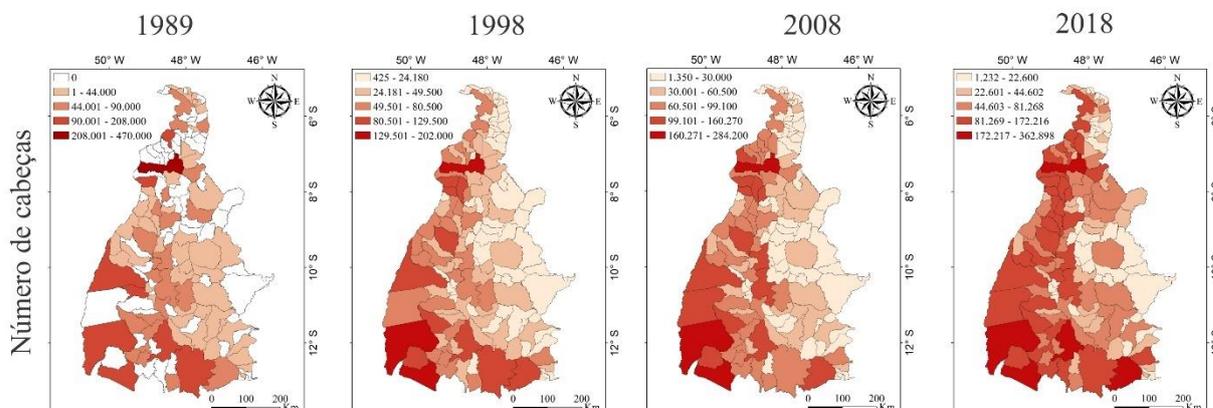
A produtividade das *commodities* apresentada na Tabela 16 foi obtida junto a CONAB (2022) considerando o ano agrícola 2021/2022 no 12º levantamento para arroz, milho e soja, e no 4º levantamento para cana-de-açúcar. A demanda de água para arroz foi determinada por Santos et al. (2021); para a cana-de-açúcar, foi considerado o valor disponibilizado por Avilez et al. (2018); para o milho, demanda hídrica foi obtida junto a EMPRABA (2022); para a soja, a informação está descrita por Costa et al. (2021).

Os valores apresentados demonstram o crescente aumento da produtividade no que tange à produção agrícola tocantinense, o que indica maior demanda pelos recursos hídricos para os próximos anos. Embora as informações relacionadas à PHT tenham sido geradas para outras áreas, estas também estão inseridas no Cerrado ou compõem a região da qual o Tocantins faz parte, caso do MATOPIBA.

Outra atividade importante do agronegócio no Tocantins é a pecuária bovina. Em 1989 era possível encontrar municípios no Tocantins com até 47 mil cabeças, sendo que em 2018, já se encontravam municípios com um rebanho bovino que variava entre 1.232 e 362.898 cabeças. Os municípios tocantinenses com maior rebanho bovino em 2018 eram Araguaçu (362 mil cabeças), Formoso do Araguaia (244 mil cabeças), Araguaína (242 mil cabeças), Peixe (192 mil cabeças) e Arraias (190 mil cabeças).

Considerando a venda de animais para abate, o Tocantins obteve o valor de 1,5 bilhão de reais (IBGE, 2017), sendo os municípios de Arapoema (75 milhões), Araguaína (62,2 milhões) e Araguaçu (59 milhões) os que obtiveram maiores valores decorrentes da venda de animais neste período. A concentração da pecuária expressa pelo número de animais criados nos municípios tocantinenses pode ser observada na Figura 25.

Figura 25 - Evolução da pecuária bovina (número de cabeças) no Estado do Tocantins entre 1989 e 2018



Fonte: TOCANTINS (2022), Org.: o autor (2023).

O crescimento da pecuária bovina no Tocantins pode ser expresso pelo aumento do número de animais criados no Estado. Trata-se de um aumento expressivo, inclusive na participação na pecuária nacional. Em 1989, o número de cabeças era pouco mais de 4 milhões de animais, em 1998 chegou a mais de 5,4 milhões, em 2008 praticamente alcançando 7,4 milhões de animais e em 2021 atingiu o total de 10,1 milhões de cabeças (IBGE, 2021a).

Considerando novamente o conceito de pegada hídrica, agora voltado para a produção de carne, Gioacomin e Ohnuma (2012) afirmam que “nos EUA, a pegada hídrica média de um quilo de carne bovina consumida é 14500 m³/ton, enquanto no Reino Unido este é 9900 m³/ton” (GIACOMIN; OHNUMA, 2012, p. 1568), conforme pode ser observado na Tabela 17

Tabela 18 - Relação entre Consumo de carne, Pegada Hídrica da Carne por país e Pegada Hídrica por país

País	Consumo de Carne (Kg/pessoa/ano)	Pegada Hídrica da Carne (m ³ /ton)	Pegada Hídrica por habitante (m ³ /ano <i>per capita</i>)
EUA	43	14500	2842
Brasil	32	19400	2027
México	23	17500	1978
Reino Unido	18	9900	1258
Ucrânia	10	12600	1575
China	5	13700	1071
Bolívia	12	77000	3468
Média Mundial	9	15400	1385

Fonte: Adaptado de Giacomini e Ohnuma (2012)

No que se refere ao agronegócio, frente aos dados relativos ao IPH dos municípios tocantinenses, pode-se observar que os municípios que apresentaram maior extensão de área de cultivo para o arroz, tomando como base o ano de 2018, Lagoa da Confusão, Formoso do Araguaia e Dueré, possuem IPH equivalente a 0,56, 0,54 e 0,51, respectivamente. Quanto ao componente Recurso (R) do IPH, estes valores são 0,59, 0,42 e 0,27, respectivamente. Isto demonstra, por exemplo, que o potencial agrícola do município de Dueré não é proporcional aos recursos hídricos disponíveis, o que requer gestão planejada e eficiente destes recursos.

Os maiores produtores de cana-de-açúcar do Tocantins em 2018 foram Pedro Afonso, Tupirama e Bom Jesus do Tocantins, com IPH 0,63, 0,45 e 0,51, e valor do componente R equivalente a 0,26, 0,37 e 0,29, respectivamente. Novamente, os maiores produtores apresentam o componente Recurso em situação pobre ou crítica na classificação do IPH.

Para a cultura do milho no Tocantins, os municípios que se destacaram em 2018 quanto à área plantada foram Campos Lindos, Caseara, Porto Nacional e Palmas, cujos valores de IPH correspondem a 0,32, 0,45, 0,65 e 0,70, respectivamente. Na observação geral deste índice, se percebe situação preocupante no município de Campos Lindos, com IPH “pobre”. Se considerarmos o componente R, a situação deste município é ainda mais preocupante, com valor de 0,15. O município de Caseara com $R = 0,35$ também desperta preocupação. Porto Nacional e Palmas, com valores de R equivalentes a 0,55 e 0,40, respectivamente, têm classificação deste componente como “bom”.

Quanto ao cultivo de soja, em 2018 as maiores áreas plantadas foram observadas nos municípios de Campos Lindos, Peixe e Mateiros, acima de 40 mil ha de área destinada. Os valores do IPH para Peixe e Mateiros são, respectivamente, de 0,43 e de 0,42. Os valores de R para estes municípios são de 0,26 e de 0,33. Constituem, assim, situações que também despertam necessidade de eficiente gestão dos recursos hídricos.

Quanto à pecuária, os municípios com maior rebanho bovino no Tocantins foram Araguaçu, Formoso do Araguaia e Araguaína. O IPH de Araguaçu equivale a 0,46 e o componente R corresponde a 0,34. Para o município de Formoso do Araguaia, os valores de IPH e do componente R são, respectivamente, 0,56 e 0,42. Já o IPH de Araguaína corresponde a 0,57 e o componente Recurso a 0,54, ambos classificados como “bons”.

Também se pode observar que, somando as áreas destinadas ao cultivo de arroz, cana-de-açúcar, milho e soja, além da pecuária bovina, 24 municípios apresentaram valor superior a 100 mil ha. Nessa relação, Porto Nacional possui IPH classificado como “muito bom”, Dois Irmãos e Bandeirantes do Tocantins apresentam IPH classificados como “pobre”. Com base nesta área somada, Araguaçu, Peixe e Formoso do Araguaia são os que obtiveram maior extensão, acima de 200 mil ha. Estes municípios se enquadram na classificação de IPH “bom”.

Dentre estes municípios, Lagoa da Confusão possui a maior área de cultivo de arroz (53.000 ha), Pedro Afonso tem a maior área de cultivo de cana-de-açúcar, Campos Lindos é o que apresentar maior extensão de área destinada ao cultivo de cana-de-açúcar (27.000 ha) e de soja (67.000 ha) e Araguaçu possui o maior rebanho bovino do Estado, com 362,8 mil cabeças criadas em cerca de 275,3 mil ha de pastagem, valor que corresponde à maior extensão de pastagem entre os municípios tocaninenses.

Deve-se destacar que as pressões crescentes pelo uso da água por parte do agronegócio no Tocantins, aliadas a situações de vulnerabilidade indicadas pelo IPH em diferentes municípios, poderão conduzir ou agravar situações de injustiça ambiental de caráter

distributivo, ou seja, situações de desequilíbrio e conflitos por água, considerando os diferentes grupos sociais existentes, em meio urbano e rural.

Por fim, é importante refletir sobre a questão: a produção de *commodities* gera empobrecimento no estado? A resposta exige cautela, uma vez que se partirmos do princípio de que a terra é considerada uma mercadoria capaz de gerar riquezas, os números puros e simples conduzirão à negativa, visto que se constatou o aumento da área de cultivo, número de cabeças de gado e da participação do Tocantins no PIB nacional. Porém, deve-se retornar à análise do conceito de “injustiça ambiental”, como descrito por Moura (2009), para identificar um processo de concentração da renda produzida e da massificação das consequências socioambientais produzidas pela escassez hídrica e/ou dificuldades de acesso da população à água.

8.4. Conclusão

No âmbito da evolução das áreas produtoras de *commodities* no Tocantins, observando o período considerado neste estudo, houve notável especialização do arroz no sudoeste do Tocantins, com produção mais restrita nesta região. Quanto à soja, houve diversificação em diversos municípios caracterizando a expansão deste tipo de cultivo. Esses dois são os casos mais notáveis, frutos das políticas fiscais que incentivam as *commodities* para exportação em detrimento dos produtos voltados ao mercado interno.

Todas as atividades voltadas para a produção de *commodities* contempladas neste estudo apresentaram crescimento, o que permite inferir a tendência de aumento na demanda por água para os próximos anos.

Quanto ao Índice de Pobreza Hídrica, fica evidente a grande variação nas informações nos 139 municípios do Tocantins, que apresenta maior concentração de municípios em situação crítica no norte do Estado, demonstrando a predominância das variáveis socioeconômicas sobre o aspecto físico propriamente dito (disponibilidade hídrica).

Diante disso, é necessário que haja o planejamento da gestão dos recursos hídricos a fim de promover o uso sustentável com quantidade e qualidade ideais à população urbana e rural de todos os municípios tocantinenses, buscando-se evitar situações de injustiças ambientais e de futuros conflitos pela água, em face das ampliações de suas demandas.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo desenvolvido consolidou um processo de investigação sobre as condições sociais frente aos recursos hídricos e a pressão do agronegócio sobre a água no Tocantins. Para suprir a grande escassez de informações no que se refere à disponibilidade hídrica por município, propôs-se a utilização de dados pluviométricos e fluviométricos para compor um conjunto de dados consistente e confiável, para posterior integração em um complexo, interdisciplinar e importante indicador, que é o Índice de Pobreza Hídrica (IPH) dos municípios do Estado do Tocantins.

Assim, além do esforço no levantamento do referencial teórico para este estudo, para atender aos objetivos, foi realizada uma investigação sobre a distribuição espacial e temporal, além de tendências da precipitação pluvial no Tocantins. Neste processo, observou-se que na região sudeste do Tocantins apresentou os menores valores de precipitação, podendo-se constatar o aumento gradiente dos valores de precipitação no Estado no sentido sudeste-noroeste, assim como já apontavam outros estudos semelhantes.

A abordagem sobre o nível de comprometimento dos recursos hídricos é um aspecto que poderia agregar e contribuir para o enriquecimento do presente estudo, não fosse, como já mencionado, a dificuldade na obtenção de informações relativas às outorgas nos rios de responsabilidade do poder público estadual, o que deixa uma via para pesquisas futuras na medida em que estas informações se tornarem públicas.

Na etapa dedicada à determinação do IPH dos municípios do Tocantins, observou-se que a maior parte desses municípios apresenta IPH classificado como bom, fato observado considerando a média dos municípios para determinar este índice para o Tocantins. Todavia, isso não pode ser interpretado como abundância de recursos hídricos, mas como uma combinação favorável de fatores que permite boas condições no que se refere aos recursos, acessos, capacidades, uso e meio ambiente. O componente com as melhores condições, considerando todos os municípios do estado, foi o meio ambiente (MA), enquanto o uso (U) foi o componente que apresentou as piores condições.

No estudo sobre a expansão do agronegócio no Tocantins e a pressão exercida sobre os recursos hídricos, observou-se que na área destinada ao agronegócio, considerando arroz, cana-de-açúcar, milho, soja e pecuária bovina, 24 municípios apresentaram valor superior a 100 mil ha. Dentre eles, Porto Nacional possui IPH classificado como “muito bom”, enquanto Dois Irmãos e Bandeirantes do Tocantins apresentam IPH classificados como “pobre”. Com base nesta área, Araguaçu, Peixe e Formoso do Araguaia são os que obtiveram maior extensão,

acima de 200 mil ha. Estes municípios se enquadram na classificação de IPH “bom”. A expansão contínua do agronegócio no Tocantins demanda uma gestão eficiente dos recursos hídricos e políticas públicas que visem a diminuir as desigualdades socioeconômicas e as injustiças ambientais nos municípios do Estado.

Um ponto que merece uma análise cuidadosa refere-se à classificação dos municípios quanto ao IPH. O fato de o IPH ser classificado como “bom”, por exemplo, não significa que todos os grupos sociais que compõem esta população se enquadram nesta classificação, uma vez que alguns grupos conseguirão maior acesso aos recursos naturais, a depender dos recursos financeiros e tecnológicos disponíveis, além da própria articulação política, acesso a financiamento etc.

Enfim, completa-se o ciclo dos estudos sobre os recursos hídricos no Tocantins, atendendo-se integralmente a todos os objetivos propostos inicialmente, com as dificuldades encontradas e contornadas para o bom andamento da pesquisa. Este é apenas o primeiro passo para o desenvolvimento de estudos futuros no tocante à água e ao índice de pobreza hídrica, como ferramenta crucial para tomada de decisões para o uso sustentável dos recursos naturais.

9.1. Contribuições da tese

Este trabalho trouxe contribuições para compreensão integrada das condições socioeconômicas e ambientais dos municípios tocaninenses, em especial no que diz respeito à água e aos seus usos. Embora outros autores tenham realizado estudos sobre as chuvas no Estado, considerando sua distribuição espacial e temporal, este estudo considera o fato de que algumas estações pluviométricas apresentarem tendências de redução, muito provavelmente em função das mudanças climáticas. Neste estudo, o uso de técnicas geoestatísticas foi fundamental para agregar confiabilidade e consistência às informações produzidas.

No tocante à regionalização das vazões para o Tocantins, estudos publicados por órgãos governamentais como TOCANTINS (2007), consideraram duas regiões homogêneas para as bacias hidrográficas da margem direita do Rio Tocantins. Outros estudos desenvolvidos por Morais et al. (2020), para a bacia do Rio Araguaia, e por Rodrigues et al (2021), para a bacia do Rio Tocantins, dedicaram-se a objetivos semelhantes.

No entanto, o diferencial do presente estudo está no recorte das informações que, inicialmente, foram produzidas para toda a bacia do Tocantins-Araguaia, com uso de modelo digital de elevação com resolução 12,5 x 12,5 metros e, posteriormente, focadas nos limites territoriais do Estado do Tocantins, nas bacias dos dois sistemas hidrográficos (Tocantins e

Araguaia). Foram contempladas informações das vazões em um período padronizado de 15 anos (2000 a 2014), visando a uma maior praticidade da aplicabilidade dos dados por parte dos gestores e pesquisadores.

No âmbito das condições dos municípios tocaninenses frente aos recursos hídricos e aos aspectos socioeconômicos, o IPH mostrou-se uma importante ferramenta de análise, permitindo a identificação dos componentes com melhores e piores situações. Este índice também pode contribuir para o poder público, na elaboração e tomada de decisões que visem a assegurar às próximas gerações um ambiente saudável e condições de vida adequadas, com ênfase nas questões que envolvem a água e seu uso.

Outros estudos realizados sobre o IPH foram voltados para diferentes escalas ou unidades espaciais, como o de Abraham et al. (2006), voltado ao Departamento de Lavalle (Mendoza, Argentina), o estudo de Luna (2007), para o semiárido brasileiro, o de Ogata (2014), para a bacia hidrográfica do rio Paraíba, e o estudo de Moraes et al. (2019), para duas cidades no sudeste do Tocantins. No entanto, nenhum destes havia sido dedicado a realizar um levantamento das condições do IPH para todos os municípios de uma Unidade Federativa, muito em razão da escassez de informações, como a disponibilidade hídrica por habitante. Por isso, ressalta-se o caráter de ineditismo na utilização das características das chuvas e vazões no Tocantins, que permitiram a realização desta pesquisa.

Por fim, a etapa do estudo dedicada à compreensão da evolução das atividades do agronegócio tocaninense permitiu a observação e compreensão destas atividades ao longo do território do Tocantins. O recorte temporal de 1989 a 2018, que compreende o estágio posterior à criação do Tocantins enquanto Unidade Federativa, demonstrou que a principal atividade econômica desse estado se consolida com o crescente aumento da produtividade no campo. Mas, se faz um alerta quanto ao uso racional dos recursos hídricos, uma vez que municípios onde a produção de *commodities* tem sido intensificada apresentam valores de IPH e do componente Recurso classificados como “pobre”. Essa condição aumenta ainda mais a importância do planejamento para desenvolvimento regional sustentável, eficiente e socialmente justo.

9.2. Trabalhos futuros

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, puderam ser identificadas algumas possibilidades de melhoria e de continuação a partir de futuras pesquisas, as quais incluem:

O nível de comprometimento dos recursos hídricos das bacias hidrográficas no Estado do Tocantins, considerando a proposta de regionalização aqui apresentada e o levantamento das outorgas para captação de água concedidas nas regiões de interesse, como proposto por Scolforo et al. (2008) para o Estado de Minas Gerais.

Além disso, algumas melhorias poderão ser realizadas em um futuro próximo, com a atualização dos dados referentes aos aspectos sociais e econômicos, com a divulgação iminente das informações do Censo 2022, permitindo uma abordagem atualizada com dados recentes para os municípios tocantinenses.

Por fim, pode-se considerar a possibilidade de cruzamento da regionalização das vazões com informações sobre as paisagens no Estado, especialmente com relação ao embasamento geológico das diferentes bacias, devido ao tempo de residência da água em cada tipo de substrato. Talvez as diferentes paisagens possam explicar, ao menos em parte, as diferenças quanto à regionalização das vazões.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, H.; MELLO, C. C. A.; BEZERRA, G. D. N. **O que é justiça ambiental**. Rio de Janeiro: Garamond, 2009. 156 p.
- ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. D. **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Embrapa Informação Tecnológica Brasília, DF: 2008. 1136 p.
- ALVES, K. C. C. D. L. F. et al. Avaliação temporal dos conflitos de uso do solo na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 35, n. 83, p. 271-283, 2015.
- ALVES, K. C. C. D. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M.; COELHO, G. Precipitação provável na Bacia Hidrográfica do Rio Formoso, Tocantins. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 3, n. 2, p. 65-78, 2014.
- ALVES, K. C. C. D. L. F.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M.; SANTOS, A. F. D. Distribuição da precipitação mensal, anual e máxima diária anual na bacia hidrográfica do rio Formoso, Tocantins. **Ambiência**, v. 12, n. 1, p. 49-70, 2016. Disponível em: < <http://revistas.unicentro.br/index.php/ambiencia/article/view/3193/pdf> >.
- AMORIM, J. D. S.; JUNQUEIRA, R.; MANTOVANI, V. A.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; BENTO, N. L. Streamflow regionalization for the Mortes River Basin upstream from the Funil Hydropower Plant, MG. **Rev. Ambient. Água**, v. 15, n. 3, p. e2495, 2020.
- AMORIM NETO, M. D. S. Balanço hídrico segundo Thornthwaite & Mather (1955). **Embrapa Semiárido-Comunicado Técnico** (INFOTECA-E), 1989.
- ANA. Agência Nacional das Águas. **Hidroweb**. Sistema de informações hidrológicas, 2019. Disponível em: < <http://hidroweb.ana.gov.br> >. Acesso em: 20 de novembro de 2019.
- _____. **Caderno de recursos hídricos: disponibilidade e demandas de recursos hídricos no Brasil**, 2005, 134 p.
- _____. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Caderno de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: < <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/sof/MANUALDEProcedimentosTecnicoeAdministrativosdeOUTORGAdDireitodeUsodeRecursosHidricosdaANA.pdf> >.
- _____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: Informe anual**. Brasília: ANA, 2018. 72 p.
- _____. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada 2ª ed**. Brasília: 2021, 130 p.
- ANDRADE, A. R. S.; GODOY NETO, A. H.; CRUZ, A. F. D. S.; ANDRADE, E. K. P.; SANTOS, V. F. D.; SILVA, T. N. P. D. Geoestatística aplicada à variabilidade espacial e padrões nas séries temporais da precipitação no agreste pernambucano. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 1, p. 126-145, 2018.

ANDRIOTTI, J. L. S. Notas de geoestatística. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 55, n. 25, p. 3-14, 2002.

AQUINO, C. M. S. D.; OLIVEIRA, J. G. B. D. Balanço hídrico climatológico e erosividade do Parque Nacional da Serra da Capivara e entorno, Piauí, Brasil. **Geoambiente On-line**, n. 29, p. 36-55, 2017.

ASF. DAAC, ALOS. Advanced Land Observing Satellite. Conjunto de dados: PALSAR Radiometric Terrain Corrected low res; Includes Material © JAXA/METI 2007. Acessado em: 11 nov. 2019. 2007. Disponível em: < <https://asf.alaska.edu/data-sets/sar-data-sets/alos-palsar/> >.

AVANZI, J. C.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; GIONGO, M. V.; PONTES, L. M. Modeling of the Rainfall and R-Factor for Tocantins State, Brazil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 43, p. e0190047, 2019.

AVILEZ, A. M. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; DE CARVALHO BISPO, R.; GIOVANELLI, L. B. Necessidade hídrica da cana-de-açúcar no Noroeste Paulista. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 171-188, 2018.

BALDUÍNO, Â. R. **Análise dos impactos da agricultura na qualidade da água do reservatório de abastecimento de água no município de Porto Nacional - Tocantins**. 2019. Tese de doutorado em Ciências do Ambiente (Doutorado em Ciências do Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, TO, 164 p. 2019.

BAPTISTA, G. C. Z.; SEVERO, D. L. Variabilidade espacial e temporal da precipitação de Santa Catarina. **Geosul**, v. 33, n. 68, p. 184-200, 2018.

BARNI, P. E.; BARBOSA, R. I.; XAUD, H. A. M.; XAUD, M. R.; FEARNSIDE, P. M. Precipitação no extremo norte da Amazônia: distribuição espacial no estado de Roraima, Brasil. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 439-456, 2020.

BARROS, F. G. N.; AMIN, M. M. Água: um bem econômico de valor para o Brasil e o mundo. **Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional**, v. 4, n. 1, 2008.

BARROS, T. H. D. S.; BENDER, F. D.; SILVA, F. R. B.; JOSÉ, J. V.; COSTA, J. O.; COELHO, R. D. Geoestatística como ferramenta para estudos da variabilidade da precipitação pluviométrica no estado de Pernambuco, Brasil. **Agrarian**, v. 13, n. 50, p. 513-520, 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.

BESSA, N. G. F. D.; LUI, J. J.; DE OLIVEIRA, S. Conservação da biodiversidade e usos múltiplos da água da bacia hidrográfica do rio Tocantins: Uma análise crítica. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 5, n. 2, p. 59-76, 2011.

BLENINGER, T.; KOTSUKA, L. K. Conceitos de água virtual e pegada hídrica: estudo de caso da soja e óleo de soja no Brasil. **Recursos Hídricos**, v. 36, n. 1, p. 15-24, 2015.

BORDALO, C. A. O paradoxo da água na região das águas: o caso da Amazônia brasileira. **Geosp – Espaço e Tempo (Online)**, v. 21, n. 1, p. 120-137, 2017.

BORGES, B. G. A Economia agrária goiana no contexto nacional (1930-1960). **História Econômica e História de Empresas**, v. 3, n. 2, p. 65-103, 2000.

BRANCO, O. D. A. Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2006.

BRITO, F. S. L.; PESSOA, F. C. L.; CRISPIM, D. L.; DO ROSÁRIO, K. K. L. Uso de indicador hídrico na Ilha de Cotijuba, município de Belém-PA. **Revista de Gestão de Água Da América Latina**, v. 17, n. 2020, p. e11, 2020.

CAMARGO, E. C. G.; FUCKS, S. Geoestatística: fundamentos e aplicações. In: CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. (Ed.). **Geoprocessamento para projetos ambientais**. São José dos Campos: INPE, 1998. p. 1-36.

CAMBARDELLA, C.; MOORMAN, T.; PARKIN, T.; KARLEN, D.; NOVAK, J.; TURCO, R.; KONOPKA, A. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. **Soil science society of America journal**, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994.

CAMPOS FILHO, R. P. Um olhar geopolítico sobre a água no cerrado: apontamentos para uma preocupação estratégica. In: SIQUEIRA, D.; LEÃO, E.; CAMPOS, F. I., et al (Ed.). **Cerrados: perspectivas e olhares**. Goiânia: Vieira, 2010. p. 93-111.

CARMO, R. L. D.; OJIMA, A. L. R. D. O.; OJIMA, R.; NASCIMENTO, T. T. D. Água virtual, escassez e gestão: o Brasil como grande "exportador" de água. **Ambiente & sociedade**, v. 10, p. 83-96, 2007.

CARVALHO, A. P. V.; BRUMATTI, D. V.; DIAS, H. C. T. Importância do manejo da bacia hidrográfica e da determinação de processos hidrológicos. **Revista brasileira de agropecuária sustentável**, v. 2, n. 2, 2012.

CARVALHO, G. D. S. **Impacto do agronegócio na dinâmica hídrica da bacia hidrográfica do rio Corrente: pegada hídrica e percepção**. 2019. Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento Sustentável (Mestrado em Desenvolvimento Sustentável). Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável, Universidade de Brasília, Brasília, 179 p. 2019.

CARVALHO, M. E. S. Vulnerabilidade hídrica na bacia sergipana do rio Vaza Barris. **Raega-O Espaço Geográfico em Análise**, v. 25, p. 186-217, 2012.

CASTRO, C. D. S.; SOUZA, L. B. E. Alterações microclimáticas e perfil térmico no território quilombola Morro de São João, Tocantins. **Geog Ens Pesq**, v. 26, p. e17, 2022.

CEPEA. Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **O PIB do agronegócio brasileiro**. 2020. Disponível em: <
https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_21_janeiro_2020.pdf
>. Acesso em: 27/01/2020.

CERQUEIRA, E. D. S. Agronegócio x Desenvolvimento: espaços estratégicos do agronegócio no Estado do Tocantins e o Índice de Desenvolvimento Humano. **Produção acadêmica**, v. 2, n. 1, p. 05-32, 2016.

CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Segurança hídrica: novo risco para a competitividade**. Propostas da indústria eleições 2018 Brasília: CNI, 2018. 56 p.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Décimo segundo levantamento: safra 2021/2022**: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2022. Disponível em: < <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/safra-estimativa-de-evolucao-graos.html> >. Acesso em: 02 dez. 2022.

COSTA, A. S.; CARIELLO, B. L.; BLANCO, C. J. C.; PESSOA, F. C. L. Regionalização de curvas de permanência de vazão de regiões hidrográficas do estado do ará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 413-422, 2012.

COSTA, M. R.; MOREIRA, M. C.; SILVA, D. D. D.; ALENCAR, K. M. D.; COELHO, C. D. **Pegada Hídrica das culturas de soja, algodão e milho na região oeste do Estado da Bahia**. XIV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. ABRH. Maceió-AL. 26: p. 971-978, 2018.

CRISPIM, D. L. **Estudo da situação hídrica da população rural do município de Pombal - PB**. 2015. Dissertação de Mestrado em Sistemas Agroindustriais (Mestrado em Sistemas Agroindustriais). Programa de Pós-Graduação em Sistemas Agroindustriais, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 103 p. 2015.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre-RS, 199 p. 2001.

CRUZ, J. C.; TUCCI, C. E. M. Estimativa da disponibilidade hídrica através da curva de permanência. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 13, n. 1, p. 111-124, 2008.

CUTTER, S. L. A ciência da vulnerabilidade: modelos, métodos e indicadores. **Revista Crítica de Ciências Sociais**, n. 93, p. 59-69, 2011.

DESAI, M. **Poverty, famine and economic development: the selected essays of Meghnad Desai**, Volume II. Aldershot: : Edward Elgar Publishing Ltd., 1995.

DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, v. 15, n. 2, p. 1-22, 2012.

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, 2018.

ELY, D.; DUBREUIL, V. Análise das tendências espaço-temporais das precipitações anuais para o estado do Paraná-Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, 2017, p. 553-569, 2017.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema de produção EMBRAPA**. Brasília, 2022. Disponível em: < <https://www.spo.cnptia.embrapa.br/> >. Acesso em: 02 Dez 2022.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. **Redlands**. ArcGIS Schematics Documentation. (Version 9), 2004.

FEITOSA, C. O. **Do antigo norte de Goiás ao estado do Tocantins: elementos de uma economia em formação**. 2011. Tese (Doutorado em Desenvolvimento Econômico, Espaço e Meio Ambiente). Instituto de Economia, Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP, Campinas-SP, 210 p. 2011.

_____. Panorama das atividades agropecuárias de exportação do Tocantins: soja e carne. **Revista Geosul**, v. 34, n. 71, p. 154-174, 2019.

FERREIRA, M. E.; MIZIARA, F.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; RIBEIRO, F. L.; FERREIRA, N. C. Ativos ambientais do bioma cerrado: uma análise da cobertura vegetal nativa e sua relação com o preço da terra no estado Goiás. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 1, n. 61, p. 37-50, 2009.

FISCHER, G.; SHAH, M. M.; VAN VELTHUIZEN, H. **Climate change and agricultural vulnerability**. Vienna: IIASA, 2002. 160 p.

FONTELLES, M. J.; SIMÕES, M. G.; FARIAS, S. H.; FONTELLES, R. G. S. Metodologia da pesquisa científica: diretrizes para a elaboração de um protocolo de pesquisa. **Revista paraense de medicina**, v. 23, n. 3, p. 1-8, 2009.

FORNARO, A. C. **Logística e agronegócio globalizado no Estado do Tocantins: um estudo sobre a expansão das fronteiras agrícolas modernas no território brasileiro**. 2012. Dissertação (Mestrado em Geografia). Instituto de Geociências, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 175 p., 2012.

GASQUES, A. C. F.; NEVES, G. L.; DOS SANTOS, J. D.; MAUAD, F. F.; OKAWA, C. M. P. Regionalização de vazões mínimas: breve revisão teórica. **REEC-Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 14, n. 2, p. 60-70, 2018.

GIACOMIN, G. S. Análise de resultados de pegada hídrica por países e produtos específicos. **Revista eletrônica em gestão, educação e tecnologia ambiental**, p. 1562-1572, 2012.

GOEL, I.; SHARMA, S.; KASHIRAMKA, S. The water poverty index: an application in the Indian context. **Natural Resources Forum**, v. 44, n. 3, p. 195-218, 2020.

GOMES, C. S. Impactos da expansão do agronegócio brasileiro na conservação dos recursos naturais. **Cadernos do Leste**, v. 19, n. 19, p. 63-78, 2019.

GOMES, O. M. Análise geoestatística da precipitação pluvial no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, n. 1, p. 92-702, 2011.

HERCULANO, S. O clamor por justiça ambiental e contra o racismo ambiental. **Revista de gestão integrada em saúde do trabalho e meio ambiente**, v. 3, n. 1, p. 01-20, 2008.

HOEKSTRA, A. Y.; CHAPAGAIN, A. K. Water footprints of nations: water use by people as a function of their consumption pattern. **Water Resources Management**, v. 21, n. 1, p. 35-48, 2007.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais. **Boletins anuais de produção, importação, exportação e vendas de agrotóxicos no Brasil**. 2021. Disponível em: < <http://ibama.gov.br/agrotoxicos/relatorios-de-comercializacao-de-agrotoxicos> >. Acesso em: 13 dez 2022.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Agrícola Municipal**, 2021b. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1612> > Acesso em 30 Nov. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa da Pecuária Municipal**, 2021a. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3939#resultado> > Acesso em 30 Nov. 2022.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. 2010. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 01 Jun 2020.

_____. Instituto Brasileiro de Geografia e estatística. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, p. 108, 2017. Disponível em: < <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/censo-agropecuario/censo-agropecuario-2017> >. Acesso em: 04 Jan 2021.

_____. **Biomass e Sistema Costeiro-Marinho do Brasil**: compatível com a escala 1:250 000. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro: IBGE, 2019. 168 p.

_____. IBGE Cidades. 2021. Disponível em: < <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/to.html> >.

IPEA. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Atlas da vulnerabilidade social nos municípios brasileiros**. Brasília: IPEA, 2015. 77 p.

IWAMA, A. Y.; BATISTELLA, M.; FERREIRA, L. D. C.; ALVES, D. S.; FERREIRA, L. D. C. Risco, vulnerabilidade e adaptação às mudanças climáticas: uma abordagem interdisciplinar. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, p. 93-116, 2016.

LAMIM-GUEDES, V. Consciência negra, justiça ambiental e sustentabilidade. **Sustentabilidade em Debate**, v. 3, n. 2, p. 223-238, 2012.

LANDIM, P. M. B. Sobre geoestatística e mapas. **Terrae Didactica**, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006.

LAPIG. Laboratório de processamento de imagem e geoprocessamento - LAPIG. **Atlas das pastagens**. (base digital georeferenciada). Goiânia, Brasil: LAPIG/UFG. Disponível em: < <https://atlasdaspastagens.ufg.br> >. 2019.

LEITE, O. D. C. **Disponibilidade hídrica nos sistemas hidrográficos dos rios Tocantins e Araguaia no estado do Tocantins**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais, Universidade Federal do Tocantins - UFT, Gurupi, TO, 71 p. 2015.

LIEW, M. W.; VEITH, T. L.; BOSCH, D. D.; ARNOLD, J. G. Suitability of SWAT for the conservation effects assessment project: Comparison on USDA agricultural research service watersheds. **Journal of Hydrologic Engineering**, v. 12, n. 2, p. 173-189, 2007.

LIMA, D. A.; NÓBREGA, M. L. C. Análise do preço de terras agrícolas no tocantins: decifrando os caminhos do agronegócio. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 40, p. 163-176, 2017.

LIMA, J. E. F. W. Situação e perspectivas sobre as águas do cerrado. **Ciência e Cultura**, v. 63, n. 3, p. 27-29, 2011.

LOPES, T. R.; DO PRADO, G.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ANTONIEL, L. S. Regionalização de vazões máximas e mínimas para a bacia do rio Ivaí-PR. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 188-188, 2016.

LUNA, R. M. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica (IPH) para o semi-árido brasileiro**. 2007. Tese de Doutorado em Recursos Hídricos (Doutorado em Recursos Hídricos). Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 138 p. 2007.

MACHADO, P. B. **Conflitos pelo uso da água: papel mediador do comitê da Bacia Hidrográfica do Lago de Palmas - TO**. 2019. Dissertação de Mestrado em Prestação Jurisdicional e Direitos Humanos (Mestrado em Prestação Jurisdicional e Direitos Humanos). Programa de Mestrado Profissional e Interdisciplinar em Prestação Jurisdicional e Direitos Humanos, Universidade Federal do Tocantins Palmas, p. 2019.

MANKE, E. B.; FARIAS DOS SANTOS, A.; ALVES BRITO PINTO, M.; MARIA BARBART PARFITT, J.; BAMBERG, A. L.; COLL FARIA, L. Pegada hídrica do arroz cultivado sob diferentes manejos de irrigação. **Irriga**, v. 1, n. 2, p. 248-263.

MARANHÃO, R. M. R. **Índice de Pobreza Hídrica (IPH) aplicado a municípios dos sertões dos Inhamuns no semiárido do Ceará-Brasil**. 2010. Dissertação de Mestrado em Geografia (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 95 p. 2010.

MARCUZZO, F. F. N.; CARDOSO, M. R. D.; FARIA, T. G. Chuvas no cerrado da região centro-oeste do Brasil: análise histórica e tendência futura. **Ateliê Geográfico**, v. 6, n. 2, p. 112-130, 2012.

MARCUZZO, F. F. N.; GOULARTE, E. R. P. Caracterização do Ano Hidrológico e Mapeamento Espacial das Chuvas nos Períodos Úmido e Seco do Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 6, n. 01, p. 91-99, 2013.

MAZUCATO, T. **Metodologia da pesquisa e do trabalho científico**. 1ª ed. Penápolis: FUNEPE, 2018. 94 p.

MEDINA, G.; SANTOS, A. P. D. Curbing enthusiasm for Brazilian agribusiness: The use of actor-specific assessments to transform sustainable development on the ground. **Applied Geography**, v. 85, p. 101-112, 2017.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. **Hidrologia: Princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. Lavras: UFLA, Ed. UFLA, 2013. 455 p. p.

MELLO, C. R.; SILVA, A. M. D.; COELHO, G.; MARQUES, J. J. G.; CAMPOS, C. M. M. Recursos hídricos. In: SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D.; CARVALHO, L. (Ed.). **Zoneamento Ecológico e Econômico de Minas Gerais: Componente geofísico e biótico**. 1ª ed. Lavras: Editora UFLA, v.1, 2008. Cap. 5, p. 103-135.

MELLO, C. R.; VIOLA, M. R.; CURI, N.; SILVA, A. D. Distribuição espacial da precipitação e da erosividade da chuva mensal e anual no estado do Espírito Santo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 36, n. 6, p. 1878-1891, 2012.

MELLO, C. R. D.; SÁ, M. A. C.; CURI, N.; DE MELLO, J. M.; VIOLA, M. R.; DA SILVA, A. M. Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, v. 42, n. 4, p. 537-545, 2007.

MELLO, C. R. D.; VIOLA, M. R. Mapeamento de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 37, p. 37-44, 2013.

MELLO, C. R. D.; VIOLA, M. R.; MELLO, J. M. D.; SILVA, A. M. D. Continuidade espacial de chuvas intensas no estado de Minas Gerais. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 532-539, 2008.

MELLO, Y. R. D.; OLIVEIRA, T. M. N. D. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016.

MIRANDA, A. O. **Geoestatística aplicada a dados geológicos e geotécnicos da Bacia de São Paulo**. 2021. Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais e Hidrologia (Mestrado em Recursos Naturais e Hidrologia). Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais e Hidrologia, Instituto de Geociências, São Paulo, 131 p. 2021.

MOLINA, S. K. M.; DE ALMEIDA, I. K.; STEFFEN, J. L.; SOBRINHO, T. A. Caracterização de disponibilidade hídrica e comparação de metodologias de regionalização de vazões. **Geosciences**, v. 33, n. 3, p. 506-515, 2014.

MONEGO, E. T.; PEIXOTO, M. D. R. G.; DE MORAIS CORDEIRO, M.; COSTA, R. M. (In)segurança alimentar de comunidades quilombolas do Tocantins. **Segurança alimentar e nutricional**, v. 17, n. 1, p. 37-47, 2010.

MORAIS, F. D.; MALVASIO, A.; OLIVEIRA, A. L. D.; SUARTE, L. C. B. D. O.; SILVA, F. D. C.; VALLE, R. S. L. D.; ARAÚJO, W. D. S.; ERTZOGUE, M. H. Escassez hídrica e políticas públicas no sudeste do Tocantins. In: SCAPIN, E.; RAMBO, M. K. D.; SANTOS, M. G. D. (Ed.). **Água e sustentabilidade na Amazônia**. Palmas: EDUFT, 2019. p. 139.

MORAIS, M. A. V.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; RODRIGUES, J. A. M.; OLIVEIRA, V. A. D. Regionalization of reference streamflows for the Araguaia River basin in Brazil. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 41, n. 3, p. 829-846, 2020.

MORAIS, P. B.; JÚNIOR, S. N.; MENEZES MARTINS, I. C. Análise de sustentabilidade do projeto hidroagrícola Javaés/Lagoa, no Estado do Tocantins. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 34, n. 1, p. 83-111, 2017.

MOURA, D. V. Justiça ambiental: um instrumento de cidadania. **Qualit@s Revista Eletrônica**, v. 9, n. 1, p. 1-10, 2009.

NAGHETTINI, M.; PINTO, É. J. D. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.

NASCIMENTO, J. B. **Tocantins: História & Geografia**. 9ª Ed. Goiânia: Bandeirante, 2019. 136 p.

NUNES, A. D. A.; PRUSKI, F. F.; REGO, F. S. **Alternativas para atenuar os riscos associados à extrapolação espacial na regionalização de vazões.** XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. HÍDRICOS, A. B. D. R. Bento Gonçalves-RS. 1: 1-8 p. 2013.

OGATA, I. S. **Desenvolvimento do índice de pobreza hídrica para bacia hidrográfica do Rio Paraíba.** 2014. Dissertação de Metrado em Engenharia Civil e Ambiental (Metrado em Engenharia Civil e Ambiental). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande, 104 p. 2014.

OLIVAS-PALMA, M. J.; CAMBEROS-CASTRO, M. **Pobreza hídrica en 78 municipios del Noroeste de México: una reflexión a partir del Índice de Pobreza Hídrica y la Pobreza Multidimensional,** 2015. Revista IDeAS, v. 15, n. 1, p. e021005, 2021.

OLIVEIRA, T. J. A. D.; PIFFER, M. A reestruturação das cidades do cerrado centro norte no contexto do agronegócio. **Desafios**, v. 3, n. 1, p. 10-22, 2016.

OLIVEIRA, V. L. D.; BÜHLER, È. A. Técnica e Natureza no desenvolvimento do “Agronegócio”. **Caderno CRH**, v. 29, n. 77, p. 261-280, 2016.

OLIVEIRA, W. P.; SILVA, M. A. V.; SOUZA, S. A.; SANTANA, C. C.; OLIVEIRA JUNIOR, A. D. R. Caracterização da variabilidade espacial e temporal da precipitação pluviométrica do Centro Sul Baiano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 4, p. 1143-1151, 2017.

PELICICE, F. M. et al. Large-scale Degradation of the Tocantins-Araguaia River Basin. **Environmental Management**, v. 68, p. 445-452, 2021.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L.; BERETTA, V. Identificação de tendências sazonais dos regimes climático e hidrológico na bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia, Brasil. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 9, n. 1, p. 52-72, 2015.

PENEREIRO, J. C.; MARTINS, L. L. S.; BERETTA, V. Z. Variabilidades e tendências interanuais em medidas hidro-climáticas na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 219-241, 2016.

PEREIRA, A. S.; SHITSUKA, D. M.; PARREIRA, F. J.; SHITSUKA, R. **Metodologia da pesquisa científica.** Santa Maria: UFSM NTE, 2018. 119 p.

PEREIRA FILHO, P.; MENDONÇA, M. R. Escassez hídrica e conflitos pela água no município de Arraias-TO. In: Encontro Nacional de Geógrafos, 18ª ed., 2016, São Luís. **A construção do Brasil: Geografia, ação política e democracia.** AGB, 2016. p. 1-13.

PEREIRA, L. C. **O uso da geoestatística para elaboração de modelos geomecânicos multidimensionais.** 2020. Tese de Doutorado em Engenharia Civil (Doutorado em Engenharia Civil). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 192 p. 2020.

PESSÔA, V. L. S.; INOCÊNCIO, M. E. **O PRODECER (re) visitado: as engrenagens da territorialização do capital no Cerrado.** Campo-Território: Revista de Geografia Agrária, v. 9, n. 18, 2014.

PINTO, E. Geopolítica da água. **Revista de Geopolítica**, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2017.

PINTO, P. H. P. **A Vulnerabilidade Socioambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Palma, Estado do Tocantins, Brasil**. 2017. Tese de Doutorado em Geografia (Doutorado em Geografia). Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 147 p. 2017.

PINTO, P. H. P.; SOUZA, L. B. E.; ZAVATTINI, J. A.; CRHISTOFOLETTI, A. L. H. O regime pluviométrico do estado do Tocantins, Brasil, no período de 1986-2005: variações espaciais. **Interface**, v. 1, n. 13, p. 62-77, 2017.

PRINCE, B. C.; JURAN, L.; SRIDHAR, V.; BUKVIC, A.; MACDONALD, M. C. A statistical and spatial analysis of water poverty using a modified Water Poverty Index. **International Journal of Water Resources Development**, v. 37, n. 2, p. 339-356, 2021.

PRÓLO, T. T.; SILVA NETO, V. L.; CARMO, E. L. D.; SILVEIRA JUNIOR, O.; SILVA, L. L. D. Chuvas intensas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 2, p. 1-24, 2021.

PRÓLO, T. T.; SILVA NETO, V. L. D.; ARAUJO, P. H. H.; REGO, P. L.; SILVEIRA JÚNIOR, O.; CARMO, E. L. D. Precipitação Máxima Diária Anual na Bacia do Rio Manuel Alves da Natividade. In: (Ed.). **Competência técnica e responsabilidade social e ambiental nas ciências agrárias**. Ponta Grossa-PR: Atena Editora, v.2, 2019. Cap. 2, p. 14-24. ISBN 978-85-7247-574-7.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUES, L. N.; SILVA, D. D. Modelo hidrológico para estimativa do escoamento superficial em áreas agrícolas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 5, n. 2, p. 301-307, 2001.

PRUSKI, F. F.; RODRIGUEZ, R. D. G.; SOUZA, J. F.; DA SILVA, B.; SARAIVA, I. S. Conhecimento da disponibilidade hídrica natural para a gestão dos recursos hídricos. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 67-77, 2011.

REBOUÇAS, A. D. C. Água e desenvolvimento rural. **Estudos Avançados**, v. 15, n. 43, p. 327-344, 2001.

REIS, L. C.; SILVA, C. M. S.; BEZERRA, B. G.; SPYRIDES, M. H. C. Caracterização da variabilidade da precipitação no MATOPIBA, região produtora de soja. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 04, p. 1425-1441, 2020.

RODRIGUES, J. A. M.; DE OLIVEIRA ANDRADE, A. C.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Indicadores hidrológicos para a gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Scientia Agraria**, v. 16, n. 4, p. 58-79, 2015.

RODRIGUES, J. A. M.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; MORAIS, M. A. V. Regionalização hidrológica de vazões para a bacia do rio Tocantins no bioma Cerrado brasileiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 16, n. 6, p. e2716, 2021.

RODRIGUES, W.; VASCONCELOS, S. J.; BARBIERO, A. K. Análise da efetividade socioeconômica do PRODECER III no município de Pedro Afonso, Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 39, n. 4, p. 301-306, 2009.

- RODRIGUEZ, R. D. G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola (Mestrado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 94 p. 2004.
- SANTOS, A. B. D.; HEINEMANN, A. B.; DA SILVA, M. A. S.; STONE, L. F.; PIMENTA, L. B.; SANTOS, D. Manejo da irrigação na cultura do arroz irrigado e na eficiência do uso da água em várzeas tropicais. **Revista Agri-Environmental Sciences**, v. 7, p. e021002, 2021.
- SANTOS, A. M. D. **Vulnerabilidade hidrológica das populações residentes na bacia hidrográfica do rio UNA (Pernambuco) frente aos cenários de mudanças climáticas**. 2015. Tese (Doutorado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 129 p. 2015.
- SANTOS, E.; GRIEBELER, N.; OLIVEIRA, L. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite–GO. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 78-89, 2011.
- SANTOS, J. F. S. **O passado e o futuro da pegada hídrica da soja e seus impactos socioeconômicos**: a dinâmica espacial da última fronteira agrícola do cerrado no norte-nordeste do Brasil. 2020. Tese de Doutorado em Ciências do Ambiente (Doutorado em Ciências do Ambiente). Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente - Ciamb, Universidade Federal do Tocantins, Palmas-TO, 291 p. 2020.
- SANTOS, R. D. S. F.; FERREIRA, M. I. P. Índice de Pobreza Hídrica e sua adaptação às condições da comunidade de Gargaú, São Francisco do Itabapoana/RJ. **Boletim do Observatório Ambiental Alberto Ribeiro Lamego**, v. 10, n. 2, p. 191-206, 2016.
- SANTOS, S. R. Q. D.; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. D. O. B.; BRITO, J. I. B. D.; SANTOS, A. P. P. D. Variabilidade da Precipitação no Estado do Pará por meio de Análise em Componentes Principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 3, p. 615-627, 2014.
- SENNA, L. D. D. **Uso do Índice de Pobreza Hídrica (WPI) através da análise de componentes principais**. 2015. Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária (Mestrado em Engenharia Sanitária). Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 41 p. 2015.
- SEPLAN – Secretaria do Planejamento. Governo do Estado do Tocantins. Diretoria de Pesquisas e Informação (DPI). Regiões Programa - Estado do Tocantins. Palmas: Seplan/DPI, 1997.
- SILVA, A. R. P. D.; ALMEIDA, M. G. O agronegócio e o Estado do Tocantins: o atual estágio de consolidação. **Caminhos de Geografia**, v. 8, n. 21, p. 28-45, 2007.
- SILVA, L. A. **Deflúvio superficial em Minas Gerais: caracterização e associal com fatores físicos e ambientais**. 2014. Tese (Doutorado em Recursos hídricos em sistemas agrícolas). Universidade Federal de Lavras - UFLA, Lavras-MG, 137 p. 2014.
- SILVA, L. A. D.; DA SILVA, A. M.; COELHO, G.; PINTO, L. C.; EDUARDO, E. N. Vazões mínimas e de referência e rendimento específico para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 12, n. 4, p. 543-549, 2017.

SILVA, M. A.; SILVA, M. L. N.; CURI, N.; SANTOS, G. R.; MARQUES, J. J. G. D. S. E. M.; MENEZES, M. D.; LEITE, F. P. Avaliação e espacialização da erosividade da chuva no Vale do Rio Doce, Região Centro-Leste do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa**, v. 34, n. 4, p. 1029-1039, 2010.

SILVA NETO, V. L.; BATISTA, E. D.; JUNIOR, W. B. L.; FABRIS, Z. V.; RODRIGUES, P. J. A. W. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do rio Manuel Alves da Natividade, Tocantins. **Sociedade & Natureza**, v. 32, p. 161-175, 2020.

SILVA NETO, V. L.; SOUZA, L. B. E.; VIOLA, M. R.; MORAIS, M. A. V. Variabilidade espacial e temporal da precipitação no Estado do Tocantins, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 3, p. 1-11, 2021.

SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; DE MELLO, C. R.; SILVA, D. D.; GIONGO, M. V. Precipitação máxima provável no Estado do Tocantins: primeira aproximação pelo método estatístico de Hershfield. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p. 660-679, 2020.

SILVA NETO, V. L.; VIOLA, M. R.; MELLO, C. R. D.; SILVA, D. D.; PEREIRA, S. B.; GIONGO, M. Mapeamento de Chuvas Intensas para o Estado do Tocantins. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 1-11, 2020.

SILVA, R.; SILVA, V.; MACIEL, G.; SILVA, P.; NUNES, A.; NAOE, A. Quantificação da pegada hídrica da soja na região do Matopiba: cenário atual e mudanças climáticas. **Revista de Geografia (Recife)**, v. 37, n. 3, p. 26-46, 2020.

SOARES, P. A.; PINHEIRO, A.; SOARES, K. H.; ZUCCO, E. Estimativa da disponibilidade hídrica em pequenas bacias hidrográficas com escassez de dados fluviométricos. **Revista de estudos ambientais**, v. 12, n. 1, p. 29-38, 2010.

SOUZA, F. H. M.; VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; GIONGO, M.; FILHO, M. V. Thornthwaite's Climate Regionalization for the State of Tocantins, Brazil. **Floresta**, v. 49, n. 4, p. 10, 2019.

SOUZA, F. H. M. D. **Regionalização climática de Thorntwhaite e Mather para o estado do Tocantins**. 2016. Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais (Mestrado em Ciências Florestais e Ambientais). Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais Universidade Federal do Tocantins, Gurupi-TO, 118 p. 2016.

SOUZA, L. B. Implicações climáticas de um modelo neodesenvolvimentista: impactos, riscos e injustiças no estado do Tocantins, Brasil. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 129-145, 2016.

SOUZA, L. B.; BARROS, J. R. Agronegócio e ambiente no Cerrado tocantinense: um panorama dos municípios com base em indicadores. **Ateliê Geográfico**, v. 13, n. 1, p. 124–149, 2019.

SOUZA, L. B.; ZANELLA, M. E. **Percepção de riscos ambientais: teoria e aplicações**. Coleção Estudos Geográficos. Fortaleza: Edições UFC, 2009. 240 p.

SOUZA, M. L. **Ambientes e territórios: uma introdução à Ecologia Política**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2019. 320 p.

SULLIVAN, C. Calculating a water poverty index. **World development**, v. 30, n. 7, p. 1195-1210, 2002.

SULLIVAN, C. A.; MEIGH, J. R.; GIACOMELLO, A. M.; FEDIW, T.; LAWRENCE, P.; SAMAD, M.; MLOTE, S.; HUTTON, C.; ALLAN, J. A.; SCHULZE, R. E.; DLAMINI, D. J. M.; COSGROVE, W.; PRISCOLI, J. D.; GLEICK, P.; SMOUT, I.; COBBING, J.; CALOW, R.; HUNT, C.; HUSSAIN, A.; ACREMAN, M. C.; KING, J.; MALOMO, S.; TATE, E. L.; O'REGAN, D.; MILNER, S.; STEYL, I. The Water Poverty Index: Development and application at the community scale. **Natural Resources Forum**, v. 27, p. 189-199, 2003.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Technology, 1955. 104 p.

TOCANTINS. DECRETO Nº 2432, de 6 de junho de 2005. Regulamenta a outorga do direito de uso de recursos hídricos. Palmas, TO: 10 p. Disponível em: < <https://central3.to.gov.br/arquivo/107424/> >. Acesso em: 30 de Jan de 2020.

_____. Secretária de Planejamento e Meio Ambiente. **Estudo de regionalização de vazões nas bacias hidrográficas da margem direita do Rio Tocantins**. Org. Consórcio ENGEPLUS/ACL. SEPLAN: Palmas. v. 1, 2007.

_____. Secretaria do Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável. **Elaboração do Plano estadual de recursos hídricos do Tocantins**. Relatório final. Palmas: SEMADES. 2011. Disponível em: < <https://central3.to.gov.br/arquivo/126808/> >.

_____. Secretaria do Planejamento e da Modernização da Gestão Pública. **Subsídios ao planejamento da gestão territorial**. Palmas: SEPLAN/DZE. Atlas do Tocantins, 2012. Disponível em: < http://zoneamento.sefaz.to.gov.br/TO_AtlasTocantins2012_1/Atlas_do_Tocantins_2012.pdf >.

_____. Secretaria de Planejamento e meio Ambiente. **Perfil do Agronegócio Tocantinense**. Relatório Final Contrato nº 034/ 2015, 2016. Disponível em: < <https://central3.to.gov.br/arquivo/354694/> >.

_____. Secretaria da Fazenda e Planejamento. Superintendência de Planejamento Governamental. Diretoria de Gestão de Informações Territoriais e Socioeconômicas. Gerência de Zoneamento Territorial. Palmas: SEFAZ/GZT. 2020. 464 p., Ilust. Projeto de Desenvolvimento Regional Integrado e Sustentável. **Elaboração das Cartas Climáticas do Estado do Tocantins**, v. 1, 2020. Disponível em: < http://web.seplan.to.gov.br/Arquivos/Publicacoes/Atlas2012/z_Completo_Atlas_do_Tocantins_2012_portugues.pdf >.

_____. Geoportal SEPLAN. Secretaria de Planejamento e Orçamento. 2022. Disponível em: < <https://geoportal.to.gov.br/gvsigonline/> >. Acesso em: 01 Jun 2022.

TORRES, D. J. S. M.; ÁLVAREZ, B. L. Cálculo del índice de pobreza del agua en la Zona Media de San Luis Potosí. **Revista de El Colegio de San Luis**, v. 10, n. 21, p. 1-28, 2020. Disponível em: < <https://revista.colsan.edu.mx/index.php/COLSAN/article/view/1176> >.

TUCCI, C. E. M. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. 256 p.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: TUCCI, C. E. M. (Ed.). **Hidrologia: ciência e aplicação** (Org.). 4ª Edição. Porto Alegre: UFRGS Editora: ABRH, 2009. Cap. 15, p. 573-619.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. **Estudos avançados**, v. 22, n. 63, p. 7-16, 2008.

VALENCIA ROJAS, M. P.; FIGUEROA CASAS, A.; RUIZ ORDÓÑEZ, D. M.; OTERO SARMIENTO, J. D.; MARTÍNEZ IDROBO, J. P.; CEBALLOS SARRIA, V. E.; JOAQUÍ DAZA, S. C.; GONZÁLEZ QUIJANO, D. Metodología para el análisis de vulnerabilidad en cuencas abastecedoras de agua ante la variabilidad climática. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v. 13, p. 29-43, 2014.

VESTENA, L. R.; OLIVEIRA, É. D. D.; CUNHA, M. C. D.; THOMAZ, E. L. Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, n. 3, p. 212-227, 2012.

VEZZA, P.; COMOGLIO, C.; ROSSO, M.; VIGLIONE, A. Low flows regionalization in north-western Italy. **Water resources management**, v. 24, n. 14, p. 4049-4074, 2010.

VIOLA, M. R. **Simulação hidrológica na região Alto Rio Grande a montante do reservatório de Camargos/CEMIG**. 2008. (Mestrado). Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração Engenharia de Água e Solo, Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 120 p. 2008.

VIOLA, M. R.; AVANZI, J. C.; MELLO, C. R. D.; LIMA, S. D. O.; ALVES, M. V. G. Distribuição e potencial erosivo das chuvas no Estado do Tocantins. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 49, p. 125-135, 2014.

VIOLA, M. R.; MELLO, C. D.; PINTO, D. B.; MELLO, J. D.; ÁVILA, L. F. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

WMO. WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION. **State of climate services: water**. Disponível em: < <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wake-looming-water-crisis-report-warns> >. Access 06 out 2021.

WOLFF, W.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R. Nova metodologia de regionalização de vazões, estudo de caso para o Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 19, n. 4, p. 21-33, 2014.

WOLFORD, W. Environmental justice and the construction of scale in Brazilian agriculture. **Society and Natural Resources**, v. 21, n. 7, p. 641-655, 2008.

XAVIER JÚNIOR, S. F. A.; JALE, J. D. S.; STOSIC, T.; SANTOS, C. A. C. D.; SINGH, V. P. Precipitation trends analysis by Mann-Kendall test: a case study of Paraíba, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 2, p. 187-196, 2020.

ZANELLA, L. C. H. **Metodologia da pesquisa**. Departamento de Ciências da Administração/UFSC, 2011. 134 p.

ANEXO A - BACIAS E SUB-BACIAS HIDROGRÁFICAS E O SISTEMA A QUE PERTENCEM, CONFORME A SEPLAN (2012)⁷

Grande Bacia	Bacia	Sub-bacia	Área (km ²)	Sistema
R. Araguaia	Bac. do Rib. Corda	Sub-b. Rib. das Lajes	903,8	A15
R. Araguaia	Bac. do Rib. Corda	Sub-b. Rib. Lago Gran	693,6	A15
R. Araguaia	Bac. do Rib. Corda	Bac. do Rib. Corda	1646,5	A15
R. Araguaia	Bac. do Rib. Corda	Sub-b. do Rib. Tapuio	266,3	A15
R. Tocantins	Bac. do Rib. dos Mangues	Bac. do Rib. dos Mangues	1140,9	T11
R. Tocantins	Bac. do Rib. dos Mangues	Bac. do Rib. dos Mangues	1667,6	T11
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	3427,4	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	205,6	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	148,3	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rib. Catingueiro	797,5	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	209,9	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Juari	1178,3	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	85,1	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Andorinhas	36,0	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Cór. Altamira	244,9	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Andorinhas	272,3	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Andorinhas	1178,2	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Cabiruru	435,5	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rib. Umburama	697,4	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-baica Rebojinho	693,6	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rib. do Tónico	67,9	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rib. Bar. Branca	204,4	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	77,6	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	32,7	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rib. Xambioazinho	277,0	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	245,4	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	224,0	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. do Rib. Curicacas	546,9	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	128,7	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	255,2	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio São Martinho	1351,0	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	44,8	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Barreiro	678,8	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	5,8	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Sub-b. Rio Taquari	285,7	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	1133,8	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	209,6	A1
R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	72,9	A1

⁷ A apresentação repetida de algumas bacias hidrográficas e/ou sub-bacias deve-se à diferentes seções do corpo hídrico a que cada uma se refere.

R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	Bac. do R. Araguaia	972,3	A1
R. Araguaia	Bac. do Rio Bananal	Bac. do Rio Bananal	2863,8	A9
R. Araguaia	Bac. do Rio Barreiras	Bac. do Rio Barreiras	1743,7	A10
R. Araguaia	Bac. do Rio Caiapó	Sub-b. Rib. Piranhinha	476,5	A7
R. Araguaia	Bac. do Rio Caiapó	Sub-b. Caiapozinho	1712,7	A7
R. Araguaia	Bac. do Rio Caiapó	Bac. do Rio Caiapó	3213,2	A7
R. Tocantins	Bac. do Rio Crixás	Sub-b. Rib. São José	0,0	T8
R. Tocantins	Bac. do Rio Crixás	Sub-b. Rib. São José	951,2	T8
R. Tocantins	Bac. do Rio Crixás	Bac. do Rio Crixás	2468,1	T8
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Sub-b. Rio Gameleira	0,0	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Sub-b. Rio Gameleira	702,4	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Bac. do Rio das Balsas	1635,6	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Sub-b. Rio Ponte Alta	834,4	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Sub-b. Rio Ponte Alta	2436,1	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Sub-b. Cór. Caracol	845,0	T9
R. Tocantins	Bac. do Rio das Balsas	Bac. do Rio das Balsas	5944,5	T9
R. Araguaia	Bac. do Rio das Cunhãs	Bac. do Rio das Cunhãs	2783,5	A11
R. Araguaia	Bac. do Rio do Côco	Bac. do Rio do Côco	1290,3	A6
R. Araguaia	Bac. do Rio do Côco	Bac. do Rio do Côco	3210,7	A6
R. Araguaia	Bac. do Rio do Côco	Sub-b. Rib. da Prata	956,6	A6
R. Araguaia	Bac. do Rio do Côco	Sub-b. Rib. Piedade	1232,9	A6
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. Rio Pau Seco	98,6	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. do Rio Piaus	997,1	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. Rio Pau Seco	2594,7	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. Rio Xavante	0,0	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. Rio Xavante	3050,1	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. do Rio Dueré	0,0	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. do Rio Dueré	2761,0	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Bac. do Rio Formoso	0,0	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Bac. do Rio Formoso	0,0	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Bac. do Rio Formoso	8557,5	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Formoso	Sub-b. do Rio Urubu	2651,8	A4
R. Araguaia	Bac. do Rio Javaés	Sub-b. Rio Água-Fria	2593,1	A3
R. Araguaia	Bac. do Rio Javaés	Sub-b. Rio Água-Fria	0,0	A3
R. Araguaia	Bac. do Rio Javaés	Sub-b. Rio Verde	2213,0	A3
R. Araguaia	Bac. do Rio Javaés	Bac. do Rio Javaés	7557,8	A3
R. Araguaia	Bac. do Rio Jenipapo	Bac. do Rio Jenipapo	1579,9	A12
R. Araguaia	Bac. do Rio Lontra	Sub-b. Rib. Gurguéia	452,8	A14
R. Araguaia	Bac. do Rio Lontra	Sub-b. Rib. Boa Sorte	402,2	A14
R. Araguaia	Bac. do Rio Lontra	Sub-b. Rib. Brejão	538,1	A14
R. Araguaia	Bac. do Rio Lontra	Bac. do Rio Lontra	2447,6	A14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Nat.	Sub-b. Rib. Itaboca	1811,5	T5
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Nat.	Sub-b. Rio Gameleira	632,0	T5
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Nat.	Sub-b. Rio Bagagem	2073,7	T5
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Nat.	Sub-b. Rio do Peixe	2783,5	T5
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Nat.	Bac. do Rio M. Alves Nat.	7661,3	T5
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Sub-b. Rio Gameleira Gran	2475,3	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Sub-b. Rio Formiga	579,6	T14

R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Sub-b. do Rio Riozinho	869,5	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Bac. do Rio M. Alves Gran	1723,2	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Sub-b. Rio Vermelho	1842,9	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Bac. do Rio M. Alves Gran	406,8	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. Alves Gran	Bac. do Rio M. Alves Gran	628,0	T14
R. Tocantins	Bac. do Rio M. AlvesPeq.	Sub-b. Rio Gameleira	675,7	T13
R. Tocantins	Bac. do Rio M. AlvesPeq.	Sub-b. do Rio Riozinho	881,8	T13
R. Tocantins	Bac. do Rio M. AlvesPeq.	Sub-b. Rio M. Alves Peq.	2347,1	T13
R. Araguaia	Bac. do Rio Muricizal	Sub-b. Rio Preto	699,8	A13
R. Araguaia	Bac. do Rio Muricizal	Sub-b. Rib. Grotão	440,0	A13
R. Araguaia	Bac. do Rio Muricizal	Sub-b. Rib. Inhumas	0,0	A13
R. Araguaia	Bac. do Rio Muricizal	Sub-b. Rib. Inhumas	458,1	A13
R. Araguaia	Bac. do Rio Muricizal	Bac. do Rio Muricizal	1782,5	A13
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rib. Cachoeira	479,8	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Bac. do Rio Palma	928,9	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Cór. Inhumas	285,8	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rio Arraias	1557,9	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Cór. Pau D Arco	180,8	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. do Rio Sobrado	1113,3	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rib. Gameleirinha	246,6	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Cór. Recantilado	254,6	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rib. Gameleira	513,1	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Bac. do Rio Palma	4523,3	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rio Conceição	2338,5	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rib. Inferno	1528,8	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Palma	Sub-b. Rio Palmeiras	3141,5	T4
R. Tocantins	Bac. do Rio Paranã	Sub-b. Rio São Domingos	1757,8	T3
R. Tocantins	Bac. do Rio Paranã	Sub-b. Riacho Fundo	1010,8	T3
R. Tocantins	Bac. do Rio Paranã	Sub-b. Rio Bezerra	1053,1	T3
R. Tocantins	Bac. do Rio Paranã	Bac. do Rio Paranã	4364,9	T3
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Sub-b. Rio da Prata	2065,9	T12
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Bac. do Rio Perdida	1993,1	T12
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Bac. do Rio Perdida	2168,4	T12
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Sub-b. Rio Mutum	2131,7	T12
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Sub-b. Rio Preto	0,0	T12
R. Tocantins	Bac. do Rio Perdida	Sub-b. Rio Preto	1199,1	T12
R. Araguaia	Bac. do Rio Piranhas	Bac. do Rio Piranhas	4111,0	A8
R. Araguaia	Bac. do Rio Piranhas	Sub-b. Rio Lajeado	1896,1	A8
R. Araguaia	Bac. do Rio Piranhas	Sub-b. Rib. Angico	361,6	A16
R. Araguaia	Bac. do Rio Piranhas	Bac. do Rio Piranhas	1378,8	A16
R. Araguaia	Bac. do Rio Pium	Bac. do Rio Pium	1025,0	A5
R. Araguaia	Bac. do Rio Pium	Sub-b. do Rio Riozinho	561,1	A5
R. Araguaia	Bac. do Rio Pium	Bac. do Rio Pium	3477,6	A5
R. Araguaia	Bac. do Rio Riozinho	Bac. do Rio Riozinho	10958,1	A2
R. Tocantins	Bac. do R. Sta Tereza	Sub-b. Rio Canabrava	0,5	T2
R. Tocantins	Bac. do R. Sta Tereza	Sub-b. Rio Canabrava	2113,7	T2
R. Tocantins	Bac. do R. Sta Tereza	Bac. do R. Sta Tereza	3849,1	T2
R. Tocantins	Bac. do R. Sto Antônio	Bac. do R. Sto Antônio	0,0	T7

R. Tocantins	Bac. do R. Sto Antônio	Bac. do R. Sto Antônio	0,0	T7
R. Tocantins	Bac. do R. Sto Antônio	Bac. do R. Sto Antônio	3066,0	T7
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Novo	2429,9	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Preto	807,3	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Novo	1941,2	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Come Assado	666,6	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Galhão	1443,3	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Soninho	913,7	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Vermelho	1212,2	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Soninho	2991,0	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Monte Santo	448,9	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Caracol	1533,0	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Espingarda	1435,7	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rio Preto	798,6	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Rib. Areias	671,7	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Sub-b. Cór. Jenipapo Gran	430,0	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio Sono	Bac. do Rio Sono	6345,6	T10
R. Tocantins	Bac. do Rio São Valério	Bac. do Rio São Valério	2195,3	T6
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio das Almas	1315,8	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Formiga	1835,5	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Conceição	375,9	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. do Carmo	456,2	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Matança	375,8	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Água Suja	997,6	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Taquaruzinho	0,0	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Taquaruzinho	464,3	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Cór. Santa Luzia	1380,0	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Lajeado	598,7	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Água Suja	708,3	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Piabanha	735,9	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Providência	1609,0	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio dos Bois	0,0	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio dos Bois	959,9	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Tabocão	881,2	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Soninho	1600,9	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Tranqueira	1286,3	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Água Fria	1108,4	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Tabocão	692,1	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Cartucho	529,2	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Capivara	1871,2	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Tauá	893,6	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Aldeia Gran	483,5	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	295,4	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. Pau Seco	2167,7	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Jão Aires	1101,2	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rib. das Arraias	462,3	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	13,7	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Corrente	1054,4	T1

R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Feio	0,0	T1
R. Tocantins	Bac. do R. Tocantins	Sub-b. Rio Feio	1244,3	T1
