



PROPOSTA DE INDICADORES DE USO MÚLTIPLO DE RECURSOS HÍDRICOS  
APLICADO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS – ESTUDO DE CASO: REGIÃO  
HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Planejamento Energético.

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Rio de Janeiro

Março de 2019

PROPOSTA DE INDICADORES DE USO MÚLTIPLO DE RECURSOS HÍDRICOS  
APLICADO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS – ESTUDO DE CASO: REGIÃO  
HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO INSTITUTO ALBERTO  
LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA (COPPE)  
DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS  
REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM  
CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Examinada por:

---

Prof. Marco Aurélio dos Santos D.Sc.

---

Prof. Marcos Aurélio Vasconcelos de Freitas D.Sc.

---

Prof. Heloisa Teixeira Firmo D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

MARÇO DE 2019

Cavalcante, Nelson Bernardo Rodrigues

Proposta de indicadores de uso múltiplo de recursos hídricos aplicado em bacias hidrográficas – Estudo de caso: Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia / Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante - Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2019.

XVI, 170 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Dissertação (mestrado) – UFRJ/ COPPE/ Programa de Planejamento Energético, 2019.

Referências Bibliográficas: p.160-170

1. Indicadores. 2. Uso múltiplo. 3. Gestão de bacias. I. Santos, Marco Aurélio dos. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Programa de Planejamento Energético. III. Título.

*Aos meus pais, Olivia e Nelson,  
e a minha irmã, Ana Bárbara,  
pelo incentivo e amor  
incomensuráveis, dedico.*



Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

PROPOSTA DE INDICADORES DE USO MÚLTIPLO DE RECURSOS HÍDRICOS  
APLICADO EM BACIAS HIDROGRÁFICAS – ESTUDO DE CASO: REGIÃO  
HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

Março/2019

Orientador: Marco Aurélio dos Santos

Programa: Planejamento Energético

O planejamento estratégico e integrado de bacias hidrográficas objetiva o uso múltiplo das águas com maior eficiência e sustentabilidade, utilizando, para isso, instrumentos e ferramentas de gestão. Tais ferramentas auxiliam tanto na tomada de decisões quanto no quesito de informar à população, comunidade e usuários diretos sobre a atual realidade dos recursos e aproveitamentos de bacias. O presente estudo propõe o desenvolvimento de indicadores, que têm como objetivo principal caracterizar a situação de bacias hidrográficas quanto à capacidade de suprir as demandas dos usos de recursos hídricos. A metodologia propõe um sistema que utiliza dados oficiais livres, iniciando pela sistematização desses dados, definição de preferências e parâmetros, e seguindo para o tratamento e agregação, resultando em um grupo de indicadores. A região hidrográfica do Tocantins-Araguaia (RHTA) foi definida como estudo de caso por ser uma de grande importância hídrica para o país. O resultado obtido identificou grande potencial hídrico bacia dos rios Tocantins e Araguaia, bem como a necessidade do planejamento integrado entre os usos para algumas bacias da RHTA, que se encontram em nível crítico de escassez.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M. Sc)

PROPOSAL FOR INDICATORS OF MULTIPLE USE OF WATER RESOURCES  
APPLIED IN WATERSHEDS - CASE OF STUDY: WATERSHED TOCANTINS-  
ARAGUAIA

Nelson Bernardo Rodrigues Cavalcante

March/2019

Advisor: Marco Aurélio dos Santos

Department: Energy Planning

The strategic and integrated planning of watersheds aims at the multiple use of water with greater efficiency and sustainability, using management tools and instruments for this purpose. Such tools help both in decision making and in informing the population, community and direct users about the current reality of resources and use of watersheds. Thus, this study proposes the development of indicators, whose main objective is to characterize the situation of watersheds in terms of the capacity to meet the demands of water resource use. The methodology proposes a system that uses available data, starting with the systemization of data, definition of preferences and parameters, previously determining the ways of obtaining and following for the treatment and aggregation, resulting in a group of indicators. The Tocantins-Araguaia hydrographic region (RHTA), was defined as a case study because it is one of great water importance for the country and presents great potential for growth in the use of water resources. The result obtained from the analysis of the indicators generated by the study showed the great water potential and importance of the Tocantins River basin, as well as the need for integrated planning between the uses for some watersheds, which are at a critical level of scarcity.

# ÍNDICE

<u>1. INTRODUÇÃO</u> .....	1
1.1. OBJETIVO GERAL .....	5
1.2. OBJETIVO ESPECÍFICO .....	5
1.3. JUSTIFICATIVA .....	5
<u>2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS</u> .....	9
2.1. PANORAMA MUNDIAL .....	9
2.2. GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS NO BRASIL .....	13
2.2.1. INSTRUMENTOS DA POLÍTICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS .....	16
2.3. REGIÕES HIDROGRÁFICAS E UNIDADES DE PLANEJAMENTO .....	25
2.4. DISPONIBILIDADE HÍDRICA .....	28
2.5. UNIDADES DE CONSERVAÇÃO AMBIENTAL .....	31
2.6. USO MÚLTIPLO .....	35
2.6.1. PANORAMA BRASILEIRO .....	35
<u>3. INDICADORES</u> .....	38
3.1. INDICADORES COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO AMBIENTAL .....	39
3.2. CONCEITO .....	42
3.3. SELEÇÃO DE INDICADORES .....	45
3.4. CONSTRUÇÃO DE INDICADORES .....	49
3.5. NORMALIZAÇÃO .....	49
3.6. PONDERAÇÃO E PREFERÊNCIAS .....	53
3.7. INDICADORES DE VULNERABILIDADE HÍDRICA .....	56
<u>4. METODOLOGIA</u> .....	61
4.1. ETAPAS DE GEOPROCESSAMENTO .....	61
4.2. FORMULAÇÃO DE INDICADORES .....	63
4.2.1. INDICADOR DE NAVEGABILIDADE .....	63
4.2.2. INDICADOR DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO .....	76

4.2.3. INDICADOR DE POTENCIAL HIDRELÉTRICO .....	80
4.2.4. INDICADOR DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.....	85
4.2.5. INDICADOR DE USO CONSUNTIVO.....	87
4.2.6. INDICADOR DE ABASTECIMENTO URBANO.....	90
4.2.7. INDICADOR DE DESSEDENTAÇÃO .....	94
4.2.8. INDICADOR DE IRRIGAÇÃO.....	96
<u>5. ESTUDO DE CASO – REGIÃO HIDROGRÁFICA TOCANTINS-ARAGUAIA.....</u>	<u>98</u>
5.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....	98
5.2. GEOMORFOLOGIA .....	101
5.3. SOLO.....	105
5.4. CLIMA.....	108
5.5. CARACTERIZAÇÃO DA REDE HIDROGRÁFICA.....	112
<u>6. RESULTADOS .....</u>	<u>115</u>
6.1. INDICADOR DE NAVEGABILIDADE.....	115
6.2. INDICADOR DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO.....	118
6.3. INDICADOR DE POTENCIAL HIDRELÉTRICO .....	120
6.4. INDICADOR DE INVENTÁRIO HIDRELÉTRICO .....	123
6.5. INDICADOR DE ABASTECIMENTO URBANO.....	126
6.6. INDICADOR DE DESSEDENTAÇÃO.....	128
6.7. INDICADOR DE IRRIGAÇÃO.....	131
6.8. INDICADOR DE USO CONSUNTIVO.....	134
6.9. UNIDADES DE PLANEJAMENTO HÍDRICO.....	136
<u>7. CONCLUSÕES .....</u>	<u>156</u>
<u>BIBLIOGRAFIA.....</u>	<u>160</u>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Codificação de bacias hidrográficas conforme o método Otto Pfafstetter. Fonte: ANA, 2018a. ....	15
Figura 2: Integração dos instrumentos da PNRH. Fonte: ANA, 2013. ....	17
Figura 3: Classificação de enquadramento dos corpos d'água. Adaptado de Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo. Disponível em: <a href="http://www.sigrh.sp.gov.br/enquadramentodoscorposdagua">http://www.sigrh.sp.gov.br/enquadramentodoscorposdagua</a> .....	19
Figura 4: Regiões hidrográficas brasileiras. Fonte: ANA, 2018a. ....	26
Figura 5: Regiões hidrográficas e Unidades de Planejamento, de acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Fonte: ANA, 2018a. ....	27
Figura 6: Unidades de conservação do território brasileiro. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	34
Figura 7: Vazão de retirada para os diversos usos de recursos hídricos, Brasil. Adaptado de ANA, 2018. ....	36
Figura 8: Modelo sistemático de construção de indicadores em formato de pirâmide. Fonte: Maranhão, 2009; adaptado de Winograd, 1995. ....	43
Figura 9: Agregação da informação no planejamento e gestão dos recursos hídricos (Adaptado de PEDRO-MONZONIS <i>et al.</i> , 2015). ....	44
Figura 10: Procedimento metodológico de análise de dados e obtenção de resultados, em ambiente SIG. ....	62
Figura 11: Unidades de Planejamento consideradas para a concepção do indicador de navegabilidade. Elaboração própria. ....	67
Figura 12: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Alto Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	68
Figura 13: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Paranã, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	69
Figura 14: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Alto Médio Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	69
Figura 15: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Submédio Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	70
Figura 16: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Itacaiúnas, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	70

Figura 17: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Médio Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria. ....	71
Figura 18: Detalhes de irregularidades naturais ao longo dos rios das UP's Alto Tocantins, Médio Tocantins e Paranã, respectivamente. Elaboração própria. ....	71
Figura 19: Detalhes de irregularidades naturais ao longo dos rios das UP's Alto Médio Tocantins, Submédio Tocantins e Itacaiúnas, respectivamente. Elaboração própria. ....	72
Figura 20: UP Alto Tocantins - Trechos com largura menor que 71 metros. Elaboração Própria. ....	73
Figura 21: UP Paranã Tocantins – trecho com largura menor que 36 metros. Elaboração própria. ....	73
Figura 22: UP Paranã Tocantins – Trecho com largura menor que 71 metros. Elaboração própria. ....	74
Figura 23: Levantamento de inventário hidrelétrico RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANEEL, 2018. ....	77
Figura 24: Levantamento de etapa de projeto em que se encontram os aproveitamentos hidrelétricos da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANEEL, 2018. ....	83
Figura 25: Mapeamento das unidades de conservação para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	86
Figura 26: Mapa de vazão estimada de demanda de uso urbano, distribuído em área urbana. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	91
Figura 27: Divisão em nível municipal da região hidrográfica Tocantins-Araguaia. ....	98
Figura 28: Unidades de Planejamento. Elaboração Própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	100
Figura 29: Categorias geomorfológicas da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	102
Figura 30: Hipsometria da RHTA. Fonte: ANA, 2009. ....	103
Figura 31: Disponibilidade e demanda de recursos hídricos na RHTA. Fonte: Disponibilidade de demanda de recursos hídricos (ANA, 2005). ....	104
Figura 32: Principais classes de solo. Fonte: ANA, 2009. ....	105
Figura 33: Mapa de aptidão agrícola da RHTA. Fonte: ANA, 2009. ....	106
Figura 34: Classificação Köppen-Geiger para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: Vienna, 2016. ....	109
Figura 35: Precipitação com base nos dados de 1977 a 2006. Elaboração própria. Fonte: CPRM, 2018. ....	111

Figura 36: Mapa de massa d'água para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANA Metadados, 2016. Disponível em: <a href="http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home">http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home</a> . ....	112
Figura 37: Ordenamento de gráfico radar, por UP da RHTA, de acordo com o potencial de expansão dos diversos usos. ....	159

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Simulação de plotagem do valor do indicador de navegabilidade, gráfico radar.....	75
Gráfico 2: Resumo do percentual de inventário Aceito, Aprovado e Não estudado, para as Unidades de Planejamento da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANEEL. 2018....	78
Gráfico 3: Potencial Hidrelétrico Total por UP (KW) da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Fonte: ANEEL, 2018. ....	80
Gráfico 4: Potencial Hidrelétrico Remanescente por UP (kW) – RHTA. Fonte: ANEEL, 2018. ....	81
Gráfico 5: Comparação entre Comprimento total e trecho navegável .....	116
Gráfico 6: Distribuição de valores finais do o indicador de navegabilidade, em gráfico Radar, para as UP's analisadas. ....	117
Gráfico 7: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de unidades de conservação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.....	119
Gráfico 8: UP's com maiores resultados para o indicador de unidades de conservação. ....	120
Gráfico 9: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de potencial hidrelétrico por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. ....	122
Gráfico 10: Valores do indicador de potencial hidrelétrico referente às UP's em destaque na RHTA.....	122
Gráfico 11: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de inventário hidrelétrico por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. ....	124
Gráfico 12: Indicador de inventário hidrelétrico referente às UP's com maior percentual de trechos inventariados aceitos e aprovados. ....	125
Gráfico 13: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de abastecimento urbano por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.....	127
Gráfico 14: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de dessedentação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.....	130
Gráfico 15: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de irrigação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.....	133
Gráfico 16: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de uso consuntivo por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. ....	135
Gráfico 17: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Sono.....	137



Gráfico 18: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar. UP Alto Médio Tocantins. .	138
Gráfico 19: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Tocantins.	139
Gráfico 20: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Paranã. ....	141
Gráfico 21: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Alto Araguaia. ...	142
Gráfico 22: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Submédio Tocantins. .....	143
Gráfico 23: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Araguaia.	144
Gráfico 24: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Alto Tocantins. ...	146
Gráfico 25: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Itacaiúnas.....	147
Gráfico 26: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Itacaiúnas.....	148
Gráfico 27: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Araguaia.	149
Gráfico 28: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Araguaia..	150
Gráfico 29: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Acará-Guamá.....	151
Gráfico 30: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Pará. ....	152
Gráfico 31: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Mortes. ....	153
Gráfico 32: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Tocantins.	154
Gráfico 33: Plotagem de indicadores em gráfico tipo radar. UP Submédio Araguaia.	155

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Eventos Internacionais ligados ao meio ambiente.....	12
Tabela 2: Categorias para os planos de recursos hídricos. Adaptado de ANA, 2013. ...	17
Tabela 3: Classe de enquadramento dos corpos d'água segundo as categorias de uso, em águas doces. Fonte: Resolução CONAMA 357/2005. ....	20
Tabela 4: Objetivos da cobrança pelo uso da água – Legislação brasileira. ....	23
Tabela 5: Diferentes atribuições ao valor de vazão máxima outorgável no Brasil. ....	30
Tabela 6: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de proteção integral. Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <a href="https://uc.socioambiental.org/">https://uc.socioambiental.org/</a> .....	32
Tabela 7: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de uso sustentável. Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <a href="https://uc.socioambiental.org/">https://uc.socioambiental.org/</a> .....	33
Tabela 8: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de uso sustentável Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <a href="https://uc.socioambiental.org/">https://uc.socioambiental.org/</a> .....	33
Tabela 9: Relação entre escala, nível de informação e uso. (Adaptado de Winograd, 1995).....	42
Tabela 10: Condicionantes básicas para formação e seleção de indicadores. Fonte: Adaptado de OECD, 1998. ....	45
Tabela 11: Intervalo de valores, proposto por Falkenmark, 1989, para o indicador de escassez (WSI). Adaptado Pereira, 2017.....	57
Tabela 12: Intervalo de valores para o Water Exploitation Index. Adaptado de Pereira, 2017. Fonte: EEA, 2013. ....	57
Tabela 13: Intervalo de valores para o Water Resources Vulnerability Index (WRVI). Elaboração própria. Adaptado de Vivas, 2011. ....	58
Tabela 14: Intervalo de valores para o Criticality Ratio (CR). Elaboração própria. Fonte: Rijsberman, 2006.....	59
Tabela 15: Normalização para o indicador de navegabilidade.....	65
Tabela 16: Resumo de inventário hidrelétrico para as Unidades de Planejamento da RHTA. ....	76
Tabela 17: Dados de estudo para inventário hidrelétrico. ....	79
Tabela 18: Faixa de normalização para inventario hidrelétrico de corpos hídricos .....	79
Tabela 19: Diagnóstico do potencial hidrelétrico para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, por unidade de planejamento. ....	82

Tabela 20: Percentual, por unidade de planejamento, do potencial hidrelétrico remanescente. ....	84
Tabela 21: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de potencial hidrelétrico. ....	84
Tabela 22: Área de unidades de conservação (terras indígenas e reservas) por UP da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a. ....	85
Tabela 23: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de unidades de conservação. ....	85
Tabela 24: Valor de disponibilidade superficial hídrica para as UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. ....	87
Tabela 25: Enquadramento dos corpos hídricos por unidade de planejamento. ....	89
Tabela 26: Balanço hídrico relacionado ao uso consuntivo, considerando abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação. ....	89
Tabela 27: Normalização por faixa e ranqueamento para o indicador de uso consuntivo. ....	90
Tabela 28: Classificação de situação hídrica. Fonte: Adaptado de ANA, 2016. ....	90
Tabela 29: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de escassez hídrica. ....	92
Tabela 30: Valores de vazão de retirada para abastecimento urbano na RHTA e disponibilidade hídrica superficial. ....	92
Tabela 31: Balanço hídrico para demanda de abastecimento urbano. ....	93
Tabela 32: Atribuição de notas através do ranqueamento de valores seguindo a classificação do Enquadramento dos corpos d'água, segundo o PNRH. ....	94
Tabela 33: Enquadramento dos corpos hídricos por unidade de planejamento, conforme o Plano Estratégico da bacia dos Rios Tocantins e Araguaia e indicador de Enquadramento. ....	94
Tabela 34: Vazão de retirada para dessedentação animal, Balanço de disponibilidade hídrica (considerando a disponibilidade superficial) e índice de escassez para as UP's da RHTA. ....	95
Tabela 35: Dados de insumo para concepção do indicador de Irrigação, analisados em ambiente SIG. ....	96
Tabela 36: Normalização dos valores de enquadramento dos corpos d'água, segundo a PNRH. Elaboração própria. ....	97

Tabela 37: Normalização por faixa e ranqueamento para o parâmetro “índice de escassez”.....	97
Tabela 38: Estudo de área dos estados que fazem parte da RHTA.....	99
Tabela 39: Precipitação média anual e área de drenagem por UP.....	110
Tabela 40 - Disponibilidade Superficial hídrica por unidade de planejamento. Elaboração própria. Fonte: Metadados ANA, 2016. Disponível em:	
<a href="http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home">http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home</a> .....	114
Tabela 41: Estudo de análise de largura para unidades de planejamento da RHTA. ....	115
Tabela 42: Resultados de trecho navegável e composição do indicador de navegabilidade para as UP’s da RHTA consideradas. ....	116
Tabela 43: Quantitativo total (Km <sup>2</sup> e percentual) de unidades de conservação da RHTA. ....	118
Tabela 44: Resultados para normalização e indicador de Unidades de Conservação. .	119
Tabela 45: Normalização dos valores através da padronização e resultado final para o indicador de potencial, através do ranqueamento.....	121
Tabela 46: Resultado percentual de inventário por UP da RHTA, normalização e resultado final para o indicador de inventário hidrelétrico.....	123
Tabela 47: Resultado final para o indicador de Abastecimento urbano.....	126
Tabela 48: Parâmetros para agregação e concepção do indicador de dessedentação...	128
Tabela 49: Resultado final para o indicador de dessedentação por UP da RHTA. ....	129
Tabela 50: Valores do índice de Escassez e Indicador de Enquadramento para cada UP da RHTA. ....	131
Tabela 51: Valores para o Indicador de irrigação referente às UP’s. ....	132
Tabela 52: Índice de escassez, indicador de enquadramento e resultado para o indicador de uso consuntivo. ....	134

## 1. Introdução

Gerir os recursos hídricos considerando o atendimento aos diversos usos, ou seja, uso múltiplo, é um desafio que é enfrentado desde o início da utilização das águas com vistas ao atendimento à demanda antrópica. Esta demanda, crescente, tem diminuído consideravelmente a disponibilidade dos recursos no planeta e vem aumentando as regiões no mundo que sofrem com escassez devido ao uso excessivo dos recursos hídricos (MALTA, 2006).

Desde as civilizações mais antigas até os dias atuais, os problemas enfrentados são similares. A título de exemplo, temos as grandes obras hidráulicas no Egito, realizadas no rio Nilo, para contenção de cheias e proteção das cidades que situavam-se nas proximidades de sua calha natural e irrigação de locais distantes, e na China, onde grandes cheias no rio Amarelo impulsionaram o desenvolvimento de técnicas para controle de inundações (RODRIGUES FILHO, citado por CAMPOS, 2001).

Os desafios, sempre presentes ao longo do tempo, são exemplos concretos da necessidade da gestão dos recursos hídricos para a sobrevivência, considerando ainda o uso racional da água para localidades pobres deste recurso. O domínio da água, por necessidade, se deu nos mais diversos aspectos, como irrigação, canalização, diques e esgoto. O aparecimento de conflitos, devido à esta diversidade, a gestão um desafio maior. Novos anseios sociais tornam evidente a importância socioeconômica da água, que, disputada entre os diversos setores, deve ser utilizada de maneira sustentável, considerando também as questões ambientais (COUCEIRO & HAMADA, 2011).

As características dos tomadores de decisões (o governo, os usuários da água, atores diversos); a definição dos direitos à água (ligado à terra, transferível, intransferível, quantificação absoluta ou proporcional à vazão atual); ou, ainda, a alocação inicial baseada em ordem de chegada, critérios administrativos e técnicos; são questões que podem variar ou se combinarem, dependendo do tipo de modelo de gestão de recursos hídricos a ser utilizado (STUDART *et al.*, 1997).

Dentro de um quadro de gestão integrada, procura-se a possibilidade de conciliação entre interesses e valores divergentes quanto à apropriação e ao uso dos recursos comuns, além da representatividade e distribuição igualitária das responsabilidades nos processos decisórios. Os conflitos gerados fazem ressaltar a diversidade de pontos de vista e de valores, bem como a distinção entre interesses. No caso da água, fica evidente o caráter indispensável, e a sua escassez ou deterioração é

igualmente prejudicial a todos. Desta forma, as instituições devem ser estruturadas de forma a permitir pluralidade, reconhecendo a existência dos conflitos e das oposições possíveis relacionadas a antecipações, objetivos e valores (GODART, 1997).

Com o intuito de permitir a participação direta das sociedades nas decisões e ao estabelecimento de descentralização, considerando diversos pontos de vista na gestão, os comitês de bacia, organismos colegiados que fazem parte do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos desde 1988, contribuem para que todos os setores da sociedade com interesse sobre a água na bacia tenham representação e poder de decisão sobre sua gestão (ANA, 2019).

De acordo com Malta (2006), a esses comitês são atribuídas funções de decisão sobre as medidas a serem implementadas para promoção do uso, controle e proteção da água na bacia. A participação nos processos de tomada de decisão por parte da população deve ser instituída como um processo de aprendizagem local sobre as novas formas de gestão, em que as decisões finais sejam juridicamente atribuídas ao sistema local, que no caso dos recursos hídricos, seria aos comitês de bacia hidrográfica.

Segundo Lanna (1995; citado por MALTA, 2006), para vencer a questão de gestão das águas, que é um desafio que deve ser enfrentado por todas as nações, é necessário atender aos seguintes itens:

- a) O envolvimento dos múltiplos atores nas negociações das políticas setoriais para que estas sejam formuladas em consonância com a política de recursos hídricos;
- b) Negociações com governos de outros países com que compartilham bacias hidrográficas;
- c) A intermediação e conciliação de interesses conflitantes entre os usuários dos recursos hídricos, de modo a viabilizar seu uso racional.

Para a efetiva participação na solução dos problemas atrelados à gestão de recursos hídricos, a sociedade e demais entes envolvidos precisam reivindicar maior acesso às informações e exigir a participação no gerenciamento desses recursos, por meio de pressão aos comitês instituídos. Tais informações partem de um processo de coleta e análise que, confirmada sua veracidade, servem de base para todo o planejamento e gestão. Segundo Fidalgo (2003), nesta etapa de diagnóstico, constrói-se uma ponte essencial entre as metas e objetivos do planejamento e a formulação de alternativas de ação para alcançá-los. Durante todo o processo de tomada de decisão, as informações

elaboradas nessa etapa são subsídios para a identificação de problemas, seleção de alternativas, formulação de políticas e sua implementação e, muitas vezes, avaliação dos seus resultados.

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), Lei 9.433/97, dota o Brasil de instrumentos legais e institucionais, como Agências e Comitês, para a gestão de recursos hídricos, tendo como seu principal fundamento que a água é um bem comum dotado de valor econômico. Visando atender aos seus objetivos e fundamentos, a PNRH conta com cinco instrumentos: Planos de recursos Hídricos, enquadramento dos corpos d'água em classes segundo usos preponderantes da água, outorga de direito de uso, cobrança pelo uso dos recursos hídricos e o Sistema de Informação sobre Recursos hídricos.

As Agências atuam na elaboração de planos compatíveis às bacias, sendo necessário que estejam cientes do perfil de cada comitê (representantes), atendendo assim a todos os segmentos para maior agilidade de aprovação, pois, a morosidade na aprovação dos planos dificulta todo o processo de gerenciamento da bacia, bem como a aplicação dos instrumentos, como outorga, cobrança, etc. (ANA, 2011).

Os instrumentos da PNRH asseguram o controle quantitativo e qualitativo dos usos, garantem o planejamento prévio, passível de aprovação dos comitês, além de fornecerem dados e informações para a comunidade e atores interessados. Desta forma, são os alicerces para que se desenvolva uma gestão integrada e sustentável, provendo os insumos para o planejamento e desenvolvimento dos diversos setores, contemplando todos critérios a serem avaliados para melhor atendimento de demandas ou solução de conflitos em recursos hídricos.

Esta dissertação tem como objetivo a criação de uma metodologia de apoio ao processo de decisão, baseada em indicadores, que utiliza as informações disponibilizadas pelos instrumentos da PNRH.

Os procedimentos para a formulação dos indicadores têm como insumo os dados de Planos de Recursos hídricos, que por sua vez articulam os demais instrumentos da PNRH, como é o caso do enquadramento dos corpos d'água. Além da grande base de dados do Sistema de Informação sobre Recursos hídricos, que é constantemente atualizada e fornece informações em escala Nacional.

A metodologia dos indicadores tem como objetivo diagnosticar a situação dos diversos usos nas bacias analisadas, identificando regiões prioritárias para expansão energética e usos consuntivo e não-consuntivo, além de atuais situações de escassez, conflitos e gestão deficiente.

A metodologia foi aplicada à Região Hidrográfica Tocantins Araguaia, que, por sua vez, é identificada como uma região de alto potencial para desenvolvimento no país. Além disso, a atual época de seca, devido à vazões e chuvas abaixo da média, que atinge a região desde 2015 e afeta diretamente o abastecimento e colheitas, eleva a prioridade de planejamento e gestão eficientes na região.

O Capítulo 2 deste estudo apresenta a revisão bibliográfica que aborda os conceitos necessários sobre a gestão de recursos hídricos que foram aplicados neste estudo. Contempla os princípios da Política Nacional de Recursos hídricos, além de questões sobre vulnerabilidade hídrica e planejamento ambiental.

O Capítulo 3 apresenta uma pesquisa conceitual sobre indicadores e sua utilização na gestão ambiental. Esta base conceitual matemática da pesquisa definiu as metodologias a serem utilizadas para formação e agregação dos indicadores propostos, considerando metodologias de normalização, ponderação e preferências.

A metodologia de escolha de dados e parâmetros relevantes para cada indicador, dentre a diversa gama de dados disponíveis, é apresentada no capítulo 4. Contempla as bases teóricas utilizadas para a formulação de cada indicador, bem como características distintas de cada uso dos recursos hídricos.

O Capítulo 5 apresenta a caracterização Região Hidrográfica Tocantins- Araguaia, estudo de caso desta dissertação.

Os resultados para o grupo de indicadores, calculados também por unidade de planejamento, caracterizando-as quanto aos usos preponderantes presentes, são apresentados no capítulo 6.

O capítulo 7 consta das conclusões finais de análise do escopo geral do trabalho, com uma análise da aplicabilidade dos indicadores propostos e dos resultados obtidos.



## **1.1.Objetivo Geral**

O presente trabalho propõe o desenvolvimento de um grupo de indicadores que caracterize bacias hidrográficas/unidades de planejamento hidrográfico, quanto à importância dos usos múltiplos dos recursos hídricos, de maneira a auxiliar o processo de gestão dos recursos hídricos e planejamento ambiental através do diagnóstico da situação dos usos e do potencial de crescimento e expansão destes nas bacias hidrográficas.

## **1.2.Objetivo Específico**

- Contribuir para o planejamento e gestão dos recursos hídricos e desenvolvimento sustentável de bacias hidrográficas;
- Propor indicadores que auxiliem o planejamento e gestão de bacias hidrográficas;
- Realizar a aplicação dos indicadores em um estudo de caso, demonstrando a sua aplicabilidade.

## **1.3.Justificativa**

A complexidade existente quando se deve tomar decisões, levando em consideração diversos campos ou setores que apresentam influência entre si, é presente em todos os aspectos da vida.

As diversas demandas antrópicas, quando geridas sinergicamente, proporcionam maior conforto e sustentabilidade frente aos recursos limitados. Por outro lado, o uso excessivo e desenfreado dos recursos ocasiona a diminuição e escassez dos mesmos, gerando conflitos quanto às demandas distribuídas local ou temporalmente (intergeracional). Os principais entraves a serem solucionados, em se tratando de recursos hídricos, são a distribuição deste recurso pela superfície terrestre e, devido a intensificação das atividades antrópicas, a deterioração de sua qualidade, gerando conflitos (MALTA, 2006).

O grande aumento de demanda causado pelo crescimento populacional acelerado das últimas décadas, ocasionado pelo aumento na expectativa de vida e grande desenvolvimento tecnológico dos séculos XX e XXI, é um agravante que deve ser levado em consideração na gestão, visto que o atendimento à demanda de abastecimento humano é prioritário dentre ou diversos usos e, cada vez mais, existem regiões populosas com escassez hídrica. As altas demandas consuntivas para produção de alimentos (animais, vegetais e cereais) para atender a grande densidade demográfica das grandes cidades e países desenvolvidos, são predominantes em todas as regiões com predisposição de área e clima para tais atividades (MARANHÃO, 2007).

Os recursos hídricos entram neste contexto exigindo o planejamento e gestão integrada dos diversos setores em vista da utilização sustentável e contínua da água (CAMPOS, 2011).

A gestão integrada busca, em um cenário de atores diversos, a possibilidade de conciliação entre interesses e valores divergentes quanto à apropriação e ao uso dos recursos comuns. O enfoque sinérgico no campo da política, assim como os enfoques participativos de políticas públicas, prevê que a participação dos interessados é indispensável para a implementação de políticas públicas não somente democráticas mas também sustentáveis, sendo possível minimizar práticas que alimentam o favoritismo político que transformam toda política pública em assunto privado (GUTIÉRREZ, 2006).

Para os recursos hídricos, fica evidente o caráter indispensável, pois a escassez ou deterioração é igualmente prejudicial a todos os interessados, o que denota a grande relevância da consideração o uso múltiplo da água para todo e qualquer corpo hídrico.

A Lei 9.433/97, Política Nacional de Recursos Hídricos, tem como princípios básicos a gestão participativa e previsão do uso múltiplo dos recursos hídricos. Esses princípios devem ser aplicados no país de maneira que as decisões governamentais não sejam tomadas de acordo com o interesse específico de determinados de grupos, enfrentando ainda a realidade da setorização das instituições e dificuldade de sinergia entre os projetos de diferentes áreas de estudo.

Segundo Gutierrez (2006), o comitê de bacia representa a base para o sistema integrado, sendo formado por representantes de: (1) executivos e legislativos federais, estaduais e municipais; (2) usuários da água (privados ou públicos) e (3) organizações da sociedade civil vinculadas aos recursos hídricos. Desta forma, os comitês tem poder deliberativo considerável na formulação e implementação de políticas, representando uma etapa de transição da democracia do Brasil.

Os Planos Estratégicos e Planos de Bacia, previstos pela Política Nacional de Recursos Hídricos, elaborados por Agências e passíveis de aprovação dos Comitês, apresentam o estudo para o desenvolvimento das bacias hidrográficas prevendo a gestão integrada dos usos múltiplos e atendimento aos mais diversos interesses.

Para o desenvolvimento desses planos, é necessário proceder à investigação e planificação de um conjunto de informações sobre o ambiente, diagnosticando a situação da bacia em todos os aspectos relativos ao meio ambiente e desenvolvimento sustentável, identificando demandas, características naturais, uso do solo, hidrologia local, etc. Logo, é necessário dispor de informações seguras nos campos de interesse, assim como considerar que essas informações poderão ser modificadas (PORTZ et al., 2014).

Adicionalmente, o acesso livre às informações para todos os interessados, população, usuários, órgãos responsáveis, é imprescindível para assegurar que todos consigam contribuir no processo decisório com suas demandas e opiniões, gerando assim um processo cada vez mais democrático de escolha de utilização dos recursos hídricos.

Segundo Portz (2014), no contexto de gerenciamento de informações, o desenvolvimento dos Sistemas de informação Georreferenciada (SIGs), e das geotecnologias associadas, revolucionou a área de análise espacial, sendo aplicados em diversas áreas do conhecimento, dentre elas o gerenciamento de recursos hídricos. Análises baseadas no uso de sistemas de informações geográficas, sensoriamento remoto e geoprocessamento, possuem uma vasta gama de aplicações, gerando subsídios para ações de gestão e planejamento ambiental e para diagnosticar alterações na paisagem e conflitos diversos. Na gestão ambiental, os SIGs apresentam, pelo menos, três requisitos essenciais: a eficiência (pela facilidade de acesso e manipulação de grande volume de dados), a integridade (pelo controle de acessos por múltiplos usuários) e a persistência (pela manutenção de dados por longo tempo, independentemente dos aplicativos que acessam os dados e sua possível revisão).

A quantidade de informações que são disponibilizadas ao público geral e sociedade, como requisito de integridade, apresentado por Portz (2014), além de sua veracidade e consolidação por metodologias eficientes, devem subsidiar os instrumentos da PNRH.

Dentre as metodologias utilizadas, há consenso entre especialistas, órgãos de governo e agências internacionais de que o uso de um sistema de indicadores é uma ferramenta essencial para o planejamento das políticas públicas (GUIMARÃES E JANUZZI, 2004).

A construção de um sistema de indicadores permite não só o diagnóstico da situação como também o seu acompanhamento ao longo do tempo, servindo como suporte à tomada de decisão ou como forma de avaliação de ações ou de resultados de políticas implementadas (ARRETCHE, 2001).

O objetivo deste trabalho é o desenvolver um grupo de indicadores que diagnostique a conjuntura dos diferentes usos existentes em uma bacia hidrográfica, caracterizando o potencial de expansão de cada um deles com base em um diagnóstico subsidiado por dados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos hídricos e Planos de Bacia, além de órgãos oficiais. Desta forma, auxiliar com a tomada de decisão, de forma a proporcionar um conjunto de informações, reunidas graficamente, que possibilitam a visualização expedita da situação geral da bacia de análise.

Além disso, o estudo visa identificar a potencialidade do uso do Sistema de Informações Geográficas para subsidiar a tomada de decisão e o planejamento ambiental integrado, através da utilização da base de dados do SNIRH.

## **2. Gestão de recursos hídricos**

A água está no centro do desenvolvimento econômico e social: é vital para manter a saúde, cultivar alimentos, gerar energia, administrar o meio ambiente e criar empregos. A disponibilidade e o gerenciamento da água impactam na educação da população, na condição que as cidades apresentam para uma vida saudável e no grau de segurança que o crescimento industrial e as zonas urbanas mais pobres apresentam, frente às situações de inundação ou seca (WORLD BANK, 2018).

### **2.1.Panorama Mundial**

Segundo dados do Banco Mundial (2017), atualmente, a maioria dos países está atuando no sentido de pressionar para aperfeiçoar precedentes da gestão de recursos hídricos. A população mundial cresce rapidamente e estimativas indicam que o mundo enfrentará um déficit de 40% entre a previsão da demanda e a disponibilidade de água até 2030.

O reconhecimento do papel que a escassez de água e a seca estão exercendo no agravamento da fragilidade e de conflitos de disponibilidade aumenta gradativamente.

O suprimento alimentar para 9 bilhões de pessoas até 2050 exigirá um aumento de 60% na produção agrícola (que consome 70% do recurso hídrico atualmente) e um aumento de 15% nas captações de água. Estimativas indicam que 40% da população mundial vive em áreas com escassez de água (WORLD BANK, 2018).

Até o ano de 2025, prevê-se que 1,8 bilhão de pessoas viverão em regiões ou países com absoluta escassez de água. A segurança hídrica é um dos principais desafios da atualidade.

A análise do problema, de forma global, permite observar que existe água suficiente para toda população. Porém, considerando a escala regional, percebe-se que a distribuição dos recursos hídricos é irregular, que existe uma baixa produção hídrica de alguns mananciais em períodos de estiagem e deficiência de investimentos para aproveitamento de novos mananciais, o que resulta em cenários adversos quanto à disponibilidade hídrica nas diversas regiões (ANA, 2010).

Com a eminente crise de água no mundo - processo de degradação da qualidade e a crescente demanda por diversos usos - vários países iniciaram, no século passado, discussão em torno do gerenciamento dos recursos hídricos.

Os meios para se atingir os objetivos de melhor aproveitamento e controle do uso da água contemplam, além da gestão participativa, instrumentos de gestão, como, a cobrança pelo uso da água, atribuindo-lhe valor econômico, e a adoção de bacia hidrográfica como unidade de planejamento.

No final dos anos 60, as discussões acerca do desenvolvimento tornam-se mais acaloradas com o surgimento do Clube de Roma, criado em 1968. Esse grupo, composto por 30 indivíduos de dez países, ao qual incluía cientistas, economistas, humanistas, industriais, pedagogos e funcionários públicos nacionais e internacionais, iniciou o debate sobre a crise e o futuro da humanidade.

A disseminação do debate sobre os problemas ambientais em nível global, possibilitada pelo clube, suscitou na realização da primeira conferência mundial sobre meio ambiente humano e desenvolvimento, em Estocolmo, no ano de 1972. Esta conferência, realizada pela ONU, contou com a participação de 113 países e foi o marco para a comunidade internacional iniciar esforços conjuntos para atender às necessidades de desenvolvimento considerando a importância do meio ambiente (SOUZA, 2000).

A partir da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente, em Estocolmo, 1972, diversos países começaram a buscar formas de organização institucional para tratar da gestão ambiental. Em 1973, o canadense Maurice Strong (RAYNAUT & ZANONI, 1993) utilizou o termo eco desenvolvimento na primeira reunião do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). O termo foi cunhado como uma alternativa à concepção clássica de desenvolvimento, incorporando aspectos qualitativos ao desenvolvimento.

Em 1974, Ignacy Sachs redefine o termo de Strong, aponta os caminhos para o desenvolvimento:

*“...desenvolvimento endógeno e dependente de suas próprias forças, tendo por objetivo responder à problemática da harmonização dos objetivos sociais e econômicos do desenvolvimento com uma gestão ecologicamente prudente dos recursos e do meio.”.* (Quirino, 1999; citado por TEIXEIRA, 2006)

De acordo com Redclift (1989), a crescente preocupação com os problemas ambientais nos países e a dificuldade de relacioná-los com o desenvolvimento, acarretou no criação da Comissão das Nações Unidas de Meio Ambiente e Desenvolvimento, em novembro de 1983.

A comissão, formada por 22 representantes, incluindo tanto países desenvolvidos quanto países em desenvolvimento, sob a liderança do primeiro-ministro da Noruega, Gro Harlem Brundtland, publicou seu relatório em maio de 1987.

O objetivo da comissão, de acordo com suas declarações intermediárias, foi sobre as causas, e não os efeitos, da degradação ambiental. O relatório sugere seis políticas, apresentadas abaixo, com o objetivo de possibilitar um desenvolvimento consistente com as necessidades e recursos futuros:

1. Colocar limites razoáveis no aumento populacional;
2. Segurança alimentar: sobrevivência espécies e ecossistemas;
3. Contabilizar os custos reais de uso de energia;
4. Utilização de menos recursos naturais para produzir o mesmo número de bens;
5. Conter o crescimento urbano descontrolado.

A gestão de recursos hídricos baseada no recorte territorial das bacias hidrográficas ganhou força no início dos anos 1990 quando os Princípios de Dublin foram acordados na reunião preparatória à Rio-92.

Segundo o Princípio nº 1, a gestão dos recursos hídricos deve ser integrada e considerar todos os aspectos, físicos, sociais e econômicos, para que se tenha caráter efetivo.

Sugere-se que a gestão esteja baseada nas bacias hidrográficas (WMO, 1992; citado por PORTO, 2008).

No ano de 1992, a Conferência Internacional das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável foi realizada na cidade do Rio de Janeiro, conhecida como Cúpula da Terra, ECO 92 ou RIO-92. Os principais documentos resultantes dessa conferência foram a Carta da Terra e a Agenda 21.

O II Fórum Mundial da Água, realizado em Haia, Holanda, no ano 2000, deu prosseguimento às discussões iniciadas no I Fórum, realizado no Marrocos (CAMPOS, 2001). No II Fórum, foi elaborada a Declaração Ministerial de Haia sobre a Segurança da

Água no Século XXI. A Tabela 1 apresenta eventos internacionais importantes no âmbito ambiental mundial.

No terceiro Fórum Mundial da Água, ocorrido em 2003, na cidade de Kyoto, Japão, foi concebida, pelos países participantes, uma declaração ministerial com o intuito de dar suporte aos países em desenvolvimento para alcançarem as Metas do Milênio e para garantir o desenvolvimento do IWRM - *Integrated Water Resources Management* - e planos de eficiência no uso de recursos hídricos nas bacias hidrográficas do mundo até 2005.

Tabela 1 – Eventos Internacionais ligados ao meio ambiente.

Fonte: World Sustainable Development Timeline – Asian Development Bank.

<b>ANO</b>	<b>Eventos Internacionais ligados ao Meio Ambiente</b>
<b>1968</b>	Clube de Roma
<b>1972</b>	Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente / Relatório do Clube de Roma "The limits of Growth"
<b>1979</b>	Conferência Climática Mundial conclui o Efeito estufa
<b>1980</b>	Surgimento do termo “desenvolvimento sustentável” - World Conservation Strategy
<b>1985</b>	Identificado buraco na camada de ozônio
<b>1986</b>	Conferência de Meio Ambiente e desenvolvimento em Otawa, Canadá.
<b>1987</b>	"Our common future" - Relatório de Brundtland
<b>1990</b>	Criação do Instituto Internacional para o Desenvolvimento Sustentável
<b>1992</b>	Conferência das Nações Unidas para o Meio ambiente e Desenvolvimento RIO-92 / Agenda 21, realizada no Rio de Janeiro, Brasil.
<b>1993</b>	Estabelecida a Comissão das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável
<b>1996</b>	Adoção formal da Norma ISO14001
<b>1997</b>	I Fórum mundial da Água, realizado em Marraquexe, Marrocos.
<b>2000</b>	II Fórum Mundial da Água, realizado em Haia, Holanda.
<b>2002</b>	A Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável em Joanesburgo, África do Sul
<b>2005</b>	O Protocolo de Quioto entra em vigor
<b>2012</b>	Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável - Rio+20, realizada no Rio de Janeiro, Brasil.
<b>2018</b>	8º Fórum Mundial da Água – Brasília, Brasil.



## **2.2.Gestão de Recursos Hídricos no Brasil**

De acordo com Malta (2006), a institucionalização da gestão pública das águas, no Brasil, teve início com a criação da Comissão de Estudos de Forças Hidráulicas, do Serviço Geológico e Mineralógico do Ministério da Agricultura, em 1920.

Assim teve início a formulação de normas e regulamentação da propriedade e aproveitamento dos cursos d'água em todo território brasileiro.

Em 1933, a comissão foi substituída pela Divisão de Águas que se transformou em Serviço de Águas. Em 1934, é criado o Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), composto pela Divisão de Geologia e Mineralogia e a Divisão de Águas.

A década de 30 marca no Brasil o nascimento da indústria em paralelo ao setor agroexportador, conjugado ao processo de substituição de importações dos bens de consumo não duráveis entre 1930 e 1945, e a formação do Estado Nacional. (Santos Jr.,2004; citado por GUIMARÃES, 2008). Junto com o desenvolvimento industrial veio a necessidade de preocupação com os recursos naturais.

Em 1934, com a aprovação do Decreto nº 24.643, de 10/07/34, instituiu-se o Código das Águas, que tinha como objetivo geral estabelecer regras de controle federal para o aproveitamento dos recursos hídricos, principalmente com fins de geração energética. Adicionalmente, o Código também formulava alguns princípios básicos de controle do uso dos recursos hídricos no país, como a prioridade do uso da água para as primeiras necessidades da vida e o uso múltiplo dos recursos hídricos.

A nova fase da gestão ambiental brasileira, iniciada na década de 30, revela uma nova visão para a administração dos recursos hídricos, incorporando técnicas de planejamento consideradas como instrumento de política econômica estatal (SENA, 1997; citado por MALTA, 2006).

O reconhecimento da crescente complexidade dos problemas relacionados ao uso da água no Brasil levou ao estabelecimento, em 1976, de um acordo entre o Ministério de Minas e Energia e o governo do Estado de São Paulo para a melhoria das condições sanitárias das bacias do Alto Tietê e Cubatão.

O êxito dessa experiência acarretou que fosse instituída, em 1978, a figura do Comitê Especial de Estudos Integrados de Bacias Hidrográficas (CEEIBH), e a subsequente criação de comitês executivos em bacias hidrográficas de diversas regiões, como no Paraíba do Sul, São Francisco e Ribeira de Iguape.

Com atribuições consultivas, a experiência dos comitês constituíra-se em marco importante e foi o início para a evolução futura da gestão por bacia hidrográfica (PORTO, 2008).

Entre 1987 e 1989, a Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH) produz as Cartas de Salvador em 1987 e de Foz do Iguaçu em 1989. As cartas conclamam a criação de um sistema organizado de gestão. A Carta de Foz do Iguaçu, de maneira particular, delinea os princípios básicos que deveriam ser seguidos no estabelecimento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Dentre os princípios, pode-se destacar a gestão integrada, a bacia como unidade de gestão, o reconhecimento do valor econômico da água e gestão descentralizada e participativa.

Algumas cidades das bacias dos rios Piracicaba e Capivari, em uma iniciativa pioneira, no ano de 1989, formam o Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, com o intuito de realizar a recuperação ambiental dos rios, de integração regional e de planejar o desenvolvimento da bacia.

Em 1997, o Brasil, rumo à gestão social de bacias hidrográficas, insere no arcabouço legal a Lei nº 9.433/97, Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH, dando origem ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos – SINGREH, composto por fundamentos, objetivos, diretrizes gerais de ação e instrumentos.

A PNRH apresentou, como seu objetivo inicial, disposto no art. 2º, inc. I, “assegurar à atual e às futuras gerações, a necessária disponibilidade de água em padrões de qualidade e quantidade adequados aos respectivos usos”, de acordo com os Princípios do Desenvolvimento Sustentável e da Precaução, bem como com o da equidade intergeracional, descritos no direito ambiental (CHRISTOFIDIS, 2006).

Segundo Porto (2008), o modelo de gestão organizada por bacias hidrográficas é utilizado atualmente em todo o território nacional, seja em corpos hídricos de titularidade da União ou dos Estados.

Os métodos de codificação de bacias hidrográficas destacam-se na gestão de recursos hídricos. Diversos métodos vêm sendo propostos ao longo do tempo tais como o utilizado pelo antigo Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica – DNAEE para codificar as estações fluviométricas.

Outro método de codificação que se destaca é o de Otto Pfafstetter, primeiramente proposto como forma de organizar os arquivos de projetos do Departamento Nacional de

Obras de Saneamento – DNOS. As vantagens da codificação de Otto e necessidade fez com que o CNRH estabelecesse o método (NICOLDI *et al*, 2009).

Em 2002, com objetivo de se estabelecer as bases para a implantação da recém-criada Política Nacional de Recursos Hídricos, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos, por meio da Resolução nº 30/2002, instaurou a metodologia de Otto Pfafstetter como a codificação oficial de bacias hidrográficas no Brasil (Figura 1).

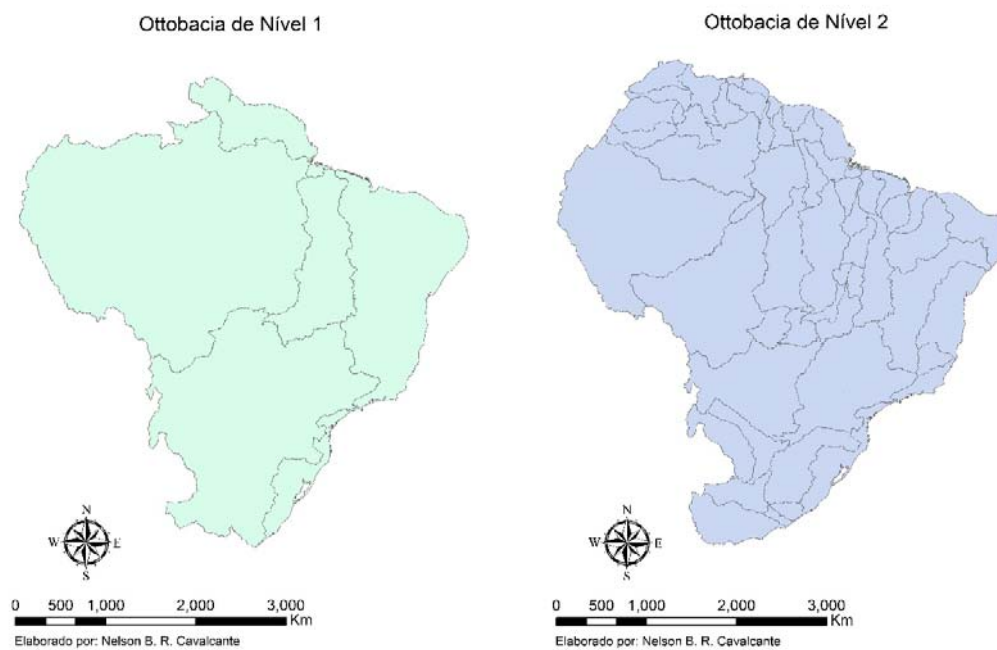


Figura 1: Codificação de bacias hidrográficas conforme o método Otto Pfafstetter. Fonte: ANA, 2018a.

### **2.2.1. Instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos**

Para assegurar disponibilidade de água e padrões de qualidade adequados aos respectivos usos para a atual e futuras gerações, é fundamental instituir instrumentos de planejamento que permitam o alcance desse e dos demais objetivos previstos na PNRH.

Definir as melhores alternativas de utilização dos recursos hídricos e orientar a tomada de decisão em decorrência da variabilidade natural do ciclo hidrológico e das incertezas quanto aos cenários de desenvolvimento socioeconômico, minimizando conflitos pelo uso da água, existentes ou potenciais, tendo em vista múltiplos interesses dos usuários da água, do poder público e da sociedade civil organizada, bem como as múltiplas metas a serem alcançadas, propiciando a prevenção e a mitigação de eventos hidrológicos críticos, como as secas ou inundações (ANA, 2013).

#### **Planos de Recursos Hídricos**

Segundo a Agência Nacional de Águas, os planos de recursos hídricos são instrumentos de planejamento que servem para orientar a sociedade e gestores públicos, considerando o uso, recuperação, conservação e desenvolvimento dos recursos hídricos. Devem ser formulados com visão de longo prazo e revisados periodicamente, visando realizar as correções e alterações necessárias buscando melhorias no aspecto de gestão de águas.

Dentre os objetivos pode-se destacar a definição uma agenda proposta a identificar ações de gestão, programas e projetos contextualizando e balizando as demandas da sociedade civil, usuários e instituições responsáveis; manter o equilíbrio entre oferta e demanda de água de modo a garantir as disponibilidades quantitativas e qualitativas e a orientação do uso quanto aos cenários de desenvolvimento, garantindo confiabilidade a todos os usuários.

Os Planos de Recursos Hídricos são elaborados em três categorias, de acordo com a Tabela 2, a seguir.

Tabela 2: Categorias para os planos de recursos hídricos. Adaptado de ANA, 2013.

<p><b>Plano Nacional de Recursos Hídricos</b></p>	<p>Abrange todo o território nacional e deve ter cunho eminentemente estratégico. Deve conter metas, diretrizes e programas gerais.</p>
<p><b>Plano Estadual (Distrital) de Recursos Hídricos</b></p>	<p>Plano estratégico de abrangência estadual, ou do Distrito Federal, com ênfase nos sistemas estaduais de gerenciamento de recursos hídricos.</p>
<p><b>Plano de Bacia Hidrográfica</b></p>	<p>Também denominado de plano diretor de recursos hídricos, é o documento programático para a bacia, contendo as diretrizes de usos dos recursos hídricos e as medidas correlatas. Em outras palavras é a agenda de recursos hídricos da bacia.</p>

O Plano de recursos hídricos é um instrumento que permite integrar e articular os demais instrumentos de política de recursos hídricos. Estabelecer ou dar as diretrizes para a definição das metas de qualidade da água (enquadramento); apontar as prioridades para outorga de direito de uso; estabelecer diretrizes e critério para a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e ser feito com base em um sistema de informações faz do plano um instrumento orientador para a gestão das águas (ANA, 2013).



Figura 2: Integração dos instrumentos da PNRH. Fonte: ANA, 2013.

## **Enquadramento dos corpos d'água**

O enquadramento dos corpos de água é um instrumento previsto na Lei das Águas, que se caracteriza pela sua função de planejamento e representa o estabelecimento da meta de qualidade da água a ser alcançada, ou mantida, em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos pretendidos.

No Brasil, esse instrumento surgiu primeiramente no estado de São Paulo, com três portarias que regularam o enquadramento desde 1955. Foi atingido nível federal com a Portaria MINTER GM-0013/76 e a Resolução CONAMA nº 020/86. Posteriormente, instrumentos legais hierarquicamente mais fortes entraram em vigor, como a Lei nº 9.433/97, que trata da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

Adicionalmente, outras legislações regulamentam o enquadramento, como a Resolução CONAMA nº 357/2005 que o descreve no art. 2º, inc. XX, como sendo o “estabelecimento da meta ou objetivo de qualidade da água (classe) a ser, obrigatoriamente, alcançado ou mantido em um segmento de corpo de água, de acordo com os usos preponderantes pretendidos, ao longo do tempo”.

O objetivo desse instrumento é garantir a qualidade das águas, compatibilizando com os usos mais exigentes a que forem destinadas. Permite estabelecer um sistema de vigilância sobre os níveis de qualidade da água de mananciais e fazer a ligação entre a gestão da qualidade e quantidade da água, o que promove e fortalece a relação entre a gestão de recursos hídricos e do Meio Ambiente.

Sua aplicação deve ser realizada conforme os fundamentos da Lei nº 9.433/97, considerando, portanto, a água como um bem público dotado de valor econômico e social que deve ser gerido de forma participativa e descentralizada (CRISTOFIDIS, 2006)

A definição de quais usos serão preponderantes na região de estudo requer a análise que deve proporcionar o uso múltiplo das águas, tais como: preservação das comunidades aquáticas, abastecimento doméstico, recreação, irrigação, dessedentação animal, navegação, produção de energia, entre outros, focando ainda, em termos qualitativos, na redução dos custos de combate à poluição das águas, mediante ações preventivas permanentes (ANA, 2013).

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei nº 9.433/97, art. 2º) apoia a manutenção da saúde e é objetiva ao afirmar que se deve “assegurar à atual e às futuras

gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”.

Em relação à qualidade de água, são definidas cinco classes distintas, de maior grau qualitativo, atendendo a mais usos, para menor (Figura 3).

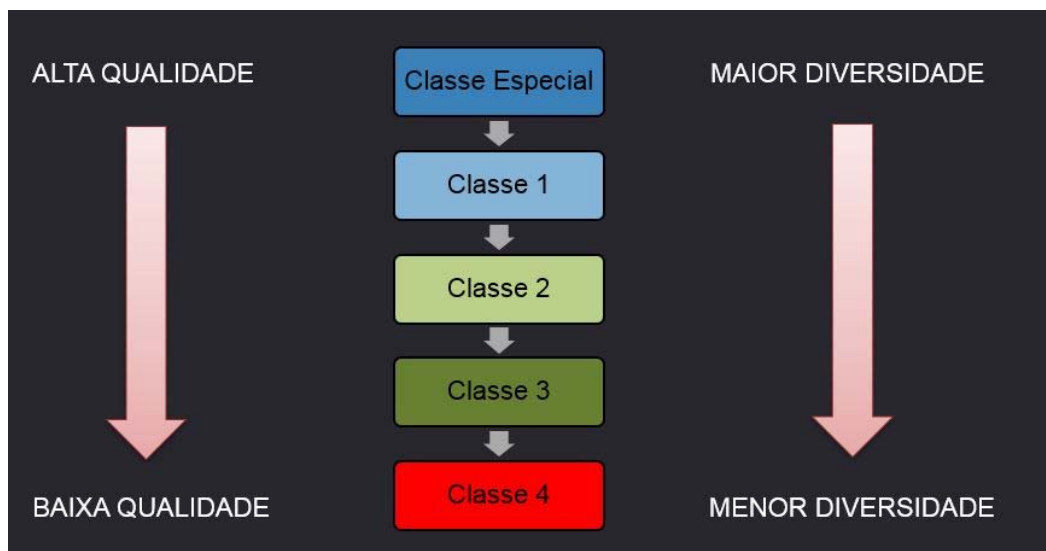


Figura 3: Classificação de enquadramento dos corpos d'água. Adaptado de Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos Hídricos do estado de São Paulo. Disponível em: <http://www.sigrh.sp.gov.br/enquadramentodoscorposdagua>

A Resolução CONAMA no 357/2005 prevê a classificação de corpos hídricos ainda com aprovação pendente ou que não apresentam dados suficientes para que seja definido o enquadramento, realidade presente nas mais diversas regiões brasileiras (ANA, 2018a; ANA, 2013).

*“...Enquanto não aprovados os respectivos enquadramentos, as águas doces serão consideradas classe 2, as salinas e salobras classe 1, exceto se as condições de qualidade atuais forem melhores, o que determinará a aplicação da classe mais rigorosa correspondente. Para fins de cobrança, outorga e licenciamento ambiental, deverão ser considerados, nos corpos d'água superficiais ainda não enquadrados, os padrões de qualidade da classe correspondente aos usos preponderantes mais restritivos existentes no respectivo corpo de água. Até que a autoridade outorgante tenha informações sobre os usos mais*

*restritivos, poderá ser adotado, para as águas superficiais, a classe 2...” (CONAMA no 357/2005 e Resolução CNRH nº 91/2008).*

O uso da água influencia diretamente a qualidade de vida da população, o que permite inferir que diferentes demandas e usos necessitam de um padrão de qualidade diferente. Os usos que são de consumo direto humano (abastecimento) e aqueles destinados a áreas de proteção integral apresentam níveis altos de exigência qualitativa, enquanto outros, como a diluição de efluentes (saneamento), são pouco exigentes.

Cada tipo de uso pressupõe uma exigência em termos qualitativos, como apresentado na (Tabela 3), identificando as classes e usos preponderantes.

Tabela 3: Classe de enquadramento dos corpos d’água segundo as categorias de uso, em águas doces. Fonte: Resolução CONAMA 357/2005.

<b>Usos das águas doces</b>	<b>Especial</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquíferas	Mandatário em UC de Proteção integral				
Proteção das comunidades aquáticas					
Recreação de contato primário					
Aquicultura					
Abastecimento para consumo humano		Após tratamento convencional ou avançado			
Recreação de contato secundário					
Pesca					
Irrigação		Hortaliças, frutas, parques, jardins e campos de esporte			
Dessedentação animal					
Navegação					
Harmonia paisagística					



## **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos**

O Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH) é um dos instrumentos de gestão previsto na Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei nº 9.433, de 08 de Janeiro de 1997.

A ANA, órgão responsável por organizar, implantar e gerir o SNIRH, o define como um amplo sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos, bem como fatores intervenientes para sua gestão.

Desta forma, tem como propósito reunir, dar consistência e divulgar os dados sobre informações qualitativa e quantitativa dos recursos hídricos no Brasil. Além de atualizar permanentemente as informações disponibilizadas, fornecendo assim subsídios para a elaboração dos planos de recursos hídricos.

A descentralização da obtenção de dados e produção de dados, coordenação unificada do sistema e acesso garantido à sociedade são os princípios especificados pela ANA para este instrumento, que, desta forma, asseguram a utilização pela comunidade científica, sociedade, usuários de recursos hídricos e entes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos hídricos (SINGREH), conselhos, órgão gestores, agências de bacias e comitê de bacias.

A atual base de dados fornecida pelo SNIRH contempla as seguintes áreas:

- Divisão hidrográfica
- quantidade e qualidade das águas
- usos de água, disponibilidade hídrica
- eventos hidrológicos críticos
- planos de recursos hídricos
- regulação e fiscalização dos recursos hídricos
- programas voltados a conservação e gestão dos recursos hídricos.

## **Outorga dos direitos de uso de recursos hídricos**

A instrução de um processo burocrático-administrativo de outorga deve caracterizar-se por um procedimento expedito, considerando o contexto de avaliação hidrológica. Desta forma, desenvolver estudos hidrológicos e técnicas que reduzam as falhas por falta de dados é a base para que este instrumento seja aplicado eficientemente. (SILVEIRA, 1998).

Segundo Lanna (2000; citado por CAMARA, 2003), outorga define-se por:

*“Instrumento discricionário que o poder público, detentor do domínio das águas, dispõe para promover o seu uso adequado sob o ponto de vista da sociedade como um todo, limitando, por um lado, os poderes deliberativos dos organismos de bacia. Por outro lado, ao fundamentar os critérios de outorga nos interesses destes mesmos organismos, permite a adoção de um instrumento de racionalização de uso da água quando outros mecanismos de indução não funcionam”.*

A outorga compõe um dos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos que faz a articulação com a gestão ambiental. Apresenta como objetivos o controle qualitativo e quantitativo dos usos da água, atuando como de maneira a controlar os direitos de acesso à água. O poder público (União, estado ou Distrito federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recursos hídricos, considerando determinado prazo e condições expressas no respectivo ato administrativo (ANA, 2011).

A outorga de uso é o principal instrumento para administração da oferta de água. Caracterizada pela tarifação do uso da água, constitui um instrumento de gestão por incentivar a adoção de medidas que compõem ao decréscimo do consumo (SILVEIRA, 1998).

Desta forma, a outorga deve ser solicitada que fazem uso ou têm planos em utilizar recursos hídricos. A exceção do pedido de outorga se encontra no uso considerado de pouca expressão, no tocante à quantidade de água demandada, o que não exime do usuário a responsabilidade de informar ao poder público, federal ou estadual, os valores utilizados.

## Cobrança pelo uso de recursos hídricos

A Constituição Federal de 1988 tornou públicas as águas e as repartiu entre a União e os Estados (art. 20, III e art. 26, I). A remuneração do uso desse bem encontra-se instituída desde o Código de Águas (Decreto Federal n.º 24.643 de 10 de julho de 1934) até a Lei 9.433/97.

A Tabela 4 apresenta os objetivos de cobrança conforme a Lei 9.433/97 e o PL 6.979/02 (PEREIRA, 2002):

Tabela 4: Objetivos da cobrança pelo uso da água – Legislação brasileira.

<b>I</b>	Reconhecer a água como bem econômico e dar ao usuário uma indicação do seu real valor	<b>Lei 9.433/97 Art. 19</b>
<b>II</b>	Incentivar a racionalização do uso da água	
<b>III</b>	Obter recursos financeiros para financiamento dos programas e intervenções dos planos de recursos hídricos	
<b>I</b>	Sinalizar para o usuário o valor econômico da água de mananciais	<b>PL 6.979/02 Art. 2</b>
<b>II</b>	Contribuir para a gestão da demanda, influenciando, tanto quanto possível, na localização espacial da atividade produtiva de uso da água	
<b>III</b>	Estimular a racionalização, conservação e recuperação dos recursos hídricos	
<b>IV</b>	Contribuir com a redistribuição dos custos sociais por meio de mecanismos de preços diferenciados	
<b>V</b>	Promover a formação de recursos financeiros para os programas, obras e outras formas de intervenção contidas no Plano de Recursos Hídricos da Bacia	
<b>VI</b>	Concorrer para a melhoria da qualidade dos efluentes descartados sobre as massas líquidas	
<b>VII</b>	Promover a incorporação no planejamento global das dimensões social e ambiental de que se reveste a questão dos recursos hídricos	

A cobrança pelo uso da água é prevista pela Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela lei n.º 9.433/97. De acordo com a ANA, os principais objetivos

deste instrumento são: obter verba para a recuperação das bacias hidrográficas brasileiras, estimular o investimento em despoluição, dar ao usuário uma sugestão do real valor da água e incentivar a utilização de tecnologias limpas e poupadoras de recursos hídricos.

Todos e quaisquer usuários que captem, lancem efluentes ou realizem usos não consuntivos diretamente em corpos de água, necessitam cumprir com o valor estabelecido.

A cobrança prevista na Lei 9.433/97 apresenta os seguintes aspectos (POMPEU, 1997; citado por PEREIRA, 2002):

- Não configura imposto, visto que, conforme Art. 16 da lei 5.172/66, destina-se a cobrir despesas feitas no interesse comum, sem ter em conta vantagens particulares;
- Não é uma taxa, visto que, conforme Art. 77 da Lei 5.172/66, não se está diante do poder de polícia – taxa de polícia – ou da utilização efetiva ou potencial do serviço público – taxa de serviço;
- Não é uma contribuição de melhoria.

O valor é definido com a participação dos usuários, da sociedade civil e do poder público, no âmbito dos Comitês de Bacia Hidrográfica, segundo a premissa do poluidor-pagador, onde, quem usa e polui mais os corpos de água, paga mais; quem usa e polui menos, paga menos.

### **2.3.Regões Hidrográficas e Unidades de Planejamento**

No Brasil a perspectiva ecossistêmica para gestão integrada do contínuo fluvial-marinho encontra grandes desafios, considerando a extensão de 8.698 km de costa (4°30' N a 33°44' S), onde ocorre um diversificado mosaico de ecossistemas com considerável diversidade socioeconômica e cultural (NICOLDI, 2009).

A evolução dos sistemas de gestão de recursos hídricos para o gerenciamento integrado de bacias hidrográficas se sobrepõe aos aspectos hidrológicos, demográficos, sociais e econômicos e compreende considerações sobre a conservação de habitats e espécies fluviais e ecossistemas adjacentes (MASSOUD *et al.*, 2004).

O novo paradigma tem como abordagem o gerenciamento integrado de uso múltiplo de recursos e setores, visando o desenvolvimento regional de maneira sustentável, reduzindo potenciais adversidades sobre as dimensões social, econômica e ecológica (NAKAMURA, 2003).

Há certamente dificuldades em se lidar com esse recorte geográfico, uma vez que os recursos hídricos exigem a gestão compartilhada com a administração pública, órgãos de saneamento, instituições ligadas à atividade agrícola, gestão ambiental, entre outros, e a cada um desses setores corresponde uma divisão administrativa certamente distinta da bacia hidrográfica (PORTO, 2008).

Segundo a Resolução nº 32/2003 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) fica instituída a Divisão Hidrográfica Nacional em 12 Regiões Hidrográficas. Essa divisão partiu da premissa de se considerar como região hidrográfica o espaço territorial brasileiro compreendido por uma bacia, grupo de bacias ou sub-bacias hidrográficas contíguas com características naturais, sociais e econômicas homogêneas ou similares, com o intuito de orientar o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos (Figura 4).

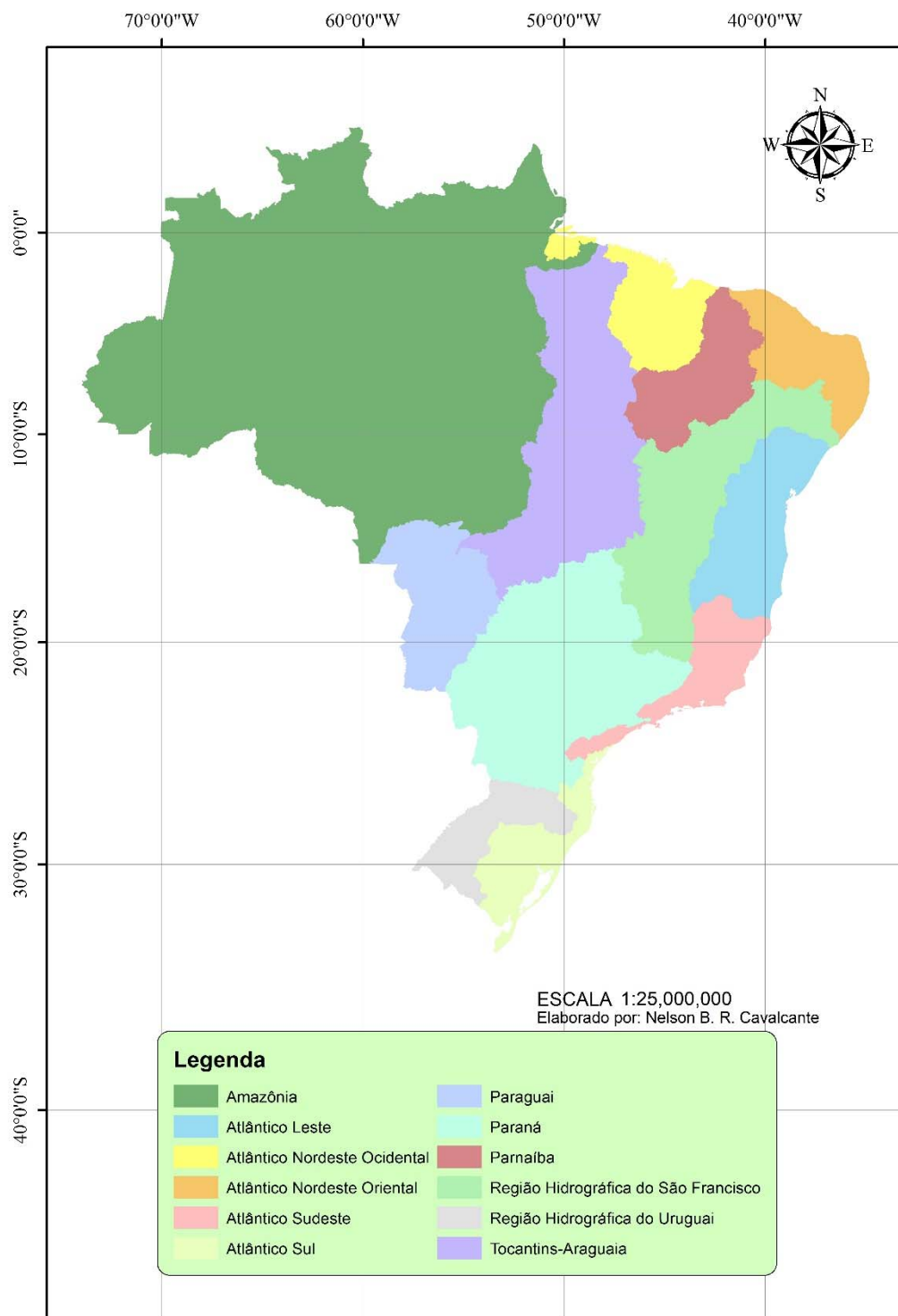


Figura 4: Regiões hidrográficas brasileiras. Fonte: ANA, 2018a.

Das doze Regiões Hidrográficas do país, nove desaguam no mar. Apesar de o país possuir uma grande rede de sistemas fluviais, existem diversos problemas relacionados aos recursos hídricos, como os impactos ambientais de grandes empreendimentos para geração de energia hidrelétrica, que constitui a base da matriz energética nacional, e o intenso processo de urbanização (NICOLDI *et al*, 2009).

Considerando a importância das regiões hidrográficas brasileiras para o planejamento e para a gestão dos recursos hídricos, existem ainda subdivisões em cada Região hidrográfica, denominadas Unidades de Planejamento Hidrográficas (Figura 5), que consistem em agrupamentos de Unidades de Planejamento Hídrico, correspondentes às unidades de planejamento hídricos estaduais (ANA, 2015).

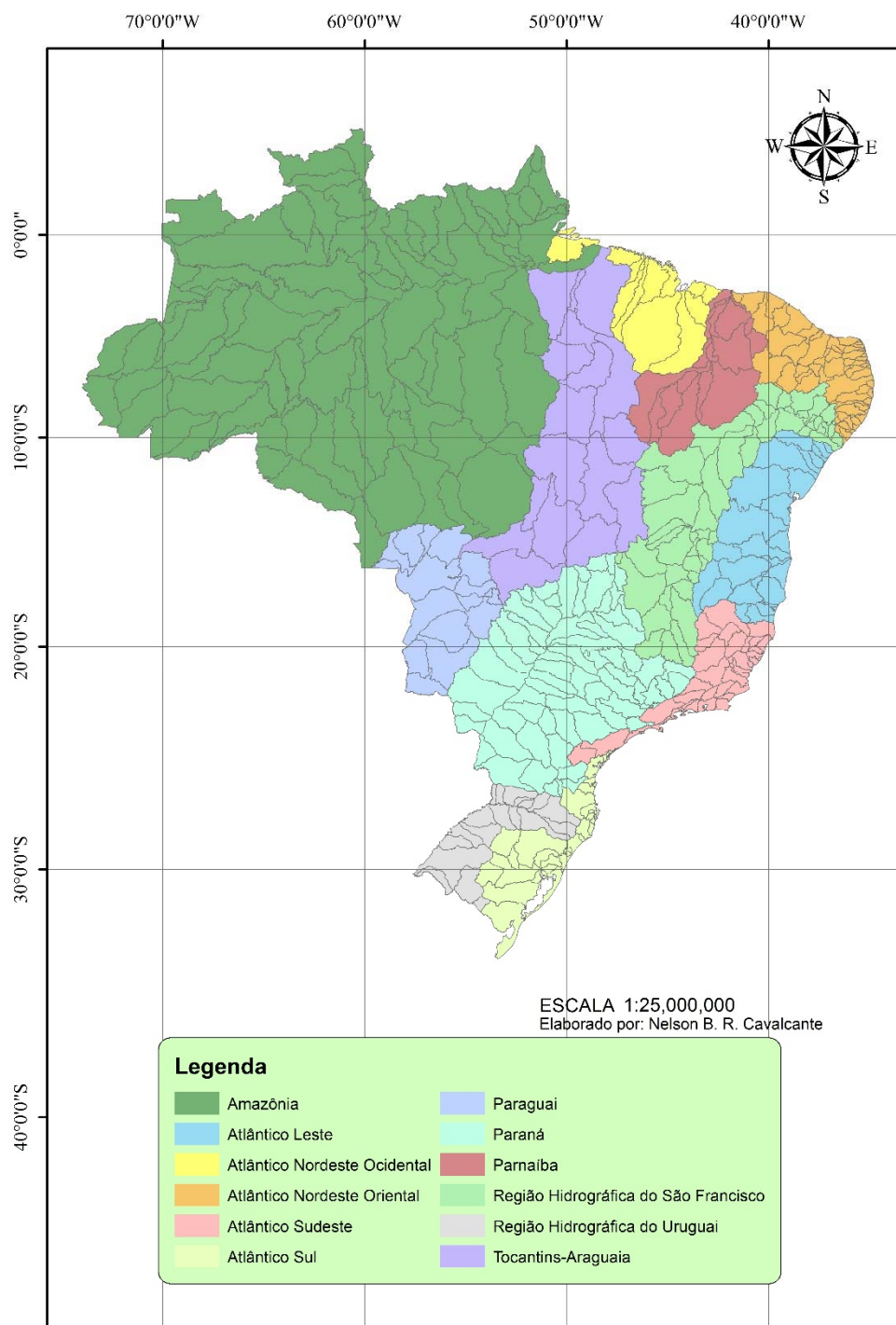


Figura 5: Regiões hidrográficas e Unidades de Planejamento, de acordo com o Plano Nacional de Recursos Hídricos. Fonte: ANA, 2018a.

## 2.4. Disponibilidade hídrica

Segundo a Constituição Federal de 1988, a água é um bem de domínio ou da União ou dos estados. A Lei nº 9.433/1997, conhecida como Lei das Águas, estabelece, em seu artigo 1º, inciso I, que a água é um bem de domínio público. Tais instrumentos legais configuram-se nos principais argumentos que sustentam a implementação da outorga de direito de uso de recursos hídricos. Isso significa que a utilização da água em qualquer processo produtivo é passível de solicitação de outorga ao poder público, tanto na esfera federal quanto estadual. Desta forma, a outorga garante o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.

A disponibilidade hídrica deve ser entendida como a quantidade de água que serve de referência para contabilização do balanço entre oferta e demanda por água, servindo como base de estudo para gestão, regulação e planejamento de recursos hídricos. Essa disponibilidade representa uma condição de oferta bruta de água (isenta de captações) sobre a qual atuará a solicitação de vazão pelos diversos usos na bacia (outorgas emitidas ou demandas calculadas), definindo a porcentagem de água ainda disponível para diferentes retiradas, bem como conflitos de disponibilidade e, ainda, rios estressados hidricamente (ANA, 2016).

Segundo a ANA (2017), em seu Relatório de Conjuntura, a disponibilidade hídrica é uma estimativa da quantidade de água ofertável aos mais diversos usos, que para fins de gestão, considera um determinado nível de garantia. Assim, a disponibilidade nos trechos de rio corresponde à vazão de estiagem  $Q$  (vazão que passa no rio em pelo menos 95% do tempo). Nos trechos sob influência de reservatórios, a disponibilidade é estimada de forma específica, tal que a jusante da barragem se adota a vazão mínima defluente do reservatório somada às contribuições de vazões  $Q$  que afluem a partir dali. Já no lago do reservatório adota-se a vazão regularizada com 95% de garantia deduzida da vazão defluente.

Os métodos utilizados para determinar a disponibilidade são diversos. Dentre os mais utilizados, estão a média mínima de sete dias com período de retorno de dez anos, vazões associadas às permanências de 95% e 90%, vazões mínimas anuais de sete dias e vazão aquática de base.

Ademais, deve-se garantir nos corpos hídricos uma quantidade mínima de água, vital para a manutenção dos ecossistemas fluviais. Esta quantidade mínima apresenta diversas denominações: vazão ecológica ou ambiental, remanescentes, vazão reduzida,



dentre outras. É definida como a quantidade de água que deve permanecer no leito dos rios para atendimento das demandas do ecossistema aquático, para preservação da flora e da fauna relacionada ao corpo hídrico, sendo imprescindível para o cálculo correto da disponibilidade hídrica de determinado corpo hídrico. (CRUZ, 2005; MEDEIROS et al., 2011; citado por VESTANA, 2012).

Além disso, é imperativa a análise do sistema de outorga a ser implantado nas bacias, processo que identifica a vazão denominada Vazão Máxima Outorgável (VMO). Esta vazão representa o limite superior de utilização de um curso d'água e é obtida através de critérios que podem ser estáticos, onde obtém-se valores fixos de vazões com base em séries históricas, e dinâmicos, que procuram otimizar o uso da água, variando a disponibilidade de acordo com a quantidade de vazão sazonal, que pode estar acima ou abaixo da vazão de referência utilizada (RIBEIRO, 2000).

A Tabela 5 apresenta a diversidade de definições para a vazão máxima outorgável (que pode ser tomada como disponibilidade hídrica) no território nacional.

Algumas destas definições adotadas estão baseadas em legislação vigente instituídas a nível estadual, sem apresentar base de referência. Esta heterogeneidade torna complexa a comunicação entre estudos de diferentes bacias, trazendo empecilhos para um gerenciamento que visa a integração das informações e unicidade na gestão de recursos hídricos.

Tabela 5: Diferentes atribuições ao valor de vazão máxima outorgável no Brasil.

Órgão gestor	Vazão máxima outorgável	Legislação referente à vazão máxima outorgável
<b>ANA</b>	70% da $Q_{95}$ podendo variar em função das peculiaridades de cada região. Até 20% para cada usuário	Não existe, em função das peculiaridades do país, podendo variar o critério
<b>Inema-BA</b>	80% da $Q_{90}$ . Até 20% para cada usuário	Decreto Estadual nº 6.296/1997
<b>SRH-CE</b>	90% da $Q_{90,reg}$	Decreto Estadual nº 23.067/1994
<b>Semarh-GO</b>	70% da $Q_{95}$	Não possui legislação específica
<b>Igam-MG</b>	30% da $Q_{7,10}$ para captações a fio d'água e em reservatórios, podem ser liberadas vazões superiores, mantendo o mínimo residual de 70% da $Q_{7,10}$ durante todo o tempo	Portarias do Igam nº 010/1998 e 007/1999
<b>Aesa-PB</b>	90% da $Q_{90,reg}$ . Em lagos territoriais, o limite outorgável é reduzido em 1/3	Decreto Estadual nº 19.260/1997
<b>Ipáguas-PR</b>	50% da $Q_{95}$	Decreto Estadual nº 4.646/2001
<b>Apac-PE</b>	Depende do risco que o requerente pode assumir	Não existe legislação específica
<b>Semar-PI</b>	80% da $Q_{95}$ (rios) e 80% da $Q_{90,reg}$ (açudes)	Não existe legislação específica
<b>Igarn-RN</b>	90% da $Q_{90,reg}$	Decreto Estadual nº 13.283/1997
<b>DAEE-SP</b>	50% da $Q_{7,10}$ por bacia. Até 20% da $Q_{7,10}$ para cada usuário	Não existe legislação específica
<b>Semarh-SE</b>	100% da $Q_{90}$ . Até 30% da $Q_{90}$ para cada usuário	Não existe legislação específica
<b>Naturatins-TO</b>	75% $Q_{90}$ por bacia. Até 25% da $Q_{90}$ para cada usuário. Para barragens de regularização, 75% da vazão de referência adotada	Decreto estadual aprovado pela Câmara de outorga do Conselho Estadual de Recursos Hídricos

Fonte: ANA, 2007.

## **2.5.Unidades de conservação ambiental**

O Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC) define e regulamenta as categorias de unidades de conservação nas instâncias federal, estadual e municipal, separando-as em dois grupos: de proteção integral, com a conservação da biodiversidade como principal objetivo, e de áreas de uso sustentável, cujos recursos naturais podem ser utilizados de forma direta e sustentável, de maneira a conserva-los (MMA-SNUC, 2000).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2000), unidades de conservação são espaços com características naturais importantes, que visam assegurar a representatividade de amostras significativas e ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território brasileiro e das águas jurisdicionais, preservando o patrimônio biológico existente e assegurado o uso sustentável dos recursos naturais, além de garantir às comunidades envolvidas o desenvolvimento de atividades econômicas sustentáveis.

De acordo com Raylands (2005), os últimos anos foram marcados por um crescimento da área de unidades de conservação, resultando em quase 1,9 milhões de km<sup>2</sup> (ANA, 2018a), destinados para a conservação da biodiversidade e preservação (Figura 6).

As unidades de conservação compreendem dois grupos, de acordo com o capítulo III, Art.7º da lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000: unidades de conservação de uso indireto (proteção integral) e de uso direto (uso sustentável).

Em seu Artigo oitavo, a lei define as seguintes categorias para Unidades de Proteção integral: Estação Ecológica, Reserva Biológica, Parque Nacional, Monumento Natural e Refúgio de Vida Silvestre (Tabela 6).

As áreas de proteção integral, segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), incluem parques nacionais, reservas biológicas, estações ecológicas, monumentos naturais e refúgios de vida silvestre.

Os parques nacionais são as maiores unidades de conservação de proteção integral, e destinam-se a fins educativos, recreativos e para pesquisas científicas (MACHADO et al., 2004).

Parques estaduais apareceram no Sul e no Sudeste do Brasil (Minas Gerais, São Paulo, Rio de Janeiro e Rio Grande do Sul), nos anos 30 e 40. Comparativamente, a primeira unidade de conservação estadual da Amazônia foi decretada somente em 1989, em Rondônia (Reserva Estadual Samuel, medida compensatória da Usina Hidrelétrica

Samuel) e no Amazonas (Parque Estadual Nhamundá) (RYLANDS, 1990; citado por RYLANDS *et al*, 2005).

As unidades de uso sustentável, apresentadas nas tabelas Tabela 6, Tabela 7 e Tabela 8 são subdivididas nas seguintes categorias, de acordo com o Art. 14 da lei 9.985: Área de Proteção Ambiental, Área de Relevante Interesse Ecológico, Floresta Nacional, Reserva Extrativista, Reserva de Fauna, Reserva de desenvolvimento Sustentável e Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN). Este grupo tem a conservação da biodiversidade em segundo plano.

As áreas de proteção ambiental (APA), que também compõe o grupo, disciplinam as atividades humanas de forma a assegurar o uso sustentável dos recursos naturais e a qualidade ambiental para as comunidades.

Existem ainda muitos tipos de áreas que pertencem ou são controladas por grupos de interesse diverso, sendo de grande contribuição ao sistema brasileiro de unidades de conservação. Dentre estas destacam-se as reservas indígenas, que estão entre as mais importantes e maiores áreas para conservação, especialmente na Amazônia. Outras áreas formalmente manejadas para a conservação, pertencem aos governos municipais, ONGs, instituições acadêmicas e setor privado.

Tabela 6: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de proteção integral. Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <https://uc.socioambiental.org/>.

<b>Proteção Integral</b>	<b>Estação Ecológica</b>	<b>Reserva Biológica</b>	<b>Parque Nacional</b>	<b>Monumento Natural</b>	<b>Refúgio da Vida Silvestre</b>
<b>Objetivos principais (além de preservação)</b>	Pesquisa	Pesquisa educação	Pesquisa e educação	Conservação cênica, pesquisa e educação	Pesquisa e educação
<b>Criação</b>	governo	governo	governo	governo	governo
<b>Posse de terras</b>	pública	pública	pública	pública e privada	pública e privada
<b>Presença de moradores</b>	-	-	-	sim	sim
<b>Mineração permitida?</b>	Não	Não	Não	Não	Não
<b>Realização de Pesquisas</b>	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor

Tabela 7: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de uso sustentável. Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <https://uc.socioambiental.org/>.

<b>Uso sustentável</b>	<b>Floresta</b>	<b>Reserva extrativista</b>	<b>Reserva de desenvolvimento sustentável</b>
<b>Objetivos principais além da conservação</b>	pesquisa e produção de madeireiros e não madeireiros de espécies nativas	proteção dos meios de vida e cultura da comunidade tradicional	proteção dos meios de vida e cultura da comunidade tradicional
<b>Processo de criação</b>	governo	comunidade	governo
<b>Posse de terras</b>	pública	pública	pública com concessão
<b>Presença de moradores</b>	sim, populações tradicionais	sim, populações tradicionais	sim, populações tradicionais
<b>Mineração permitida?</b>	-	-	-
<b>Realização de pesquisas</b>	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor

Tabela 8: Tabela comparativa entre as categorias de unidades de conservação de uso sustentável. Adaptado de ISA, 2019. Fonte: <https://uc.socioambiental.org/>.

<b>Uso Sustentável</b>	<b>Reserva de Fauna</b>	<b>Área de Relevante Interesse Ecológico</b>	<b>Área Proteção Ambiental</b>	<b>RPPN</b>
<b>Objetivos principais além da conservação</b>	pesquisas técnico-científicas sobre manejo das espécies	conservação de relevância regional, normalmente áreas com baixa ocupação humana	ordenamento territorial, normalmente áreas com ocupação humana consolidada	pesquisa, educação e ecoturismo
<b>Processo de criação</b>	governo	governo	governo	proprietário
<b>Posse de terras</b>	pública	pública e privada	pública e privada	privada
<b>Presença de moradores?</b>	sim	sim	sim	sim
<b>Mineração permitida?</b>	sim	sim	sim	-
<b>Realização de Pesquisas</b>	aprovação prévia do órgão gestor	aprovação prévia do órgão gestor	-	-

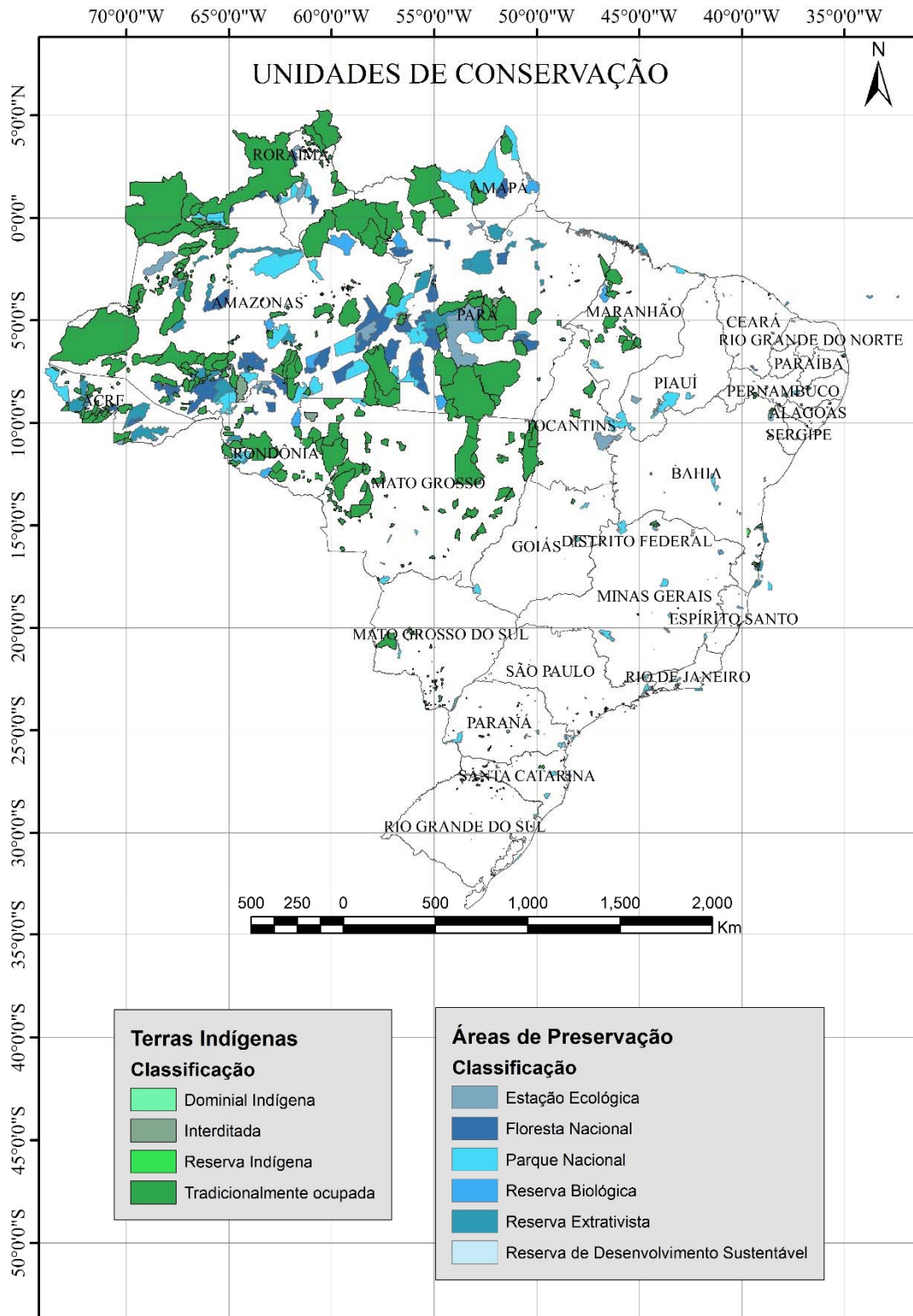


Figura 6: Unidades de conservação do território brasileiro. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

## **2.6. Uso múltiplo**

O uso múltiplo das águas é entendido como qualquer atividade humana que modifique as condições naturais das águas superficiais ou subterrâneas (ANA, 2013). Os usos podem ser classificados em consuntivo (onde existe o consumo de parte água, sem retorno corpo hídrico de origem) e não consuntivo.

Os usos consuntivos mais conhecidos são abastecimento de água para consumo humano (urbano e rural), dessedentação de animais, irrigação e uso industrial. Dentre os não consuntivos, os mais importantes são a geração hidrelétrica, a pesca/aquicultura e navegação.

A compatibilização dos usos da água deve levar em conta as peculiaridades e diferentes necessidades de cada uso.

A qualidade das águas não é relevante para determinados usos, como a navegação, quem apenas necessita de quantidades mínimas de água para sua viabilidade. Entretanto, a boa qualidade de água é essencial para o abastecimento humano e deve ser mantida para garantir o atendimento à demanda (ANA, 2017).

### **2.6.1. Panorama brasileiro**

A Lei no 9.433/97 estabeleceu, em seus princípios, o uso múltiplo da água, como um dos alicerces da Política Nacional de Recursos Hídricos, que entra como substituição para o Código de Águas de 1934.

Assim, diferentes setores usuários de recursos hídricos passam a ter igualdade de direito de acesso à água, com exceção da prioridade prevista, em caso de escassez, para o abastecimento público e para a dessedentação de animais.

Contudo, o crescimento da demanda por água tornou mais evidente uma série de conflitos de interesses entre os setores que utilizam recursos hídricos, cuja administração é um grande desafio para a gestão nacional (ANA, 2006; citado por ANA, 2013).

Os usos múltiplos e os impactos por eles produzidos são de variada dimensão e distribuição pelo país, causados devido ao crescimento urbano intenso e sem planejamento, identificado pela elevada densidade demográfica nas grandes cidades e metrópoles, e ao uso industrial e agrícola, que é expandido de maneira desenfreada, sem controle de técnicas e análise de impactos gerados (MALTA, 2006).

No Brasil, examinando a demanda pela ótica do uso, a maior parcela do consumo destina-se à agricultura irrigada, seguido do uso para abastecimento urbano, dessedentação animal e uso industrial. Na Figura 7 pode-se identificar as demandas brasileiras por uso para o ano de 2018, de acordo com o relatório de conjuntura de recursos hídricos de 2018.

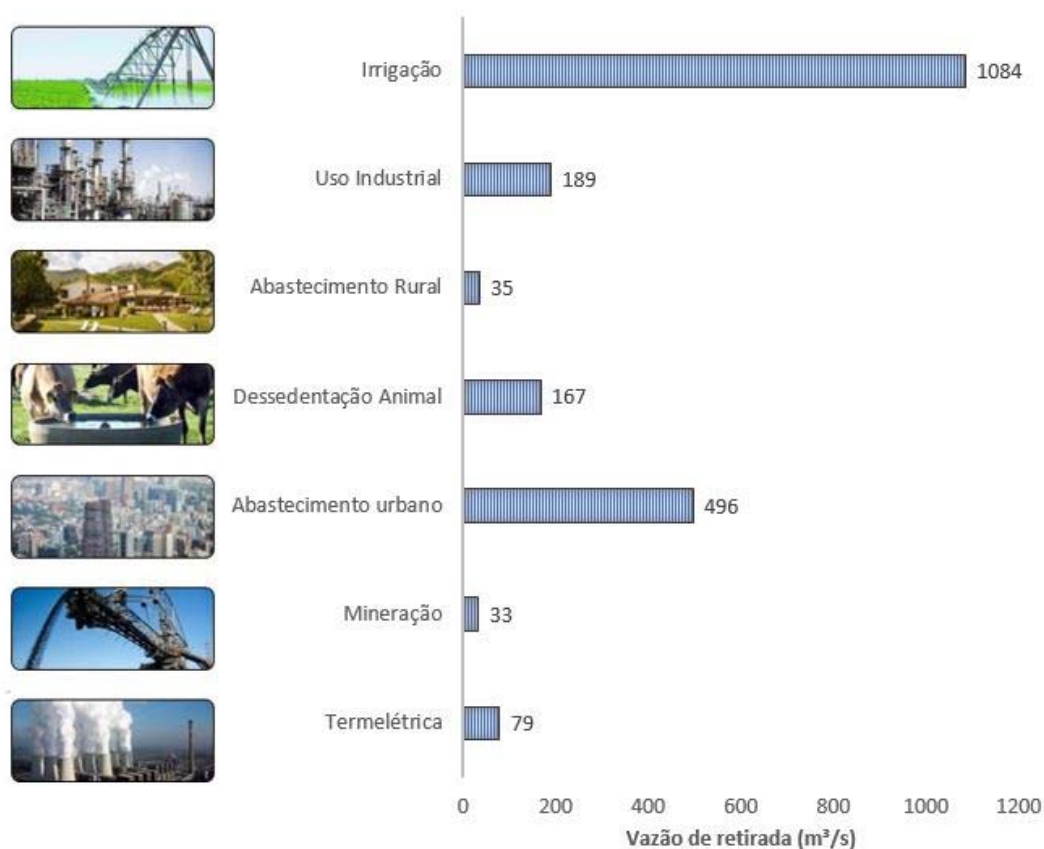


Figura 7: Vazão de retirada para os diversos usos de recursos hídricos, Brasil. Adaptado de ANA, 2018.

Segundo Kelman (1999), desde a metade do século XX, o setor elétrico decidia sobre a construção e localização dos reservatórios, bem como a sua operação.

Dentre os instrumentos criados para a implementação da PNRH, os Planos de Recursos Hídricos se constituem como ferramenta para identificar propostas para aproveitamento específico para cada região, balizando a utilização dos recursos dentre os diversos usos e demandas e diagnosticando a situação geral da região de análise, além de considerar a inclusão do debate e gestão compartilhada entre gestores e população.



Os planos devem ser definidos por bacias e consolidados ao nível dos estados e do país. Em termos de sua estrutura, compreendem a definição de objetivos, metas e ações a serem alcançados e empreendidos a curto, médio e longo prazo.

Devem, ainda, contemplar, entre outros aspectos, como alternativas de evolução e prioridades para outorga de direitos de uso dos recursos hídricos (ANA, 2005; citado por EPE, 2006).

Os Planos buscam articular os instrumentos da PNRH, sendo um documento base para as ações visando gestão compartilhada e o uso múltiplo e integrado dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos.

O caráter estratégico é conferido com intuito de minimizar e antecipar conflitos futuros, estabelecendo diretrizes para gerir a utilização da água com as demais políticas setoriais (ANA, 2006).

Segundo o Plano Nacional de Energia (EPE, 2007), a ausência do plano de recursos hídricos para uma bacia pode introduzir elementos de incerteza quanto ao aproveitamento dos usos.

Contudo, em vista da urgência que pode ter o setor energético, e o setor hidrelétrico, em particular, considerando os termos de expansão, a elaboração dos planos pode ficar em posição secundária, pois envolve múltiplas tarefas e setores para sua elaboração, perfazendo um processo caracteristicamente longo e sujeito a controvérsias em razão dos conflitos de interesses a serem conciliados.

### 3. Indicadores

Indicadores têm um papel significativo na formulação de políticas públicas, auxiliando na definição e tomada de decisão dentre as possibilidades, bem como no fornecimento de informações sobre o desempenho ambiental e empresarial. (SINGH et al., 2012).

Somente uma gestão sustentável, com monitoramento e uso consciente de recursos, pode prover qualidade de vida intergeracional.

A metodologia de indicadores e índices permite a mensuração do estado dos recursos, sendo mediadores para garantir o desenvolvimento sustentável (HÁK; JANOUSHKOVÁ; MOLDAN, 2012; citado por FEIL & SCHREIBER, 2017).

Para que tenham eficácia, os indicadores e índices devem ser formados através de modelos conceituais adequados, de maneira a evitar falsas mensurações (MAYER, 2008). Os processos de concepção, bem como os resultados finais, devem apresentar uma metodologia clara.

A sustentabilidade relaciona-se com a medida de bem-estar, com intuito de manter quantidade e qualidade de recursos entre gerações, requerendo, portanto, a integração de informações e dados de diversas áreas, monitoramento e metodologias de extrapolação que inserem, na gestão sustentável, grande complexidade (GUIMARÃES, 2008).

Um indicador é uma ferramenta que permite visão global fundamentada em elementos de natureza diversa que, por sua vez, traduzem um quadro ou aspecto, em geral complexo, de maneira clara e objetiva, para um determinado fim.

Para a gestão dos recursos hídricos, em determinada bacia, indicadores identificam o estado do meio e as transformações experimentadas, tanto por esses recursos quanto pela sua gestão, e a distância que este se encontra de uma condição de desenvolvimento sustentável (EEA, 2009).

As transformações aceleradas pelo desenvolvimento do mundo contemporâneo e incertezas e pluralidade de fatores inerentes, fazem parte do ambiente onde as sociedades encontram-se diante da necessidade de construir cenários futuros, considerando diversos horizontes de tempo, para apoiar decisões, além de estabelecer metas e preparar-se para contingências em diferentes âmbitos.

Para caracterizar a situação particular, em diversas escalas de interesse, ou, ainda, identificar o comportamento de uma variável ao longo do tempo, indicadores têm sido uma ferramenta primordial.

Tanto na avaliação de políticas públicas, como auxílio na tomada de decisão e também para facilitar a comunicação com o público-alvo, indicadores desempenham um importante papel devido ao seu caráter informativo simples e direto (MARANHÃO, 2009).

### **3.1. Indicadores como instrumento de gestão ambiental**

A Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (UNCED, 1992), salienta a necessidade de "desenvolver indicadores de desenvolvimento sustentável que sirvam de base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis e que contribuam para a sustentabilidade autorregulada dos sistemas integrados de meio ambiente e desenvolvimento".

Na busca por obter indicadores cada vez mais representativos, diversas organizações têm realizado pesquisas para oferecer melhores resultados para a sociedade.

A título de exemplo, pode-se citar a OECD - *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD, 1994, 1998); Banco Mundial (World Bank, 1997); UNEP - United Nations Environmental Programme (Bakkes et al., 1994); - CDS (Commission on Sustainable Development - CSD) da Organização das Nações Unidas - ONU (United Nations - UN) e EEA - European Environment Agency (Smeets e Weterings, 1999).

No Brasil, o IBGE iniciou publicação indicadores de desenvolvimento sustentável em 2002 (IBGE, 2015).

Na gestão ambiental os indicadores podem auxiliar para medir e calibrar o progresso em relação às metas sustentáveis. Possuem a capacidade de alertar sobre oscilações do sistema de forma que, danos mais graves podem ser prevenidos, além de funcionarem como ferramentas de comunicação de ideias, pensamentos e valores (UNCSD, 2001).

A Agenda 21 apresenta a seguinte citação sobre a importância de indicadores no processo de gestão, como instrumento:

*“Indicadores do desenvolvimento sustentável necessitam ser desenvolvidos a fim de proporcionar uma base sólida para a tomada de decisão em todos os níveis e para*

*contribuir para a sustentabilidade autorregulada do sistema integrado, meio ambiente e desenvolvimento”.*

(AGENDA 21, 2002)

Em relação à finalidade que visam monitorar, os indicadores podem ser ambientais ou de desenvolvimento sustentável. Indicadores de desenvolvimento sustentável buscam representar e mensurar a integridade dos recursos naturais, frente à programas de desenvolvimento econômico aplicado em unidades territoriais locais, regionais ou nacionais. Indicadores ambientais objetivam identificar alterações no estado do ambiente devido às atividades antrópicas (SMEETS, 1999).

De acordo com Bellen (2005), os indicadores geralmente lidam com uma amostra (manejável, tangível e reveladora de um sistema ou grupo) de informações, que constituem relevância de um quadro maior. São fundamentais para promover um modelo simples de uma medida complexa, uma ferramenta de informação de fácil compreensão.

Um indicador é algo que fornece uma representação para uma questão de maior significância ou torna perceptível uma tendência que não é facilmente ou imediatamente identificável.

A significância de um indicador se estende além do que é medido, representando um fenômeno de relevância maior. Deve fornecer informação quantitativa, de forma rapidamente compreensível, resultando da aplicação de um modelo ou conjunto de considerações que relacionam o indicador a fenômenos mais complexos (Hammond *et al.* 1995).

Os indicadores fornecem subsídios para o acompanhamento da sustentabilidade do padrão de desenvolvimento brasileiro nas dimensões ambiental, social, econômica e institucional, oferecendo um panorama abrangente de informações necessárias ao conhecimento da realidade do país, ao exercício da cidadania e ao planejamento e formulação de políticas públicas para o desenvolvimento sustentável.

Os temas são variados e a matriz de relacionamentos entre os diferentes indicadores enfatiza a natureza multidimensional do desenvolvimento sustentável, mostrando a importância de uma visão integrada (IBGE, 2015).

A simplificação de processos complexos e diversificados em medidas reduzidas e simples, independentemente da quantidade ou sofisticação, não consegue traduzir todas as questões envolvidas (AZAPAGIC, 2004). Salienta-se que sempre haverá uma margem

de perda de informação, porém, sua utilização ainda continua sendo a melhor opção para mensurar a sustentabilidade (FEIL & SCHREIBER, 2017).

De acordo com Tunstall (1992; citado por Bakkes *et al.*, 1994) são cinco as designações para elaboração de uso para indicadores:

1. Avaliar as condições ambientais e as tendências em escala nacional, regional ou global;
2. comparar países e regiões;
3. elaborar prognósticos;
4. fornecer informações preventivas;
5. avaliar as condições existentes em relação às metas estabelecidas.

Winograd (1995) e Bakkes et al. (1994) salientam que, quanto menos definidas forem as metas e objetivos, menos apropriado é o uso de indicadores compostos ou índices. Nesses casos, preferem-se dados e indicadores simples para identificar os problemas e áreas prioritárias, e estabelecida uma relação entre escala, nível de informação e uso, identificando os casos em que o uso de indicadores simples, compostos ou índices, são mais apropriados (Tabela 9).

Tabela 9: Relação entre escala, nível de informação e uso. (Adaptado de Winograd, 1995).

ESCALA	NÍVEL DE INFORMAÇÃO	USO
<b>GLOBAL</b>	Índices e indicadores compostos	Acompanhamento de temas prioritários e áreas com problemas. Negociação e definição de políticas e ações.
<b>CONTINENTAL</b>	Índices, indicadores Compostos e indicadores Simples	Identificação e acompanhamento de temas prioritários e áreas com problemas. Definição de estratégias e ações.
<b>NACIONAL</b>	Índices, indicadores Compostos e indicadores Simples	identificação e acompanhamento de áreas com problemas. Definição de Estratégias e ações. Análise de causas, defeitos e respostas potenciais.
<b>LOCAL</b>	indicadores Simples e parâmetros analisados	Identificação de temas prioritários. Análise, acompanhamento e verificação de ações e respostas.

### 3.2. Conceito

O termo indicador advém de origem latina, derivado do termo *indicare*, que denota ideia de descobrir, estimar, anunciar, apontar. A utilidade de comunicar ou informar sobre o progresso em direção a uma determinada meta, como por exemplo, o desenvolvimento sustentável, é característica de indicadores. Adicionalmente, também podem ser entendidos como recurso que deixa mais perceptível uma tendência ou fenômeno que não seja prontamente detectável (Hammond et al., 2005).

Indicador ambiental pode ser estabelecido como um único parâmetro, ou como um valor derivado de parâmetros. Fornece informações relevantes sobre variáveis definidas referentes a padrões ou tendências do estado do ambiente e a atividades humanas que afetam o meio ambiente (United States Environmental Protection Agency, 1995).

A OECD (1994, 1998, 2003) apresenta as seguintes definições para parâmetros, indicadores e índices: parâmetros são definidos como uma propriedade passível de medição e observação; o termo indicador é um valor derivado de parâmetros que aponta, fornece informações ou descreve o estado de um fenômeno, ambiente ou área, e cujo

significado excede aquele diretamente associado a ele; um índice é determinado por um conjunto de agregado de parâmetros ou indicadores relativizados por pesos.

A Figura 8 apresenta um modelo sistemático piramidal da hierarquia do processo que engloba parâmetros/dados, indicadores e indicadores compostos e índice.

O conjunto de observações, dados e conhecimentos deve ser sistematicamente ordenado e condensado. Quando agrupados, formam um sistema de indicadores que serve de base para a avaliação do estado vigente e do desenvolvimento do sistema em análise (WALZ, 2000).

A definição de indicador, apresentada por McQueen e Noak (1998; citado por BELLEN, 2005), aponta que um indicador é uma medida de comportamento do sistema em termos de atributos expressivos e perceptíveis.

O indicador também é considerado como uma variável relacionada hipoteticamente com outra variável estudada, que não pode ser diretamente observada (CHEVALIER *et al.*, 1992). Segundo Gallopin (1996; citado por BELLEN, 2005), os indicadores, em um nível mais concreto, devem ser vistos como variáveis.

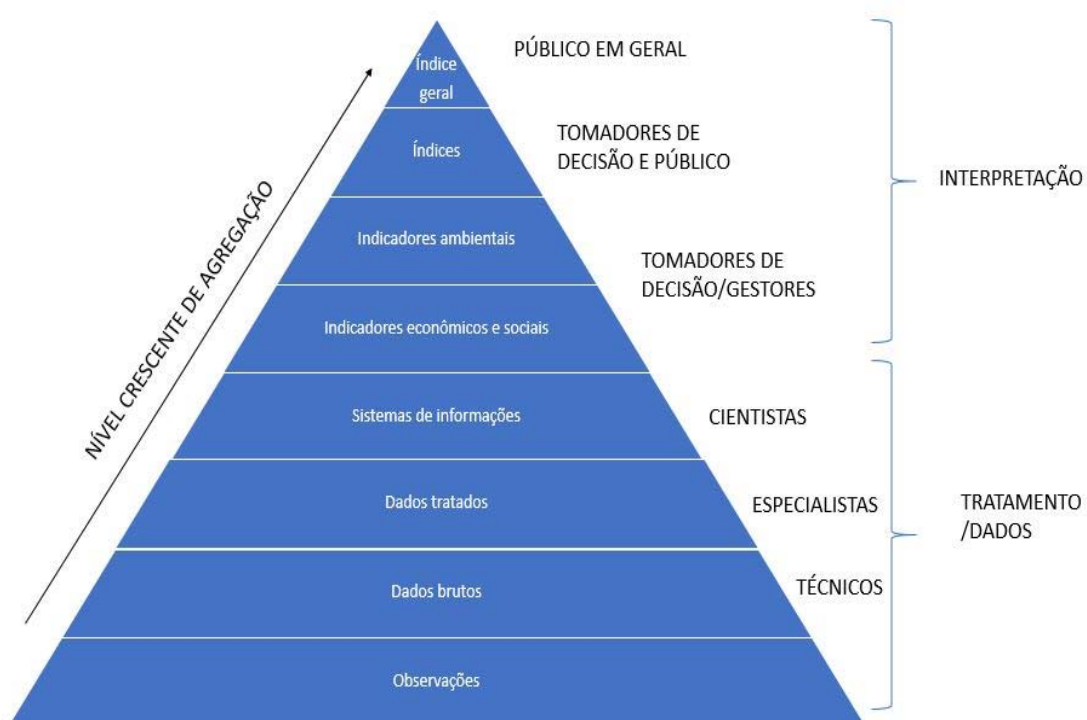


Figura 8: Modelo sistemático de construção de indicadores em formato de pirâmide. Fonte: Maranhão, 2009; adaptado de Winograd, 1995.

Como pode-se observar na Figura 8, os dados e observações (parâmetros) são primordiais e a base para todo o sistema. Possibilitam uma visão ampla a partir da

integração e ascensão na pirâmide, passando pelas fases de tratamento de dados e posterior interpretação. Tais interpretações podem variar de acordo com o tipo de informação que se deseja obter, estabelecendo para isso uma escala de importância nos dados a serem analisados, sintetizando as informações de maneira objetiva e simplificada.

Heinemann *et al.*, (1999) indica a utilização da pirâmide de indicadores ambientais para diagnóstico, excluindo a utilização e aplicação de índices. A pirâmide apresenta, no topo, um indicador global do sistema, idealmente simples, que pode ser monitorado de maneira a não onerar muito o processo.

Na tomada de decisão, os indicadores podem auxiliar a sintetizar um grande volume de informação técnica, a definir temas prioritários e medidas necessárias, a identificar problemas e áreas de ação, a fixar objetivos e metas de qualidade ambiental, e a medir e divulgar informações sobre tendências, evolução e condições do ambiente e dos recursos naturais (WINOGRAD, 1995).

Na formulação destes instrumentos de avaliação, os estudos lidam com quantidades abruptas de informação, que é posteriormente agregada para que possa ser utilizada por gestores e analistas na forma de indicadores. Estes indicadores são depois agrupados e transformados em índices cuja utilização se torna mais propícia para setores governamentais e ao público em geral (PEDRO-MONZONÍS *et al.*, 2015). Este processo é esquematizado na Figura 9.

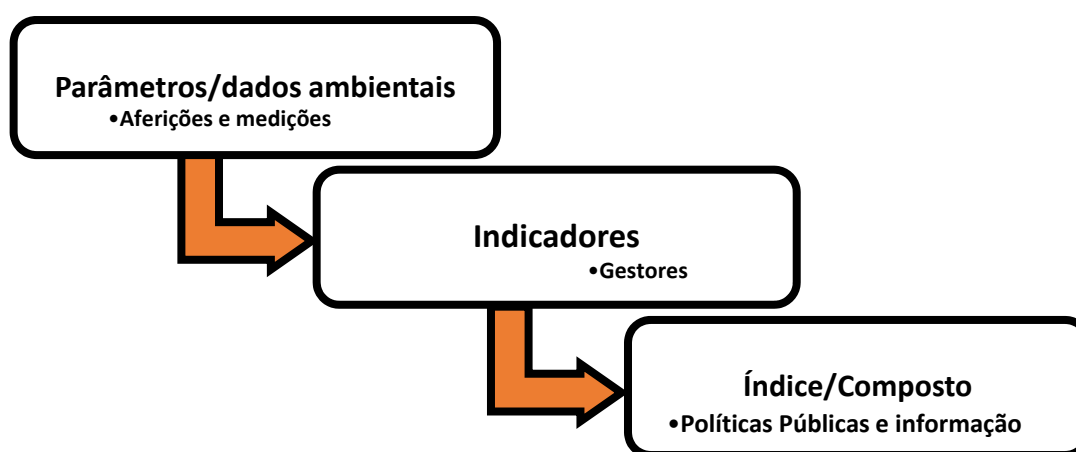


Figura 9: Agregação da informação no planejamento e gestão dos recursos hídricos (Adaptado de PEDRO-MONZONIS *et al.*, 2015).



### 3.3. Seleção de indicadores

Diversas organizações de estudo apresentam critérios para seleção de indicadores. A OECD possui uma metodologia com condicionantes básicas para a formação e seleção de indicadores, considerando três aspectos distintos: relevância política, capacidade de análise e mensurabilidade (OECD, 1998).

A Tabela 10 indica os fatores relevantes para cada aspecto supracitado.

Tabela 10: Condicionantes básicas para formação e seleção de indicadores. Fonte: Adaptado de OECD, 1998.

<b>Relevância Política</b>		Apresentar um quadro representativo das condições ambientais, das pressões sobre o ambiente ou das respostas da sociedade
		Ser simples, fácil de interpretar e capaz de mostrar tendências através do tempo
		Ser sensível a mudanças no ambiente e considerar as atividades humanas
		Proporcionar uma base para comparações internacionais
		Ter abrangência nacional ou ser aplicado regionalmente, porém com importância nacional
		Apresentar limiares ou valores de referência associados, para que o usuário possa saber a significância do seu valor
<b>Capacidade de Análise</b>		Ser teoricamente bem fundamentado em termos técnicos e científicos
		Ser baseado em padrões internacionais e consensos internacionais sobre sua validade
		Permitir seu uso em modelos econômicos, prognósticos e sistemas de informação
<b>Mensurabilidade e Parâmetros</b>		Prontamente disponíveis ou disponíveis a uma relação custo/benefício razoável
		Adequadamente documentados e de boa qualidade
		Atualizados em intervalos regulares

Uma das principais funções dos indicadores é a comunicação (Smeets e Weterings, 1999). A informação deve ser elaborada para atender o usuário e, portanto, deve ser compreendida por ele (Gouzee et al., 1995; Hammond et al., 1995; Maclaren, 1996; United Kingdom, 2001). Os critérios para a seleção de indicadores podem assumir diferentes pesos em função dos diferentes propósitos de uso (Bakkes et al., 1994), e

quando for importante a análise da evolução, os indicadores devem ter a capacidade de expressar as mudanças em uma escala de tempo compatível com os problemas (Gouzee et al., 1995; Maclaren, 1996).

Os indicadores são apenas ferramentas de análise e, muitas vezes, precisam ser complementados por informações adicionais para evitar interpretações errôneas. Em alguns casos, para compreendê-los é necessária a complementação com textos e análises (OECD, 1994; Winograd, 1995).

Há uma série de etapas envolvidas na construção de um indicador composto, cada um requer julgamentos importantes a serem feitos pelo analista. Em cada passo, estes julgamentos podem potencialmente ter um impacto substancial sobre o resultado final do indicador e, portanto, exigem uma análise cuidadosa (JACOBS *et al.*, 2004):

- Escolher as regiões a serem avaliadas – Refere-se a grande heterogeneidade que uma gama de regiões, que podem apresentar características totalmente diferentes entre si, necessitando-se, então, de um conjunto grande de indicadores que englobem mais características, permitindo a avaliação de todos os casos;
- Escolher os objetivos organizacionais a serem englobados no indicador a ser composto – Os objetivos gerais devem ser avaliados antecipadamente (tarefa majoritariamente política);
- Escolher os indicadores a serem incluídos no indicador global – Escolha restrita a disponibilidade de dados, exigindo julgamentos de grande importância em vista do objetivo a ser atingido;
- Transformar os resultados medidos em componentes singulares – Na maioria dos casos os indicadores são medidos de maneira diferente, necessitando assim de uma padronização que viabilize a formação de um indicador composto, criando-se uma base comum. Essa metodologia, denominada normalização, pode ser realizada de diferentes formas, dentre elas, pode-se citar a transformação logarítmica;
- Combinação de componentes através de metodologias de agregação ou regras de decisão – Etapa que defini a distribuição de pesos aos diferentes componentes agregados ao indicador global, elegendo preferências;
- Ajuste para influências ambientais ou outras influências incontroláveis no desempenho – Condições adversas podem acarretar dificuldades na obtenção de

resultados, necessitando de ajustes para que se leve em conta tais condições, como por exemplo, relacionar prioridades diferentes em relação ao objetivo geral;

- Análise de variação de eficiência – Etapa que permite analisar a relação entre eficiência e uso de recursos, através dos resultados obtidos para o indicador composto;
- Análise de sensibilidade - Testar a robustez do resultado do indicador composto pelas várias escolhas metodológicas de eleição de preferências e ponderação, transformação e agregação. Pode acarretar na mudança de algumas metodologias dentre as utilizadas, explorando a adoção de diferentes variáveis.

De acordo com Smith (2002), a aplicação prática de indicadores compostos é, geralmente, baseada em dados incompletos e questionáveis, e qualquer incerteza pode afastar o conceito de credibilidade dos resultados que apresenta. Ainda assim, alguns indicadores apresentam entraves quando utilizam parâmetros comparativos de unidades relevantes já existentes, como valores de média nacional.

Quando aplicados em menor escala, o modelo de comparação pode não ser eficaz devido

à falta de acesso ou existência de dados. Conforme Jacobs *et al* (2004), a tipologia dos indicadores necessários para um determinado estudo, a fiabilidade dos dados e colinearidade dos indicadores continua sendo um problema presente no processo de seleção, mas a escolha é mais frequentemente restrita à disponibilidade de dados.

Desta forma, alguns critérios se fazem importantes para que o indicador tenha uma base sólida e simplificada, tendo aplicabilidade não somente para o local onde foi desenvolvido, inculcando replicabilidade.

O desempenho de alguns indicadores criados em escala internacional, objetivando aplicação em diferentes países, por exemplo, acabam em resultados e comparações díspares devido à grande diferença entre as características de cada país (social, econômica, ambiental, saúde, etc.), favorecendo assim para a definição de pesos para dimensões prioritárias de acordo com a realidade presente.

Contudo, segundo Jacobs *et al* (2004), a questão de heterogeneidade potencial gera menos impasses quando as dimensões medidas são relativamente diretas e não se encontram sujeitas a uma grande variação de definição. Mesmo assim, muitos indicadores acabam sendo restritos a um grupo de países ou regiões, como o *Composit Leading Indicator* (CLI), que é projetado para fornecer sinais precoces de pontos de inflexão em

ciclos de negócios, mostrando a flutuação da atividade econômica em torno de seu nível de potencial de longo prazo (OECD; citado por FREUNDENBERG, 2003).

Conforme supracitado, a disponibilidade de dados pode acarretar a exclusão de indicadores importantes, devido à sua inexistência ou necessidade de metodologias de coleta onerosas. A diversidade de dados para o processo de composição aumenta as chances de disponibilidade de dados para certos parâmetros, e, da mesma forma, quanto mais abrangente for a busca de elementos, mais chances de falta de informações (JACOBS *et al*, 2004).

Desta maneira, independente dos indicadores escolhidos, é improvável que os resultados apresentem representatividade total dos aspectos a que a metodologia foi aplicada.

Escolha dos indicadores mais apropriados, segundo especialistas (BELLEN, 2005), parte de alguns critérios que devem ser considerados, em dependência da unidade territorial em análise:

- Relevância Política – Relevância para questões relacionadas a políticas públicas;
- Simplicidade – Deve fornecer informação de fácil compreensão da proposta a que se refere;
- Validade – Os dados devem ser coletados de maneira científica, possibilitando sua verificação e reprodução, refletindo a realidade dos fatos. Rigor metodológico altamente necessário para tornar as ferramentas de avaliação de sustentabilidade críveis, considerando sua utilização por especialistas e para gestão compartilhada com o público geral;
- Série temporal de dados – Importante para que possam ser observadas tendências temporais. Dados escassos ou com pequena distribuição histórica não possibilitam a visualização de tendências.
- Disponibilidade de dados de boa qualidade – A qualidade dos dados é essencial para a elaboração de indicadores com resultados representativos, podendo ser atuais ou futuros;
- Habilidade de agregar informações – Preferência para indicadores que agreguem informações de questões amplas, visto que a dimensão de indicadores de sustentabilidade é muito extensa.

- Sensitividade – Capacidade de identificar ou detectar mudanças no sistema, ou seja, determinar antecipadamente se mudanças pequenas ou grandes são relevantes para o monitoramento.
- Confiabilidade – O mesmo indicador deve alcançar resultados iguais quando aplicado por diferentes pesquisadores, com os mesmos dados.

### **3.4. Construção de indicadores**

Segundo Lähtinen *et al.*, (2014), a identificação e a seleção de indicadores de sustentabilidade podem ocorrer baseando-se em dois tipos de abordagens: *top-down* e *bottom-up*.

A abordagem *top-down* consiste na utilização de especialistas na identificação de indicadores consistentes aos objetivos previstos, em nível macro. Já a abordagem *bottom-up* consiste na identificação de indicadores por intermédio da participação sistemática das partes interessadas, em nível micro, considerando as particularidades por região (LÄHTINEN *et al.*, 2014).

Há a necessidade de uma profunda reflexão sobre a aplicabilidade de determinados processos na elaboração dos indicadores.

Destaca-se que alguns processos de elaboração não convergem, o que gera diferentes perspectivas na sua elaboração e de seus resultados (MAYER, 2008; citado por FEIL & SCHREIBER, 2017).

### **3.5. Normalização**

Indicadores são, na maioria dos casos, mensurados por diferentes unidades, intervalos e escalas (JACOBS *et al.*, 2004). A normalização se faz essencial de modo que a gama de variabilidade se torne constante antes de sua agregação (MAYER, 2008).

De acordo com Norris (2001), normalização consiste, em termos matemáticos, em um processo em que os valores estudados são relacionados a um valor de referência e convertidos em novos números dentro de uma escala única.

Os valores normalizados, resultantes desta transformação, não terão unidade ou serão apresentados em uma unidade singular.

A normalização, quando aplicada a um conjunto de dados que são incomensuráveis, traz essas unidades a uma mesma medida, tornando-as comparáveis (REISI et al., 2014; citado por FEIL & SCHREIBER, 2017).

De acordo com Freudentberg (2003), variáveis são também normalizadas no intuito de evitar falhas nos resultados devido a valores extremos. Os dados referentes a indicadores distintos são trabalhados de maneira a comporem uma base comum para que não se confundam as unidades de cada variável, formulando-se uma padronização, pois, na maioria dos casos de estudo, indicadores são mensurados em unidades distintas, o que reflete pesos diferentes para a etapa de agregação.

Por conseguinte, se faz necessário identificar procedimentos apropriados para os dados a serem trabalhados, considerando a distribuição dos valores da série de dados. Segundo Nardo (2005), o procedimento de normalização implica juízo de valores. Assim, cada metodologia pode retornar valores distintos, principalmente em processos de agregação de parâmetros e indicadores e, apesar de uma grande variabilidade de métodos, a conceptualização e metodologia de instrumentalização são exíguas (FEIL & SCHREIBER, 2017).

## **Ranking**

A metodologia de ranking simplesmente classifica e ordena cada unidade observada, para uma mesma variável particular, em atributos rotulados ordinalmente, ou seja, “primeiro”, “segundo”, “terceiro”, etc., de acordo com o valor de cada um na distribuição estudada.

A classificação é, portanto, baseada em níveis ordinais, então a principal desvantagem é a perda de informação de nível absoluto (JACOBS *et al*, 2004).

$$y_{in} = Rank(x_{in}),$$

onde  $y$  é a variável transformada de  $x$  para o indicador  $i$  para a unidade  $n$ .

O indicador composto é então criado por uma soma dos rankings ou por uma média dos rankings.

## Reescalonamento e padronização

Os métodos mais frequentemente encontrados na literatura baseiam-se nos valores reescalados ou nos valores padronizados. Um indicador composto, referente a um determinado aspecto de estudo é, na maioria das vezes, uma função ponderada linear simples de um conjunto de subindicadores normalizados e agregados através de metodologias de ponderação (SAISANA *et al*, 2005).

A seguir, na equação 2, encontram-se as formulações de normalização com utilização de desvio padrão – padronização - (Equação 2a) e com reescalonamento (Equação 2b).

$$\text{Equação 2} \rightarrow Y_c = \sum_{q=1}^Q I_{q,c} w_c \quad \text{onde,}$$

$$\text{Equação 2a} \rightarrow \left\{ I_{q,c} = \frac{x_{q,c} - \min(x_q)}{\max(x_q) - \min(x_q)} \right\}$$

$$\text{Equação 2b} \rightarrow \left\{ I_{q,c} = \frac{x_{q,c} - \text{mean}(x_q)}{\text{std}(x_q)} \right\}$$

Nas equações apresentadas,  $\text{std}(x_q)$  representa o desvio padrão da distribuição considerada,  $\text{mean}(x_q)$  representa a média e  $x_{q,c}$  representa o valor bruto do subindicador considerado.

No método de padronização, uma distribuição normal padrão é imposta a cada indicador, que terá uma média de valor zero e um desvio padrão de valor 1, sendo convertidos para uma escala comum em que se supõe uma distribuição normal.

Esta abordagem tem sido usada na construção de muitos indicadores compostos, como o indicador composto de investimento na economia baseada no conhecimento ou na capacidade de um país criar conhecimento (MULDUR, 2001; citado por SAISANA *et al*, 2005) e o índice de sustentabilidade ambiental (FÓRUM ECONÔMICO, 2002).

Valores redimensionados são criados para fornecer um intervalo idêntico e padronizado para cada indicador. O reescalonamento garante que os indicadores transformados recebam um valor relativo ao máximo e ao mínimo globais dentre os dados

de análise, e o índice redimensionado recebe um valor de 0 a 100, equação 3 (JACOBS *et al.*, 2004).

$$\text{Equação 3} \rightarrow y_{in} = \left( \frac{x_{in} - \min(x_i)}{\max(x_i) - \min(x_i)} \right) \times 100$$

### **Diferença percentual da média**

Este método considera a razão ou a distância percentual da média do total de dados da seguinte forma (Equação 4):

$$\text{Equação 4} \rightarrow y_{in} = \left( \frac{x_{in}}{\bar{x}_{in}} \right) \times 100$$

Assim, a média (ponderada ou não ponderada) recebe um valor de 100 e as unidades recebem pontuação dependendo da sua distância da média. Estatisticamente, no entanto, é menos robusto à influência de valores extremos quando comparado com outros métodos.

### **Número de indicadores acima e abaixo da média**

Este método define um limite arbitrário em torno da média e considera, então, a diferença entre o número de valores acima e abaixo da média. A principal desvantagem é a perda de informações a nível de intervalo, pois as unidades serão atribuídas como sendo acima / abaixo média, independente se apresentarem de alguma diferença entre si (Equação 5).

$$\text{Equação 5} \rightarrow y_{in} = \left( \frac{x_{in}}{\bar{x}_{in}} \right) - (1 - p)$$

onde  $p$  é um limite arbitrário em que se considera os valores acima ou abaixo da média.

Para cada indicador, pode-se, por exemplo, considerar um limite com o valor de 20% da média dos valores estudados.

O resultado representativo é obtido realizando-se a diferença entre o número de valores acima da média e os que se encontram abaixo desta.



Esta metodologia apresenta maior robustez para valores extremos do que vários outros, mas perde a diferença de valores a nível de intervalo (JACOBS *et al.*, 2004).

### 3.6. Ponderação e preferências

A ponderação enfatiza a contribuição de alguns aspectos de um conjunto de dados na geração de um resultado global, atribuindo-lhes mais (menos) peso (importância) na análise (SINGH *et al.*, 2012). Esse processo pode ser altamente subjetivo (PISSOURIOS, 2013; citado por FEIL & SCHREIBER, 2017).

Independentemente do método de ponderação a ser utilizado, o processo de ponderação dos indicadores é, essencialmente, um juízo de valores, podendo assim variar de maneira considerável, em decorrência do método selecionado (MIKULIC *et al.*, 2015). Assim, não existe uma metodologia consensual para a ponderação, mas a ponderação utilizada deve ser clara e sua robustez testada (FEIL & SCHREIBER, 2017).

Quando as variáveis são agregadas em um resultado composto, precisam ser ponderadas de alguma forma. Todas as variáveis podem receber peso igual ou podem receber pesos diferentes que refletem a prioridade, a confiabilidade ou outras características dos indicadores (FREUNDENBERG, 2003).

Diferentes abordagens para obter preferências incluem um ou vários tipos de votação, simples pontuação e escalonamento, entre outros, bem como métodos como o processo de hierarquia analítica (AHP) e análise conjunta, cada um apresentando suas vantagens e desvantagens características (MULLEN e SPURGEON, 2000; citado por JACOBS *et al.*, 2004).

A equação 6, a seguir, apresenta a relação entre pesos e a estrutura geral dos indicadores em um resultado global.

$$\text{Equação 6} \rightarrow C = \sum_{i=1}^n w_i x_i$$

onde  $n$  é o número de indicadores,  $w_i$  é o peso atribuído a cada indicador e  $x_i$  é o valor de cada indicador.

Segundo Saisana (2011), os indicadores que são agregados devem ser ponderados mediante pesos iguais ou diferentes, seguindo uma classificação de 3 categorias:

- 1) Peso iguais;
- 2) Base em opiniões – Opinião pública, Alocação orçamentária, *Analytic Hierarchy Process* (AHP);
- 3) Base em modelos estatísticos – *Factor Analysis* (FA); *Principal Component Analysis* (PCA) e *Data Envelopment Analysis* (DEA).

A ponderação com pesos iguais, item 1, é mais utilizado devido a sua simplicidade (HUANG; LEE, 2007), equivalendo a uma mesma importância de cada indicador para a sustentabilidade (REISI et al., 2014). Os pesos iguais são atribuídos a indicadores quando não há motivos estatísticos ou empíricos para a escolha de outra metodologia de ponderação (JABOBS et al, 2004).

Na ponderação com base em opiniões, a informação sobre a importância atribuída a cada indicador é extraída dos julgamentos subjetivos e, devido a isso, os modelos estatísticos são mais apropriados para a composição de um indicador global (MIKULIC et al., 2015; citado por FEIL & SCHREIBER, 2017). O método de ponderação AHP tem como base opiniões sistematicamente extraídas por meio de comparações de pares. Os aspectos qualitativos e quantitativos de um problema são incorporados no processo de avaliação realizado entre pares de indicadores, solicitando que os especialistas identifiquem qual é mais importante (SAATY, 1987).

Na metodologia DEA os pesos são determinados a partir da determinação de distâncias, obtidas através da determinação de uma fronteira de eficiência composta por um algoritmo em programação linear. (NARDO et al., 2005). O DEA permite que cada unidade de tomada de decisão atribua pesos elevados para fatores que são eficientes e baixos aos demais, classificando assim a unidade de tomada de decisão em dois grupos denominados eficaz e ineficaz (REISI et al., 2014).

Através do agrupamento de indicadores, os métodos FA e PCA utilizam a correlação entre os dados, com a capacidade de capturar o máximo de informação e agrupar os que compartilham uma variância em comum (REISI et al., 2014). No processo de ponderação, estes métodos apenas intervêm na correção das informações de indicadores correlacionados, não determinando assim uma medida de importância (NARDO et al., 2005).

De acordo com Smith (2002), metodologias como PCA (Análise do componente Principal) e FA (Análise de fatores) são essencialmente técnicas estatísticas utilizadas para obter pesos entre subindicadores.

Pode-se, contudo, ponderar a partir de preferências obtidas através de pesquisas individuais, distribuindo os pesos a partir da opinião formulada pelo público e especialistas, por exemplo. Pesos utilizados a partir de pesquisa refletem grande diversidade de preferências entre formuladores de políticas e o público em geral. Este último, tem suas preferências com pouca consideração quando no processo de tomada de decisão de políticas públicas.

Destarte, percebe-se que a utilização de métodos estatísticos pode realizar a análise mútua dos indicadores de diferentes formas e com base multivariada. Contudo, pode não ser corretamente representativo, ou seja, corresponder às ligações reais entre os indicadores, quando se é considerado apenas o nível de significância encontrado no resultado (FREUDENBERG, 2003).

### 3.7. Indicadores de vulnerabilidade hídrica

Diversos índices e indicadores têm sido desenvolvidos para avaliar quantitativamente a vulnerabilidade dos recursos hídricos (PEDRO-MONZONÍS *et al.*, 2015). Embora a generalidade dos indicadores e índices de escassez estabeleça uma comparação das necessidades face às disponibilidades existentes numa dada região, a diferença entre eles encontra-se essencialmente na forma como materializam essa comparação para estabelecer uma avaliação quantitativa, relativamente às disponibilidades existentes e aos volumes de água utilizados (EEA, 2009).

#### Indicador de Falkenmark (Water Stress Index-WSI)

Mallin Falkenmark, foi pioneiro na avaliação do estresse hídrico, no ano de 1989 (Falkenmark, 1989). Sua pesquisa resultou na criação do Falkenmark ou *Water Stress Index*. Este indicador utiliza os dados de população (número de habitantes) e a disponibilidade de recursos hídricos (desconsiderando a distribuição espacial e temporal), relacionando-os (WSM, 2004; citado por PEREIRA, 2017), de acordo com o apresentado na Equação 1, a seguir.

$$Fl(m^3/hab.) = \frac{\text{recursos hídricos disponíveis (anuais)}}{\text{número de habitantes}} \quad (\text{Equação 1})$$

O critério utilizado por Falkenmark utilizou uma normalização por faixa de valores, separados em três intervalos distintos os valores quantificados pela Equação 1, de acordo com a Tabela 11. Os intervalos foram atribuídos a quatro categorias: sem stress hídrico; com stress hídrico; com escassez; com escassez absoluta.

Entende-se por estresse hídrico a existência de desequilíbrios temporários entre disponibilidades e demandas para os diferentes usos, ou por alterações na água em termos qualitativos, gerando conflitos na utilização e constituindo um aviso de situações de escassez (VIVAS, 2011).

Tabela 11: Intervalo de valores, proposto por Falkenmark, 1989, para o indicador de escassez (WSI). Adaptado Pereira, 2017.

<b>FI(m<sup>3</sup>/hab.)</b>	<b>Estresse hídrico</b>
<b>&gt; 1700</b>	Sem estresse hídrico
<b>1000 &lt; FI &lt; 1700</b>	Com estresse hídrico
<b>500 &lt; FI &lt; 1000</b>	Com escassez
<b>&lt; 500</b>	Com escassez absoluta

### **Water Exploitation Index (WEI)**

Partindo inicialmente dos estudos de Shiklomanov, no ano de 1991, a concepção deste índice partiu da premissa de que a avaliação das disponibilidades não deveria ser feita por quantitativo *per capita* das disponibilidades anuais médias, mas sim por comparação com as necessidades reais existentes no país ou região de estudo – agricultura, indústria e abastecimento doméstico (VIVAS, 2011).

O índice demonstra em que medida os usos, e suas respectivas demandas totais, impõem pressões sobre os recursos hídricos disponíveis, possibilitando uma comparação entre os países considerando uma maior gama de usos (Vivas & Maia, 2008; citado por PEREIRA, 2017). Os resultados são obtidos anualmente, considerando a razão entre os totais anuais captados se a soma das disponibilidades hídricas renováveis (durante um longo período e para uma área específica) (EEA, 2013; citado por PEREIRA, 2017).

A classificação dos valores do WEI segue a definição de três categorias percentuais, correspondentes a três níveis de estresse hídrico (Tabela 12).

Tabela 12: Intervalo de valores para o Water Exploitation Index. Adaptado de Pereira, 2017. Fonte: EEA, 2013.

<b>WEI (%)</b>	<b>NÍVEL DE ESTRESSE HÍDRICO</b>
<b>0 – 20</b>	Sem estresse
<b>21 - 40</b>	Estresse hídrico
<b>&gt; 40</b>	Estresse hídrico extremo

## Water Resources Vulnerability Index (WRVI)

Este índice prioriza a captação de água, deixando os valores de necessidades de recursos (demanda) em segundo plano, visto que a avaliação das necessidades dos diferentes setores é bastante subjetiva, comparativamente (Raskin *j.*, 1997; citado por VIVAS, 2011). É obtido a partir da comparação relativa do volume total anual das captações existentes para os mais diferentes com as disponibilidades anuais existentes (Rijsberman, 2006; citado por VIVAS, 2011). Os intervalos deste índice adotam valores que identificam escassez a partir da relação percentual entre as utilizações e a disponibilidade hídrica (Tabela 13).

Tabela 13: Intervalo de valores para o Water Resources Vulnerability Index (WRVI). Elaboração própria. Adaptado de Vivas, 2011.

WRVI	NÍVEL DE ESCASSEZ
20 % - 40 %	Escassez
> 40%	Escassez severa

## Criticality Ratio (CR)

O índice CR advém da aplicação do modelo de simulação global Water Gap @.0, que contém em sua base de dados a disponibilidade hídrica global. Desta forma, utiliza o estudo de evolução das utilizações de água realizando uma projeção com resultados futuros, como o feito por Alcamo Heinrichs & Rosch em 2000, para o ano de 2015 (VIVAS, 2011).

A criação do índice objetivou aferir a escassez, ou nível de estresse hídrico de um país ou região, considerando quantitativos de captação de água - semelhante ao WRVI supracitado – e relacionando ao total de recursos renováveis disponíveis (PEREIRA, 2017). De forma mais abrangente, o CR permite análises através de dados populacionais, rendimento per capita, desenvolvimento tecnológico e dados climatológicos; segue a mesma faixa limítrofe do índice WRVI para definição do nível de escassez, conforme Tabela 14 (RIJSBERMAN, 2006).

Tabela 14: Intervalo de valores para o Criticality Ratio (CR). Elaboração própria. Fonte: Rijsberman, 2006.

CR	NÍVEL DE ESCASSEZ
20 % - 40 %	Escassez
> 40%	Escassez severa

### Índices da Agência Nacional de Águas

Segundo o estudo realizado pela ANA (2005) para diagnosticar a atual situação hídrica brasileira nas diferentes unidades de planejamento brasileiras, o balanço entre disponibilidade e demandas de recursos hídricos pode ser analisado de três formas diferentes:

- (1) Utilizada para expressar a disponibilidade de recursos hídricos em grandes áreas, a vazão média por habitante é expressa pelo quociente entre a vazão média e a população (m<sup>3</sup>/hab./ano). Este indicador não reflete a real disponibilidade hídrica, uma vez que a vazão média não está disponível em todas as circunstâncias. A classificação adotada é adaptada de publicações das Nações Unidas para traçar o quadro mundial (UNESCO 2003; ALCAMO *et al.*, 2000):
  - Situação de escassez - Vazão < 500 m<sup>3</sup>/hab./ano;
  - Situação de estresse - 500 a 1.700 m<sup>3</sup>/hab./ano;
  - Situação confortável - 1.700 m<sup>3</sup>/hab./ano.
  
- (2) A *European Environment Agency* utiliza um índice designado por *Water Exploitation Index*. Contudo, segundo Vivas (2011), este índice é similar aos *Water Resources Vulnerability Index* e ao *Criticality Ratio*. Resulta do quociente entre a retirada total anual e a vazão média de longo período. Desta forma, pode-se analisar o balanço entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a vazão média. O valor adimensional obtido é tomado como índice de escassez e adota a seguinte classificação (ANA, 2005):

- < 5% - Situação excelente. Pouca ou nenhuma atividade de gerenciamento é necessária.
- 5 a 10% - Situação confortável. Possibilidade de gerenciamento para solução de problemas locais de abastecimento;
- 10 a 20% - Situação preocupante. Gerenciamento obrigatório.
- 20% a 40% - Situação crítica, exigindo intensa atividade de gerenciamento e investimentos massivos;
- > 40% - Situação é muito crítica.

(3) A razão entre a vazão de retirada para os usos consuntivos e a disponibilidade hídrica - considerando as excepcionalidades dos casos de rios com e sem cascata de barramento - é um indicador que reflete a conjuntura real de aproveitamento dos recursos hídricos. A definição de faixas de classificação deste índice teve como base as adotadas pelo *Water Exploitation Index*. Esta classificação é, de acordo com ANA (2005), adequada para o caso brasileiro.

A demanda de água corresponde à estimativa da vazão de retirada, ou seja, à água captada destinada a atender os diversos usos consuntivos. Considera-se ainda que parte da água captada é devolvida ao ambiente, sendo identificada como vazão de retorno. Esta vazão é obtida através da utilização de coeficientes respectivos a cada uso. A água não devolvida, ou vazão de consumo, é obtida através da diferença entre a vazão de retirada e a vazão de retorno (ANA, 2018).



## 4. Metodologia

Os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos com o objetivo de gerar, através dos dados georreferenciados disponibilizados pela ANA e MMA e da elaboração de mapas (Figura 10), um conjunto de indicadores temáticos que permitem caracterização das unidades de planejamento de acordo com os diversos usos presentes RHTA, com caráter informativo e com fins ao apoio na tomada de decisões para planejamento do uso múltiplo das águas.

Desta forma, foram propostos e desenvolvidos os seguintes indicadores:

- Indicador de navegabilidade, fornecendo a parcela navegável dos corpos hídricos presentes em cada UP;
- Indicador de Unidades de Conservação, identificando o quantitativo de áreas de conservação ambiental (Área de Preservação Ambiental e terras indígenas) presentes nas UP's;
- Indicador de Abastecimento Urbano, informando o nível de estresse hídrico em relação ao atendimento da demanda urbana por abastecimento;
- Indicador de irrigação, identificando o nível de estresse hídrico em relação à demanda por irrigação;
- Indicador de dessedentação, destacando o nível de estresse hídrico correspondente à demanda por dessedentação de animais;
- Indicadores de inventário e potencial hidrelétrico, que apresentam o levantamento da atual situação de inventário hidrelétrico e do potencial ainda a ser aproveitado em cada UP, respectivamente.

### 4.1. Etapas de geoprocessamento

Os dados e materiais utilizados para este trabalho são apresentados nos itens subsequentes:

- Dados georreferenciados
  - Demandas consuntivas: A base de referência adotada aqui foi a base multiescala BHO2013 que reúne trechos de hidrografia provenientes da cartografia digital da hidrografia do país em diferentes escalas sendo parte

da bacia do Doce e parte do Alto Tietê (Piracicaba, Capivarí, Jundiá) na escala 1:50.000, as bacias receptoras do PISF e outra parte da bacia do Doce em 1:100.000, bacia do Paraíba do Sul e bacia do Taquari (MS) em 1:250.000 e as demais bacias na escala do milionésimo. A hidrografia é unifilar, topologicamente consistida e ottocodificada. Sistema de referência geográfica *datum* SAD 69.

- Unidades de conservação: Unidades de Conservação (UC) do Brasil, que finalizaram o processo de cadastramento no CNUC (Cadastro Nacional de Unidades de Conservação), estando assim de acordo com a legislação do SNUC (lei nº 9.985/2000). Sistema de referência geográfica *datum* SAD 69.
- Navegação: Imagens dos satélites LandsAT - GeoCover 2000 e CBERS-2 entre 2003 e 2006. Sistema de referência geográfica *datum* SAD 69
- Potencial e inventário hidrelétricos: Dados disponibilizados pela ANEEL (2018), por meio do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL). Sistema de referência SIRGAS 2000 (EPSG:4674)

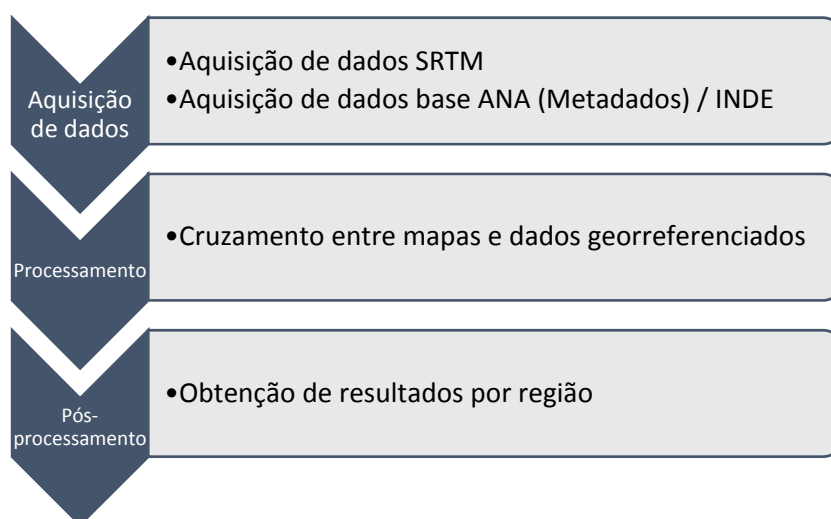


Figura 10: Procedimento metodológico de análise de dados e obtenção de resultados, em ambiente SIG.

Aquisição de dados: esta etapa consiste no processo de levantamento de dados em documentos de órgãos oficiais, artigos científicos, base de dados ANA, base de dados INDE (Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais), base de dados INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

Processamento: tem como função o uso de técnicas capazes de identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para o intérprete, a partir da grande quantidade de dados contidos na imagem (RANGEL, 2000). O processamento é iniciado com a conversão dos dados obtidos da etapa anterior para formato de leitura em ambiente SIG (Sistema de Informação Georreferenciada).

Pós-processamento: neste caso os respectivos resultados do processamento são convertidos para o um formato de leitura no SIG e exportados em formato para leitura em ambiente Office (formato de texto “txt” ou de tabela “xls”).

## **4.2. Formulação de indicadores**

Este capítulo apresenta a metodologia de cada indicador desenvolvido, separadamente, desde os dados base utilizados, procedimentos de análise e tratamento, até os processos de normalização e agregação para a construção dos indicadores como resultado final.

### **4.2.1. Indicador de Navegabilidade**

Para o indicador de navegabilidade propôs-se considerar as características físicas que cada sub-bacia, que possibilitariam, naturalmente, o tráfego de embarcações-tipo. De acordo com Paolo Alfredini e Emilia Arasaki (2014), as dimensões físicas relevantes para a navegação em hidrovias são quatro:

- 1) Raio de curvatura - valor mínimo estabelecido para que não ocorra restrição de velocidade para embarcações em curvas. Esta medida é definida de acordo com o comprimento da embarcação-tipo analisada.
- 2) Profundidade – a profundidade deve corresponder ao calado da embarcação-tipo, acrescido de uma folga. Contudo, a utilização do valor

mínimo de folga, que se encontra entre os valores de 0,3 a 0,5 metros, somente deve ser atribuída para trechos restritos de projeto (assoreamentos ou seções confinadas), visando à segurança da embarcação, além de garantir um rendimento propulsivo eficiente.

- 3) Largura – a medida de largura mínima do corpo hídrico, que viabiliza a navegação, é obtida através com a boca da embarcação-tipo analisada, considerando a existência ou não de cruzamento entre embarcações no trecho. Desta forma, para garantir o cruzamento entre embarcações, considerando trecho retilíneo, adota-se um multiplicador de 4,4 vezes a boca da embarcação. O multiplicador tem o valor de 2,2 para trechos retilíneos onde não há cruzamento.
- 4) Área da seção molhada – esta medida relaciona-se, principalmente, com o rendimento propulsivo da embarcação-tipo. É recomendado que a área hidráulica do trecho tenha um valor 10 vezes maior que a área da seção-mestra da embarcação-tipo. Para trechos restritos pode-se considerar um multiplicador com valores de 5 a 6 vezes.

A disponibilização de imagens georreferenciadas, através do mapeamento por satélite, realizado pela FUNCEME em conjunto com a ANA, permitiu, com o auxílio de softwares, a retirada de medidas de largura do espelho d'água dos corpos hídricos do território nacional. Com um valor restrito de precisão de aproximadamente 20 hectares, o projeto teve como resultado mais de 23 mil corpos d'água mapeados e possibilitou as medições utilizadas como insumo na presente dissertação (MIN, 2008).

Desta forma, o acesso ao mapa de massa d'água (espelhos d'água) limita a composição deste indicador apenas à medida de largura, uma das quatro dimensões relevantes supracitadas.

No presente estudo, o indicador foi denominado “indicador de navegabilidade”.

A normalização partiu da análise acerca da predisposição natural do rio à navegação, determinada a partir da porcentagem navegável que o trecho estudado apresenta. Optou-se pelo método de normalização por faixas, juntamente com a metodologia de ranking, onde foi atribuída uma nota a cada parâmetro formador do indicador, no valor de 1 a 5.

Para classificação da navegabilidade adotou-se a seguinte associação, identificada na Tabela 15.

O trecho navegável foi determinado a partir da largura mínima, de acordo com o item 3, apresentado neste subcapítulo, levando em consideração a embarcação tipo que a hidrovia Tocantins-Araguaia comporta de acordo com o DNIT (2018) - Comboio com 108 metros de comprimento, com 16 metros de boca e calado de 1,5.

$$\text{Trecho sem cruzamento} \rightarrow L_{\text{mín}} = 2,2 \times (\text{boca da embarcação} - \text{tipo})$$

$$\text{Trecho com cruzamento} \rightarrow L_{\text{mín}} = 4,4 \times (\text{boca da embarcação} - \text{tipo})$$

Tabela 15: Normalização para o indicador de navegabilidade.

Normalização da Navegabilidade - Largura		
Faixa	Ranking	Quantidade de trecho navegável na bacia
< 20%	1	Muito baixa
< 40%	2	Baixa
< 60 %	3	Mediana
< 80 %	4	Alta
< 100%	5	Altíssima

A escolha dos corpos hídricos tomou como base a subdivisão hidrográfica de unidades de planejamento, prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos. A Figura 11, a seguir, apresenta a totalidade do espelho d'água, presente na bacia, que está disponibilizado e formato *shapefile*.

Para a aferição das medidas necessárias para concepção do indicador, o presente estudo levou em consideração as UP's Alto Tocantins, Alto médio Tocantins, Médio Tocantins, Submédio Tocantins, Sono e Itacaiúnas.

O rio Tocantins é o principal corpo hídrico da região e apresenta grande potencial para navegação. Adicionalmente, a bacia do rio Tocantins é de grande importância para a geração hidrelétrica no contexto de desenvolvimento nacional, apresentando hidrelétricas importantes e que, devido à falta de planejamento integrado de recursos, não preveem estruturas para o uso múltiplo das águas, como, por exemplo, a instalação de eclusas para transporte de carga.

A UP Sono é identificada no plano de bacia da região como apta para navegação de carga ao longo de todo seu trecho.

A UP Itacaiúnas foi analisada por estar no ponto de confluência do Tocantins-Araguaia.

As UP's consideradas na análise deste indicador foram destacadas na Figura 11.

A bacia do Rio Araguaia não foi considerada devido à grande presença de ilhas, identificada através de análise em ambiente SIG, e por ser um corpo hídrico que apresenta diversas restrições naturais durante longos períodos do ano, considerando tanto épocas de cheia e estiagem, segundo o plano de bacia da região (ANA, 2009).

As UP's Acará-Guamá, Pará e Baixo Tocantins, localizadas à jusante da UHE Tucuruí, não foram analisadas pois a localização destas na região hidrográfica, em posição de jusante, favorece à maiores medidas de largura e profundidade, o que aumenta sua pré-disposição natural para o uso de navegação, além de serem regiões de navegação ativa. As UP's desconsideradas no processo de análise em ambiente SIG receberam o valor "1" para o indicador de navegabilidade.

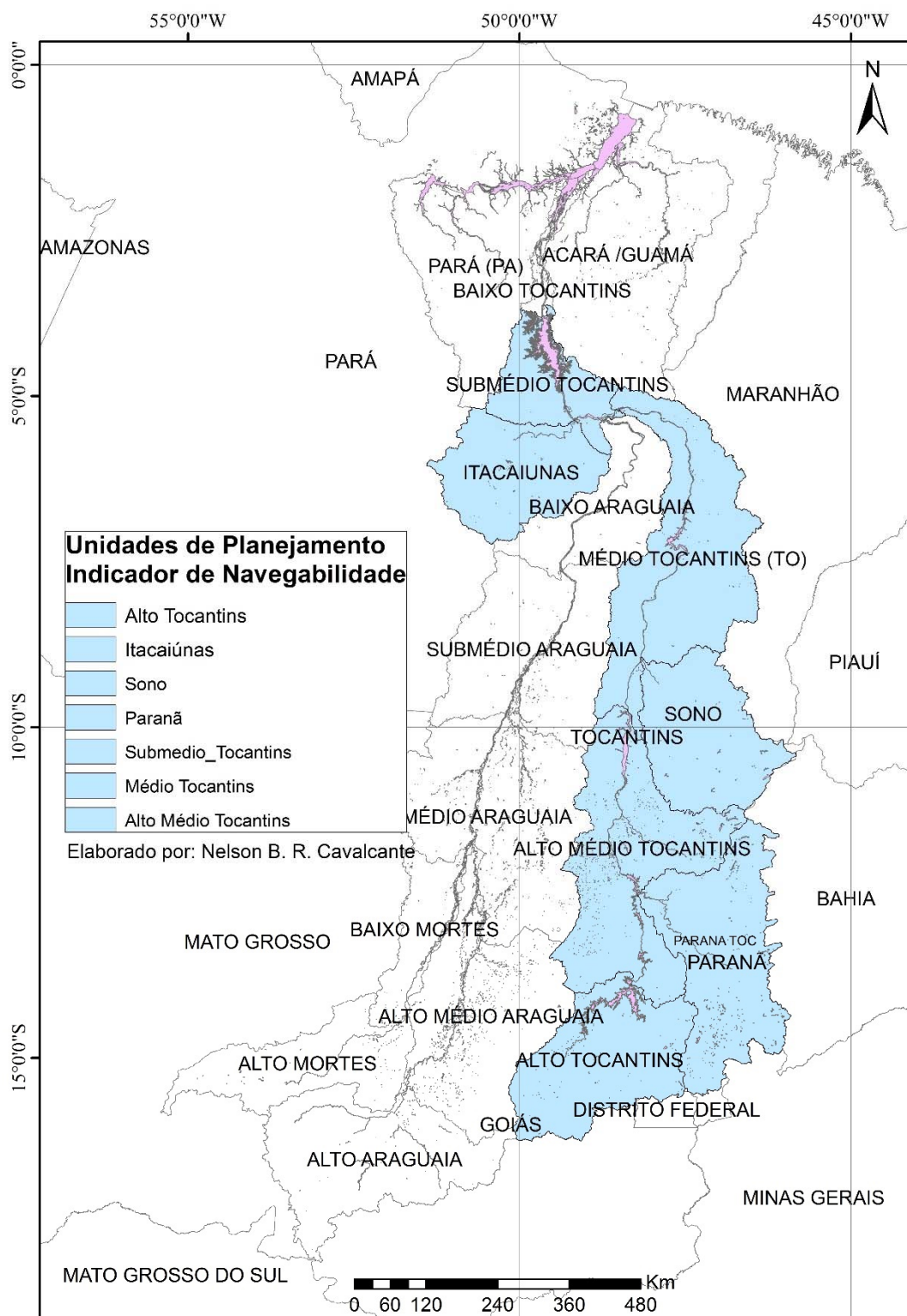


Figura 11: Unidades de Planejamento consideradas para a concepção do indicador de navegabilidade. Elaboração própria.

Abaixo, identificam-se os trechos de corpos hídricos analisados por unidade de planejamento (Figuras 12, 13, 14, 15, 16 e 17). Os trechos foram subdivididos de acordo

com a divisão física das unidades de planejamento e, através de sistemas de informação georreferenciada (SIG), pôde-se obter a medida aproximada de largura a cada 50 metros de distância, em trechos moderadamente retilíneos. Este intervalo foi considerado por representar uma única embarcação-tipo, visto que o comboio é composto por duas Chatas em seu comprimento longitudinal, e por retornar uma boa resposta em velocidade de processamento em ambiente SIG.

Todos os lagos criados por barramentos de usinas de geração hidrelétrica foram desconsiderados para a aferição de largura, uma vez que apresentam grandes dimensões relativamente ao trecho natural à montante ou trechos de vazão reduzida, à jusante.

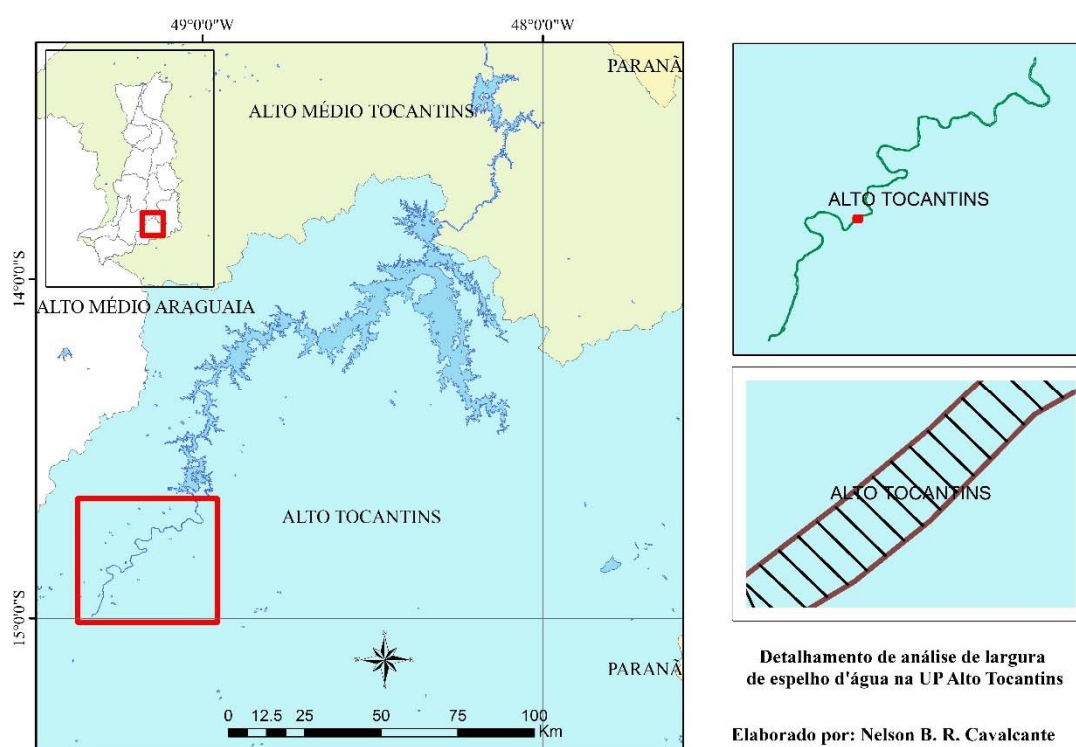


Figura 12: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Alto Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria.



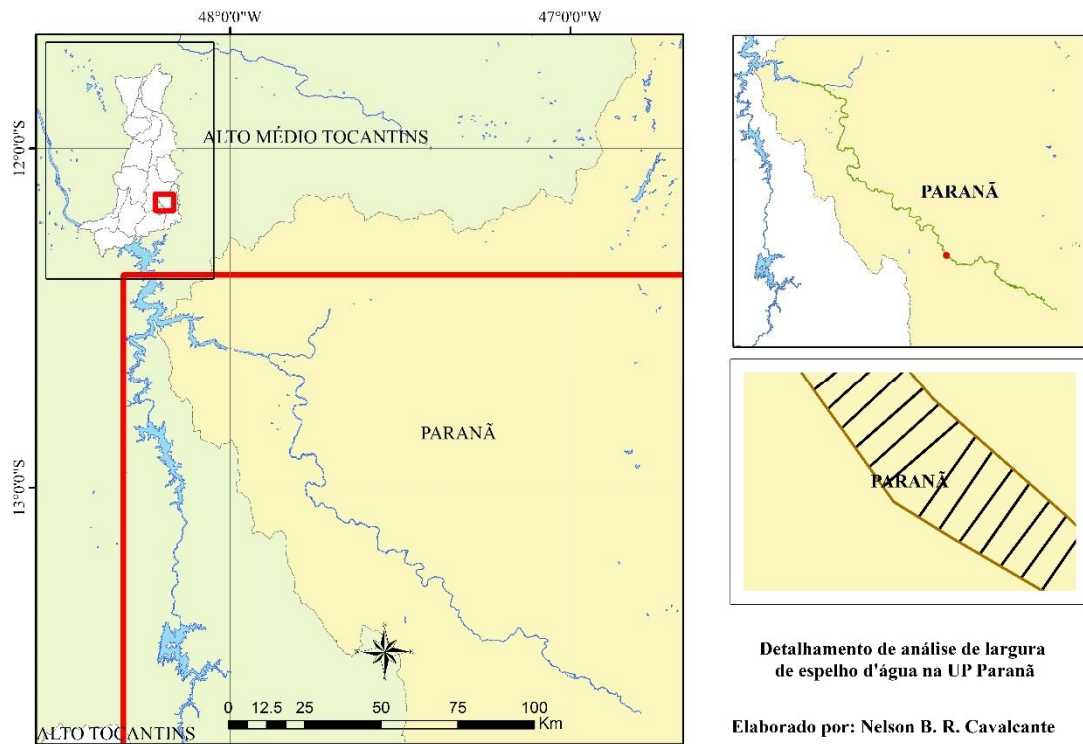


Figura 13: Detalhamento da metodologia de aferio de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Paran, em ambiente SIG. Elaborao própria.

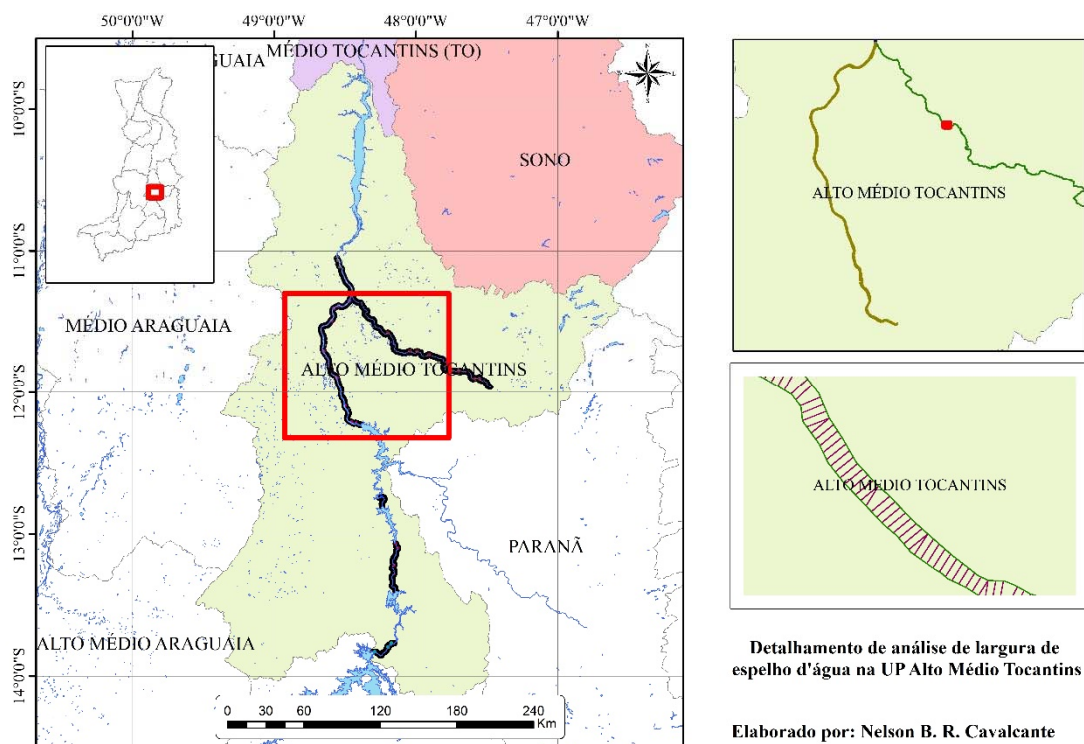


Figura 14: Detalhamento da metodologia de aferio de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Alto Médio Tocantins, em ambiente SIG. Elaborao própria.

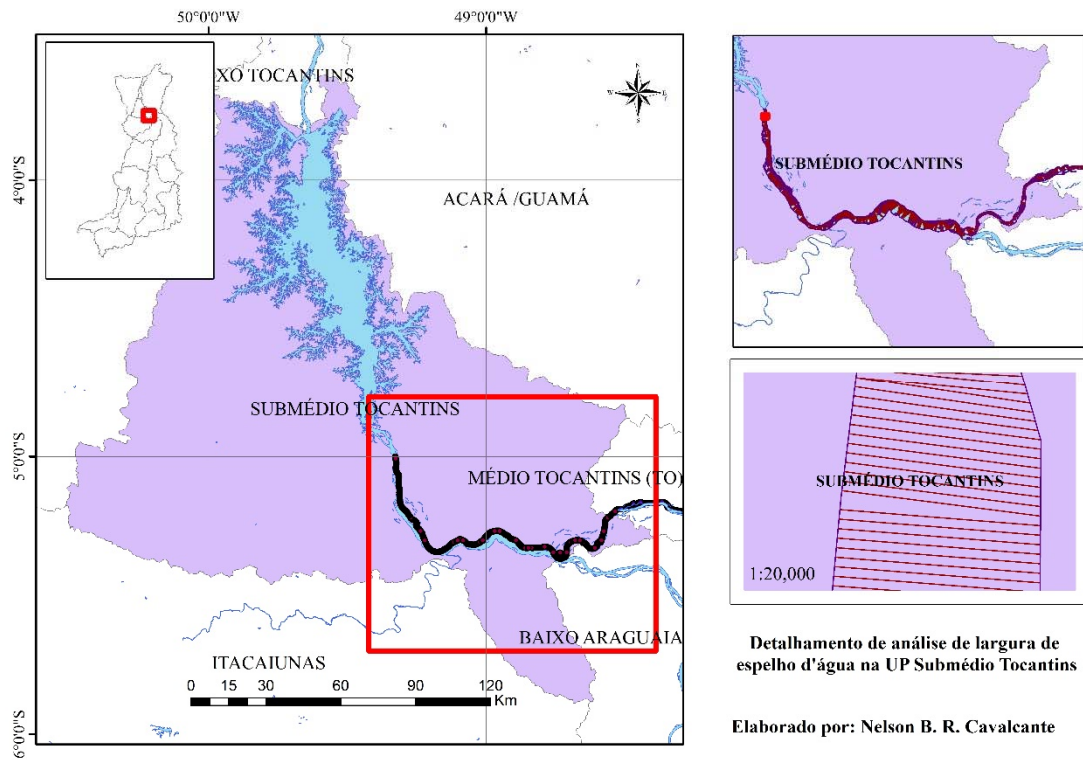


Figura 15: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Submédio Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria.

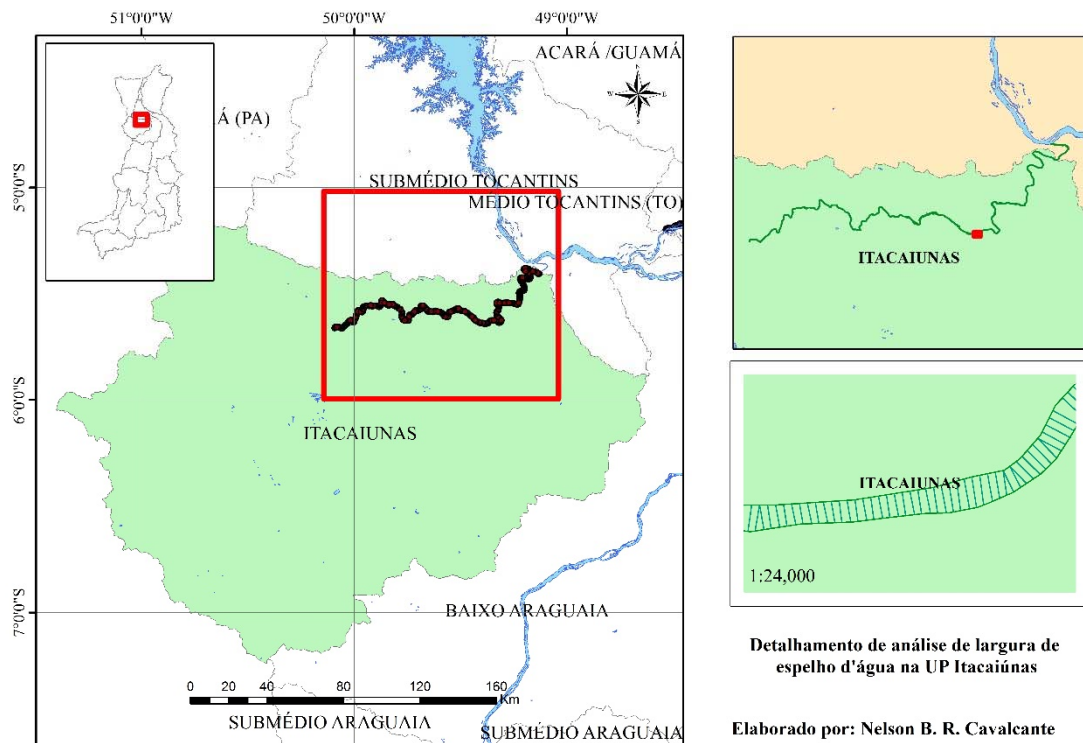


Figura 16: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Itacaiúnas, em ambiente SIG. Elaboração própria.

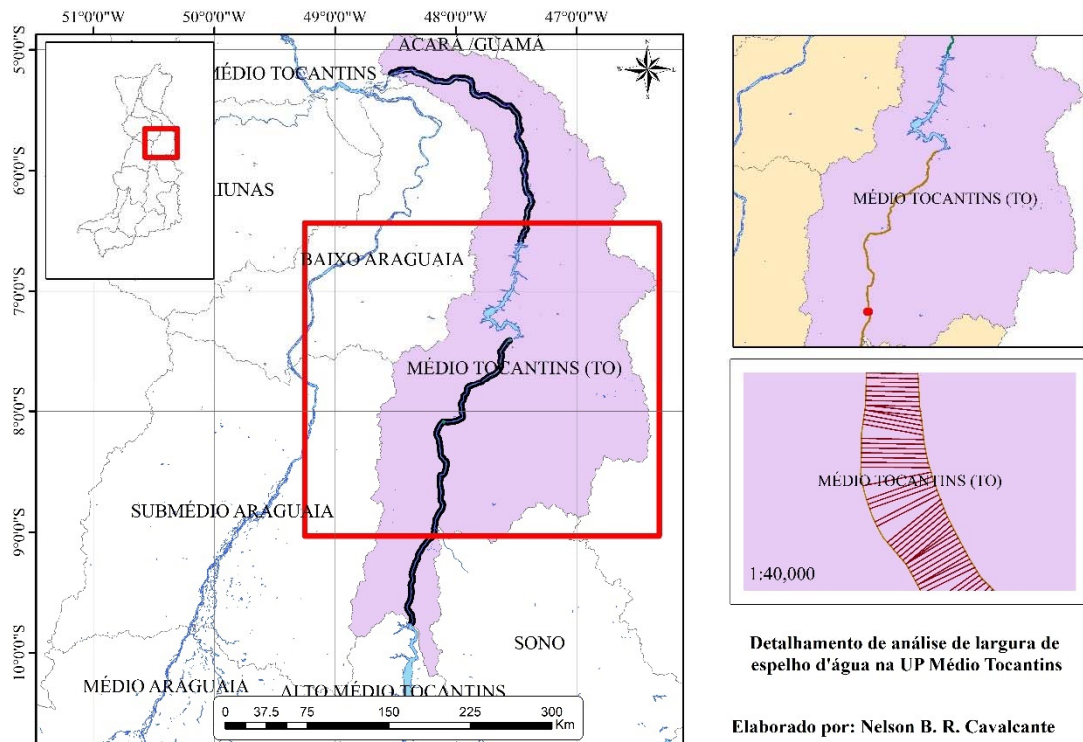


Figura 17: Detalhamento da metodologia de aferição de largura de espelho d'água do trecho analisado na UP Médio Tocantins, em ambiente SIG. Elaboração própria.

Trechos com presença de ilhas ou irregularidades, identificados nos dados georreferenciados, que não permitissem a aferição do valor de largura da calha principal, foram considerados como não navegáveis. As figuras Figura 18 e Figura 19 apresenta exemplos de trechos de 3 UP's distintas, que foram desconsiderados e subtraídos do comprimento total dos rios analisados. Estes trechos são definidos como setores que necessitam de intervenção antrópica para que ocorra a navegação.



Figura 18: Detalhes de irregularidades naturais ao longo dos rios das UP's Alto Tocantins, Médio Tocantins e Paranã, respectivamente. Elaboração própria.

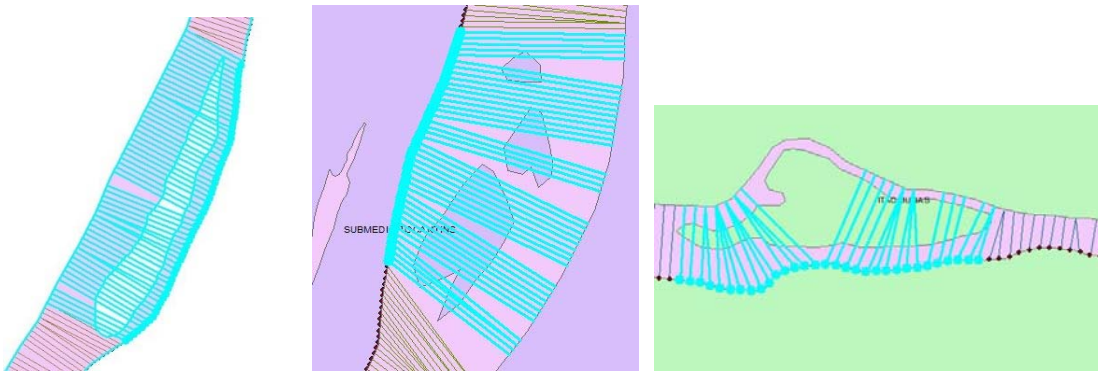


Figura 19: Detalhes de irregularidades naturais ao longo dos rios das UP's Alto Médio Tocantins, Submédio Tocantins e Itacaiúnas, respectivamente. Elaboração própria.

Além disso, conforme os resultados apresentados na Equação 7, foram também classificados como não navegáveis os trechos com largura menor que 36 metros, para navegação em um sentido, e menor que 71 metros, para navegação com cruzamento (Figuras Figura 20, Figura 21 e Figura 22).

$$\textit{Trecho sem cruzamento} \rightarrow L_{\min} = 2,2 \times 16 = 35,2 \cong 36 \text{ metros}$$

$$\textit{Trecho com cruzamento} \rightarrow L_{\min} = 4,4 \times 16 = 70,4 \cong 71 \text{ metros}$$

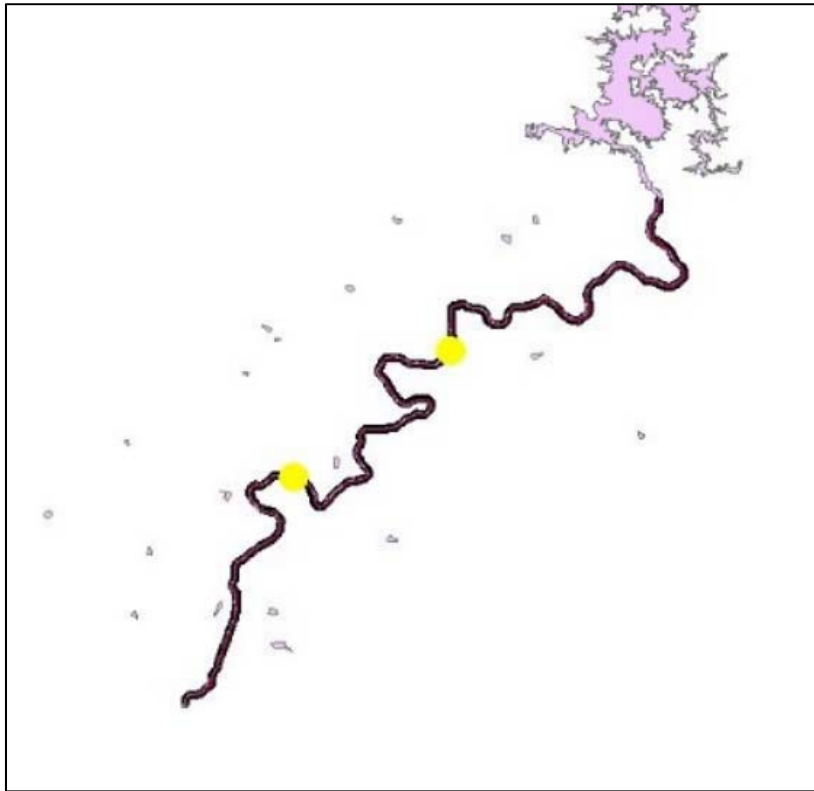


Figura 20: UP Alto Tocantins - Trechos com largura menor que 71 metros. Elaboração Própria.

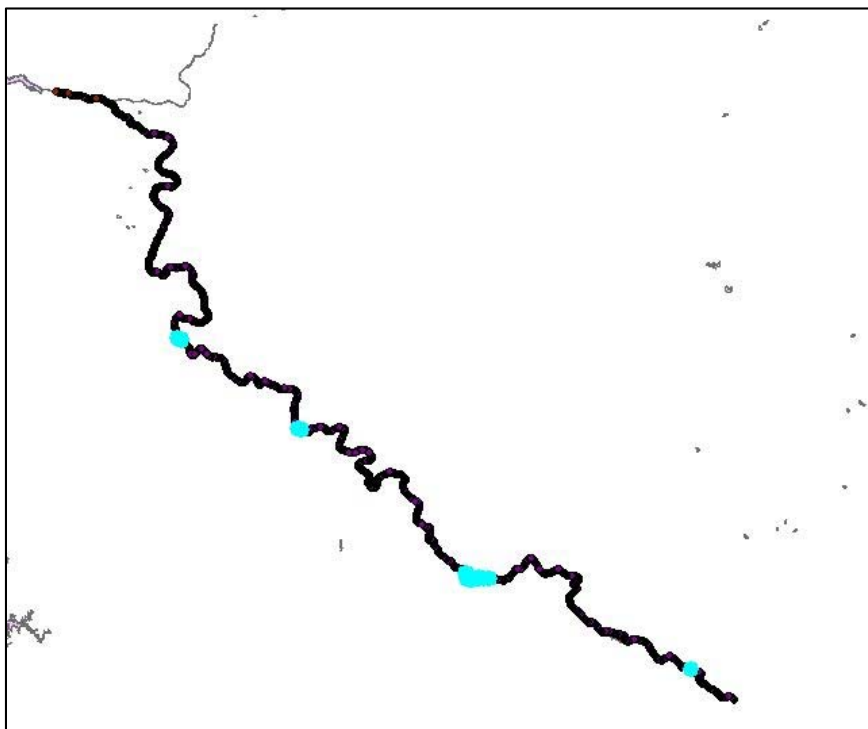


Figura 21: UP Parana Tocantins – trecho com largura menor que 36 metros. Elaboração própria.

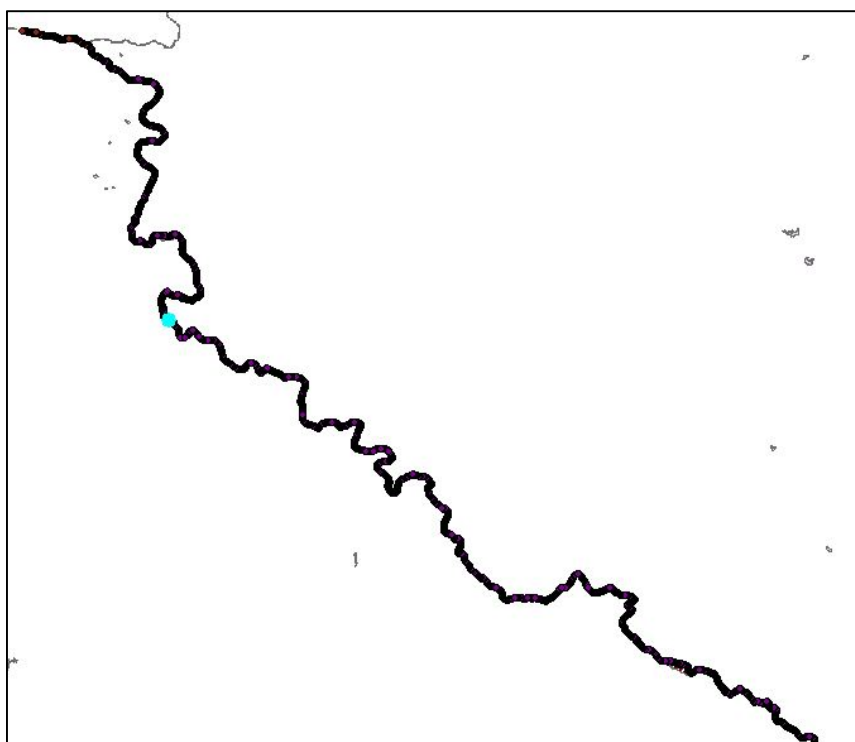


Figura 22: UP Paranã Tocantins – Trecho com largura menor que 71 metros. Elaboração própria.

A plotagem final do indicador é realizada em gráfico tipo radar, de acordo com a classificação de valor percentual de trecho navegável que o corpo hídrico representa (Tabela 15). Desta forma, a análise de um corpo hídrico que apresentar trecho navegável de 75% de seu comprimento, levando em conta sua largura natural apresentada nos dados da ANA de espelhos d'água, receberá o valor 4, como pode-se identificar, em destaque, no Gráfico 1, a seguir.



Gráfico 1: Simulação de plotagem do valor do indicador de navegabilidade, gráfico radar.



#### 4.2.2. Indicador de Inventário Hidrelétrico

O Gráfico 2 apresenta a situação geral de inventário hidrelétrico na RHTA, por unidade de planejamento. As informações sobre a situação nacional de inventário hidrelétrico, disponibilizado pela ANA em dados geoespaciais, é o estudo que identifica o possível potencial de geração de energia que um trecho de rio apresenta.

A base de dados, utilizada neste estudo, classifica os trechos como “inventário aceito”, “inventário aprovado” e “inventário não estudado”, consoante com a classificação apresentada nos dados base disponibilizados pela ANA.

Logo, foram contabilizados e subdivididos os totais respectivos a cada classificação, por unidade de planejamento, conforme listado na Tabela 16 e apresentado na Figura 23.

Tabela 16: Resumo de inventário hidrelétrico para as Unidades de Planejamento da RHTA.

UP	Aceito (km)	Aprovado (km)	Não Estudado (km)
Alto Tocantins	197.89	1,338.66	9,146.62
Alto Médio Tocantins	156.02	1,205.10	14,048.47
Paraná	0.00	1,706.94	10,087.33
Sono	529.81	906.27	6,823.25
Itacaiúnas	0.00	0.00	7,573.16
Submédio Tocantins	0.00	245.08	3,741.07
Médio Tocantins	0.00	870.21	13,247.92
Submédio Araguaia	0.00	299.90	10,363.78
Médio Araguaia	0.00	243.10	14,659.39
Pará	0.00	0.00	10,787.56
Baixo Tocantins	0.00	251.95	510.34
Baixo Mortes	0.00	430.41	3,229.93
Baixo Araguaia	0.00	409.85	5,785.94
Alto Araguaia	143.20	2,639.62	11,778.03
Alto Mortes	0.00	1,053.89	6,148.13
Alto Médio Araguaia	0.00	575.83	12,643.49
Acara Guamá	0.00	0.00	14,994.05

Fonte: ANEEL, 2018.



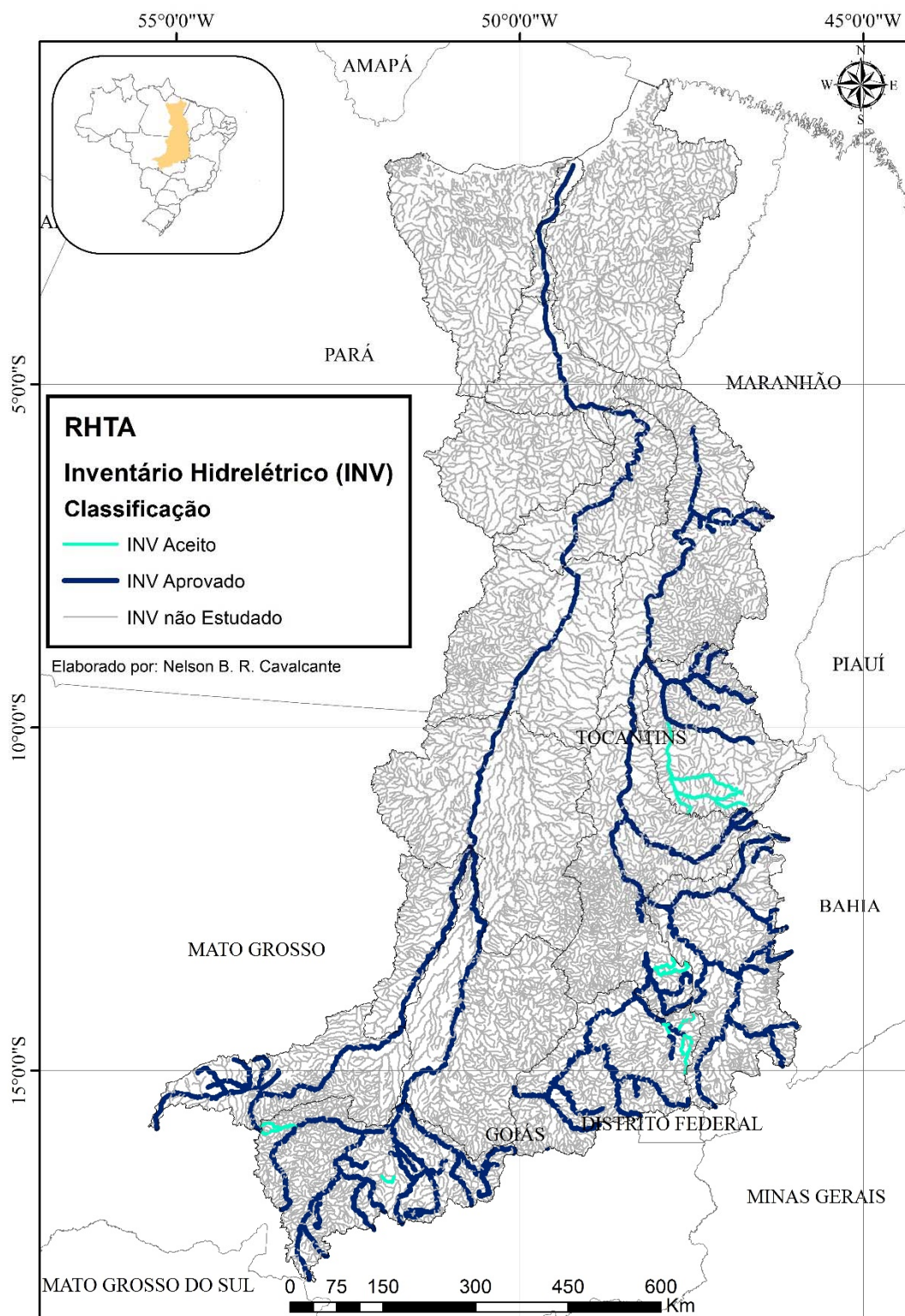


Figura 23: Levantamento de inventário hidrelétrico RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANEEL, 2018.

A situação de inventário da região hidrográfica RHTA, a partir da análise dos resultados apresentados Tabela 17, aponta a pequena quantidade de trechos inventariados frente a grande quantidade ainda não estudada.

Vale ressaltar que nem todo trecho de rio apresenta potencial para que seja realizado o seu inventário, quando se leva em consideração os parâmetros necessários e importantes para o inventário, conforme o Manual de Inventário Hidrelétrico.

Tais parâmetros baseiam-se, principalmente, na análise de várias alternativas de divisão de queda para a bacia hidrográfica, formadas por um conjunto de projetos.

As alternativas são, então, comparadas entre si, tendo em vista selecionar aquela que apresente melhor equilíbrio entre os custos de implantação, benefícios energéticos e impactos socioambientais (MME, 2007).

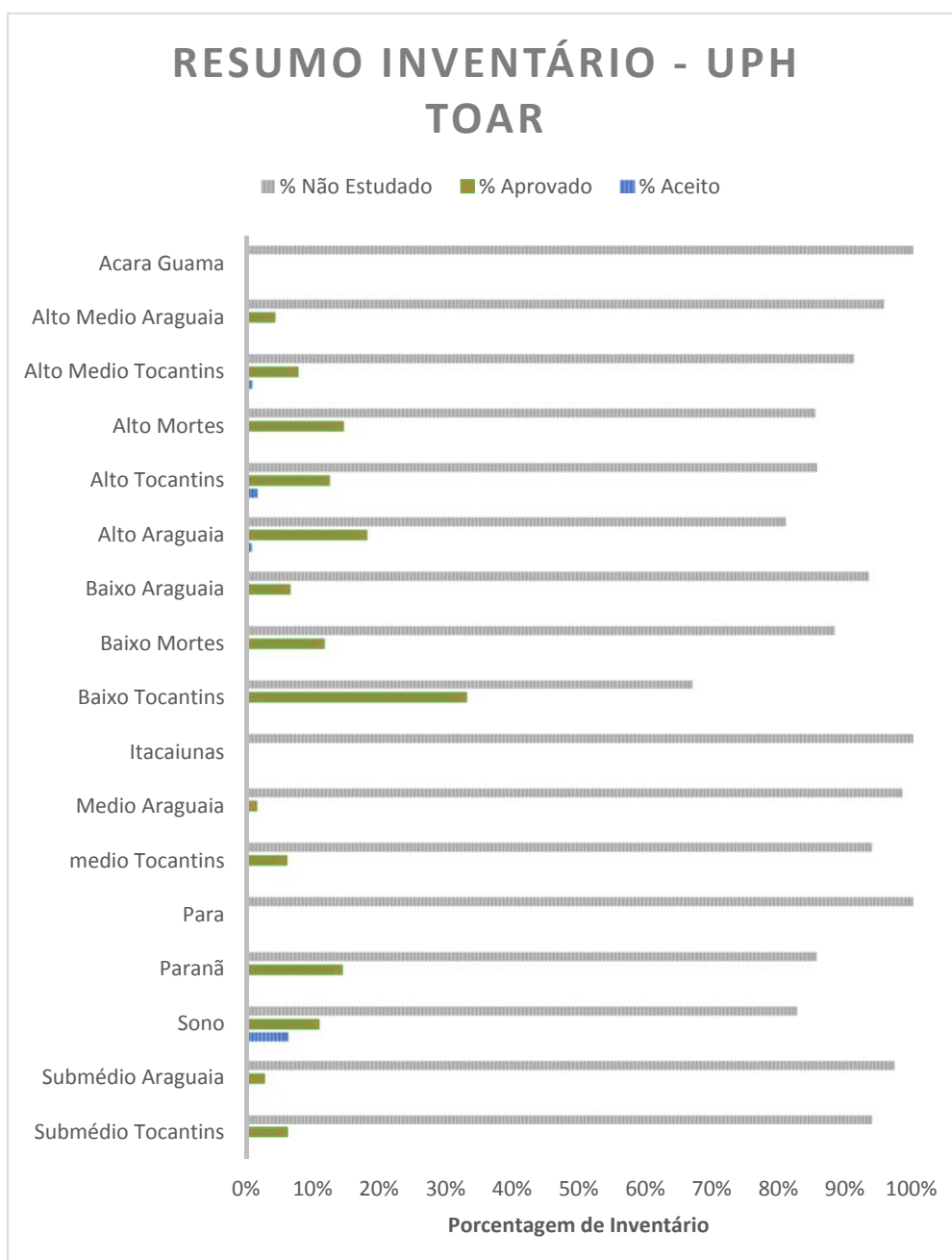


Gráfico 2: Resumo do percentual de inventário Aceito, Aprovado e Não estudado, para as Unidades de Planejamento da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANEEL. 2018.

Tabela 17: Dados de estudo para inventário hidrelétrico.

UP	Total (km)	% Aceito	% Aprovado	% Não Estudado
<b>Alto Tocantins</b>	10,683.17	1.85%	12.53%	85.62%
<b>Alto Médio Tocantins</b>	15,409.59	1.01%	7.82%	91.17%
<b>Paraná</b>	11,794.27	0.00%	14.47%	85.53%
<b>Sono</b>	8,259.32	6.41%	10.97%	82.61%
<b>Itacaiúnas</b>	7,573.16	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Submédio Tocantins</b>	3,986.15	0.00%	6.15%	93.85%
<b>Médio Tocantins</b>	14,118.13	0.00%	6.16%	93.84%
<b>Submédio Araguaia</b>	10,663.68	0.00%	2.81%	97.19%
<b>Médio Araguaia</b>	14,902.49	0.00%	1.63%	98.37%
<b>Pará</b>	10,787.56	0.00%	0.00%	100.00%
<b>Baixo Tocantins</b>	762.29	0.00%	33.05%	66.95%
<b>Baixo Mortes</b>	3,660.34	0.00%	11.76%	88.24%
<b>Baixo Araguaia</b>	6,195.78	0.00%	6.61%	93.39%
<b>Alto Araguaia</b>	14,560.86	0.98%	18.13%	80.89%
<b>Alto Mortes</b>	7,202.02	0.00%	14.63%	85.37%
<b>Alto Médio Araguaia</b>	13,219.32	0.00%	4.36%	95.64%
<b>Acara Guamá</b>	14,994.05	0.00%	0.00%	100.00%

Fonte: ANEEL, 2018.

A metodologia teve como objetivo identificar o percentual de participação classificado como “aceito” e “aprovado, em relação ao somatório do total inventariado,”, que cada unidade de planejamento apresenta.

A Equação 7 indica como a metodologia aplicada.

$$\text{Equação 7} - \% UP_i = (\% Aceito_i + \% Aprovado_i) / (Aceito_{total} + Aprovado_{Total})$$

A metodologia segue com o processo de normalização por faixas e o ranqueamento de cada faixa, gerando 5 trechos que recebem, cada um, um valor numérico, no intervalo de 1 a 5, para o indicador de inventário, com as seguintes atribuições: “Muito baixa”, “Baixa”, “Média”, “Alta” e “Muito Alta” (Tabela 18).

Tabela 18: Faixa de normalização para inventario hidrelétrico de corpos hídricos

Normalização Inventário de Geração hidrelétrica		
Faixa	Ranking	Porcentagem inventariada na bacia
< 20%	1	Muito baixa
< 40%	2	baixa
< 60 %	3	Média
< 80 %	4	Alta
< 100%	5	Muito alta

### 4.2.3. Indicador de Potencial Hidrelétrico

Pode-se inferir do Gráfico 3 a situação geral do potencial hidrelétrico total na RHTA, por unidade de planejamento, considerando Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH), Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH) e Usinas Hidrelétricas (UHE).

Para este indicador, foram desconsideradas as unidades de planejamento que não continham dados sobre o potencial hidrelétrico, ou seja, não apresentaram informações sobre nenhum aproveitamento. São elas: Itacaiúnas, Submédio Araguaia, Médio Araguaia, Pará, baixo Tocantins, baixo Mortes e Alto Médio Araguaia.

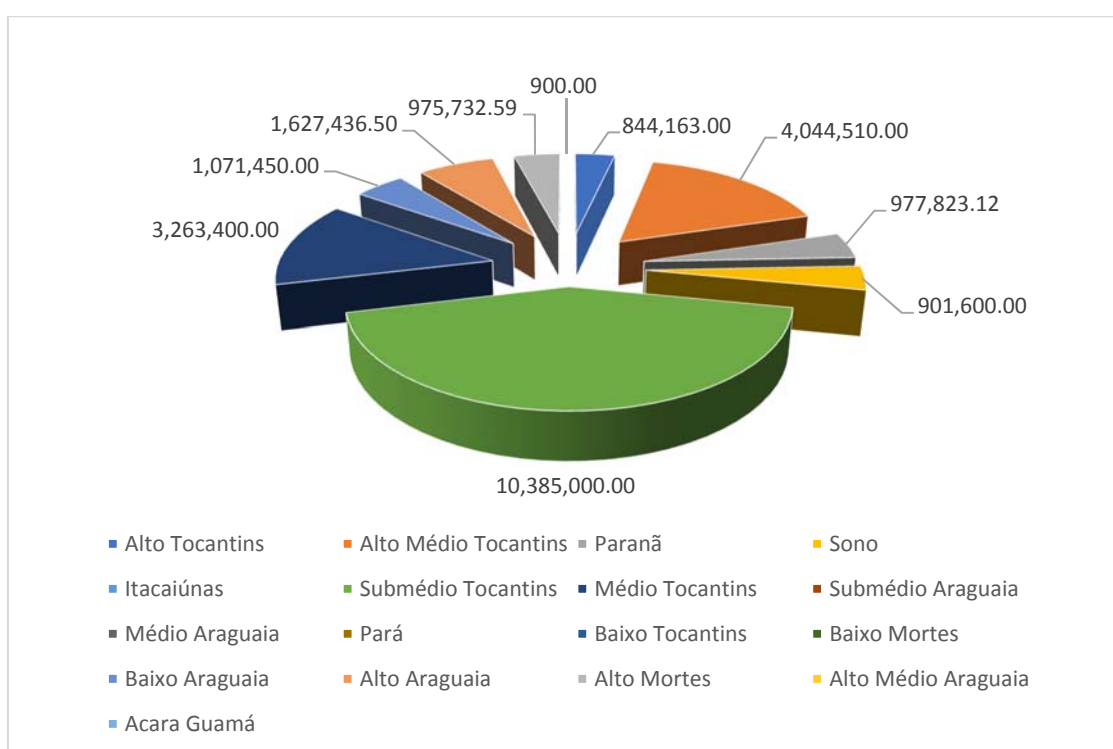


Gráfico 3: Potencial Hidrelétrico Total por UP (KW) da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Fonte: ANEEL, 2018.

Os dados de potencial hidrelétrico disponibilizados pela ANA, em base georreferenciada, classifica o estado dos aproveitamentos hidrelétricos em sete categorias: operação, construção não iniciada, DRI (Registro de Intenção à Outorga de Autorização), DRS (Despacho de Registro da Adequabilidade do Sumário Executivo), eixo inventariado, EVTE (Estudo de Viabilidade Técnico-Econômica) em elaboração e projeto básico em elaboração.

A metodologia utilizada neste estudo distingue das demais a situação de “operação”, que representa a produção de energia hidrelétrica vigente. As demais classificações foram reunidas e denominadas “Potencial Remanescente” (Gráfico 4).

A Tabela 19 identifica os valores de potencial hidrelétrico por unidade de planejamento (ANEEL, 2018).



Gráfico 4: Potencial Hidrelétrico Remanescente por UP (kW) – RHTA. Fonte: ANEEL, 2018.

Tabela 19: Diagnóstico do potencial hidrelétrico para a Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia, por unidade de planejamento.

<b>Potencial Hidrelétrico RHTA</b>			
<b>UP</b>	<b>Pot. em Operação (kW)</b>	<b>Pot. Remanescente (kW)</b>	<b>Pot. Total (kW)</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>4260</b>	<b>839903</b>	<b>844163</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>3376380</b>	<b>668130</b>	<b>4044510</b>
<b>Paraná</b>	<b>237439.12</b>	<b>740384</b>	<b>977823.12</b>
<b>Sono</b>	<b>28600</b>	<b>873000</b>	<b>901600</b>
<b>Itacaiúnas</b>			
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>8535000</b>	<b>1850000</b>	<b>10385000</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>1088800</b>	<b>2174600</b>	<b>3263400</b>
<b>Submédio Araguaia</b>			
<b>Médio Araguaia</b>			
<b>Pará</b>			
<b>Baixo Tocantins</b>			
<b>Baixo Mortes</b>			
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>2750</b>	<b>1068700</b>	<b>1071450</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>131373</b>	<b>1496063.5</b>	<b>1627436.5</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>20532.59</b>	<b>955200</b>	<b>975732.59</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>			
<b>Acara Guamá</b>	<b>900</b>	<b>0</b>	<b>900</b>
<b>TOTAL (kW)</b>	<b>24,092,015.21</b>	<b>13,426,034.71</b>	<b>10,665,980.50</b>

Fonte: ANEEL, 2018.

O indicador de potencial foi definido levando em consideração a importância da unidade de planejamento quanto ao potencial hidrelétrico a ser aproveitado, ou seja, a mudança para situação de “operação” das categorias “construção não iniciada”, “DRI”, “DRS”, “eixo inventariado”, “EVTE em elaboração” e “projeto básico em elaboração” (Figura 24).

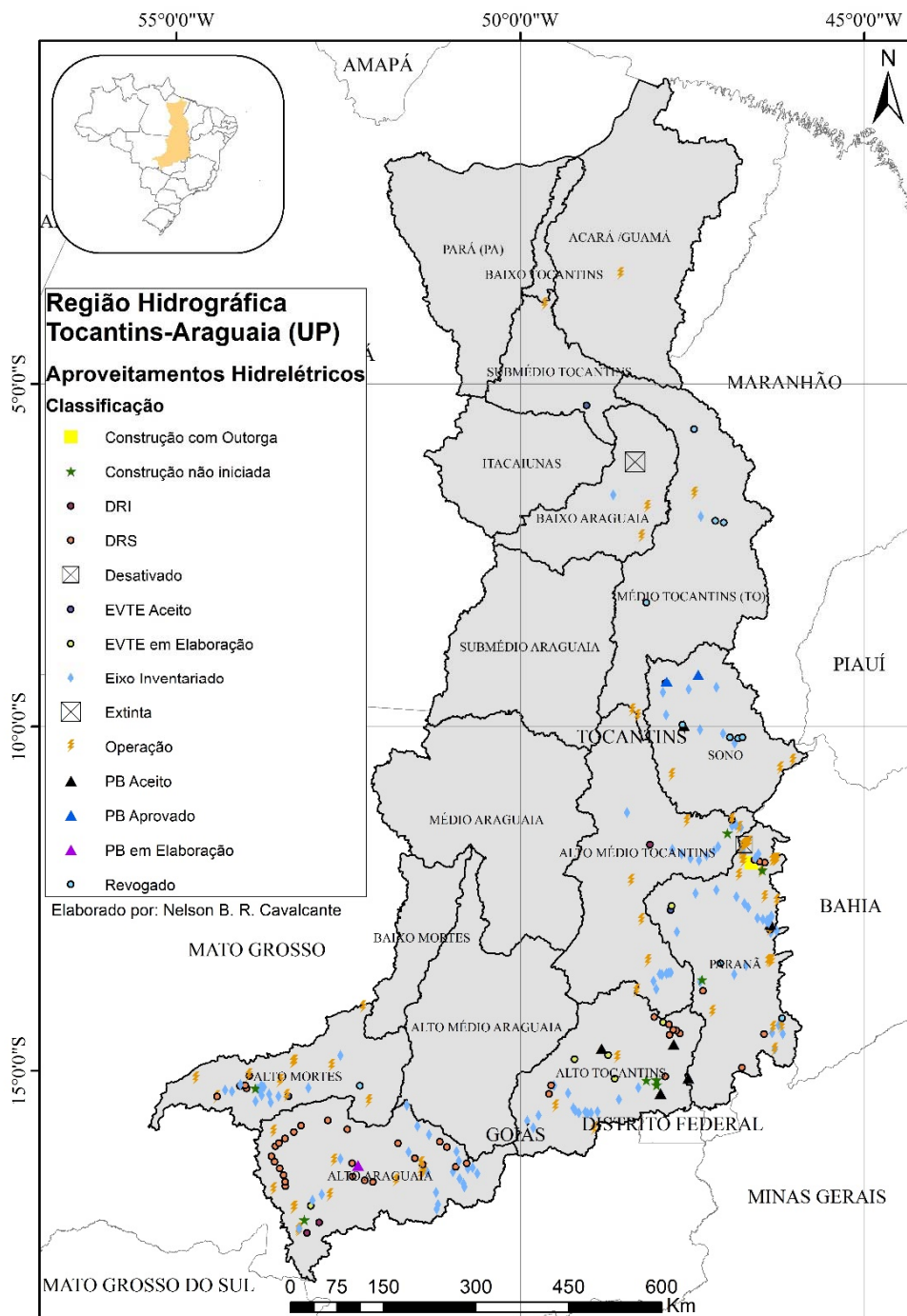


Figura 24: Levantamento de etapa de projeto em que se encontram os aproveitamentos hidrelétricos da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANEEL, 2018.

A Equação 8, abaixo, exibe a metodologia utilizada, identificando o potencial a ser ainda aproveitado de cada UP e seu percentual em relação ao total encontrado na RHTA. Os resultados desta aplicação encontram-se na Tabela 20.

$$\text{Equação 8} - \% UP_i = (Pot. remanescente_i) / (Pot. remanescente_{Total})$$



Tabela 20: Percentual, por unidade de planejamento, do potencial hidrelétrico remanescente.

<b>TOTAL REMANESCENTE (kW)</b>	<b>10,665,980.50</b>
<b>UP</b>	<b>Percentual do Potencial Remanescente</b>
Alto Tocantins	7.87%
Alto Médio Tocantins	6.26%
Paraná	6.94%
Sono	8.18%
Itacaiúnas	0.00%
Submédio Tocantins	17.34%
<b>Médio Tocantins</b>	<b>20.39%</b>
Submédio Araguaia	0.00%
Médio Araguaia	0.00%
Pará	0.00%
Baixo Tocantins	0.00%
Baixo Mortes	0.00%
Baixo Araguaia	10.02%
Alto Araguaia	14.03%
Alto Mortes	8.96%
Alto Médio Araguaia	0.00%
Acara Guamá	0.00%

Uma vez obtido o valor percentual para cada UP, em relação à RHTA, foi realizado a normalização dos valores pelo método de padronização, tendo como base o maior valor obtido dentre as UP's analisadas (Equação 2a).

A normalização de faixas segue o padrão de acordo com a Tabela 21, a seguir. Por conseguinte, é realizada a normalização por faixas e ranqueamento dos valores percentuais obtidos, gerando o indicador de potencial hidrelétrico para cada UP analisada, que é apresentado em gráfico tipo radar.

Tabela 21: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de potencial hidrelétrico.

<b>Normalização Potencial Hidrelétrico</b>		
<b>Faixa</b>	<b>Ranking</b>	<b>Potencial Remanescente</b>
< 20%	1	Muito baixo
< 40%	2	baixo
< 60 %	3	Médio
< 80 %	4	Alto
< 100%	5	Muito alto



#### 4.2.4. Indicador de Unidades de Conservação

A metodologia utilizada para concepção do indicador de unidades de conservação teve como objetivo identificar a quantidade de unidades de conservação (UCs) em cada unidade de planejamento da RHTA, conforme Tabela 22 e Figura 25.

Posteriormente, seguiu-se para o ranqueamento das UP's, de acordo com a quantidade percentual de UCs que apresentam, em relação ao total presente na região hidrográfica, seguindo a classificação apresentada na Tabela 23.

Tabela 22: Área de unidades de conservação (terras indígenas e reservas) por UP da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

<b>TOTAL UC - RHTA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>79,810.34</b>	
<b>UP</b>	<b>Área UC (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual UP/RHTA</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>300.74</b>	<b>0.38%</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>1,195.38</b>	<b>1.50%</b>
<b>Paraná</b>	<b>186.43</b>	<b>0.23%</b>
<b>Sono</b>	<b>8,197.86</b>	<b>10.27%</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>12,590.56</b>	<b>15.78%</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>3,791.64</b>	<b>4.75%</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>7,986.76</b>	<b>10.01%</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>231.84</b>	<b>0.29%</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>27,544.48</b>	<b>34.51%</b>
<b>Pará</b>	<b>4,671.99</b>	<b>5.85%</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>653.16</b>	<b>0.82%</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4,942.79</b>	<b>6.19%</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>368.41</b>	<b>0.46%</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>771.01</b>	<b>0.97%</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>3,297.05</b>	<b>4.13%</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>1,954.73</b>	<b>2.45%</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>1,125.52</b>	<b>1.41%</b>

Tabela 23: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de unidades de conservação.

<b>Normalização Unidades de Conservação</b>		
<b>Faixa</b>	<b>Ranking</b>	<b>Área representativa de UC na RHTA</b>
<b>&lt; 20%</b>	<b>1</b>	<b>Muito baixa</b>
<b>&lt; 40%</b>	<b>2</b>	<b>Baixa</b>
<b>&lt; 60 %</b>	<b>3</b>	<b>Média</b>
<b>&lt; 80 %</b>	<b>4</b>	<b>Alta</b>
<b>&lt; 100%</b>	<b>5</b>	<b>Muito alta</b>

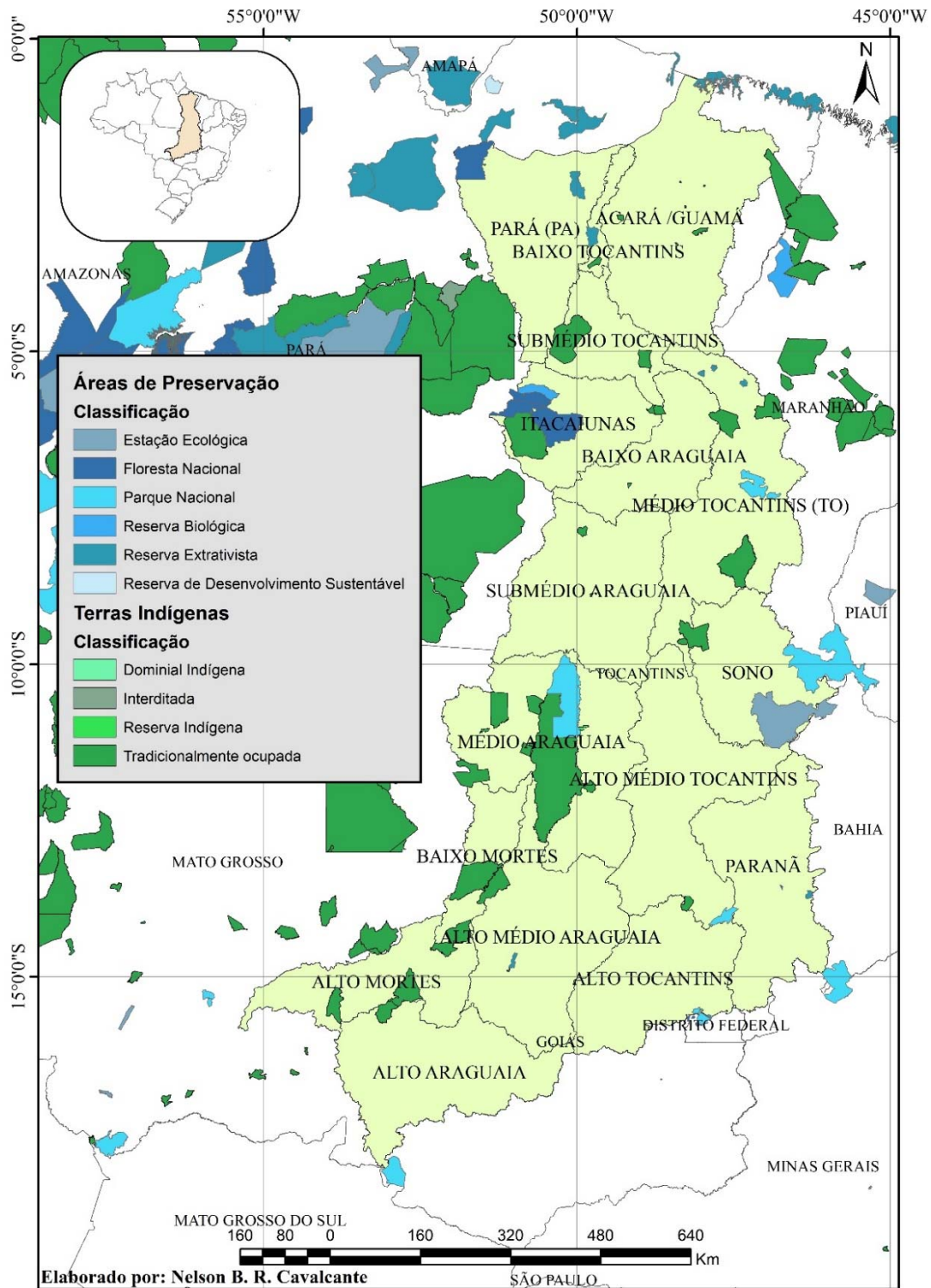


Figura 25: Mapeamento das unidades de conservação para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

Desta forma pode-se identificar quais áreas têm maior valor ambiental levando-se em conta as UCs, em vista tanto da conservação e preservação, quanto da expansão do agronegócio ou de outros usos que podem vir a afetar tais regiões.

#### 4.2.5. Indicador de Uso Consuntivo

Dentre as metodologias apresentadas para o cálculo de estresse hídrico de corpos d'água, o item 3, apresentado no capítulo 1.2.3 foi considerado o processo selecionado em vista de sua representação da situação real de utilização dos recursos (ANA, 2018).

A Tabela 24 apresenta os valores resultantes da utilização de dados georreferenciados, disponibilizados pela ANA, em ambiente SIG.

Tabela 24: Valor de disponibilidade superficial hídrica para as UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

<b>UP</b>	<b>Disponibilidade Superficial (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>40.66</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>137.65</b>
<b>Paraná</b>	<b>71.22</b>
<b>Sono</b>	<b>72.21</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>7.93</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>1309</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>456.4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>140.27</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>55.54</b>
<b>Pará</b>	<b>56.19</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>2034.79</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>131.55</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>543.87</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>36.32</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>98.58</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>70.28</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>234.36</b>
<b>Total</b>	<b>5496.83</b>

Fonte: ANA, 2018a.

Foram gerados indicadores para os três usos mais representativos na bacia, segundo diagnóstico realizado pelo Plano Estratégico da Bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia (ANA, 2009).

Assim, pôde-se analisar o balanço hídrico em relação a cada uso consuntivo, de forma a identificar qual aproveita os recursos hídricos de maneira excessiva ou não.

As demandas georreferenciadas, disponibilizadas pela ANA, foram obtidas através informações secundárias de diversas fontes. A seguir são apresentadas as fontes, por uso consuntivo, analisadas na presente dissertação:

- Dessedentação (Demanda animal) - Calculada com base nos dados de rebanho por município para o ano de 2013 (SIDRA/IBGE);
- Abastecimento urbano (Demanda humana) - Dados da estimativa populacional do IBGE (ano-base 2013);
- Demanda de irrigação - Calculada para o ano-base 2014. Dados dos planos de recursos hídricos (SPR/ANA) e levantamento de pivôs por imagem de satélite (EMBRAPA/ANA) e taxas anuais de crescimento da área irrigada, calculadas pela Câmara Setorial de Equipamentos de Irrigação da Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ)

O indicador levou em consideração a demanda dos três usos preponderantes na região hidrográfica RHTA (ANA, 2009): abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação, comparando a disponibilidade com o somatório das demandas de retirada de cada um dos usos referente a cada UP, resultando no balanço geral e situação hídrica (Tabela 26).

Além disso, foi considerado um parâmetro que considera a qualidade de água na situação atual, que teve como base os dados apresentados no Plano estratégico da bacia Hidrográfica dos Rios Tocantins e Araguaia. Este parâmetro foi denominado Indicador de enquadramento, agregando assim um indicador final de uso consuntivo, a partir da média aritmética dos valores obtidos.

A Tabela 25 apresenta a classificação de acordo com o enquadramento dos corpos d'água, consoante com o Plano Estratégico da bacia dos Rios Tocantins e Araguaia. O indicador de Enquadramento foi obtido de acordo com a normalização apresentada na Tabela 27.

Tabela 25: Enquadramento dos corpos hídricos por unidade de planejamento.

UP	Enquadramento	Indicador de Enquadramento
Alto Tocantins	2	3
Alto Médio Tocantins	Especial	5
Paraná	1	4
Sono	Especial	5
Itacaiúnas	2	3
Submédio Tocantins	2	3
Médio Tocantins	2	3
Submédio Araguaia	1	4
Médio Araguaia	Especial	5
Pará	1	4
Baixo Tocantins	2	3
Baixo Mortes	1	4
Baixo Araguaia	2	3
Alto Araguaia	1	4
Alto Mortes	1	4
Alto Médio Araguaia	1	4
Acara Guamá	1	4

Fonte: ANA, 2009.

Tabela 26: Balanço hídrico relacionado ao uso consuntivo, considerando abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação.

UPH_TOAR	Qretirada TOTAL (m³/s)	Disponibilidade	Balanço
Alto Tocantins	22.21	40.66	54.63%
Alto Médio Tocantins	4.97	137.65	3.61%
Paraná	4.82	71.22	6.76%
Sono	1.22	72.21	1.69%
Itacaiúnas	2.33	7.93	29.36%
Submédio Tocantins	1.67	1309	0.13%
Médio Tocantins	8.99	456.4	1.97%
Submédio Araguaia	3.32	140.27	2.37%
Médio Araguaia	24.20	55.54	43.58%
Pará	1.27	56.19	2.26%
Baixo Tocantins	0.80	2034.79	0.04%
Baixo Mortes	0.43	131.55	0.32%
Baixo Araguaia	2.91	543.87	0.54%
Alto Araguaia	6.52	36.32	17.96%
Alto Mortes	7.61	98.58	7.72%
Alto Médio Araguaia	8.52	70.28	12.12%
Acara Guamá	12.32	234.36	5.26%

Fonte: (ANA, 2005; ANA, 2018a)

A normalização dos valores obtidos segue a seguinte classificação, apresentada na Tabela 27. O ranking identifica o nível em que o estresse hídrico se encontra, de acordo com o percentual de demanda em relação à disponibilidade hídrica.

Tabela 27: Normalização por faixa e ranqueamento para o indicador de uso consuntivo.

Normalização do índice de uso consuntivo		
Faixa	Ranking	Nível de estresse hídrico por uso consuntivo
< 5%	5	Muito baixa
5% a 10%	4	Baixa
10% a 20%	3	Média
20% a 40%	2	Alta
> 40%	1	Muito alta

#### 4.2.6. Indicador de Abastecimento Urbano

Os resultados do estudo do Atlas de Abastecimento Urbano (2010), juntamente com as informações consolidadas pela Operação Seca (2013), possibilitaram um mapeamento dos mananciais e da infraestrutura hídrica de bacias (ANA, 2016).

O mapeamento classifica a situação de demanda hídrica para abastecimento humano encontrada nas sedes municipais, de acordo com a Tabela 28, apresentada a seguir. A Figura 26 apresenta a distribuição da vazão de retirada urbana estimada, distribuída na área urbana, conforme dados espaciais da ANA.

Tabela 28: Classificação de situação hídrica. Fonte: Adaptado de ANA, 2016.

<b>Baixa garantia hídrica</b>	Sedes em que o estudo do Atlas identificou a necessidade de um novo manancial, ou sede em que o abastecimento se encontra em racionamento, colapso ou alerta, no ano de 2013
<b>Ampliação do sistema produtor</b>	Sedes que não apresentam problema no abastecimento de água, e que o estudo do Atlas apontou a necessidade de ampliação de unidades do sistema produtor
<b>Abastecimento satisfatório</b>	Sedes que não apresentam criticidade no seu abastecimento e qualificadas como satisfatórias pelo trabalho do Atlas Brasil, ou seja, quando nem o manancial nem a infraestrutura hídrica existente apresentavam obstáculos ao atendimento das demandas de água atual e futura

Para os resultados de demanda de abastecimento urbano, foram considerados dados da estimativa populacional do IBGE – Instituto Brasileiro de geografia e estatística, ano-base 2013 (Tabela 30).

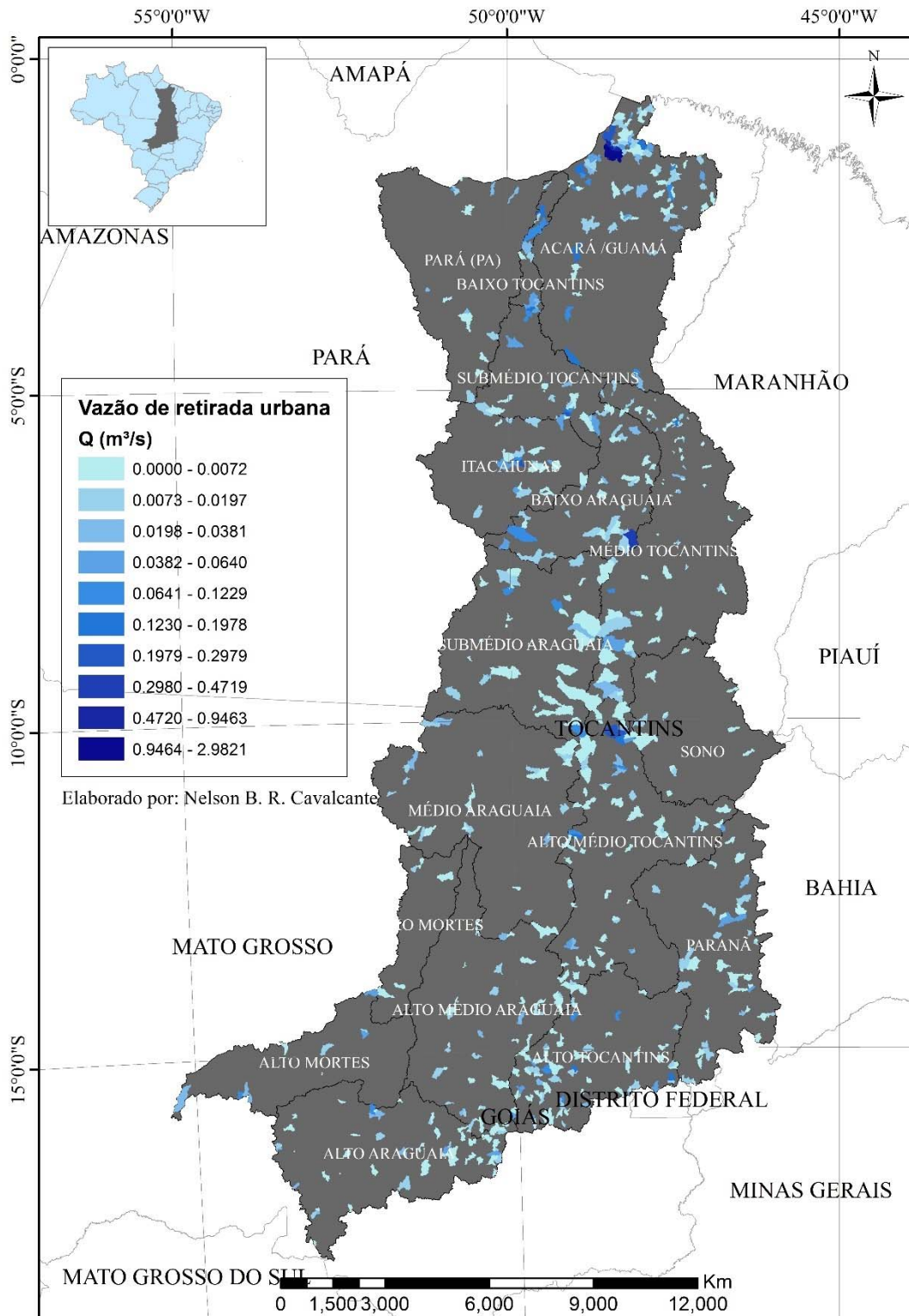


Figura 26: Mapa de vazão estimada de demanda de uso urbano, distribuído em área urbana. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

A Tabela 29 indica a faixa de valores percentuais, normalização por faixa, para o indicador de abastecimento urbano.

Sendo o abastecimento urbano um uso primordial em caso de escassez, o indicador funciona como um alerta para regiões que possuem baixa disponibilidade e alta demanda, ou seja, níveis críticos de estresse hídrico ou condições de poluição excessiva.

Tabela 29: Tabela com valores normalizados por faixa e ranqueados para o indicador de escassez hídrica.

Normalização do índice de escassez - Abastecimento urbano		
Faixa	Ranking	Nível de estresse hídrico pela demanda urbana
< 5%	5	Muito baixa
5% a 10%	4	Baixa
10% a 20%	3	Média
20% a 40%	2	Alta
> 40%	1	Muito alta

Tabela 30: Valores de vazão de retirada para abastecimento urbano na RHTA e disponibilidade hídrica superficial.

UPH	Q retirada (m <sup>3</sup> /s)	Disponibilidade Superficial (m <sup>3</sup> /s)
<b>Alto Tocantins</b>	<b>2.49</b>	<b>40.66</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>1.50</b>	<b>137.65</b>
<b>Paraná</b>	<b>0.51</b>	<b>71.22</b>
<b>Sono</b>	<b>0.08</b>	<b>72.21</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>0.81</b>	<b>7.93</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>0.89</b>	<b>1309</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>1.85</b>	<b>456.4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>0.72</b>	<b>140.27</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>0.36</b>	<b>55.54</b>
<b>Pará</b>	<b>0.31</b>	<b>56.19</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>0.66</b>	<b>2034.79</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>0.02</b>	<b>131.55</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>1.37</b>	<b>543.87</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>0.77</b>	<b>36.32</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>0.29</b>	<b>98.58</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>0.35</b>	<b>70.28</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>9.50</b>	<b>234.36</b>

Fonte: ANA, 2018a.



A Tabela 31 apresenta os resultados do balanço hídrico. Além disso, contém a distribuição do ranking de 1 a 5, referente ao índice de escassez.

Tabela 31: Balanço hídrico para demanda de abastecimento urbano.

<b>UP</b>	<b>Balanço</b>	<b>Índice de Escassez</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>6.12%</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>1.09%</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>0.71%</b>	<b>5</b>
<b>Sono</b>	<b>0.11%</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>10.26%</b>	<b>3</b>
<b>Sumédio Tocantins</b>	<b>0.07%</b>	<b>5</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>0.41%</b>	<b>5</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>0.52%</b>	<b>5</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>0.66%</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>0.55%</b>	<b>5</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>0.03%</b>	<b>5</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>0.02%</b>	<b>5</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>0.25%</b>	<b>5</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>2.13%</b>	<b>5</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>0.30%</b>	<b>5</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>0.49%</b>	<b>5</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>4.05%</b>	<b>5</b>

A metodologia de concepção do indicador de abastecimento urbano conta ainda com a classificação de enquadramento dos corpos d'água, prevista na Política Nacional de Recursos Hídricos.

A agregação dos parâmetros supracitados será realizada por ponderação de pesos iguais, considerando mesma importância para ambos parâmetros de enquadramento e escassez.

A

Tabela 33, apresenta os valores de enquadramento para cada unidade de planejamento, conforme o Plano Estratégico da bacia dos Rios Tocantins e Araguaia, representando a atual situação qualitativa dos corpos hídricos na RHTA.

As unidades de planejamento receberam o valor de ranqueamento referente a maior classe de enquadramento do corpo hídrico que se encontra em sua delimitação. Assim, a presença de corpos hídricos com classe 1 e especial em uma UP pontua a mesma com a nota referente a classe de alta qualidade.

Desta forma, o indicador identifica a importância da região quanto a preservação de suas águas e possibilidades de abastecimento com menores custos de tratamento para consumo humano.

A Tabela 32 mostra os valores de ranqueamento para a classificação de acordo com o enquadramento dos corpos d'água.

Tabela 32: Atribuição de notas através do ranqueamento de valores seguindo a classificação do Enquadramento dos corpos d'água, segundo o PNRH.

Normalização do indicador de Enquadramento				
Classe especial	classe 1	classe 2	classe 3	classe 5
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Tabela 33: Enquadramento dos corpos hídricos por unidade de planejamento, conforme o Plano Estratégico da bacia dos Rios Tocantins e Araguaia e indicador de Enquadramento.

<b>UP</b>	<b>Enquadramento</b>	<b>Indicador de Enquadramento</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>Especial</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Sono</b>	<b>Especial</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>Especial</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>1</b>	<b>4</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>1</b>	<b>4</b>

Fonte: ANA, 2009.

#### **4.2.7. Indicador de Dessedentação**

Segundo a Política Nacional de Recursos hídricos, consumo humano e a dessedentação de animais devem ser priorizados. Em situação de escassez, cumpre ao

órgão público responsável pela outorga dos direitos de uso da água suspender, parcial ou totalmente, as outorgas que prejudiquem o consumo humano e a dessedentação de animais, de acordo com o artigo 15, V, da Lei 9.433/97.

Este indicador simboliza o potencial da bacia quanto à demanda exigida para o abastecimento para o uso de dessedentação de animais. A metodologia considerou o valor de disponibilidade superficial das UP's.

A demanda animal, disponibilizada em sítio da ANA, foi calculada com base nos dados de rebanho por município para o ano de 2013 (SIDRA/IBGE) e, então, reunida por unidade de planejamento em ambiente SIG.

O indicador é composto pelo parâmetro “índice de escassez”, resultante do balanço entre disponibilidade superficial hídrica e vazão de retirada para dessedentação animal (Tabela 34), e pelo parâmetro “Enquadramento dos corpos d’água, apresentado na Tabela 25, agregado através de ponderação de pesos iguais.

Tabela 34: Vazão de retirada para dessedentação animal, Balanço de disponibilidade hídrica (considerando a disponibilidade superficial) e índice de escassez para as UP's da RHTA.

UP	Q retirada (m <sup>3</sup> /s)	Balanço de Disponibilidade	Índice de Escassez
Alto Tocantins	<b>1.80</b>	<b>4.42%</b>	<b>5</b>
Alto Médio Tocantins	<b>1.39</b>	<b>1.01%</b>	<b>5</b>
Paraná	<b>1.19</b>	<b>1.67%</b>	<b>5</b>
Sono	<b>0.22</b>	<b>0.30%</b>	<b>5</b>
Itacaiúnas	<b>1.51</b>	<b>19.04%</b>	<b>3</b>
Submédio Tocantins	<b>0.73</b>	<b>0.06%</b>	<b>5</b>
Médio Tocantins	<b>1.62</b>	<b>0.35%</b>	<b>5</b>
Submédio Araguaia	<b>2.19</b>	<b>1.56%</b>	<b>3</b>
Médio Araguaia	<b>1.75</b>	<b>3.15%</b>	<b>5</b>
Pará	<b>0.72</b>	<b>1.29%</b>	<b>5</b>
Baixo Tocantins	<b>0.05</b>	<b>0.00%</b>	<b>5</b>
Baixo Mortes	<b>0.33</b>	<b>0.25%</b>	<b>4</b>
Baixo Araguaia	<b>1.46</b>	<b>0.27%</b>	<b>5</b>
Alto Araguaia	<b>2.39</b>	<b>6.59%</b>	<b>4</b>
Alto Mortes	<b>0.82</b>	<b>0.83%</b>	<b>5</b>
Alto Médio Araguaia	<b>2.81</b>	<b>4.00%</b>	<b>5</b>
Acara Guamá	<b>1.14</b>	<b>0.49%</b>	<b>5</b>

Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

#### 4.2.8. Indicador de Irrigação

Segundo dados da FAO (2017), o Brasil está entre os dez países com a maior área equipada para irrigação do mundo. Os líderes mundiais são a China e a Índia, com cerca de 70 milhões de hectares (Mha) cada, seguidos dos EUA (26,7 Mha), do Paquistão (20,0 Mha) e do Irã (8,7 Mha).

Entretanto, a irrigação no nosso País é considerada pequena frente ao potencial estimado, à área agrícola total, à extensão territorial e ao conjunto de fatores físico-climáticos favoráveis, inclusive a boa disponibilidade hídrica.

Por outro lado, as séries históricas demonstram que os incrementos anuais de área irrigada no Brasil têm sido fortes e persistentes nas últimas décadas, intensificando-se nos últimos anos (ANA, 2017).

A Tabela 35 apresenta os resultados para o balanço de disponibilidade.

Tabela 35: Dados de insumo para concepção do indicador de Irrigação, analisados em ambiente SIG.

UP	Q retirada (m <sup>3</sup> /s)	Disp. (m <sup>3</sup> /s)	Balanço de Disponibilidade	Enquadramento
Alto Tocantins	<b>17.93</b>	<b>40.66</b>	<b>44.09%</b>	<b>2</b>
Alto Médio Tocantins	<b>2.08</b>	<b>137.65</b>	<b>1.51%</b>	<b>Especial</b>
Paraná	<b>3.12</b>	<b>71.22</b>	<b>4.38%</b>	<b>1</b>
Sono	<b>0.92</b>	<b>72.21</b>	<b>1.28%</b>	<b>Especial</b>
Itacaiúnas	<b>0.00</b>	<b>7.93</b>	<b>0.05%</b>	<b>2</b>
Submédio Tocantins	<b>0.04</b>	<b>1309.00</b>	<b>0.00%</b>	<b>2</b>
Médio Tocantins	<b>5.52</b>	<b>456.40</b>	<b>1.21%</b>	<b>2</b>
Submédio Araguaia	<b>0.40</b>	<b>140.27</b>	<b>0.29%</b>	<b>1</b>
Médio Araguaia	<b>22.09</b>	<b>55.54</b>	<b>39.77%</b>	<b>Especial</b>
Pará	<b>0.24</b>	<b>56.19</b>	<b>0.42%</b>	<b>1</b>
Baixo Tocantins	<b>0.08</b>	<b>2034.79</b>	<b>0.00%</b>	<b>2</b>
Baixo Mortes	<b>0.07</b>	<b>131.55</b>	<b>0.05%</b>	<b>1</b>
Baixo Araguaia	<b>0.08</b>	<b>543.87</b>	<b>0.01%</b>	<b>2</b>
Alto Araguaia	<b>3.35</b>	<b>36.32</b>	<b>9.24%</b>	<b>1</b>
Alto Mortes	<b>6.49</b>	<b>98.58</b>	<b>6.59%</b>	<b>1</b>
Alto Médio Araguaia	<b>5.36</b>	<b>70.28</b>	<b>7.62%</b>	<b>1</b>
Acara Guamá	<b>1.68</b>	<b>234.36</b>	<b>0.72%</b>	<b>1</b>

Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

Identifica-se demandas excessivas para as UP's Alto Tocantins e Médio Araguaia frente às suas disponibilidades superficiais.

A obtenção do balanço de disponibilidade, juntamente com a classificação de enquadramento dos corpos d'água (Tabela 25), permite obter o indicador de irrigação através da ponderação por pesos iguais dos valores obtidos para cada UP.

Anterior à concepção deste, os dados da Tabela 35 são normalizados, seguindo as faixas e ranqueamento apresentado na Tabela 36, para a classificação de enquadramento de corpos d'água, e a Tabela 37, para os valores do índice de escassez.

Tabela 36: Normalização dos valores de enquadramento dos corpos d'água, segundo a PNRH. Elaboração própria.

Normalização do indicador de Enquadramento				
Classe especial	classe 1	classe 2	classe 3	classe 5
<b>5</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>

Tabela 37: Normalização por faixa e ranqueamento para o parâmetro “índice de escassez”.

Normalização do índice de escassez - Abastecimento urbano		
Faixa	Ranking	Nível de estresse hídrico pela demanda urbana
< 5%	5	Muito baixa
5% a 10%	4	baixa
10% a 20%	3	Média
20% a 40%	2	Alta
> 40%	1	Muito alta

## 5. Estudo de caso – Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia

### 5.1. Localização da área de estudo

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA) possui uma área de 918.822 km<sup>2</sup>, abrangendo parte das regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste. Representa 11% do território brasileiro, sendo a região composta pelos estados Tocantins (contido integralmente na RHTA), Mato Grosso, Pará, Maranhão, Goiás e o distrito federal, e um total de 409 municípios (Figura 27).

É a mais extensa em termos da área de drenagem integralmente situada no território brasileiro. A presença, abundância e utilização dos recursos naturais conferem à região um relevante papel no desenvolvimento do país.

A Tabela 38, a seguir, apresenta o quantitativo de área de cada estado integrante da região hidrográfica de estudo (ANA, 2009).

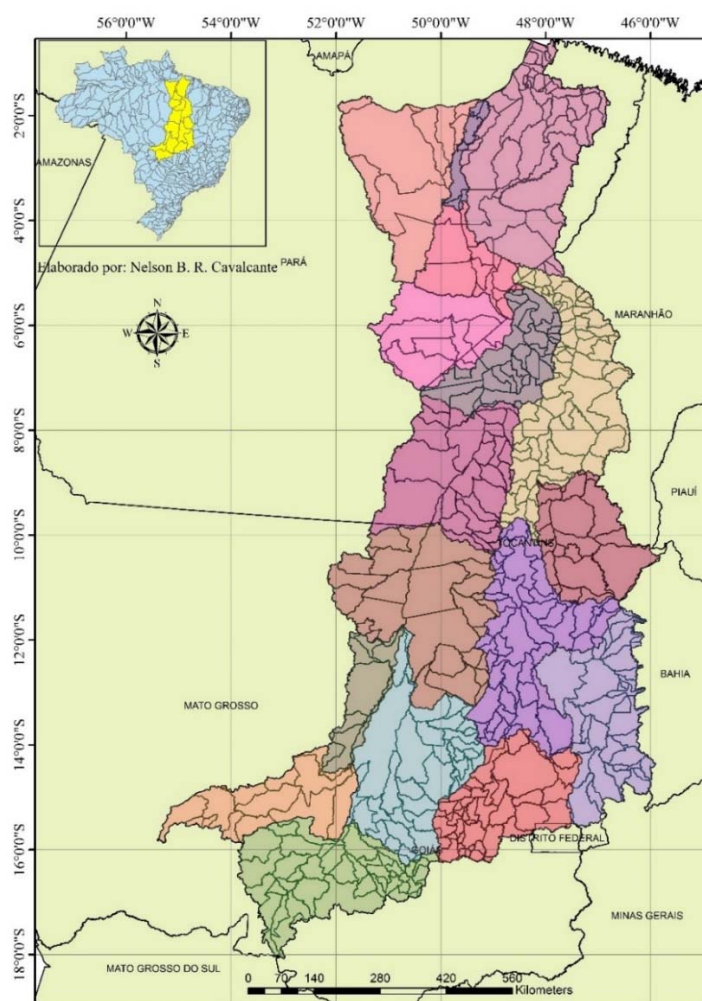


Figura 27: Divisão em nível municipal da região hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Considera-se ainda a subdivisão em unidades de gestão, com fins de planejamento e gestão da informação hidrológica disponível e aproveitamentos hidrelétricos existentes.

Esta subdivisão, composta por 17 unidades de planejamento, apresentada na Figura 28, será objeto de estudo desta dissertação.

Localizada entre os paralelos sul 0° 30' e 18° 05' e os meridianos de longitude oeste 45° 45' e 56/ 20', a RHTA segue a direção predominante dos cursos d'água principais, os rios Tocantins e o Araguaia, que tem sua confluência na região setentrional.

A Figura 28 apresenta a região hidrográfica e sua divisão estratégica de gestão (Unidades de Planejamento), apresentada no Plano Estratégico da bacia Hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia.

A Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia (RHTA) apresenta uma população de 7.890.714 habitantes, com uma densidade demográfica de 8,1 hab./km<sup>2</sup>. Os Municípios com até cinco mil habitantes (54,3%) são predominantes na região, correspondendo a apenas 13% da população urbana regional.

As principais cidades são: Belém – PA (1.280.614 hab.), Imperatriz – MA (230 mil hab.), Marabá – PA (168 mil hab.), Palmas – TO (137 mil hab.) e Araguaína – TO (113 mil hab.). A maior parte da população concentra-se nas unidades hidrográficas do Tocantins e litoral do Pará (MMA, 2006).

A Tabela 38 aponta a distribuição de área na RHTA dentre os estados que a compõem.

Tabela 38: Estudo de área dos estados que fazem parte da RHTA.

ESTUDO DE ÁREAS - RHTA		
Unidade da Federação	Área da UF na RHTA	
	km <sup>2</sup>	(%)
<b>Pará</b>	<b>278.073</b>	<b>30.3</b>
<b>Tocantins</b>	<b>277.621</b>	<b>30.2</b>
<b>Goiás</b>	<b>196.297</b>	<b>21.4</b>
<b>Mato Grosso</b>	<b>135.302</b>	<b>14.7</b>
<b>Maranhão</b>	<b>30.757</b>	<b>3.3</b>
<b>Distrito Federal</b>	<b>772</b>	<b>0.1</b>
<b>TOTAL</b>	<b>918.822</b>	<b>100.0</b>

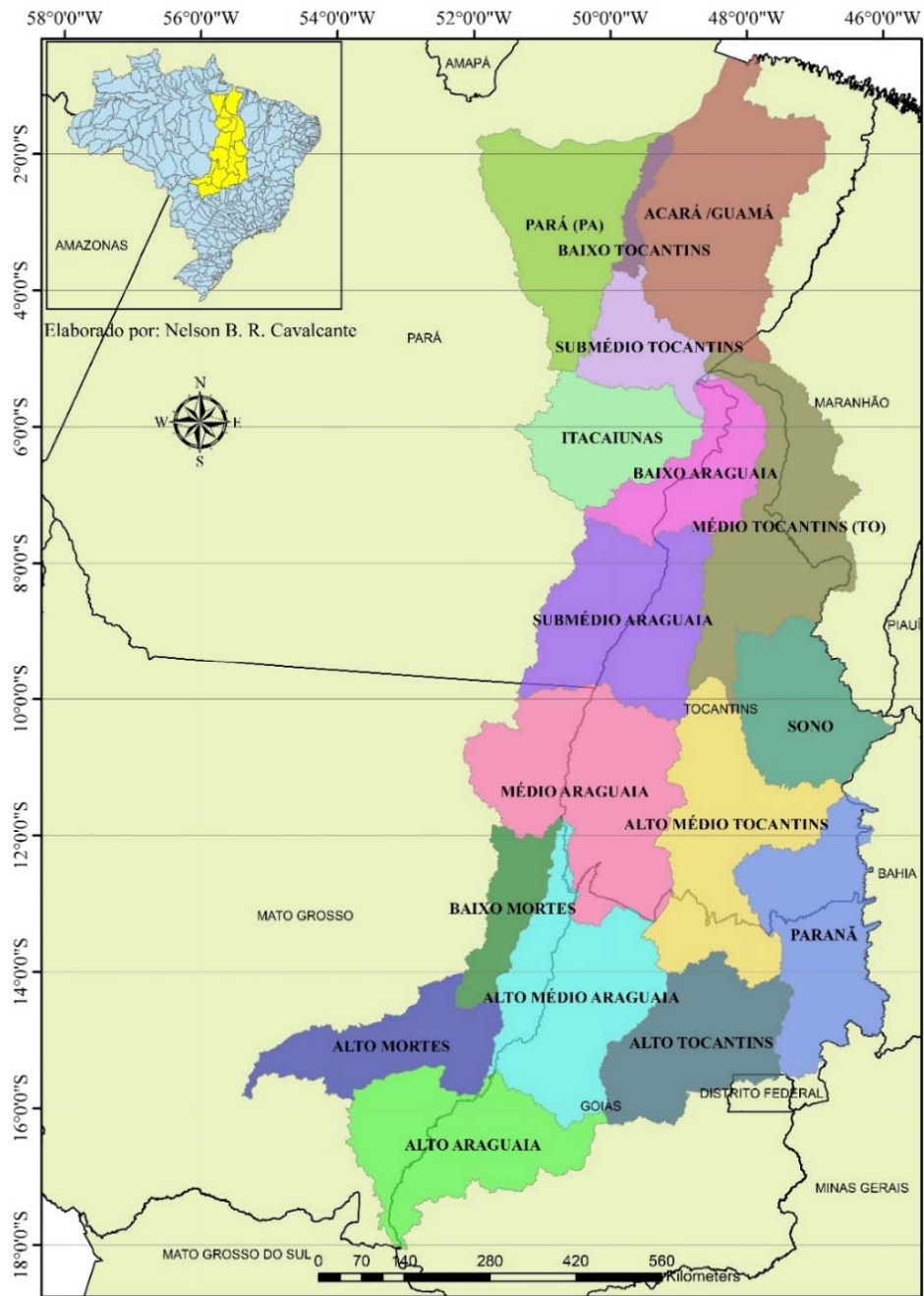


Figura 28: Unidades de Planejamento. Elaboração Própria. Fonte: ANA, 2018a.



## 5.2. Geomorfologia

A descrição da geologia regional da RHTA baseia-se na identificação e descrição das principais Províncias Geotectônicas que a compõem. Cada uma das Províncias, Escudos Cristalinos, Cinturões Metassedimentares, Bacias Sedimentares e Coberturas Sedimentares Recentes é constituída por um grupo de rochas com características genéticas e estruturais similares (FGV; MMA; ANEEL, 1998).

A província Escudos Cristalinos pode ser subdividida em duas sub-províncias, Escudo Brasil-Central, a noroeste da região, e o Maciço Central Goiano, no centro e sudeste. O Escudo Brasil-Central corresponde essencialmente a uma porção do Cráton do Amazonas, cujas rochas, Pré-Cambrianas aflorantes, pertencem em sua maior parte ao Complexo Xingu, constituído basicamente por rochas metamórficas de alto grau do tipo gnaisses e migmatitos (FGV; MMA; ANEEL, 1998). Associadas a estas rochas, encontram-se seqüências de rochas do tipo anfibolitos, quartzitos, além de intrusões de rochas ígneas graníticas e granodioríticas.

Na RHTA pode-se identificar seis macro unidades geomorfológicas – Planícies, Depressões, Tabuleiros, Patamares, Chapadas e Planaltos. As direções estruturais (tectônicas) predominantes são NW-SE, podendo ocorrer feições com orientação NNE – SW, principalmente no extremo oeste da região (FGV; MMA; ANEEL, 1998).

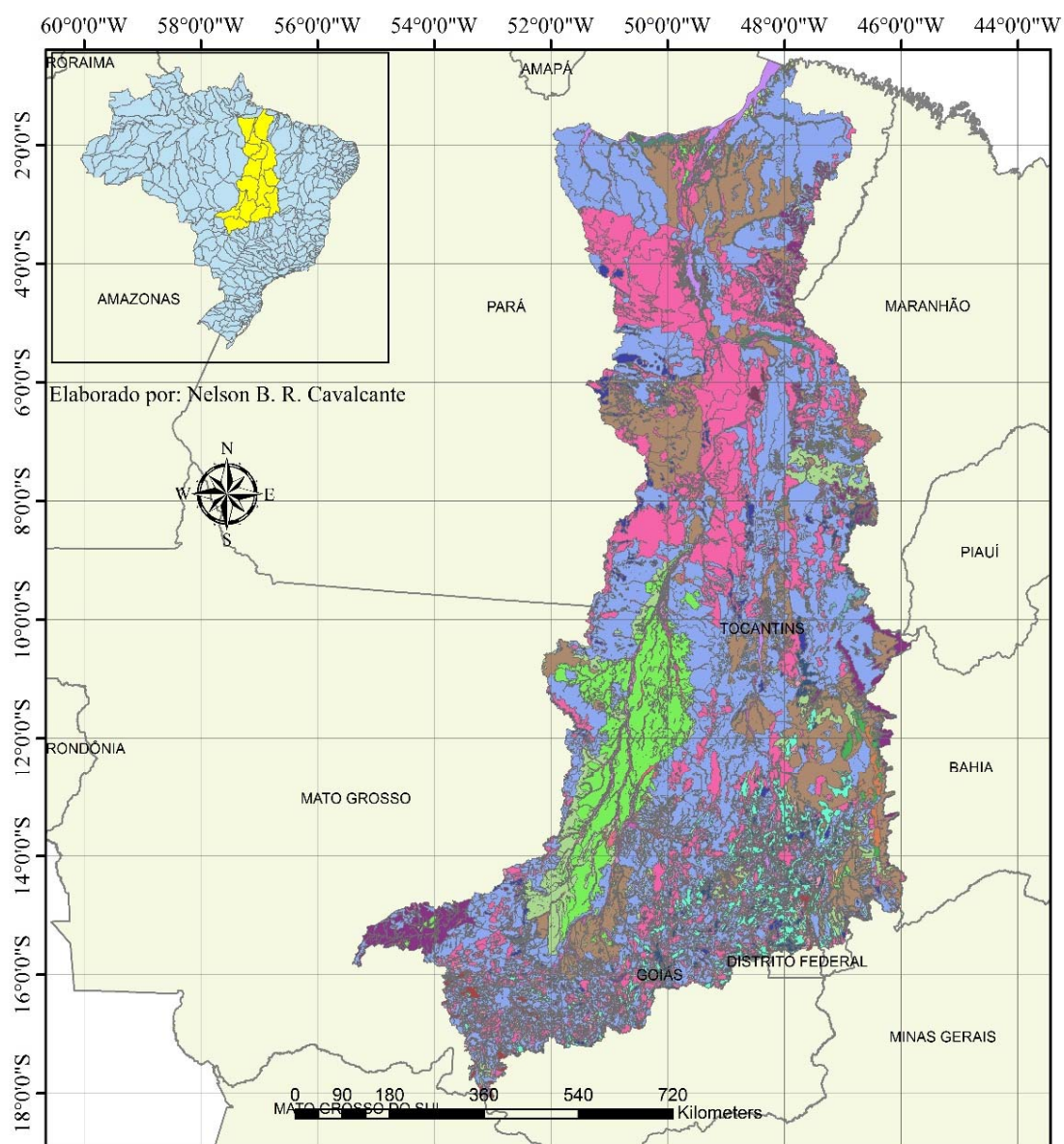
Nos trechos Alto e Médio, a Bacia do Tocantins apresenta o domínio geomorfológico da Depressão do Tocantins, correspondendo predominantemente às rochas da Província Tocantins.

Essa região mostra uma feição praticamente plana e com fraco grau de dissecação, com altitudes variando de 200 m a norte a 500 m na extremidade sul.

No trecho médio, situado a norte, o rio Tocantins cruza uma área característica de depressão monoclinial, a Depressão do Médio Tocantins, que secciona a borda ocidental da Bacia Sedimentar do Parnaíba.

No trecho baixo do rio Tocantins predominam as cotas altimétricas inferiores a 100 m, que estão associadas à porção setentrional da Depressão Periférica do Sul do Pará e ao Planalto Setentrional Pará-Maranhão e correspondem geologicamente a parte do Cráton do Amazonas, às bacias sedimentares do Parnaíba e do Amazonas e ao Grupo Barreiras. (ANA, 2009).

A seguir são apresentados os mapas de Categorias Geomorfológicas (Figura 29) Hipsometria (Figura 30).



**Categorias geomorfológicas**

Carste coberto	Estrutural aguçada	Pediplano degradado inumado	Planície fluvial
Carste descoberto	Homogênea aguçada	Pediplano retocado desnudado	Planície fluvioacustre
Em ravinas	Homogênea convexa	Pediplano retocado etchplanado	Planície fluvio-marinha
Encosta íngreme de erosão	Homogênea tabular	Pediplano retocado inumado	Planície marinha
Estrutural DEa DEc DET (atual)	Ilha rochosa	Plano de gênese indiferenciada	Rampa de colúvio
Estrutural convexa	Pedimento	Plano de inundação	Terraço fluvial
Estrutural tabular	Pediplano degradado desnudado	Plano inundável indiferenciado	Terraço fluvioacustre
	Pediplano degradado etchplanado	Planície e terraço fluviais	

Figura 29: Categorias geomorfológicas da RHTA. Elaboração própria. Fonte: ANA, 2018a.

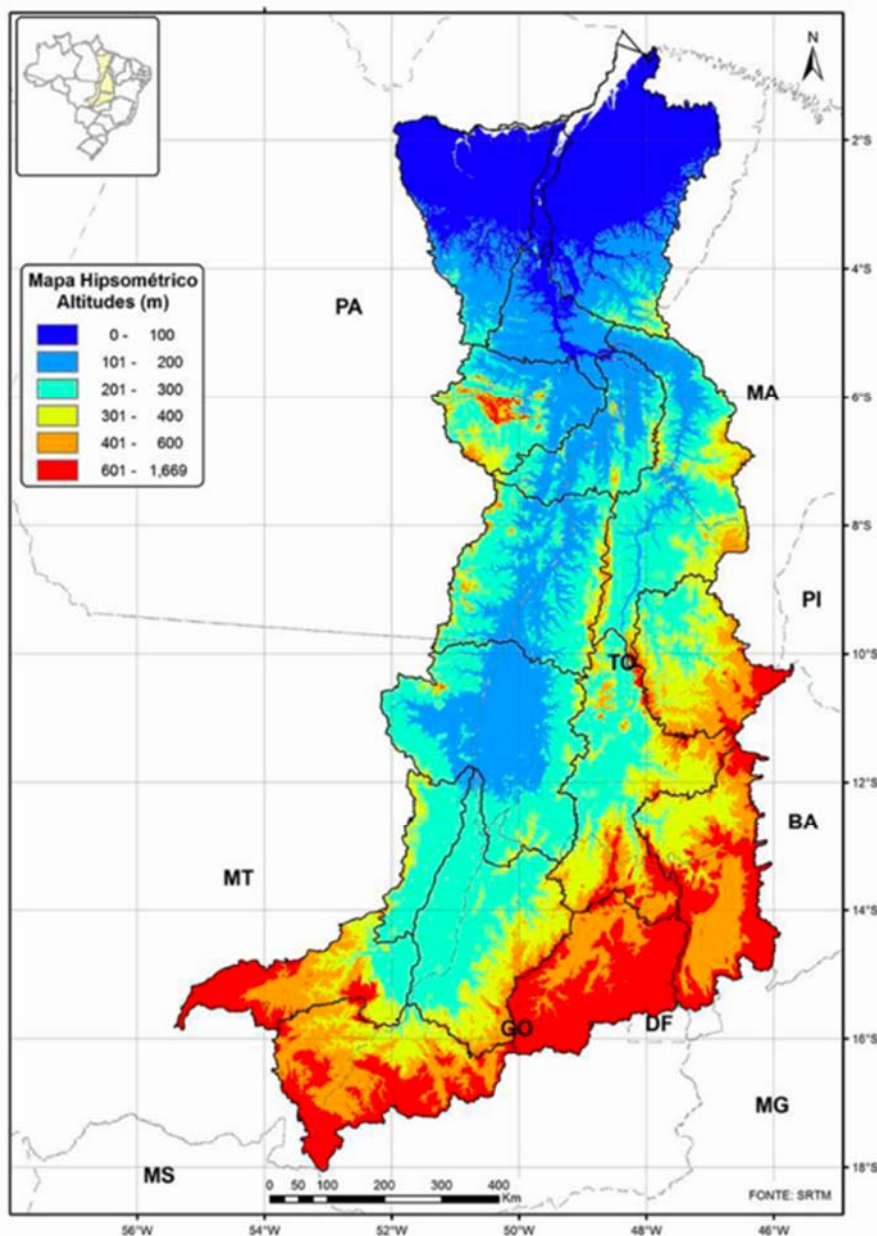


Figura 30: Hipsometria da RHTA. Fonte: ANA, 2009.

O rio Araguaia possui em seu trecho médio correspondente à Depressão do Araguaia. A região central corresponde à Planície do Bananal e, o trecho baixo, à Depressão Periférica do Sul do Pará.

Em destaque encontra-se na bacia do Rio Araguaia a Planície do Bananal, que engloba a Ilha do Bananal, uma área periodicamente alagada, com relevo extremamente plano nivelado, na altitude de 200 m, região de bacia sedimentar associada às coberturas cenozoicas recentes.

A região da Depressão Periférica do Sul do Pará, onde o rio Araguaia apresenta uma planície de inundação mais restrita, caracteriza-se como um embasamento geológico antigo da Província Tocantins e do Cráton do Amazonas.

No rio Tocantins pode-se identificar, nos trechos alto e médio, características de rio de planalto, enquanto o rio Araguaia e o baixo Tocantins, de planície.

Esse aspecto determina aspectos bastante distintivos entre as duas bacias, visto que, o rio Tocantins concentra o potencial hidrelétrico da RHTA, enquanto o Araguaia, em consequência de suas áreas de inundação, apresenta expressivo potencial piscícola.

As maiores usinas hidrelétricas da RHTA, situadas no rio Tocantins, e suas respectivas vazões regularizadas, são as seguintes (Figura 31): Serra da Mesa (662 m<sup>3</sup>/s), Cana Brava (664 m<sup>3</sup>/s), Peixe-Angical (882 m<sup>3</sup>/s), Luís Eduardo Magalhães (882 m<sup>3</sup>/s) e Tucuruí (4783 m<sup>3</sup>/s). A Figura 31 apresenta a cascata com as principais usinas e reservatórios para geração, comparando com a disponibilidade hídrica, vazão média, vazão de retirada e vazão Q95, apresentado no caderno de recursos hídricos, em 2005, pela ANA.

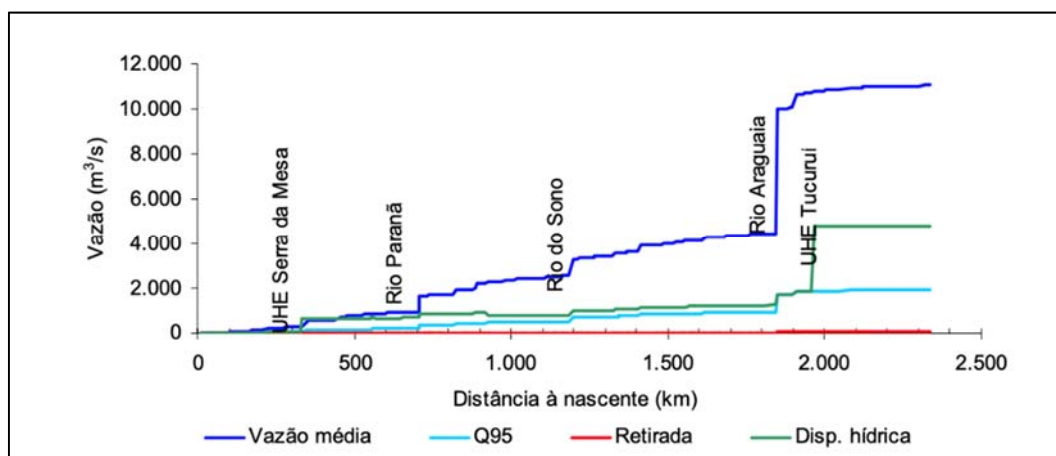


Figura 31: Disponibilidade e demanda de recursos hídricos na RHTA. Fonte: Disponibilidade e demanda de recursos hídricos (ANA, 2005).

### 5.3.Solo

A região RHTA apresenta seis tipos de solo predominantes: argissolo vermelho amarelo, representando 17,2% da região; neossolo quartzarênico, ocupando 15,4% do total; latossolo vermelho-amarelo, representando 14,9% da área total da região; plintossolo háplico, presente em 13,8% da região; latossolo amarelo, representando 9,5% da área total e neossolo litólico, identificado em 7,7% da região (Figura 32).

Ainda são encontrados mais quinze tipos de solo na RHTA, que tem menor representatividade na região e ocupam juntos 21,5% do território (ANA, 2009).

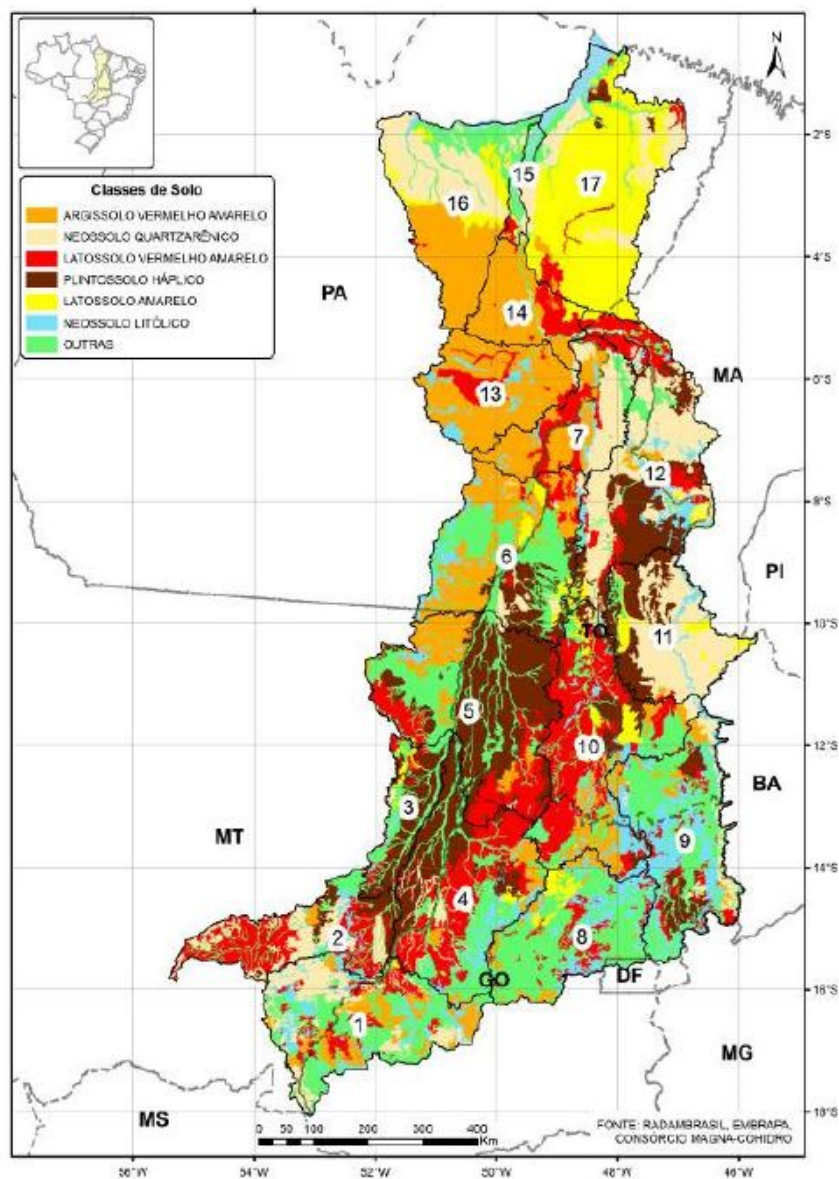


Figura 32: Principais classes de solo. Fonte: ANA, 2009.



O plano de bacia da região apresenta uma caracterização dos grupos de aptidão agrícola de acordo com as classes de sol segundo a EMBRAPA (1999).

Com base nesta classificação, foram definidos grupos de 1 a 6 (Figura 33). Os grupos de 1 a 3, representados pelas terras com aptidão agrícola para uso com lavouras, ocupam, respectivamente, 17,6%, 44,0% e 17,5% da superfície da RHTA, identificando grande potencial para agricultura.

As regiões com aptidão agrícola para uso com pastagem plantada, representadas pelo grupo 4, ocupam 6,7% da região. O Grupo 5, caracterizado pelas terras propícias para pastagem natural ou silvicultura, ocupa 5,9% da região. O Grupo 6, definido como “terras não indicadas para utilização agrícola”, representa apenas 6,7% da área da RHTA. As maiores extensões de terras com aptidão estão localizadas nas UP's Acará-Guamá (8,8% da RHTA), Médio Araguaia (7,8%), Médio Tocantins (7,4%) e Alto Médio Tocantins (6,3%) (ANA, 2009).

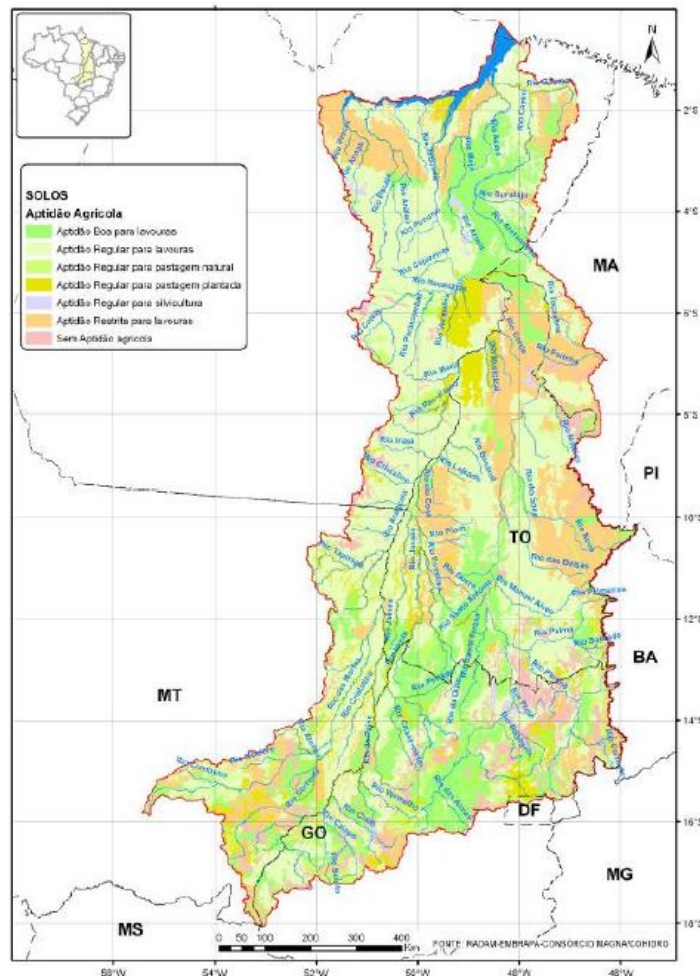


Figura 33: Mapa de aptidão agrícola da RHTA. Fonte: ANA, 2009.

As UP's Alto Mortes, Alto Médio Araguaia, Médio Araguaia e Alto Médio Tocantins apresentam as terras mais aptas para cultura agrícola, caracterizadas pelos seguintes solos: latossolos vermelho-amarelo, o latossolo vermelho e o latossolo amarelo, que são solos minerais, não hidromórficos, profundos e bem drenados.

Na parte da região amazônica presente na RHTA, a presença de latossolos amarelo e vermelho-amarelo caracteriza a melhor aptidão agrícola, identificado majoritariamente na região UP Acará-Guamá.

Segundo o Plano de Bacia da RHTA (ANA, 2009), o potencial de áreas irrigáveis está concentrado nas seguintes UP's: Alto Médio Tocantins, apresentando 24% do total de área potencialmente irrigável; Alto Araguaia, com 15% das áreas; Alto Médio Araguaia, com 14%; Médio Tocantins, com 10%; Submédio Araguaia e Baixo Araguaia, com 9% cada; e Alto Tocantins, com 8%.

Sob a perspectiva das unidades da federação, o estado de Goiás detém 35,1% das áreas potencialmente irrigáveis, sendo seguido pelo estado do Tocantins (34,4% da área total), Mato Grosso (13,3%), Pará (13,0%), Maranhão (4,3%).

Concomitantemente com a expressiva e potencial exploração econômica da região, deve-se considerar o processo de erosão identificado na RHTA.

As condições físicas e climáticas, associadas à atividade agropecuária, intensificam o desenvolvimento de processos erosivos na bacia, os quais se manifestam desde sulcos até voçorocas de grande extensão, influenciando o aumento do assoreamento dos corpos d'água.

Os solos que apresentam maior suscetibilidade à erosão na região são, devido à sua baixa coesão e alta friabilidade, os Neossolos Quartzarênicos, Litólicos e Flúvicos, ocupando cerca de 24% da área total da RHTA. Os problemas erosivos, na RHTA, estão concentrados especialmente nas cabeceiras do rio Araguaia, na UP Alto Araguaia.

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2003), a irrigação e o uso indiscriminado do solo para agricultura e pecuária têm desencadeado intensa atividade erosiva, principalmente na Bacia do Rio Araguaia, favorecendo a ocorrência de enchentes e causando alterações ecológicas na Bacia.

O processo erosivo é proeminente nos chapadões ocupados pela monocultura, ocasionando perda da fertilidade dos solos e aumentando a necessidade de adubação química.

## 5.4.Clima

A RHTA caracteriza-se por clima regular, com estações que apresentam pequenas variações anuais. O clima predominante da RHTA é tropical, com temperatura média anual de 26°C, e períodos climáticos bem definidos.

Segundo dados da ANA (2005), a precipitação média na região é da ordem de 1.837 mm/ano, com totais pluviométricos mais elevadas ao Norte e menos ao Sul, com valores de 3.000 mm em Belém e 1.500 mm em Brasília.

A classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia.

A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista russo Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936, com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger, originando então o nome atual da classificação Köppen-Geiger.

A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalente (VIENNA, 2016).

A partir da utilização de dados em ambiente SIG, foi possível a sobreposição precisa do mapa de classificação climática de Köppen-Geiger, obtido da base da universidade de Viena, com o mapa georreferenciado para a RHTA, disponibilizadas na base de dados da ANA.

Segundo a metodologia de Köppen e considerando a classificação climática para o período de 2001 a 2025, os seguintes tipos climáticos são identificados na RHTA (Figura 34):

- Af (úmido megatérmico): elevados totais pluviométricos anuais, sem estação seca, com totais pluviométricos superiores a 100 mm durante todos os meses do ano. Temperatura média mensal de cerca de 26°C;
- Am (tropical úmido megatérmico): índice pluviométrico anual da ordem de 2.000 mm, com precipitações inferiores a 50 mm e temperatura média de 26°C;
- Aw (quente e úmido megatérmico): índice pluviométrico anual da ordem de 1.700 mm, temperaturas médias mensais de 24°C a 26°C. Apresentando período de estiagem de junho a agosto, com totais pluviométricos mensais menores que 10 mm.



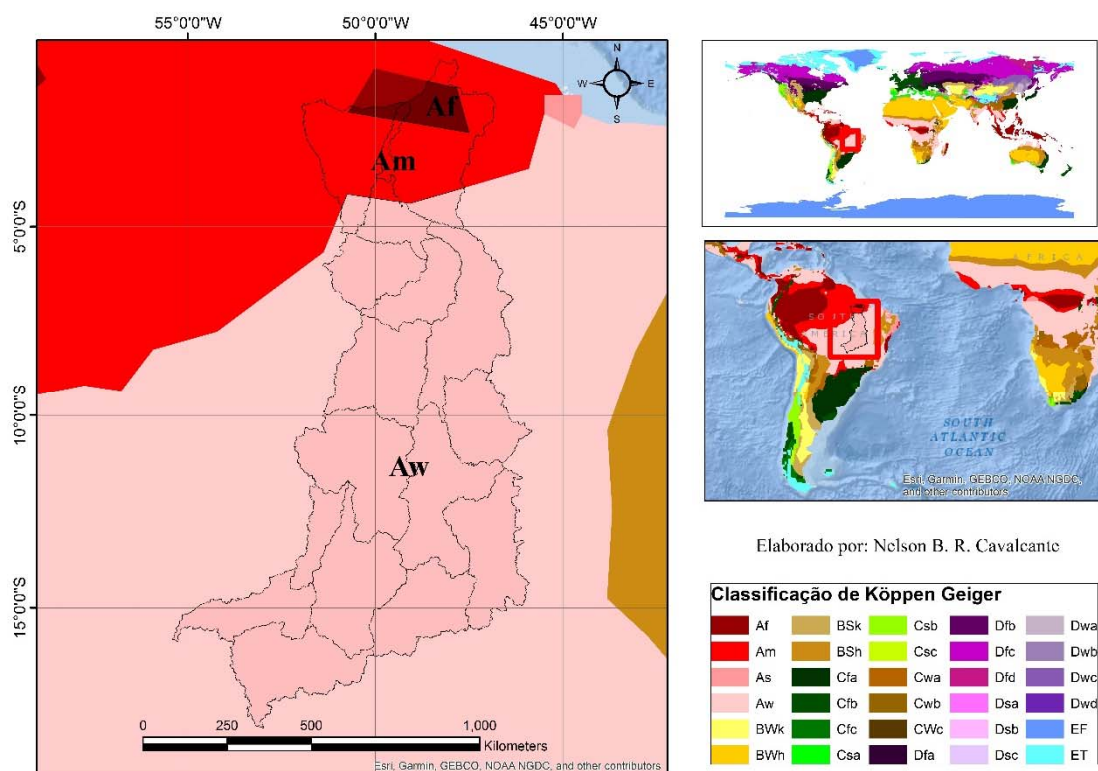


Figura 34: Classificação Köppen-Geiger para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: Vienna, 2016.

O regime das chuvas da RHTA é baseado, principalmente, nos sistemas de circulação atmosférica, sendo que o efeito do relevo é pouco significativo na região. A precipitação média na região é de 1.744 mm com os totais pluviométricos crescendo de Sul para o Norte - valores próximos a 1.500 mm (Brasília) a 3.000 mm (Belém) - e decrescendo no sentido de Oeste para Leste - valores da ordem de 1.800 mm a 1.200 mm (Figura 35).

Cabe destacar que, principalmente na região sudeste, na UP Paranhã os índices atingem valores menores que 1.200 mm. As médias anuais de precipitação de cada UP são apresentadas na Tabela 39.

A região apresenta essencialmente duas estações: período chuvoso, compreendido entre os meses de novembro a março; e o seco, entre os meses de maio e setembro.

Tabela 39: Precipitação média anual e área de drenagem por UP.

<b>Unidade de Planejamento</b>	<b>Precipitação média anual (mm/ano)</b>	<b>Área de Drenagem (km<sup>2</sup>)</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>1.595</b>	<b>62.640</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>1.648</b>	<b>40.130</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>1.591</b>	<b>21.584</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>1.586</b>	<b>69.822</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>1.645</b>	<b>86.160</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>1.835</b>	<b>67.964</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>1.657</b>	<b>36.760</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>1.556</b>	<b>51.201</b>
<b>Paraná</b>	<b>1.379</b>	<b>59.313</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>1.598</b>	<b>72.964</b>
<b>Sono</b>	<b>1.573</b>	<b>45.687</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>1.610</b>	<b>76.953</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>1.776</b>	<b>41.219</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>1.857</b>	<b>759.243</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>2.510</b>	<b>764.996</b>
<b>Pará</b>	<b>2.333</b>	<b>60.698</b>
<b>Acará-Guamá</b>	<b>2.271</b>	<b>85.910</b>
<b>RHTA</b>	<b>1.744</b>	<b>911.604</b>

Fonte: Adaptado de ANA, 2005.

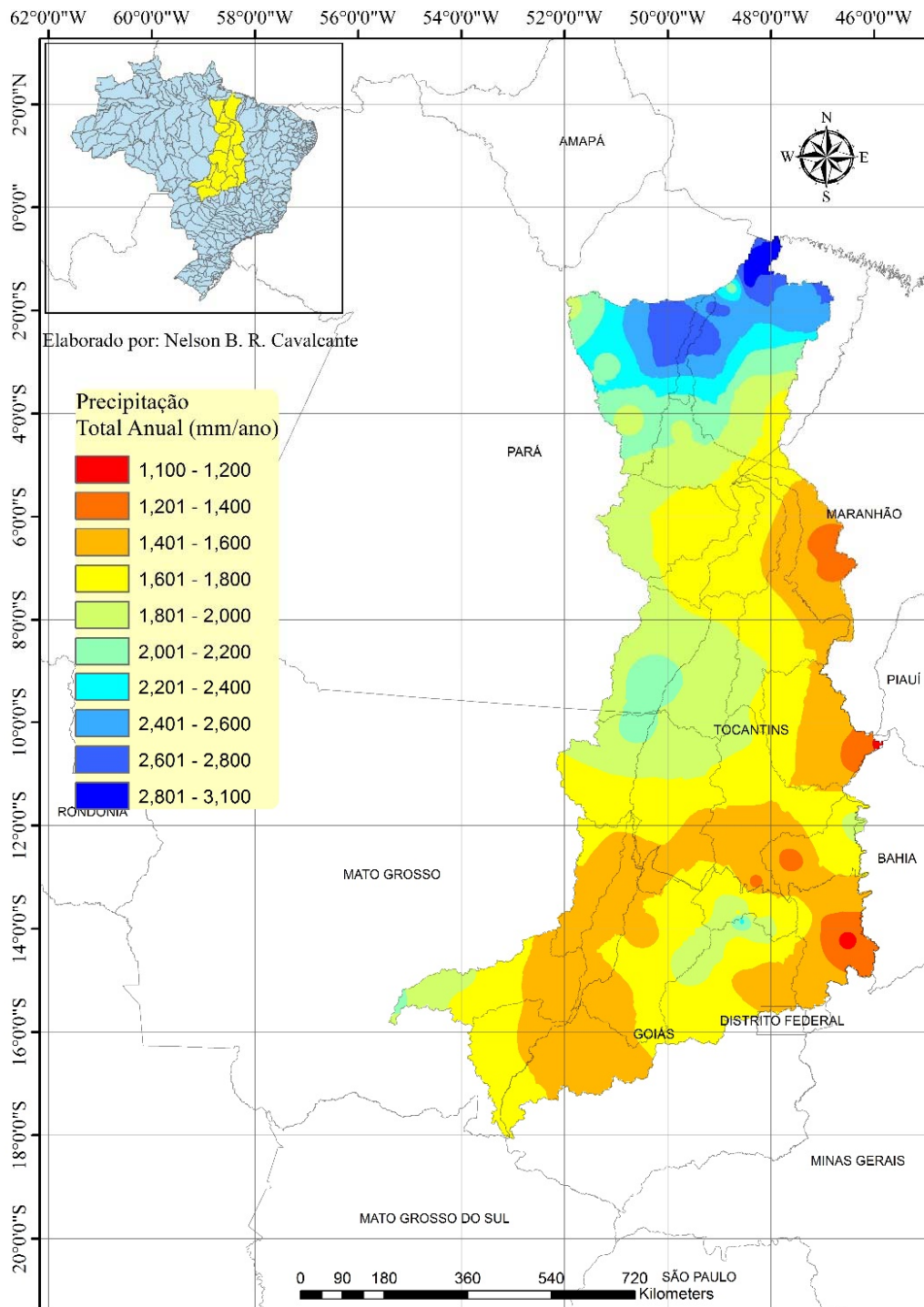


Figura 35: Precipitação com base nos dados de 1977 a 2006. Elaboração própria. Fonte: CPRM, 2018.

## 5.5. Caracterização da rede hidrográfica

A RHTA tem o segundo maior valor para disponibilidade hídrica nacional, totalizando 5.496,83 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2016) de disponibilidade superficial, com o valor total de 13.799 m<sup>3</sup>/s para vazão média.

A Figura 36 apresenta o mapa de massa d'água (espelho d'água) da RHTA.

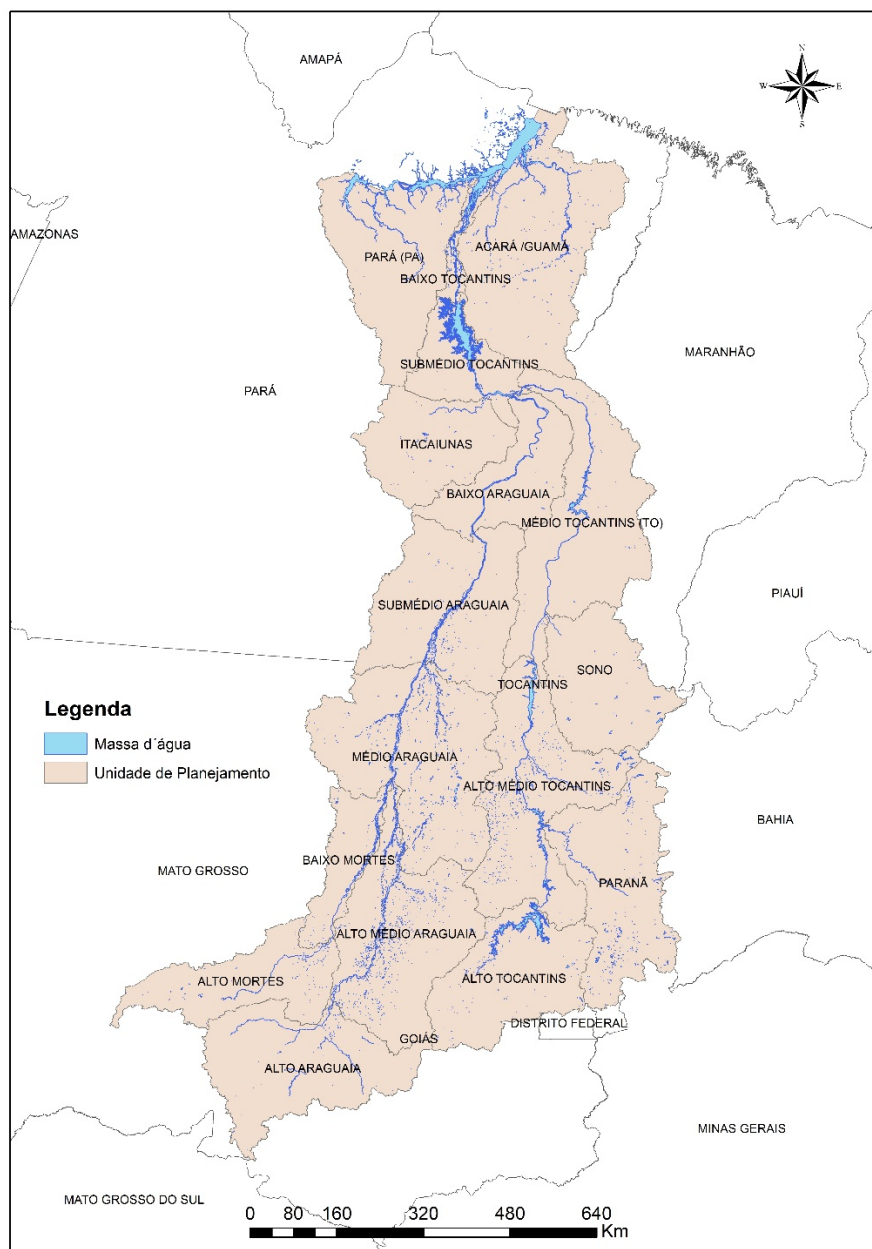


Figura 36: Mapa de massa d'água para a região hidrográfica Tocantins-Araguaia. Elaboração própria. Fonte: ANA Metadados, 2016. Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>.

Com extensão de aproximadamente 2.400 km, o rio Tocantins tem como principal tributário o rio Araguaia, onde se encontra a maior ilha do bananal, maior ilha fluvial do mundo.

Em seu trecho de maior altitude atinge cerca de 1000 metros, onde encontra-se a confluências dos rios das Almas e Maranhão, no Planalto de Goiás.

Os afluentes do Tocantins, até sua confluência com o Araguaia, localizam-se na margem direita e são os seguintes: Paranã, Manoel Alves, do Sono e Manoel Alves Grande. O rio Itacaiúnas aflui na margem esquerda do Tocantins, após o ponto de confluência com o Araguaia.

Na região a montante do ponto de confluências com seu principal afluente, o rio Tocantins apresenta uma área de 306.310 km<sup>2</sup>, atingindo um total de 764.996 km<sup>2</sup> na foz, considerando a área de drenagem do rio Araguaia (ANA, 2009).

A Resolução no 32, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (Brasil, 2003), que institui a divisão hidrográfica nacional, inclui na RHTA, além das bacias do Tocantins e Araguaia, as regiões referentes às unidades de planejamento Pará, que encontra-se a oeste, correspondendo às bacias dos rios Pacajá e demais afluentes da margem direita do rio Pará; e Acará-Guamá, localizada a leste, incluindo as bacias dos rios Acará, Guamá e Moju, adicionadas à região pelas características fisiográficas e a importância histórica de Belém, que está vinculada à navegação fluvial e à ocupação do território amazônico (ANA, 2009).

Desconsiderando as unidades de planejamento Pará e Acara-Guamá – para tomar exclusivamente as bacias do Tocantins e Araguaia – a vazão média é de 11,088 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2009) e o valor da disponibilidade hídrica superficial é de 5.496,83 m<sup>3</sup>/s (ANA, 2018), o que demonstra a predominância de contribuição hídrica destas duas bacias na região hidrográfica.

A Tabela 40, a seguir, contém os valores disponibilidade superficial hídrica para cada uma das 17 UP's da RHTA.

Tabela 40 - Disponibilidade Superficial hídrica por unidade de planejamento. Elaboração própria.  
 Fonte: Metadados ANA, 2016. Disponível em:  
<http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home>

<b>UP</b>	<b>Disponibilidade Superficial (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>40.66</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>137.65</b>
<b>Paraná</b>	<b>71.22</b>
<b>Sono</b>	<b>72.21</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>7.93</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>1309.00</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>456.4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>140.27</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>55.54</b>
<b>Pará</b>	<b>56.19</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>2034.79</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>131.55</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>543.87</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>36.32</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>98.58</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>70.28</b>
<b>Acará-Guamá</b>	<b>234.36</b>
<b>Total</b>	<b>5496.83</b>

## 6. Resultados

### 6.1. Indicador de Navegabilidade

A Tabela 41 apresenta os resultados de análise, em ambiente SIG, dos corpos hídricos da RHTA. As UP's consideradas para o estudo de navegabilidade foram as constantes na bacia do rio Tocantins e Itacaiúnas.

Tabela 41: Estudo de análise de largura para unidades de planejamento da RHTA.

Unidade de Planejamento	Trechos não-navegáveis					
	Não navegável* (m)		Trecho L < 36 (m)		Trecho < 71 (m)	
Alto Tocantins	650.00	0.76%	0.00	0.00%	200.00	0.23%
Alto médio Tocantins	18,350.00	4.30%	-	-	-	-
Paraná-Tocantins	28,250.00	9.92%	200.00	0.07%	4,300.00	1.51%
Sono	-	-	-	-	-	-
Itacaiúnas	14,950.00	7.45%	-	-	100.00	0.05%
Sub médio Tocantins	45,550.00	30.77%	-	-	-	-
Médio Tocantins	55,200.00	9.11%	-	-	-	-

\*: Trechos não retilíneos e com presença de ilhas ou similares.

Os trechos não navegáveis, constantes na Tabela 41, supracitada, foram subtraídos do comprimento total dos corpos hídricos analisados, obtendo-se, então, a porcentagem para livre navegação, levando-se em conta somente o fator limitante de largura (ALFREDINI et al, 2014).

Na Tabela 42 e Gráfico 5, a seguir, são apresentados os resultados para o trecho de livre navegação, além de conter a distribuição de notas do ranking, realizada a partir da normalização por faixa de valores (Tabela 15).

O Gráfico 6 apresenta os valores finais, em gráfico tipo radar, para as UP's especificamente analisadas para este indicador.

Tabela 42: Resultados de trecho navegável e composição do indicador de navegabilidade para as UP's da RHTA consideradas.

Resultados para Indicador de Navegabilidade - Largura				
UP	TOTAL (m)	Total navegável (m)		Indicador
Alto Tocantins	85,807.17	84,957.17	99.01%	<b>5</b>
Alto médio Tocantins	426,888.98	408,538.98	95.70%	<b>5</b>
Paraná-Tocantins	284,852.79	252,102.79	88.50%	<b>5</b>
Sono	57,476.54	57,476.54	100.00%	<b>5</b>
Itacaiúnas	200,736.98	185,687.00	92.50%	<b>5</b>
Submédio Tocantins	148,020.98	102,470.98	69.23%	<b>4</b>
Médio Tocantins	606,210.36	551,010.36	90.89%	<b>5</b>

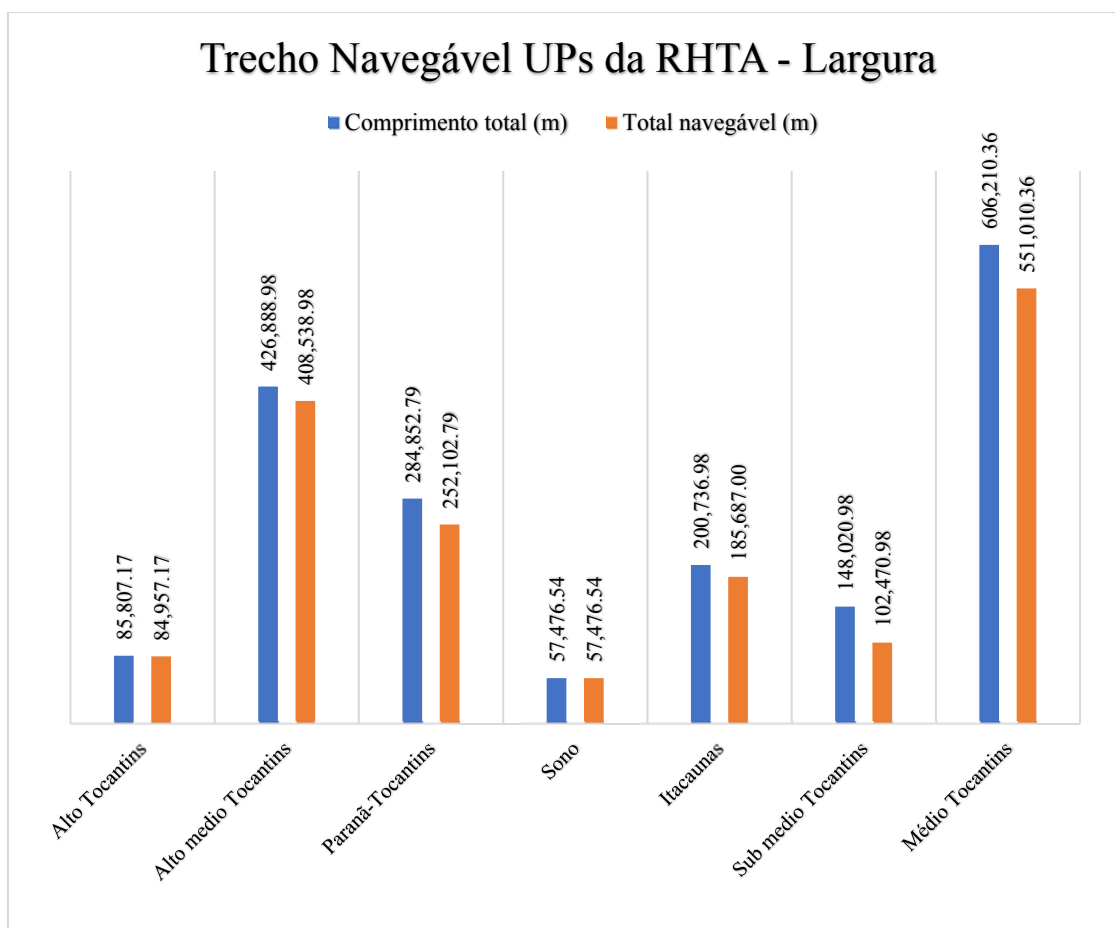


Gráfico 5: Comparação entre Comprimento total e trecho navegável



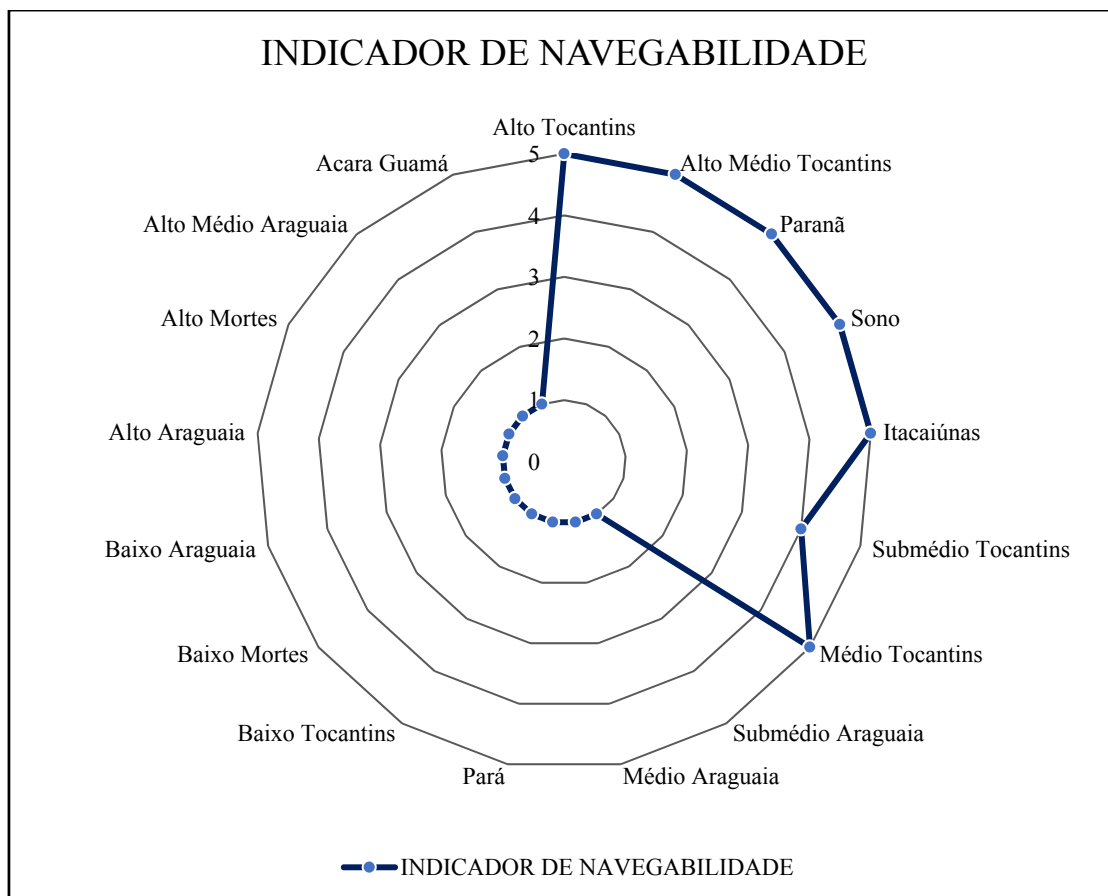


Gráfico 6: Distribuição de valores finais do o indicador de navegabilidade, em gráfico Radar, para as UP's analisadas.

Os resultados permitem identificar o grande potencial para navegação da bacia do Tocantins, desde o ponto de montante até jusante, na confluência com o Araguaia. Excetuando-se a UP Submédio Tocantins, os resultados encontrados apontam que todo o curso do rio Tocantins e Itacaiúnas apresentam dimensão natural com aptidão para navegação de transporte de carga em mais de 85% de seu comprimento.

As únicas UP's que apresentaram largura menor que a mínima para a embarcação-tipo considerada, considerando os corpos hídricos analisados, foram Paranã (trecho de 4.300 metros), Alto Tocantins (Trecho de 200 metros) e Itacaiúnas (200 metros). Desconsiderando também as irregularidades naturais presentes ao longo dos corpos hídricos, apresentaram boa condição de navegabilidade na maior parte do trecho analisado, com 88,50%, 99,01% e 92,50% de trecho navegável, respectivamente.

Nota-se que as UP's Médio Tocantins e Submédio Tocantins apresentaram grande extensão não navegável, apesar de não apresentarem trechos com largura menor que a mínima estipulada para a embarcação-tipo considerada. Este extenso percurso não

navegável se deve principalmente à presença de irregularidades, como grandes ilhas e curvas, que foram desconsideradas na medição.

## 6.2. Indicador de Unidades de Conservação

Através dos dados georreferenciados e analisados em ambiente SIG, obteve-se a relação de áreas de unidades de conservação presente em cada UP (Tabela 43).

A UP Médio Araguaia apresentou o maior percentual de área de terras indígenas e áreas de preservação ambiental, com 34% do total da RHTA, seguida por Itacaiúnas, 15.78%, Sono, com 10.27%, Médio Tocantins, 10.01% e Baixo Mortes, com 6.19 %.

Tabela 43: Quantitativo total (Km<sup>2</sup> e percentual) de unidades de conservação da RHTA.

<b>TOTAL UC - RHTA (km<sup>2</sup>)</b>	<b>79,810.34</b>	
<b>UP</b>	<b>Área UC (km<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentual UP/RHTA</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>300.74</b>	<b>0.38%</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>1,195.38</b>	<b>1.50%</b>
<b>Paraná</b>	<b>186.43</b>	<b>0.23%</b>
<b>Sono</b>	<b>8,197.86</b>	<b>10.27%</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>12,590.56</b>	<b>15.78%</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>3,791.64</b>	<b>4.75%</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>7,986.76</b>	<b>10.01%</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>231.84</b>	<b>0.29%</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>27,544.48</b>	<b>34.51%</b>
<b>Pará</b>	<b>4,671.99</b>	<b>5.85%</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>653.16</b>	<b>0.82%</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4,942.79</b>	<b>6.19%</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>368.41</b>	<b>0.46%</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>771.01</b>	<b>0.97%</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>3,297.05</b>	<b>4.13%</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>1,954.73</b>	<b>2.45%</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>1,125.52</b>	<b>1.41%</b>

A Tabela 44 apresenta, após a distribuição de notas ranqueadas e normalização por faixas (Tabela 23), os valores finais para o indicador de unidades de conservação de cada UP em relação ao total da RHTA.

Tabela 44: Resultados para normalização e indicador de Unidades de Conservação.

UP	Normalização	Indicador de Unidade de Conservação
Alto Tocantins	1.09%	1.00
Alto Médio Tocantins	4.34%	1.00
Paraná	0.68%	1.00
Sono	29.76%	2.00
Itacaiúnas	45.71%	3.00
Submédio Tocantins	13.77%	1.00
Médio Tocantins	29.00%	2.00
Submédio Araguaia	0.84%	1.00
Médio Araguaia	100.00%	5.00
Pará	16.96%	1.00
Baixo Tocantins	2.37%	1.00
Baixo Mortes	17.94%	1.00
Baixo Araguaia	1.34%	1.00
Alto Araguaia	2.80%	1.00
Alto Mortes	11.97%	1.00
Alto Médio Araguaia	7.10%	1.00
Acara Guamá	4.09%	1.00

O Gráfico 7 traz a distribuição dos pontos por UP.

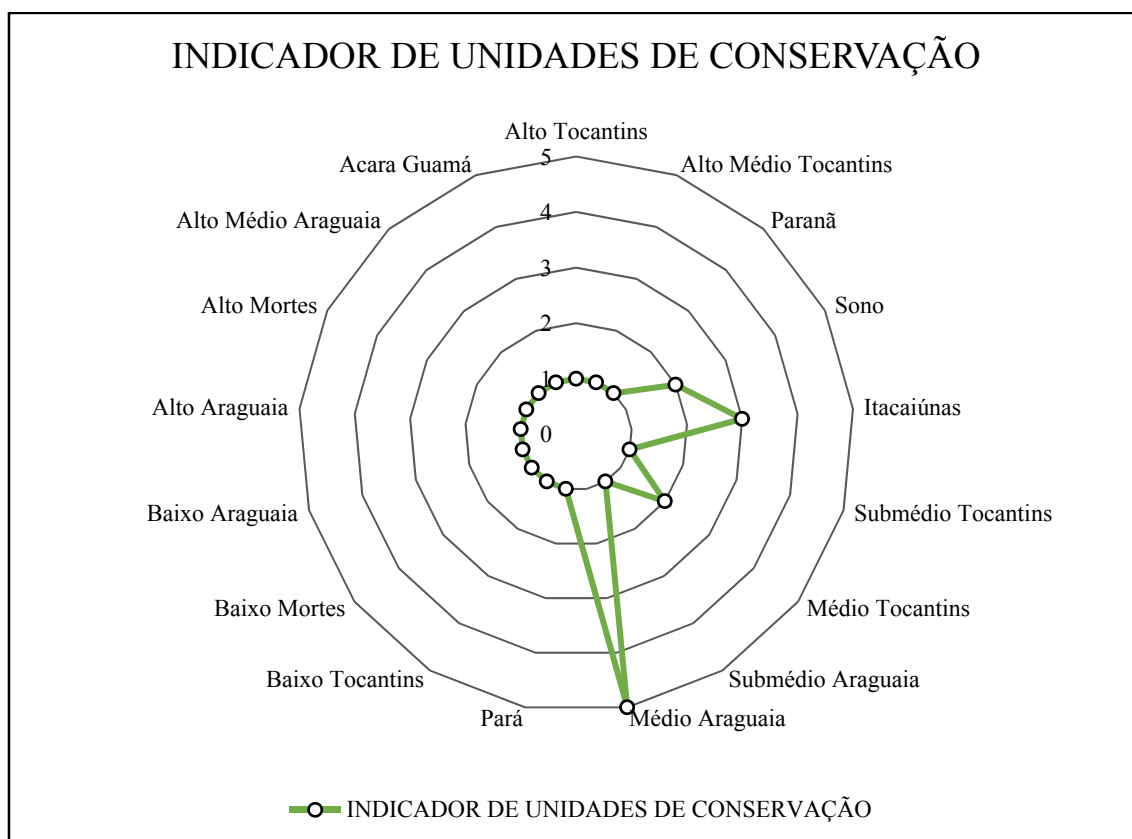


Gráfico 7: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de unidades de conservação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

Através da análise da Tabela 44 e do Gráfico 7, nota-se que 23,75% do quantitativo total de áreas de unidades de conservação encontra-se homogeneamente distribuído entre 12 UP's, com valor mínimo "1".

As 5 UP's restantes, identificadas no início deste capítulo, contemplam 76,25% do total da região, sendo caracterizadas como regiões de grande relevância ambiental e prioritárias para a conservação (Gráfico 8).

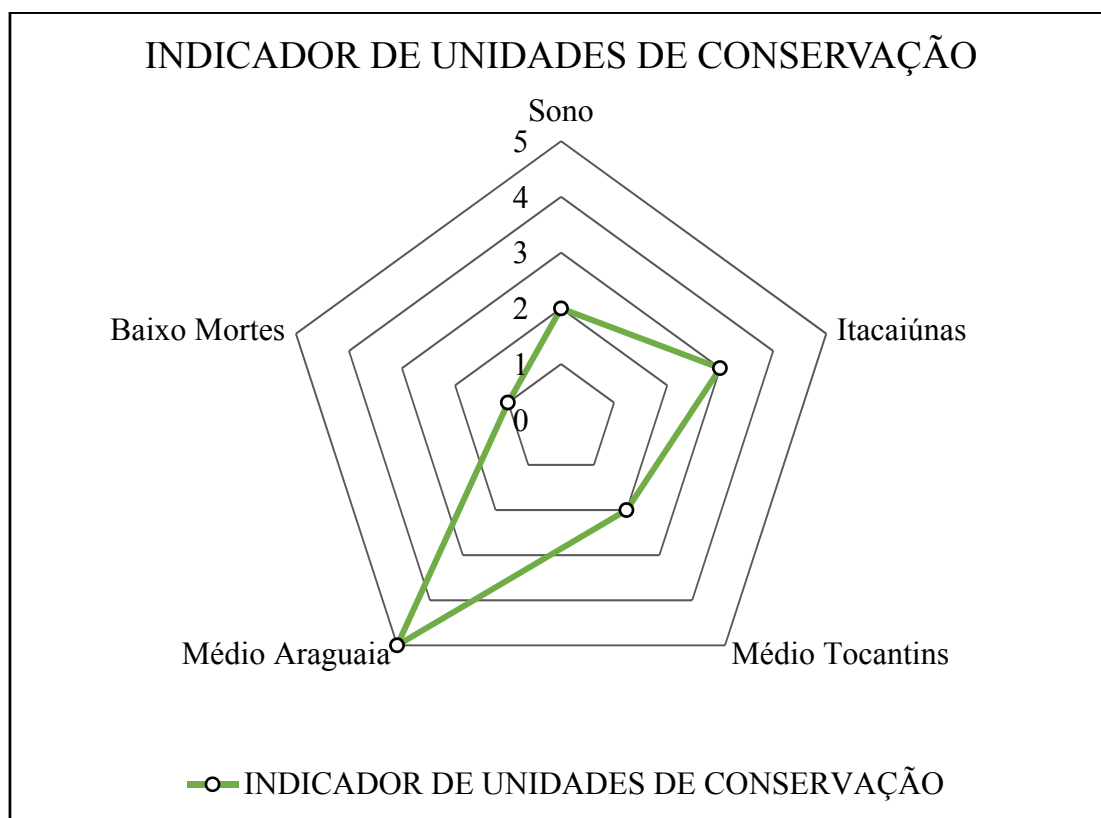


Gráfico 8: UP's com maiores resultados para o indicador de unidades de conservação.

### 6.3. Indicador de Potencial Hidrelétrico

As unidades de planejamento apresentaram heterogeneidade considerável quanto ao potencial hidrelétrico. Apenas as UP's Médio Tocantins e Submédio Tocantins representam juntas cerca de 40% do potencial remanescente atual da bacia, o que as identifica como prioritárias quanto ao prosseguimento de processos de geração de energia hidrelétrica.

As demais distribuem-se entre os indicadores 3, 2 e 1, apresentando níveis inferiores quanto a presença de projetos de geração (Tabela 45).

Tabela 45: Normalização dos valores através da padronização e resultado final para o indicador de potencial, através do ranqueamento.

<b>UP</b>	<b>Padronização</b>	<b>Indicador de Potencial</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>38.62%</b>	<b>2</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>30.72%</b>	<b>2</b>
<b>Paraná</b>	<b>34.05%</b>	<b>2</b>
<b>Sono</b>	<b>40.15%</b>	<b>3</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>85.07%</b>	<b>5</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>100.00%</b>	<b>5</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Pará</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>49.14%</b>	<b>3</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>68.80%</b>	<b>3</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>43.93%</b>	<b>3</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>0.00%</b>	<b>1</b>

Este resultado evidencia o destaque do rio Tocantins, segundo o plano de bacia da região, como o corpo hídrico de grande importância e características favoráveis para uso de geração de energia hidrelétrica, considerando os aspectos geomorfológicos e hidrográficos.

O Gráfico 9 permite observar a distribuição geral do potencial hidrelétrico na RHTA, com destaque ainda para as UP's Alto Mortes, Alto Araguaia e Baixo Araguaia, na bacia do rio Araguaia, e Sono.

No Gráfico 10 apresenta as UP's com os maiores valores do indicador de potencial hidrelétrico da RHTA.

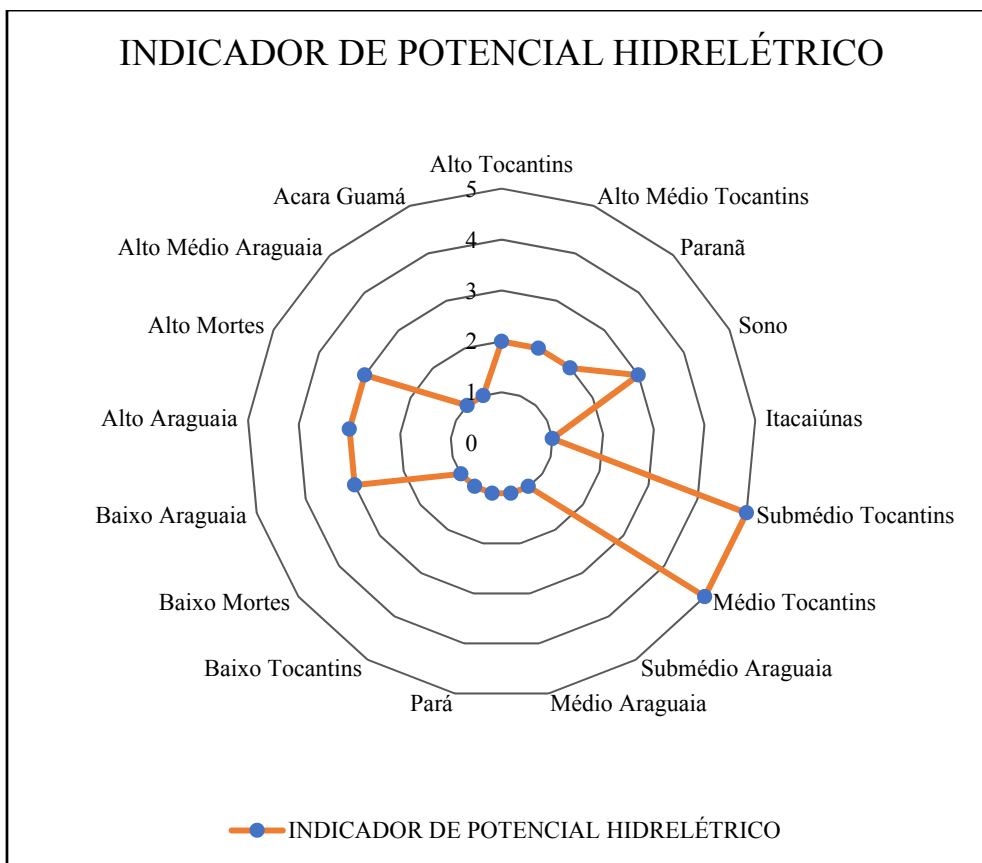


Gráfico 9: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de potencial hidrelétrico por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

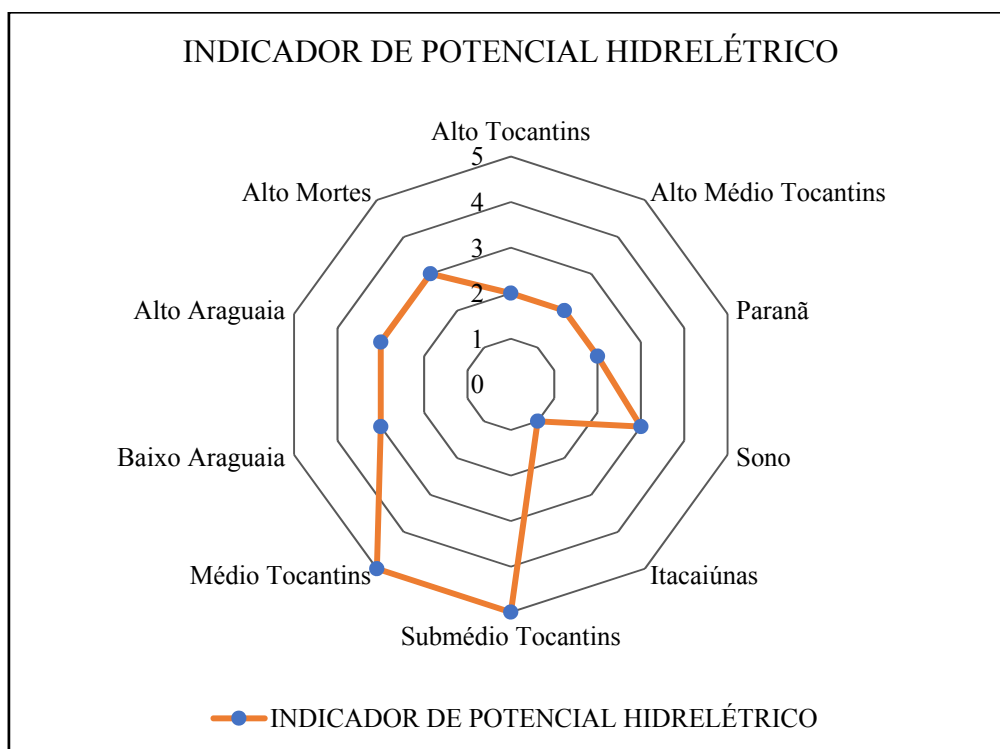


Gráfico 10: Valores do indicador de potencial hidrelétrico referente às UP's em destaque na RHTA.

#### 6.4. Indicador de Inventário Hidrelétrico

Através da análise dos dados em ambiente SIG, foi realizada a normalização por padronização, normalização por faixas e ranqueamento, obtendo-se os valores para indicadores de cada UP, apresentados na Tabela 46, a seguir.

Tabela 46: Resultado percentual de inventário por UP da RHTA, normalização e resultado final para o indicador de inventário hidrelétrico.

<b>Total Aprovado RHTA (km)</b>	<b>13,203.72</b>		
<b>UP</b>	<b>% inventario/UP</b>	<b>Normalização</b>	<b>Indicador de Inventário</b>
Alto Tocantins	11.64%	55.22%	3
Alto Médio Tocantins	10.31%	48.91%	3
Paraná	12.93%	61.34%	4
Sono	10.88%	51.60%	3
Itacaiúnas	0.00%	0.00%	1
Submédio Tocantins	1.86%	8.81%	1
Médio Tocantins	6.59%	31.27%	2
Submédio Araguaia	2.27%	10.78%	1
Médio Araguaia	1.84%	8.74%	1
Pará	0.00%	0.00%	1
Baixo Tocantins	1.91%	9.05%	1
Baixo Mortes	3.26%	15.47%	1
Baixo Araguaia	3.10%	14.73%	1
<b>Alto Araguaia</b>	<b>21.08%</b>	<b>100.00%</b>	<b>5</b>
Alto Mortes	7.98%	37.87%	2
Alto Médio Araguaia	4.36%	20.69%	2
Acara Guamá	0.00%	0.00%	1

A unidade de planejamento que apresentou maior nível de trecho inventariado foi a UP Alto Araguaia, sendo assim considerada como base para o cálculo de ranqueamento. A UP apresentou o maior valor para o indicador de inventário, abrangendo aproximadamente 21% do total inventariado na região hidrográfica RHTA, evidenciando a maior facilidade para prosseguimento de projetos de geração, tendo em vista os trechos com inventário aprovado e aceito, levando em consideração a base de dados utilizada.

Foram destacadas quatro UP's que contém maiores valores para o indicador de inventário, após a padronização dos valores. São elas, em ordem decrescente: Paraná (61,34%, indicador "4"), Alto Tocantins (52,22%; Indicador "3"), Sono (52,60%; indicador "3") e Alto Médio Tocantins (48,91%; indicador "3").

As demais unidades de planejamento apresentaram baixo percentual de participação (abaixo de 10%), sendo identificado pelo indicador de valores “1” ou “2”.

Este resultado implica na importância que as UP's com maiores indicadores apresentam no tocante à expansão da geração de energia na atual conjuntura de desenvolvimento do país.

O Gráfico 11 apresenta a distribuição geral do indicador de inventário na RHTA, destacando-se a UP Alto Araguaia.



Gráfico 11: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de inventário hidrelétrico por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.



O Gráfico 12 reúne as UP's que foram atribuídas com os maiores valores do indicador de inventário.



Gráfico 12: Indicador de inventário hidrelétrico referente às UP's com maior percentual de trechos inventariados aceitos e aprovados.

## 6.5. Indicador de abastecimento urbano

O Indicador composto, denominado indicador de abastecimento urbano, é apresentado na Tabela 47, a seguir. A metodologia de agregação, através da ponderação por pesos iguais, foi aplicada utilizando os resultados encontrados para os parâmetros índice de escassez e indicador de enquadramento e, posteriormente, foi realizada a etapa normalização.

Tabela 47: Resultado final para o indicador de Abastecimento urbano.

<b>UP</b>	<b>Indicador de Abastecimento Urbano</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>3.5</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>4.5</b>
<b>Sono</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>4.5</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>4.5</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4.5</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>4.5</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>4.5</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>4.5</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>4.5</b>

A análise dos resultados mostra que todas as UP's da região hidrográfica RHTA apresentam grande potencial para o uso de abastecimento urbano, quanto a qualidade e disponibilidade hídrica.

As UP's Itacaiúnas e Alto Tocantins foram as únicas que apresentaram um valor inferior a 4, devido aos índices de estresse hídrico médio e baixo, que evidenciam a necessidade de uma gestão de recursos mais estruturada no tocante ao contexto de abastecimento das cidades (Gráfico 13).

As UP's Alto médio Tocantins, Sono e Médio Araguaia apresentam de alta disponibilidade superficial frente a quantidade demandada, além de apresentarem corpos hídricos com classificação especial de acordo com o enquadramento, previsto na PNRH, sendo atribuído o valor máximo para seu respectivo indicador.

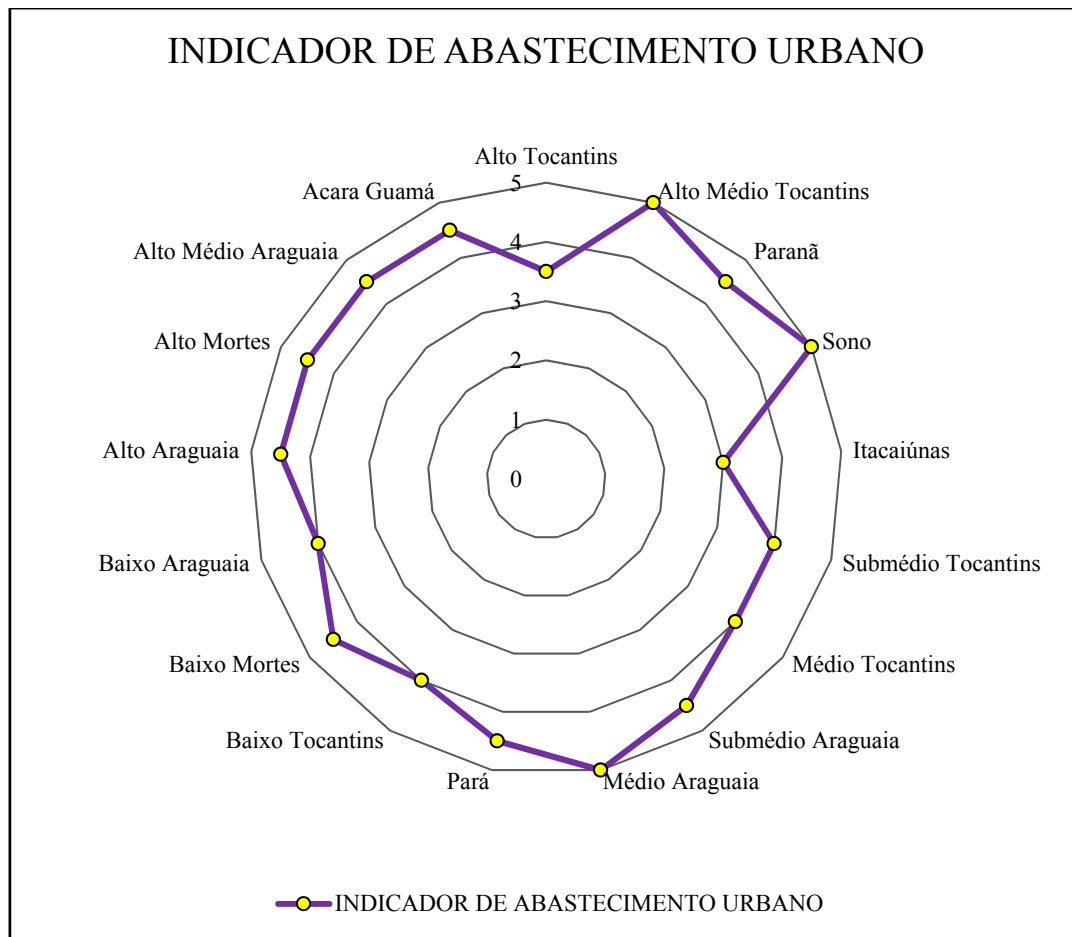


Gráfico 13: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de abastecimento urbano por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

## 6.6. Indicador de dessedentação

A análise seguinte agrega os parâmetros índice de escassez com os valores de enquadramento (Tabela 48), já analisados para toda a região hidrográfica RHTA, conforme Plano de Bacia.

A metodologia para agregação gerou o valor para o indicador composto, denominado “indicador de dessedentação” para cada unidade de planejamento, apresentado na Tabela 49.

Tabela 48: Parâmetros para agregação e concepção do indicador de dessedentação.

<b>UP</b>	<b>Índice de Escassez</b>	<b>Indicador de Enquadramento</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Sono</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>3</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

Tabela 49: Resultado final para o indicador de dessedentação por UP da RHTA.

<b>UP</b>	<b>Indicador de Dessedentação</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>4.5</b>
<b>Sono</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>3.5</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>4.5</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>4.5</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>4.5</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>4.5</b>

As unidades de planejamento Alto Médio Tocantins, Sono e Médio Araguaia apresentam valores máximos, o que denota um índice de escassez muito baixo para estas regiões, além da presença de águas com classificação especial, de acordo com o enquadramento de corpos d'água.

A demanda para dessedentação é, na maioria das UP's, elevada, quando comparada com a de abastecimento urbano, evidenciando menores valores para o indicador final de dessedentação.

Entretanto, apenas as regiões Itacaiúnas e Submédio Araguaia apresentaram valores medianos, 3 e 3,5 respectivamente, devido à pequena disponibilidade da UP Itacaiúnas e ao enquadramento de classe 3 para o corpos hídricos que se encontram na região do Submédio Araguaia (Gráfico 14).

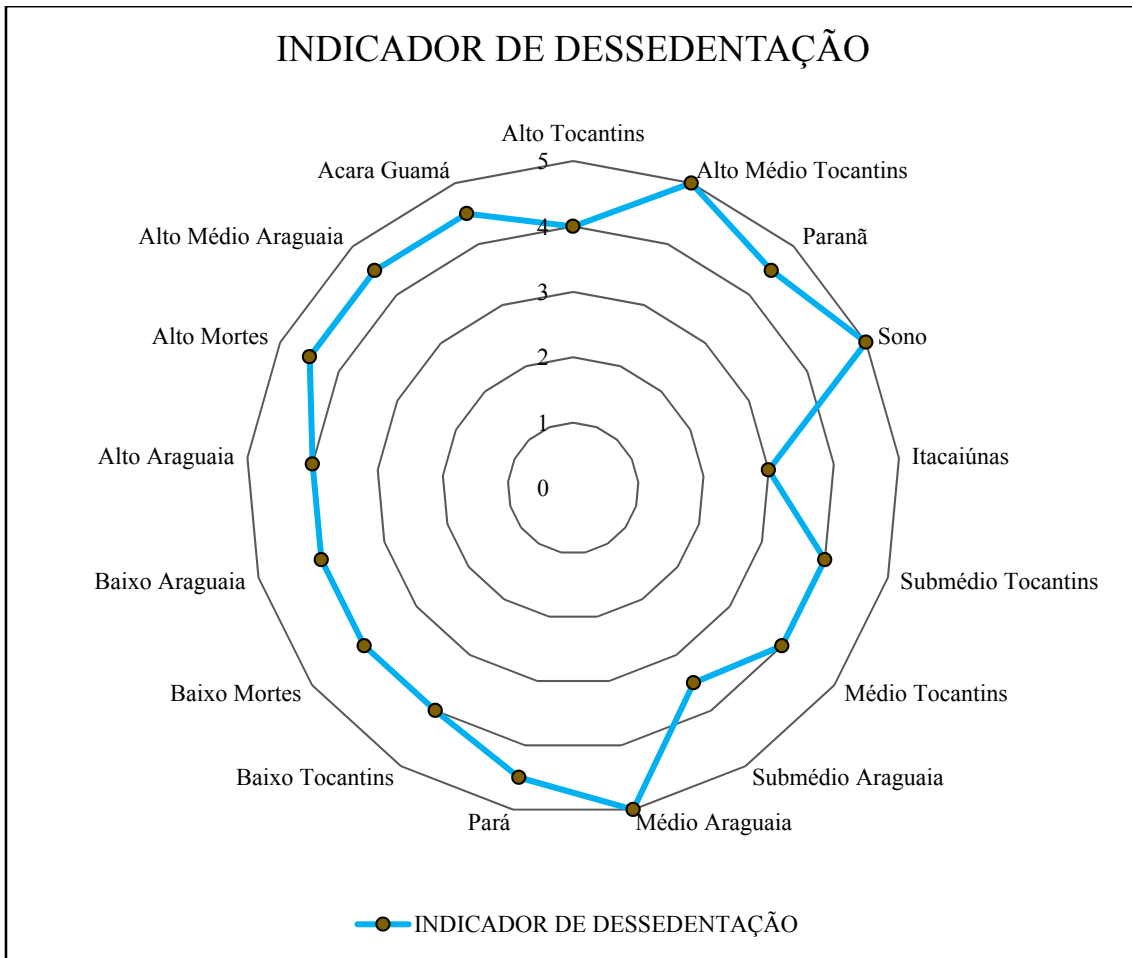


Gráfico 14: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de dessedentação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

## 6.7. Indicador de Irrigação

Os resultados para o índice de escassez e indicador de enquadramento, parâmetros para cálculo do indicador composto “indicador de Irrigação”, encontram-se na Tabela 50.

Posteriormente são apresentados os valores finais após a agregação, denotando a importância conjunta dos indicadores de escassez e enquadramento considerados (Tabela 51).

Tabela 50: Valores do índice de Escassez e Indicador de Enquadramento para cada UP da RHTA.

<b>UP</b>	<b>Índice de Escassez</b>	<b>Indicador de Enquadramento</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>1</b>	<b>3</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Sono</b>	<b>5</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>2</b>	<b>5</b>
<b>Pará</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>5</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>5</b>	<b>3</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>4</b>	<b>4</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>5</b>	<b>4</b>

Tabela 51: Valores para o Indicador de irrigação referente às UP's.

<b>UP</b>	<b>Indicador de Irrigação</b>
<b>Alto Tocantins</b>	<b>2</b>
<b>Alto Médio Tocantins</b>	<b>5</b>
<b>Paraná</b>	<b>4.5</b>
<b>Sono</b>	<b>5</b>
<b>Itacaiúnas</b>	<b>4</b>
<b>Submédio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Médio Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Submédio Araguaia</b>	<b>4.5</b>
<b>Médio Araguaia</b>	<b>3.5</b>
<b>Pará</b>	<b>4.5</b>
<b>Baixo Tocantins</b>	<b>4</b>
<b>Baixo Mortes</b>	<b>4.5</b>
<b>Baixo Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Alto Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Alto Mortes</b>	<b>4</b>
<b>Alto Médio Araguaia</b>	<b>4</b>
<b>Acara Guamá</b>	<b>4.5</b>

A análise dos resultados evidencia que o uso dos recursos para irrigação apresenta altos valores de demanda (vazão de retirada), gerando indicadores de irrigação com valores pequenos, comparativamente aos valores de abastecimento urbano e dessedentação, o que significa que a região é bastante requerida e importante para este uso, não apresentando grandes condições para expansão do mesmo, através do aumento da vazão de retirada, em consideração aos limitantes de disponibilidade superficial, enquadramento e escassez (Gráfico 15).

A região do Alto Tocantins apresenta uma vazão de retirada de 17.93 m<sup>3</sup>/s, com uma disponibilidade superficial de 40.66 m<sup>3</sup>/s. O balanço hídrico destas vazões gera um índice de escassez de atribuição “Muito Alto”, encontrando-se acima do limite considerado adotado pela ANA, base deste estudo.

Com uma alta demanda, a região recebe o valor de menor nível, “1” para o parâmetro “índice de escassez”, evidenciando que a UP já se encontra em nível de estresse hídrico máximo, considerando somente a demanda de irrigação, e não apresenta condição para expansão deste uso na região.

A UP Médio Araguaia também apresentou valor baixo para o indicador composto final, no valor de 3,5, decorrente igualmente da alta demanda na região frente a disponibilidade hídrica superficial.



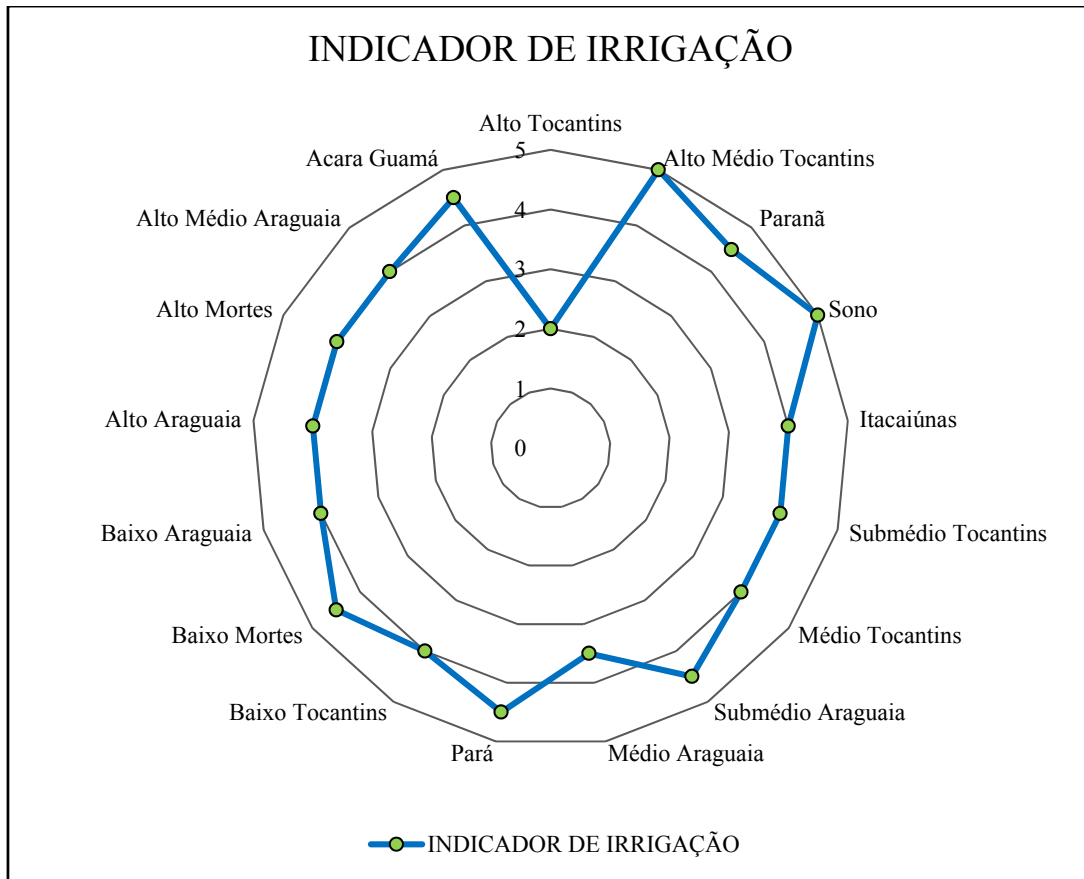


Gráfico 15: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de irrigação por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

## 6.8. Indicador de Uso Consuntivo

A análise dos resultados identifica um nível de estresse hídrico muito alto, acima do máximo na escala considerada, para as unidades de planejamento Alto Tocantins e Médio Araguaia, além de alto estresse para a região médio Araguaia, destacadas na Tabela 52.

Os menores valores para o indicador composto final foram devido à alta demanda, resultando em um indicador de escassez de valor baixo (1 ou 2).

Assim, pode-se identificar cinco UP's com baixo potencial para expansão de usos consuntivos de recursos hídricos. São elas: Alto Tocantins, Itacaiúnas, Médio Araguaia, Alto Araguaia e Alto Médio Araguaia.

As demais UP's apresentaram considerável vazão remanescente para atendimento a potenciais aumentos na demanda (Gráfico 16).

Tabela 52: Índice de escassez, indicador de enquadramento e resultado para o indicador de uso consuntivo.

UP	Índice de Escassez	Indicador de Enquadramento	Indicador de Uso Consuntivo
Alto Tocantins	1	3	2
Alto Médio Tocantins	5	5	5
Paraná	4	4	4
Sono	5	5	5
Itacaiúnas	2	3	2.5
Submédio Tocantins	5	3	4
Médio Tocantins	5	3	4
Submédio Araguaia	5	4	4.5
Médio Araguaia	1	5	3
Pará	5	4	4.5
Baixo Tocantins	5	3	4
Baixo Mortes	5	4	4.5
Baixo Araguaia	5	3	4
Alto Araguaia	3	4	3.5
Alto Mortes	4	4	4
Alto Médio Araguaia	3	4	3.5
Acara Guamá	4	4	4

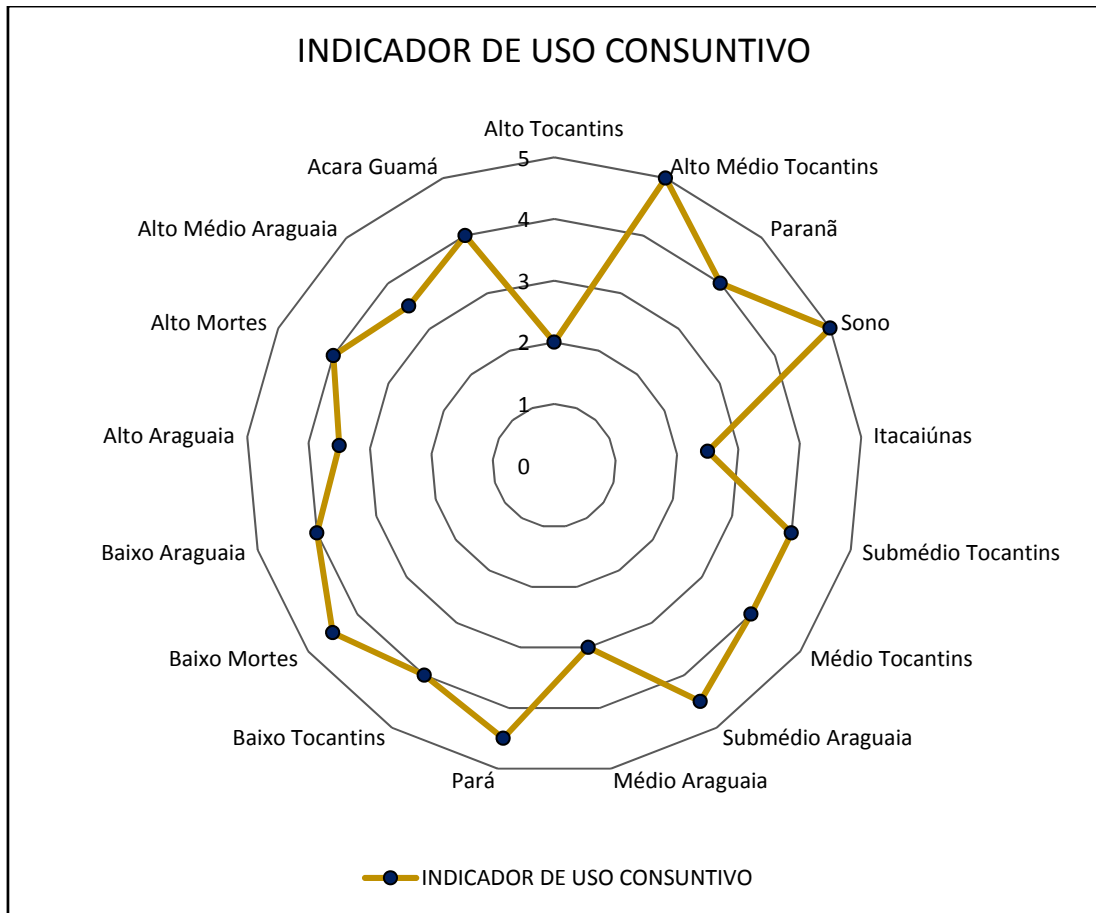


Gráfico 16: Distribuição, em gráfico radar, dos os valores do indicador de uso consuntivo por UP's da Região Hidrográfica Tocantins-Araguaia.

## **6.9.Unidades de Planejamento Hídrico.**

A partir do agrupamento de indicadores por unidade de planejamento, pode-se caracterizar cada UP de acordo com os usos mais importantes encontrados e a capacidade de atendimento às suas respectivas demandas.

Desta forma, identifica-se de maneira simples e visual os usos que ainda podem ser explorados de maneira a não estressar hidricamente a bacia, e, além disso, que devem ser levados em consideração quanto aos conflitos de disponibilidade quantitativa e qualitativa, permitindo uma visão sistêmica e integrada para o planejamento sustentável de exploração de bacias.

Os gráficos subsequentes apresentam siglas para cada indicador, com o objetivo de trazer maior conforto visual. A seguinte classificação foi adotada:

- N – Indicador de Navegabilidade;
- I – Indicador de Irrigação;
- UC – Indicador de Unidades de Conservação;
- IH – Indicador de Inventário Hidrelétrico;
- PH – Indicador de Potencial hidrelétrico;
- AU – Indicador de Abastecimento Urbano;
- DA – Indicador de Dessedentação Animal;

## SONO

A UP Sono apresentou, dentre as 17 UP's analisadas, maiores valores para todos os indicadores, como pode ser visto no Gráfico 17. Desta forma, é um importante trecho para transporte de carga via navegação, visto que apresenta seu corpo hídrico principal totalmente navegável, segundo o Plano de Bacia da região.

Em relação à demanda de água dos usos consuntivos, a UP possui 72.21 m<sup>3</sup>/s de disponibilidade superficial hídrica, apresentando atendimento excelente ao atual consumo de água, além de ainda apresentar grande capacidade para atendimento em caso de expansão dos usos de abastecimento urbano, dessedentação ou irrigação.

A região apresentou valor "3" para os indicadores de inventário e potencial hidrelétrico, denotando importância relevante no contexto de geração elétrica para a bacia.

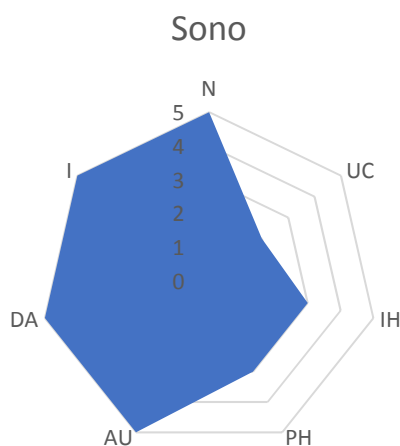


Gráfico 17: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Sono.

Apresentando 10,27 % das unidades de conservação contidas na RHTA, a UP Sono apresenta relevância baixa no quesito preservação e conservação somente quando comparada com UP's com maior presença de terras indígenas e reservas, pois a UP contém, entre outras unidades, a APA Jalapão, o Parque Estadual do Jalapão, faz parte do corredor ecológico Jalapão-Mangabeiras.

## ALTO MÉDIO TOCANTINS

A distribuição dos indicadores em gráfico tipo radar, referentes à UP Alto Médio Tocantins, apresentados no Gráfico 18, permite notar uma pequena diferença em relação à UP Sono, supracitada.

Desta forma, também é uma região com resultados relevantes para diversos usos, principalmente em relação à disponibilidade quantitativa e qualitativa de água, navegação e a de geração hidrelétrica, considerando que a UP é uma das cinco com maior quantidade de trechos de rios inventariados aprovados e aceitos, em relação às demais UP's formadoras da RHTA.

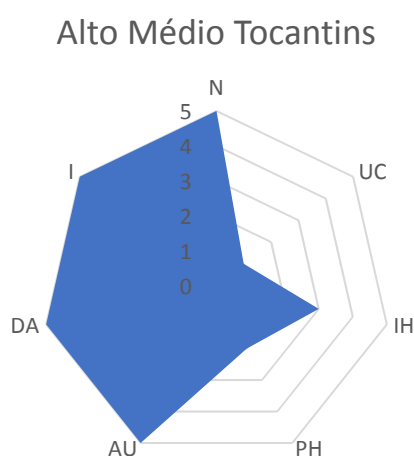


Gráfico 18: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar. UP Alto Médio Tocantins.

A UP encontra-se em 11<sup>o</sup> posição em relação ao percentual de área de unidades de conservação (1,50%) na RHTA, recebendo valor “1” para o indicador de unidades de conservação. Dentre as áreas de relevância ambiental, destaca-se o corredor ecológico Araguaia-Bananal (118 km<sup>2</sup>), o corredor ecológico Jalapão-Mangabeiras e o corredor ecológico Paranã-Pirineus. Além disso, ainda apresenta o maior número de comunidades quilombolas da RHTA reconhecidas, totalizando 8 comunidades.

## MÉDIO TOCANTINS

O Gráfico 19, a seguir, apresenta a composição de indicadores para a UP Médio Tocantins.

Excetuando-se trechos naturalmente não navegáveis com irregularidades, como ilhas e curvas, a análise da UP demonstrou que cerca de 91% de seu trecho encontra-se apto à navegação, em relação à largura natural do corpo hídrico principal.

Desta forma afere-se grande potencial para transporte aquaviário, apesar da navegação pouco expressiva e organizada na RHTA de forma geral, devido tanto à sazonalidade das marés, que permite a navegação em diversos pontos somente durante a época de cheias, quanto à predominância do modal rodoviário, característico do desenvolvimento brasileiro na área de transportes, segundo o Plano Estratégico da Bacia dos rios Tocantins e Araguaia.

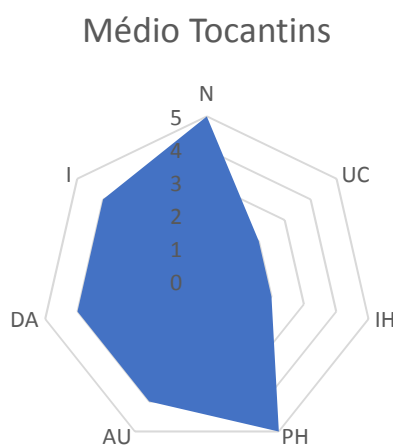


Gráfico 19: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Tocantins.

Pode-se identificar o alto valor do indicador de potencial hidrelétrico na UP Médio Tocantins, de valor “5”. Isto permite concluir o grande potencial hidrelétrico remanescente da região, totalizando 2174600 kW de projetos em fase de pré-operação, 20 % do total remanescente da RHTA, conforme apresentado no capítulo 4.2.3.

Desta forma, os resultados apontam a necessidade de um desenvolvimento integrado entre os setores de energia e navegação. O planejamento de forma sinérgica deve contabilizar o nível de importância destes usos nesta UP em especial, prevendo a gestão dos recursos hídricos de modo a evitar conflitos futuros.

A presença de projetos já em operação que não apresentam estruturas para possibilitar o transpasse dos barramentos (eclusas), como a Usina Luis Eduardo Magalhães (Lajeado) e a Usina de Estreito, demonstra a que os setores não apresentam proposta de desenvolvimento integrado e sinérgico entre os usos, gerando, possivelmente, maiores custos para adaptações e atendimento a outros usos e demandas, onerando obras que poderiam já obter em seu escopo a previsão do uso múltiplo das águas.

A UP apresentou 10,01% do total de Unidades de conservação da região hidrográfica, encontrando-se entre as 5 UP's de maior relevância para preservação e conservação, de acordo com o valor do indicador de unidades de conservação.

O atendimento às demandas consuntivas é excelente para a região, que possui disponibilidade hídrica de 456.4 m<sup>3</sup>/s e vazão de retirada total (Abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação) no valor de 8,99 m<sup>3</sup>/s.

Contudo, o enquadramento da região é de águas de classe 2, o que reduz o valor do indicador de atendimento aos usos consuntivos ao valor “4”, considerando maiores gastos para tratamento. Logo, a UP apresenta grande potencial de expansão do uso consuntivo de maneira geral, atendendo com folga a futuros acréscimos de demanda

## **PARANÃ**

A UP Paranã apresentou, no contexto de navegabilidade, 28,3 km de trechos com irregularidades (ilhas e curvas), 4,3 km com largura menor que 71 metros, impedindo a navegação com cruzamento de embarcações-tipo, e apenas 200 metros de trecho com largura menor que 36 metros, mínimo para navegação sem cruzamento.

Apesar disso, com 88,5 % de trecho naturalmente navegável, considerando a largura natural, a UP apresenta nível “5” para o indicador de navegabilidade, que se encontra no intervalo de 80% a 100% navegável (Gráfico 20).

O atendimento aos usos consuntivos (Abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação), separadamente, encontra-se em nível excelente, possibilitando grande potencial para atendimento às maiores demandas devido a expansão dos usos. Em conjunto, todavia, apresentam o valor para o indicador de uso consuntivo de valor “4”, que aponta um nível confortável de atendimento às demandas e já evidencia uma necessidade de gerenciamento de recursos hídricos a nível local, de acordo com a classificação da ANA, capítulo 3.7.

Com apenas 0,23 % do total de áreas de unidades de conservação da RHTA, a UP Paranã apresenta a classificação “Muito Baixa” para o indicador de unidades de conservação. Contudo, segundo o plano de bacias, a UP apresenta o segundo maior quantitativo de comunidades quilombolas da região hidrográfica, totalizando 4 comunidades reconhecidas. Além disso, contém parte dos corredores ecológicos Jalapão-Mangabeiras (1.485 km<sup>2</sup>) e Paranã-Pirineus (52.942 km<sup>2</sup>).



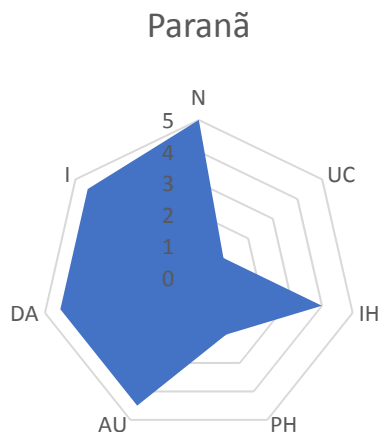


Gráfico 20: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Paranã.

A normalização por padronização dos valores, para o indicador de inventário hidrelétrico, retorna o valor de 61,34 % para a UP Paranã, que apresenta o segundo maior percentual de trechos inventariados aprovados da RHTA, totalizando 1.706,54 km. A classificação no intervalo de 60% a 80% define, para a UP, o valor “4” para este indicador, o que faz a UP relevante para a geração hidrelétrica, tendo em vista a quantidade de trechos com inventários aprovados e aceitos.

No contexto de potencial hidrelétrico remanescente, a UP contempla 740384 kW, que representam 6,98% do total da RHTA. O valor normalizado (34,05%) resulta no valor “2” para o indicador de potencial hidrelétrico, identificando Baixa relevância frente às UP’s de maior potencial, mas, mesmo assim, representativa, de maneira geral, na região hidrográfica.

## ALTO ARAGUAIA

A UP Alto Araguaia apresenta a maior quantidade de trechos inventariada da RHTA, totalizando 21,08% (2.639,62 km) do total da região hidrográfica.

A normalização por padronização dos valores toma como base o maior valor inventariado, atribuindo o valor de 100% à UP. Logo, esta foi tomada como base para a normalização da RHTA, com a atribuição máxima para o indicador de inventário hidrelétrico, de valor “5”.

Em relação ao potencial hidrelétrico remanescente, a UP é a terceira maior em quantidade, apresentando 1496063.5 kW, 14,03% do total da RHTA. O valor normalizado (68,80%) retorna o valor “4” para o indicador de potencial hidrelétrico, identificando alta relevância para geração hidrelétrica com o prosseguimento dos projetos de usinas.

O atendimento aos usos consuntivos (Abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação), separadamente, encontra-se em nível confortável, possibilitando atendimento a aumentos de demanda. Em conjunto, todavia, apresentam o valor para o indicador de uso consuntivo total de valor “3,5”, que aponta um nível de estresse hídrico mediano, com a necessidade de gerenciamento obrigatória de recursos hídricos de acordo com a classificação da ANA, capítulo 3.7.

A UP contém 0,97 % do total de áreas de unidades de conservação da RHTA, tendo pouca representatividade na RHTA, com o resultado de valor “1” para o indicador.

Os resultados supracitados podem ser identificados no Gráfico 21, a seguir.

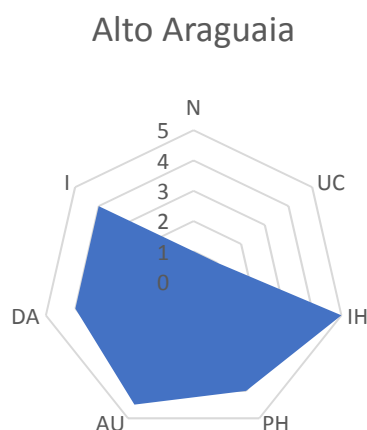


Gráfico 21: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Alto Araguaia.

## SUBMÉDIO TOCANTINS

A análise do Gráfico 22, apresentado a seguir, permite identificar o alto valor do indicador de potencial hidrelétrico na UP Submédio Tocantins, de valor “5”, após normalização por padronização, que retorna o valor de 85,07 % para a UP.

Com o segundo maior potencial hidrelétrico remanescente da região, totaliza 1850000 kW referentes a projetos em fase de pré-operação, 17,34 % do total remanescente da RHTA, conforme apresentado no capítulo 4.2.3.

Em relação à quantidade de trechos inventariados, a UP é pouco expressiva na RHTA, apresentando apenas 1,86% do total inventariado da região.

Com uma área de unidades de conservação totalizando 3,791.64 km<sup>2</sup>, a UP Submédio Tocantins apresenta pouca expressividade neste contexto. Este valor representa 4,75 % do total de UCs na RHTA e, após o procedimento de normalização por padronização, retorna o valor de 13,77%, atribuindo o valor “1” para o indicador de unidades de conservação.

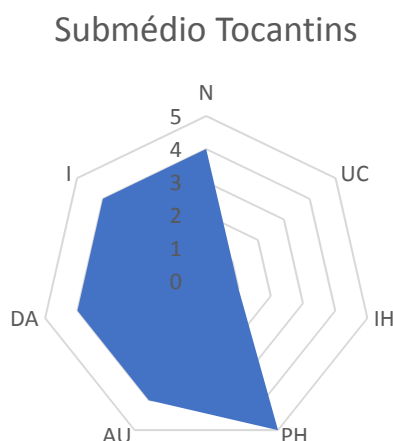


Gráfico 22: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Submédio Tocantins.

A vazão de retirada para uso consuntivo na região, em ordem decrescente, apresenta os valores de 0,89 m<sup>3</sup>/s para abastecimento urbano, 0,73 m<sup>3</sup>/s para demanda de dessedentação de animais e 0,14m<sup>3</sup>/s para demanda de irrigação. Frente à disponibilidade superficial hídrica da região, de 1.309 m<sup>3</sup>/s, a UP apresenta nível excelente de atendimento às demandas consuntivas, com possibilidade de atendimento à maiores vazões com aumento de demanda, favorecendo ao desenvolvimento da região no tocante aos usos considerados.

A composição dos indicadores de irrigação, dessedentação de animais e abastecimento urbano, utilizando o índice de escassez e o parâmetro “indicador de enquadramento”, nível 4 para a UP, devido a classe 2 de enquadramento de corpos d’água da ANA, retorna o valor “4” para os indicadores, como pode ser verificado no Gráfico 22, denotando gastos e dificuldades quanto ao tratamento para usos mais nobres dos recursos hídricos.

Quanto à avaliação do indicador de navegabilidade, atribuída com valor “4”, a UP apresentou 30,77% de trechos não navegáveis, onde foram encontradas irregularidades naturais ao longo do curso principal, restando 69,23% navegáveis, identificando bom potencial para navegação.

### MÉDIO ARAGUAIA

O indicador de maior relevância para a UP médio Araguaia é o de unidades de conservação (UC), como pode ser notado no Gráfico 23. A UP apresenta o maior quantitativo de área com terras indígenas e áreas de preservação ambiental, com o total de 27.544,48 km<sup>2</sup>, representando 34,51% da RHTA.

Fazem parte desta área o corredor Ecológico Araguaia-Bananal (65.759 km<sup>2</sup>), onde encontra-se o Parque nacional do Araguaia, dentre outras unidades. Desta forma, a UP recebe o valor “5”, máximo, para este indicador, denotando grande relevância da UP no quesito preservação e conservação ambiental.

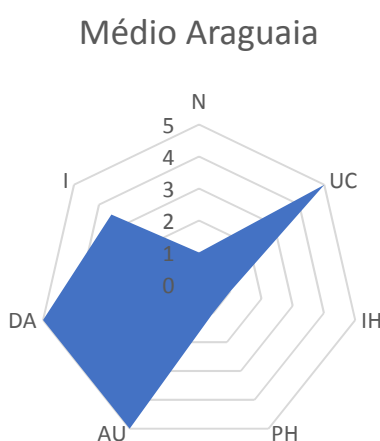


Gráfico 23: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Araguaia.

A disponibilidade superficial hídrica de 55,54 m<sup>3</sup>/s é alta em comparação às demandas consuntivas de abastecimento urbano (0,36 m<sup>3</sup>/s) e dessedentação de animais (1,75 m<sup>3</sup>/s), o que acarreta um balanço hídrico de valor alto, atribuindo aos respectivos indicadores o valor “5”.

Contudo, a demanda de irrigação (22,09 m<sup>3</sup>/s) acarreta escassez hídrica na UP em nível mediano, com um valor “3,5” atribuído ao indicador de irrigação, que contou com a agregação por pesos iguais dos valores referentes aos parâmetros “índice de escassez” (valor 2 - alto estresse hídrico) e “indicador de enquadramento” (valor 5 – classe especial).

Desta maneira, considerando a demanda total consuntiva, a UP encontra-se em estado crítico de escassez hídrica, segundo a classificação da ANA, com o segundo maior balanço hídrico (43,58%) da RHTA. Ainda nesta análise, o fato de a UP apresentar corpos hídricos de classe especial, o que eleva a quantidade de usos que podem ser atendidos, aumenta o nível dos indicadores referentes a usos consuntivos, devido a agregação por pesos iguais. Nas Tabelas Tabela 50 e Tabela 52 pode-se conferir os baixos valores para o parâmetro “índice de escassez”, subsídio deste indicador, que denota a situação preocupante em relação à alta demanda na região.

A UP não apresenta percentual de potencial hidrelétrico remanescente na RHTA, de acordo com os dados utilizados. No contexto de inventário a UP possui pouca representatividade na RHTA, com apenas 1,86% do total inventariado identificado como “Aceito” ou “Aprovado”, sendo atribuído valor “1” para ambos os indicadores, de acordo com a metodologia proposta. Pode-se inferir dos indicadores que a UP tem baixa relevância quanto à expansão de geração hidrelétrica da RHTA.

## **ALTO TOCANTINS**

A visualização do Gráfico 24 permite identificar a importância da navegação na UP Alto Tocantins. O valor máximo de “5” para o indicador de navegabilidade denota a relevância deste uso na UP. A análise dos corpos hídricos na UP apresentou apenas 650 metros (0,76%) de trechos com irregularidades (ilhas e curvas acentuadas) e 200 metros (0,23%) de trechos com largura menor que 71 metros, impeditivo para o cruzamento de embarcações-tipo consideradas neste estudo.

Desta forma, a UP apresenta 99,01% do trecho analisado apto para navegação, considerando a medida de largura natural dos rios. A presença do reservatório da Usina Serra da Mesa permite maiores medidas de largura, conferindo maior aptidão para navegação neste trecho. Porém, a estrutura da usina não contempla sistema de transpasse

pelo barramento (eclusa), o que inviabiliza a navegação pela região, que apresentou, de acordo com os resultados deste estudo, qualificação de valor “5” (Muito bom), referente ao valor máximo para este indicador. Desta forma, a necessidade de sinergia entre as decisões sobre planejamento de expansão dos diversos usos deve ser considerada para os projetos futuros e em andamento na UP.

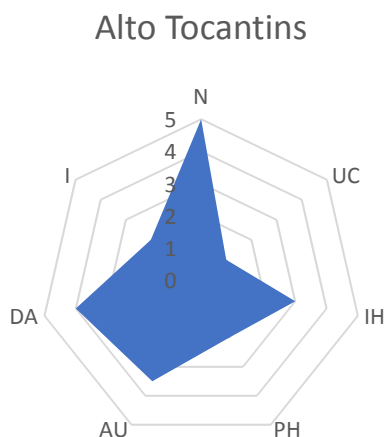


Gráfico 24: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Alto Tocantins.

Os usos consuntivos, considerados neste estudo, apresentaram indicadores valores abaixo de 4, o que denota balanço hídrico elevado entre a disponibilidade superficial hídrica e demandas e quadro de escassez hídrica preocupante. As demandas de abastecimento urbano (2,49 m<sup>3</sup>/s) e de dessedentação de animais (1,85 m<sup>3</sup>/s) apresentam valores baixos comparados com a disponibilidade da RHTA, resultando em baixo estresse hídrico. Contudo, a demanda de irrigação na região, de acordo com os dados utilizados, é de 17,93 m<sup>3</sup>/s, que resulta em um balanço hídrico de 40,66 % e um estresse hídrico em nível muito crítico para a UP. Considerando o valor total para os usos consuntivos, capítulo 6.8, o balanço hídrico atinge valores ainda mais altos.

Desta forma os indicadores de abastecimento urbano, dessedentação de animais e irrigação apresentam os valores de “3,5”, “4” e “1”, respectivamente. Segundo o Plano de Bacia da região, pequenos cursos d’água, isoladamente, apresentam situações de déficit hídrico devido às áreas irrigadas pontuais e a concentrações industriais.

O indicador de unidades de conservação da UP Alto Tocantins tem valor “1”, devido a pouca representatividade do quantitativo de áreas de preservação e terras indígenas na RHTA, totalizando apenas 0,38%. O corredor ecológico Paranã-Pirineus se estende até a região, ocupando uma área de 15.405 km<sup>2</sup>. Segundo o Plano de Bacia da

região, existe uma grande concentração de áreas agrícolas nesta UP, que acabam degradando o meio ambiente, agravando os processos erosivos e afetando a utilização dos recursos hídricos.

A UP apresenta os valores 3 (Médio) e 2 (Baixo), para os indicadores de inventário e potencial hidrelétrico, respectivamente. É a segunda UP com maior trecho inventariado aceito ou aprovado. Em relação ao potencial hidrelétrico remanescente, apresenta 7,87% do total da RHTA, sendo a 7º maior neste quesito.

Desta forma, a região apresenta importância considerável em relação ao cenário geral na RHTA, levando em conta a grande heterogeneidade de valores de potencial e inventário da Região Hidrográfica.

## ITACAIÚNAS

O uso de navegação tem maior expressividade nesta UP, segundo o Gráfico 25. O trecho analisado apresenta 92,5% de seu percurso total apto para a navegação. Isto atribui o valor máximo para este indicador, no valor de “5”.

A demanda dos usos consuntivos analisados conjuntamente acarreta o estresse hídrico em nível crítico na região, ocasionado principalmente pela alta demanda de abastecimento urbano e dessedentação de animais, apresentando valor “3” para estes indicadores, ou seja, nível médio de estresse de acordo com a normalização sugerida neste estudo.

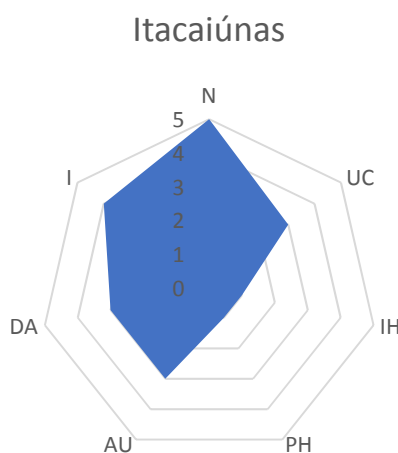


Gráfico 25: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Itacaiúnas.

Os indicadores de potencial e inventário hidrelétrico apresentam valor “1”, atribuindo à UP uma relevância muito baixa quanto à expansão da geração de energia por hidrelétricas na RHTA.

Com 12.590,56 km<sup>2</sup> de área de unidades de conservação, 15,78 % do total presente na RHTA, a UP Itacaiúnas apresenta o segundo maior percentual da região, sendo que a maior parte da área remanescente do bioma está basicamente restrita às unidades de conservação, como a Floresta Nacional de Carajás (na UP Itacaiúnas), Reserva Biológica de Tapirapé e algumas reservas indígenas (ANA, 2009).

A normalização por padronização resulta em um valor de 45,71 %, atribuindo à UP o valor “3” para este indicador, que apresenta boa expressividade frente aos outros usos, de acordo com o Gráfico 25.

## ALTO MORTES

Pode-se aferir do Gráfico 26 que os usos de maior relevância, quanto ao potencial de atendimento à demanda, são os de uso consuntivo.

A UP Alto mortes apresenta valor “4” para o indicador de irrigação e “4,5” para os indicadores de abastecimento urbano e dessedentação de animais. Desta forma, a disponibilidade superficial hídrica da UP (98,58 m<sup>3</sup>/s) pode atender ainda à maiores demandas, favorecendo à expansão destes usos.

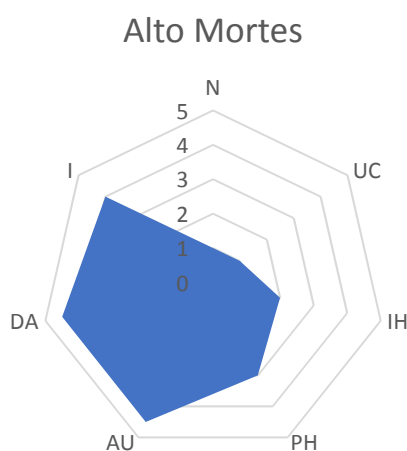


Gráfico 26: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Itacaiúnas.

Os indicadores de potencial e inventário hidrelétricos têm valor 3 e 2, respectivamente. A UP é a 5<sup>o</sup> em relação ao potencial hidrelétrico remanescente, com 955200 kW (8,96% do total da RHTA), e 6<sup>o</sup> na quantidade de trechos inventariados aceitos ou aprovados (7,98% do total na RHTA), o que evidencia importante relevância quanto ao contexto de geração hidrelétrica na RHTA.



O indicador de unidades de conservação com atribuição “Muito baixa” (1) denota a pequena representatividade da UP, 4,13%, quanto o total contido na RHTA. Contudo, é, ainda, a 8ª colocada em quantidade de área de UCs, devido a heterogeneidade da distribuição total na RHTA.

### **ALTO MÉDIO ARAGUAIA**

De acordo com o Gráfico 27, a UP apresenta os valores “4”, “4,5” e “4,5”, atribuídos aos indicadores de irrigação, abastecimento urbano e dessedentação de animais, respectivamente, o que identifica atendimento confortável às demandas e, além disso, propensão à expansão destes usos na região. Todavia, considerados em conjunto, o índice de escassez, de acordo com a classificação da ANA, considerada neste estudo, é de atribuição “Preocupante”, necessitando de gerenciamento obrigatório dos recursos hídricos da Unidade de Planejamento.

Identifica-se o valor “1” para o indicador de unidades de conservação, pois a UP apresenta 2,45% do total dentro da RHTA. Dentre as diversas unidades de conservação presentes nesta região, destacam-se parte do corredor ecológico Araguaia-Bananal (27.981 km<sup>2</sup>) e as unidades de proteção integral Corixão da Mata Azul e RVS Colônios do Araguaia (ANA, 2009).

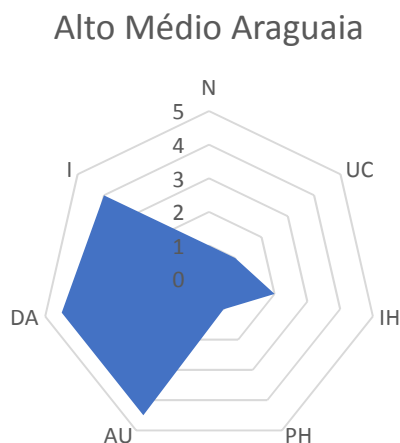


Gráfico 27: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Médio Araguaia.

Quanto aos indicadores de potencial e inventário hidrelétrico, de valor “1” e “2” respectivamente, a UP é a 8ª colocada no quantitativo de trechos inventariados da região hidrográfica, mas não apresentou projetos que resultassem em valores de potencial

hidrelétrico remanescente, de acordo com base de dados utilizada. Desta forma, apresenta relevância baixa na RHTA quanto ao quesito de geração de energia hidrelétrica.

### **BAIXO ARAGUAIA**

Do Gráfico 28, pode-se aferir que a UP apresenta o valor “4” atribuído aos indicadores de uso consuntivo, o que aponta um atendimento confortável às demandas da região e, além disso, propensão à expansão destes usos na região e relevância destes quando comparados aos outros usos na RHTA.

Adicionalmente, em relação à disponibilidade quantitativa, os indicadores apresentaram para o parâmetro “índice de escassez”, valor “5”, o que indica um nível excelente de atendimento às demandas; contudo, o parâmetro “indicador de enquadramento” reduziu o valor dos 3 indicadores de uso consuntivo, com valor de “3”, devido à classe 2 das águas (classificação ANA).

Os indicadores de potencial e inventário hidrelétrico apresentam os valores “3” e “1” respectivamente. A UP é a 4º colocada no contexto de potencial hidrelétrico remanescente, com 1068700 kW referentes a projetos na fase de pré-operação. Desta forma, apresenta relevância média na RHTA quanto ao quesito de geração de energia hidrelétrica.

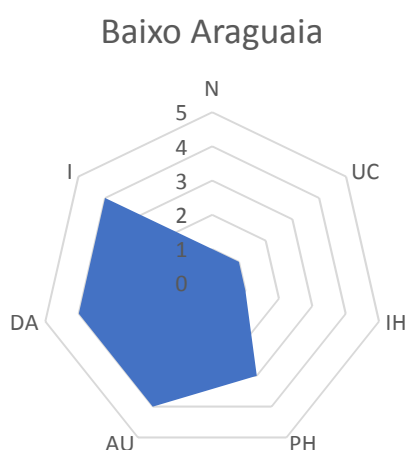


Gráfico 28: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Araguaia.

Identifica-se o valor “1” para o indicador de unidades de conservação, pois a UP apresenta apenas 0,46%% do total presente na RHTA.

## ACARÁ-GUAMÁ

A demanda dos usos consuntivos analisadas, em relação à disponibilidade, resultaram, para os indicadores da UP Acará-Guamá, valor “4”, separadamente, constatando atendimento confortável às demandas, sem estresse hídrico (Gráfico 29). Mesmo considerando o valor total dos usos consuntivos em relação à disponibilidade superficial hídrica, obteve-se o valor “4”, representado pelo indicador de uso consuntivo, conforme apresentado no capítulo 6.8.

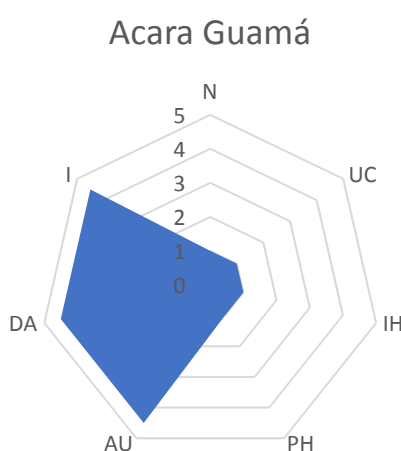


Gráfico 29: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Acará-Guamá.

A UP Acará-Guamá apresentou valores pouco relevantes quanto ao potencial hidrelétrico remanescente e trechos inventariados, recebendo o valor mínimo “1” para os respectivos indicadores, apresentando relevância muito baixa quanto ao quesito de expansão da geração hidrelétrica na RHTA.

O percentual de unidades de conservação de 1,41% tem baixa representatividade na RHTA, totalizando 1.125,52 km<sup>2</sup>. Dentre as diversas unidades de conservação presentes na região, pode-se destacar a unidade de proteção integral Parque Nacional de Belém (ANA, 2009).

## PARÁ

A UP Pará apresenta atendimento excelente às demandas quantitativas de uso consuntivo, tanto separadamente, quanto em relação ao total, devido ao valor de 56,19 m<sup>3</sup>/s de disponibilidade superficial hídrica comparado às demandas 0,31 m<sup>3</sup>/s (abastecimento urbano), 0,72 m<sup>3</sup>/s (dessedentação de animais) e 0,24 m<sup>3</sup>/s (irrigação). Isto pode ser identificado no Gráfico 30, onde os usos consuntivos encontram-se na raia de valor “4”.

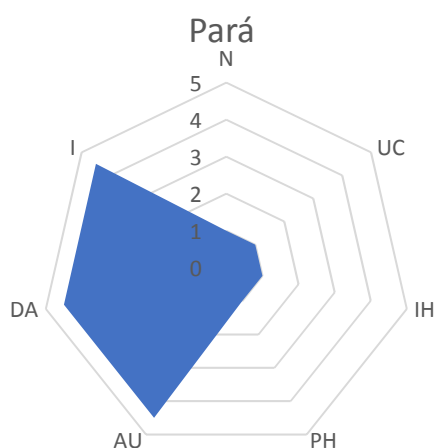


Gráfico 30: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Pará.

A UP apresenta 4.671,99 km<sup>2</sup> de unidades de conservação, o que representa 5,85% do total da RHTA. Desta forma, constata-se relevância muito baixa em relação a preservação e conservação do meio ambiente nesta UP, devido a heterogeneidade espacial das UCs na RHTA. Contudo, é a 6<sup>o</sup> em área de UCs na região hidrográfica, o que a identifica como uma UP de relevância considerável para este uso.

Valores pouco relevantes quanto ao potencial hidrelétrico remanescente e trechos inventariados foram identificados, recebendo o valor mínimo “1” para os respectivos indicadores, denotando relevância muito baixa quanto ao quesito de expansão da geração hidrelétrica na RHTA.

## BAIXO MORTES

A UP Baixo Mortes apresenta 3.297,05 km<sup>2</sup> de unidades de conservação, o que representa 4,13% do total da RHTA, sendo atribuído o valor “1” para o respectivo indicador (Gráfico 31). Desta forma, constata-se relevância muito baixa em relação a presença de áreas de preservação e terras indígenas nesta UP. Na região destaca-se o quantitativo de áreas de proteção integral, incluindo a RVS Quelônios do Araguaia, parte do corredor ecológico Araguaia-Bananal, com 5.041 km<sup>2</sup> de extensão da UP e uma importante quantidade de terras indígenas (ANA, 2009).

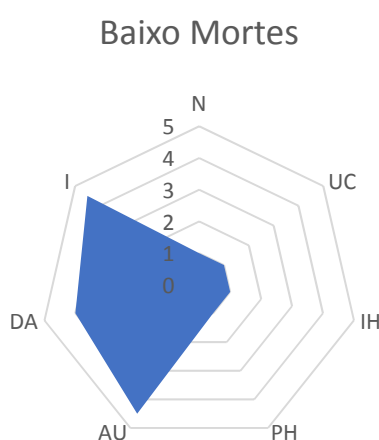


Gráfico 31: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Mortes.

De acordo com o Gráfico 31, a UP apresenta os valores “4,”, “4,5” e “4,5”, atribuídos aos indicadores de dessedentação animal, abastecimento urbano e irrigação, respectivamente, o que identifica atendimento confortável às demandas e, além disso, propensão à expansão destes usos na região.

A UP apresenta valor “1” para o indicador de inventário hidrelétrico, sendo é a 9º em quantitativo de trechos inventariados, com um total de 430,41 km com inventário aprovado. Para o indicador de potencial hidrelétrico não foi identificado potencial remanescente na base de dados utilizada para a UP, que apresenta relevância muito baixa quanto ao uso dos recursos hídricos para geração de energia hidrelétrica na RHTA.

## BAIXO TOCANTINS

A UP Baixo Tocantins apresenta valor “1” para o indicador de inventário hidrelétrico, referente ao total de 251,95 km de trechos com inventário aprovado. Para o indicador de potencial hidrelétrico não foi identificado potencial remanescente na base de dados utilizada para a UP, que apresenta relevância muito baixa quanto ao uso dos recursos hídricos para geração de energia hidrelétrica na RHTA.

As unidades de conservação totalizam 653,16 km<sup>2</sup> de unidades de conservação, o que representa apenas 0,82% do total da RHTA, sendo atribuído o valor “1” para o respectivo indicador (Gráfico 32). Assim, constata-se relevância muito baixa em relação a presença de áreas de preservação e terras indígenas nesta UP.

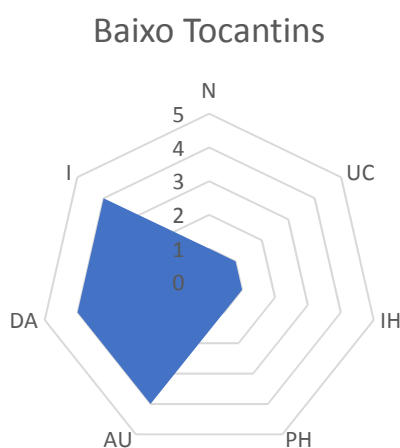


Gráfico 32: Plotagem de indicadores, gráfico tipo radar, para a UP Baixo Tocantins.

Os usos consuntivos analisados para a UP Baixo Tocantins apresentam valor “4” para seus respectivos indicadores, separadamente, constatando atendimento confortável às demandas, sem estresse hídrico (Gráfico 32). Considerando o valor total dos usos consuntivos em relação à disponibilidade superficial hídrica, obteve-se o valor “4”, representado pelo indicador de uso consuntivo, conforme apresentado no capítulo 6.8, denotando a falta de estresse hídrico na UP.

## SUBMÉDIO ARAGUAIA

Para a UP Submédio Araguaia, foram atribuídos valores “4,5”, “4,5” e “4”, para os indicadores de irrigação, abastecimento urbano e dessedentação de animais, respectivamente (Gráfico 33).

Constata-se, deste resultado, que existe atendimento confortável às demandas, sem estresse hídrico, permitindo ainda que se atenda uma maior demanda resultante de possíveis expansões destes usos. Considerando o valor total dos usos consuntivos em relação à disponibilidade superficial hídrica, obteve-se o valor “4,5” (sem estresse hídrico), representado pelo indicador de uso consuntivo, conforme apresentado no capítulo 6.8.

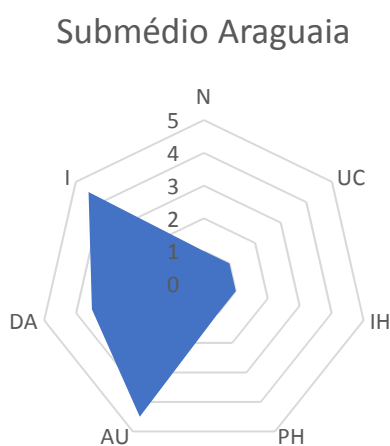


Gráfico 33: Plotagem de indicadores em gráfico tipo radar. UP Submédio Araguaia.

A UP Submédio Araguaia apresentou valor pouco relevante quanto ao potencial hidrelétrico remanescente, recebendo valor mínimo “1”. Considerando o quantitativo de trechos inventariados, a UP apresenta 2,27% do total da RHTA, também denotando baixa relevância quanto a geração hidrelétrica para sua respectiva região hidrográfica.

O percentual de unidades de conservação de 0,29% tem baixa representatividade na RHTA. Contudo, entre as diversas unidades de conservação presentes na região, pode-se destacar a área de preservação ambiental da Ilha do Bananal e o Parque Estadual do Cantão, além de parte do corredor ecológico Araguaia-Bananal (ANA, 2009).

## 7. Conclusões

O objetivo principal desta dissertação foi conceber um sistema de indicadores para o processo de planejamento e gestão ambiental e de recursos hídricos, provendo orientação a gestores e informando ao público e usuários interessados sobre o diagnóstico, prognóstico e potencial de expansão.

Em vista de atingir o objetivo principal foram determinados etapas que basearam-se na sistematização dos diversos usos múltiplos e sua importância no cenário de desenvolvimento do país, na pesquisa de dados que servissem de base para a formação dos indicadores para o planejamento e estruturação conceitual para formação e organização dos indicadores e na aplicação final em um caso de estudo para uma região hidrográfica de importância para os diversos usos no cenário brasileiro.

Através da análise primária de planos e documentos oficiais, pode-se identificar as demandas prioritárias e usos de recursos mais importantes para o país, que ainda necessitam de expansão considerável, levando em conta o potencial natural dos corpos hídricos ou a baixa representatividade em relação a negligência acarretada pelo uso massificante e prioritário de algumas utilizações.

Além disso, o número de atores que fazem parte das escolhas e decisões quanto ao desenvolvimento do país e expansão dos usos compõem um sistema de grande interesse econômico, devido aos grandes retornos financeiros para o país, que é um quesito preponderante para o desenvolvimento e crescimento do país.

A pesquisa de conceitos matemáticos para formulação de indicadores com aplicação em gestão ambiental e planejamento compôs a segunda etapa, concomitantemente com a análise e composição da base de dados e parâmetros para a agregação e formação dos indicadores para cada uso.

A pesquisa empreendida concluiu que indicadores vêm sendo crescentemente empregados na área ambiental. Contudo, o sensoriamento remoto, a aferição e a manutenção, atualização e acesso aos dados ainda carecem de maiores investimentos para subsidiar os mais diversos tipos de modelos de diagnóstico e prognóstico, base para o processo de formulação de indicadores e índices. Os resultados obtidos revelaram-se consistentes com a análise do plano de bacias da região e o emprego do grupo de indicadores é simples.

O grupo de indicadores definidos apresenta-se como uma ferramenta para o sistema de gestão integrada e planejamento ambiental, constituindo o ponto central desta



dissertação. Cada indicador representa um diferente uso e apresentando possíveis problemáticas presentes nas UP's analisadas, bem como a situação do cenário ambiental da bacia de estudo.

A aplicação do conjunto de indicadores foi realizada na totalidade das unidades de planejamento da região hidrográfica Tocantins-Araguaia, perfazendo 17 regiões com distintas características naturais e demandas para usos antrópicos. Para cada UP, foram apresentados os indicadores em formato tabular e gráfico (em formato tipo radar), refletindo a conjuntura existente, com facilidade de compreensão para gestores e usuários interessados. Sendo assim, é um importante instrumento para a comunicação e reunião de Comitês de Bacia, resumindo a situação da bacia hidrográfica quanto a situação dos usos.

O ordenamento do resultado final obtido para cada UP (Figura 37) consolida o grau de importância quanto ao potencial de expansão de maior quantidade de usos que as bacias apresentam, identificando também as mais degradadas e em situação de emergência devido a intensificação de atividades antrópicas e suas consequências, ou mesmo por características naturais que apresentam menor aptidão à utilização antrópicas. Isto pode ser visualizado de acordo com a comparação de área que cada gráfico tipo radar apresenta, a partir da conexão dos valores de cada indicador característico das UP's.

A aplicação dos indicadores ao conjunto de UP's componentes da RHTA identificou as regiões de maior potencial e que devem ser tomadas como prioritárias quanto ao desenvolvimento e expansão dos usos múltiplos, bem como constatou o conflito entre alguns usos e demandas excessivas frente à condição natural diagnosticada.

Contudo, mesmo que se tenha identificado regiões prioritárias para o desenvolvimento, a utilização de normalização e agregação de indicadores causa a perda de valores absolutos, de maneira que, em alguns casos onde os dados apresentam grande heterogeneidade, com maioria de valores inferiores a média, não se pode identificar a real situação da região. Isso foi identificado no indicador de unidades de conservação. Desta forma, sugere-se outras formas de análise deste tipo de distribuição de dados, como logarítmica, por exemplo.

Como sugestão para o prosseguimento do trabalho, pode-se considerar a evolução temporal, de acordo com a atualização dos dados subsídios para o estudo, que permite obter ainda as nuances do desenvolvimento e expansão dos setores na região hidrográfica de estudo ou em qualquer outra região de aplicação. Além disso, permite identificar aumento e reduções de demanda hídrica, mudanças na classificação de enquadramento, conflitos de disponibilidade gerados por novos projetos de usinas hidrelétricas que

desconsideram o uso múltiplo das águas, aumento do desmatamento e redução da delimitação de área das unidades de conservação do país.

Recomenda-se, para o indicador de navegabilidade, a aferição das medidas que ainda não se encontram disponíveis em sítios de órgão oficiais, como profundidade e área da seção molhada. Nesta dissertação, o cálculo do indicador utilizou apenas a largura como balizador e não representa, de fato, a realidade navegável dos corpos hídricos analisados.

Além disso, formular um procedimento específico, em sistema SIG, para permitir a padronização da obtenção de dados, com criação de *Tollbox* (ferramentas), e automatizar a sua análise, garantindo maior segurança quanto a reprodução da aplicação dos indicadores.

Quanto aos indicadores de uso consuntivo, a metodologia de agregação por pesos iguais necessita de uma avaliação mais minuciosa, com o objetivo avaliar o grau de importância para o abastecimento das variantes (1) quantidade de água (vazão) e (2) qualidade da água. Desta forma, outro método de agregação pode contribuir de maneira mais eficaz neste contexto e resultar em valores mais representativos.

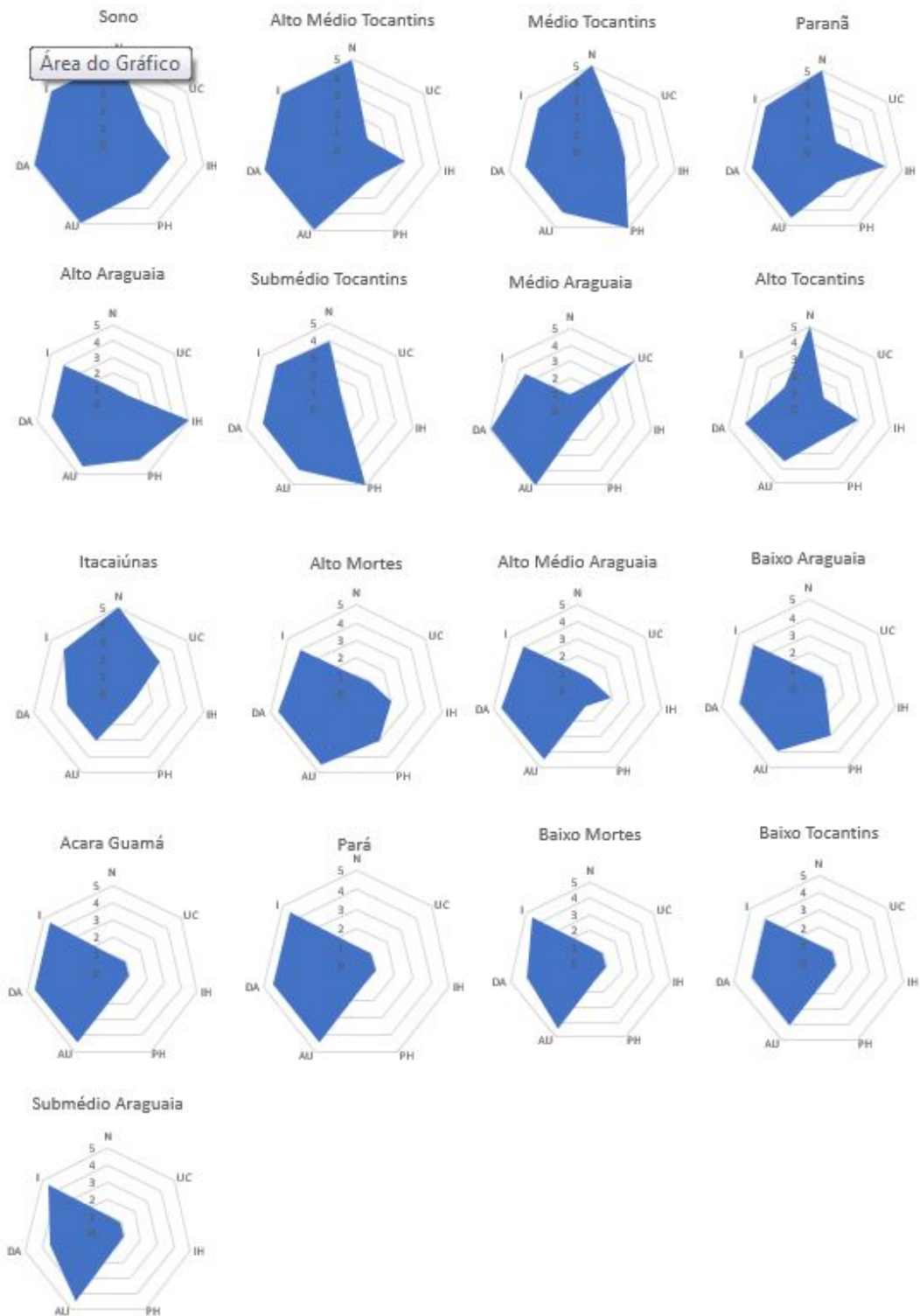


Figura 37: Ordenamento de gráfico radar, por UP da RHTA, de acordo com o potencial de expansão dos diversos usos.

## BIBLIOGRAFIA

AGENDA 21; **Agenda 21 da Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento.** Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/agenda-21/agenda-21-global.html>. Acessado em: 08/2018.

ALCAMO, J.; HENRICH, T.; RÖSCH, T. **World Water in 2025 – Global modeling and scenario analysis for the World Commission on Water for the 21st Century.** Report A0002. Center for the Environmental Systems Research. University of Kassel. Germany. 2000.

ALFREDINI, Paolo; ARASAKI, Emília. **Engenharia Portuária.** São Paulo: Blucher, 2014.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil – Regiões Hidrográficas Brasileiras.** Edição Especial. 2015.

ANA – Agência Nacional de Águas; MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Disponibilidade e Demanda de Recursos Hídricos no Brasil.** 2005.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Diagnóstico da outorga de direito de uso de recursos hídricos no Brasil. Caderno de Recursos Hídricos.** Volume 4. Disponível em: [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br). Brasília. 2007. 168 p.

ANA – Agência Nacional de Águas; Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos. **Metadados.** Disponível em: <http://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/metadata.show?id=307>. Acessado em novembro de 2018a.

ANA – Agência Nacional de Águas; CBH – Comitês de bacias Hidrográficas. 2019. Disponível em: <http://www.cbh.gov.br/GestaoComites.aspx>. Acessado em 03/2019.

ANA – Agência Nacional de Águas - **Plano estratégico da bacia hidrográfica dos rios Tocantins e Araguaia**. 2009.

ANA – Agência Nacional de Águas; **Atlas Brasil: Abastecimento Urbano de Água - Panorama Nacional**, volume 1. Engecorps, Brasília. 2010.

ANA – Agência Nacional de Águas - **Nota Técnica no 16/2016/SPR**; Documento nº:00000.023323/2016-47. 2016.

ANA – Agência Nacional de Águas; IBGE - Instituto Brasileiro de geografia e Estatística; Secretaria de recursos hídricos e qualidade ambiental. **Contas Econômicas Ambientais da Água no Brasil - 2013-2015**. 2018.

ANA – Agência Nacional de Águas – **Caderno de capacitação em recursos hídricos: Outorga de direito de uso de recursos hídricos**. 2011.

ANA – Agência Nacional de Águas – **Atlas de Irrigação: Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Superintendência de Planejamento de Recursos hídricos; SPR. 2017.

ANA – Agência Nacional de Águas; **Caderno de capacitação de recursos hídricos - Planos de recursos hídricos e enquadramento dos corpos de água**. Volume 5. 2013.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Mapas geográficos / Mapas de empreendimentos de geração elétrica. 2018. Disponível em: <https://sigel.aneel.gov.br>. Acessado em 10/2018.

ARRETCHE, M. **Uma contribuição para fazermos avaliações menos ingênuas**. In: BARREIRA, M. N.; CARVALHO, M. C. B. (orgs.). *Tendências e Perspectivas na Avaliação de Políticas e Programas Sociais*. São Paulo: IEE/PUC, 2001.

BAKKES, J.A.; VAN DER BORN, G.J.; HELDER, J.C.; SWART, R.J.; HOPE, C.W.; PARKER, J.D.E. **An overview of environmental indicators: state of the art and perspectives**. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP)/Dutch National

Institute of Public Health and Environmental Protection (RIVM), 1994. (UNEP/Environmental Assessment Technical Reports, 94-01; RIVM/402001001).

BELLEN, Hans Michael van. **Indicadores de sustentabilidade: uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.

BORDALO, Carlos Alexandre Leao. **A “crise” mundial da água vista numa perspectiva da geografia política**. GEOUSP: Espaço e Tempo (Online), 2012, Nr. 31, S. 66-78.

BROWN, A. & MATLOCK, M. D. (2011). **A Review of Water Scarcity Indices and Methodologies**. University of Arkansas: The Sustainability Consortium, White Paper 106.

BRASIL. Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH. **Institui a divisão hidrográfica nacional. Resolução n. 3, de 15 de outubro de 2003**. Disponível em: <<http://www.cnrh-srh.gov.br/>>. Acessado em novembro 2018.

CAMARA, Ana Carolina Farias Coêlho. **Análise da vazão máxima outorgável e da introdução simplificada da qualidade da água no processo de outorga da bacia do rio Gramame (PB)**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2003.

CAMPOS, J. D. **Cobrança pelo Uso da Água nas Transposições da Bacia do Rio Paraíba do Sul Envolvendo o Setor Elétrico**. Dissertação, Instituto de Pós-graduação e Pesquisa em Engenharia da COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2001.

CHRISTOFIDIS, Marina, *et al.* **O enquadramento participativo de corpos d'água como um instrumento da gestão de recursos hídricos com aplicação na bacia do Rio Cubatão Sul-SC**. Universidade de Santa Catarina. 2006.

COUCEIRO, S. M., & HAMADA, N. (2011). **Os instrumentos da política nacional de recursos hídricos na região norte do Brasil**. *Oecologia Australis*, 15(4), 762-774.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos minerais – Serviço Geológico do Brasil. **Atlas pluviométrico do Brasil – Mapa de precipitações médias anuais**. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/Hidrologia/Mapas-e-Publicacoes/Atlas-Pluviometrico-do-Brasil-1351.html>. 2018.

DNIT – Departamento Nacional de infraestrutura de transportes – **Hidrovia do Tocantins-Araguaia**. 2018. Disponível em: <https://www.dnit.gov.br/modais-2/aquaviario/hidrovia-do-tocantins-araguaia> Acessado em: 10/01/2019.

EEA - European Environment Agency. **Water Resources across Europe-confronting water scarcity and drought**. EEA Report No 2/2009. ISSN 1725-9177. 2009. Copenhagen.

EPE; Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica: 2006-2015**; Ministério de Minas e Energia. Brasília. EPE, 2006.

EPE; Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Nacional de Energia: 2030**; Ministério de Minas e Energia. Brasília. EPE, 2007.

FALKENMARK, Malin. **The massive water scarcity now threatening Africa: why isn't it being addressed?**. *Ambio*, 1989, S. 112-118.

FAO, Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2017.

FEIL, Alexandre André; SCHREIBER, Dusan. **Análise da estrutura e dos critérios na elaboração do índice de Sustentabilidade. Sustentabilidade em Debate**. 2017, 8. Jg., Nr. 2, S. 30-43.

FGV – Fundação Getúlio Vargas; MMA – Ministério do Meio Ambiente; ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Plano Nacional de Recursos Hídricos – Bacia do Tocantins**. 1998.

FIDALGO, Elaine Cristina Cardoso. **Critérios para a análise de métodos e indicadores ambientais usados na etapa de diagnóstico de planejamentos**

**ambientais.** Universidade federal de Campinas (UFC) – Faculdade de engenharia Agrícola. 2003.

FISCHMANN, Adalberto A.; ZILBER, Moisés A. Utilização de indicadores de desempenho como instrumento de suporte à gestão estratégica. encontro da ANPAD, XXIII, Anais, 1999.

FREUDENBERG, Michael. **Composite indicators of country performance: A Critical Assessment.** OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2003.

GODARD, O.; **A gestão integrada dos recursos naturais e do meio ambiente: conceitos, instituições e desafios de legitimação.** In: VIEIRA, P.F.; WEBER, J. Gestão de recursos naturais renováveis e desenvolvimento: novos desafios para a pesquisa ambiental. pp. 201-266. São Paulo: Cortez. 1997.

GUIMARÃES, J. R. S; JANUZZI, P. M. **Indicadores Sintéticos no Processo de Formulação e Avaliação de Políticas Públicas: Limites e Legitimidades.** XIV Encontro Nacional de Estudos Populacionais, ABEP. Caxambu – MG. 2004.

GUIMARÃES, Lucy Teixeira. **Proposta de um sistema de indicadores de desenvolvimento sustentável para bacias hidrográficas.** 2010.

GUTIÉRREZ, Ricardo A. **Comitê Gravataí: gestão participativa da água no Rio Grande do Sul.** Lua Nova, 2006, 69. Jg., S. 79-121.

HAK, T.; MOLDAN, B.; DAHL, A. L. **Sustainability indicator: a scientific assessment,** v. 67. Island Press, 2007.

HAMMOND, Allen; ADRIAANSE, Albert; RODENBURG, Eric; BRYANT, Dirk; WOODWARD, Richard. **Environmental indicators: a systematic approach to measuring and reporting on environmental policy performance in the context of sustainable development.** World Resources Institute, 1995.

IBGE; Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2015.** Rio de Janeiro, 2015.



ISA; Instituto Socioambiental. **Unidades de Conservação no Brasil**. Disponível em: <https://uc.socioambiental.org/o-snuc/quadro-comparativo-das-categorias>. Acessado em: janeiro de 2019.

JACOBS, Rowena; SMITH, Peter C.; GODDARD, Maria K. **Measuring performance: an examination of composite performance indicators: a report for the Department of Health**. Centre of Health Economics, University of York, 2004.

KELMAN, J. et al.; Hidreletricidade. In: REBOUÇAS, A.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. **Águas Doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. Academia Brasileira de Ciências, Instituto de Estudos Avançados/USP, Escrituras Editora e Distribuidora de Livros, p.371-418. 1999.

LÄHTINEN, K. et al. **A systematic literature review on indicators to assess local sustainability of forest energy production**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 40, p. 1202-1216, 2014.

MACHADO, R.B., L.M.S. Aguiar, M.B. Ramos Neto, A. Hass & F.B. Aquino. 2004. **Atlas de conservação da natureza brasileira: unidades federais**. Metalivros, SP.

MALTA, Valéria de Fátima. **A busca de uma solução de compromisso em problemas de conflitos em recursos hídricos utilizando um modelo de análise de conflitos – MACPROL**. 2006. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Rio de Janeiro. COPPE.

MARANHÃO, Ney. **Sistema de indicadores para planejamento e gestão dos recursos hídricos de bacias hidrográficas**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2007.

MASSOUD, M.A., SCRIMSHAWB, M.D. & LESTER, J.N. - **Integrated coastal zone and river basin management: a review of the literature, concepts and trends for decision makers**. Water Policy, 6:519- 548, IWA Publishing's Water and Wastewater Online Journals. 2004.

MAYER, A. L.; **Strengths and weakness of common sustainability indices for multidimensional systems**. Environment international, v.34, n. 2, p. 227-291, 2008.

MIN; Ministério da Integração Nacional. **Mapeamento dos espelhos d'água do Brasil** – abril de 2008.

MMA – Ministério do Meio Ambiente; Secretaria de Recursos Hídricos – **Caderno da região hidrográfica Tocantins Araguaia**. 2006.

MMA; Ministério do Meio Ambiente. **Vulnerabilidade Ambiental – Desastres Naturais ou fenômenos induzidos**. 2 edição, Brasília. 2007.

MME; Ministério de Minas e Energia. **Manual de Inventário Hidrelétrico de Bacias Hidrográficas**. Edição 2007.

PEDRO-MONZONÍS, María, et al. **A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management**. Journal of Hydrology, 2015, 527. Jg., S. 482-493.

NAKAMURA, T. (2003) - **Ecosystem-based river basin management: its approach and policy-level application**. Hydrological Processes, 17(14):2711- 2725.

NICOLDI, João Luiz; ZAMBONI, Ademilson Josemar; BARROSO, Gilberto Fonseca. **Gestão integrada de bacias hidrográficas e zonas costeiras no Brasil: implicações para a Região Hidrográfica Amazônica**. 2009.

NORRIS, G. A. **The requirement of congruence in normalization**. International Journal of Life Cycle Assessment, v. 6, n. 2, p. 85-88, 2001.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), ed. **Environmental indicators**. Paris, 1994. ed. **Towards sustainable development: environmental indicators**. Paris, 1998.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), OECD. **Environmental Indicators: Development, measurement and use**. Reference paper, Paris, 2003, 50. Jg.

PEDRO-MONZONÍS, María, et al. **A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management.** Journal of Hydrology, 2015, 527. Jg., S. 482-493.

PEREIRA, Jaido Santos. **A cobrança pelo uso da água como instrumento de gestão dos recursos hídricos: da experiência francesa à prática brasileira.** Produção de terceiros sobre Paulo Freire; Série Teses, 2002.

PEREIRA, Cristina Lucas; **Avaliação da escassez de água e sua utilização para a modelação da Taxa de Recursos Hídricos.** Faculdade de Ciência e Tecnologia. Universidade de Lisboa. 2017

POLITICA NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Lei 9433 de 8 de janeiro de 1997.

PORTO, Monica FA; PORTO, Rubem La Laina. **Gestão de bacias hidrográficas.** Estudos avançados, 2008, 22. Jg., Nr. 63, S. 43-60.

PORTZ, L., ROCKETT, G. C., FRANCHINI, R. A. L., MANZOLLI, R. P., & GRUBER, N. L. S. (2014). **Gestão de dunas costeiras: o uso de sistema de informações geográficas (SIG) na implantação de planos de gestão no litoral do Rio Grande do Sul, Brasil.** Revista de Gestão Costeira Integrada, 14(3), 517-534.

RAYNAUT, Claude, Zanoni, Magda. **La Construction de l'interdisciplinarité en Formation intégrée de l'environnement et du Développement.** Paris:Unesco (Document préparé pour la Réunion sur les Modalités de travail de CHAIRES UNESCO DU DÉVELOPPEMENT DURABLE. Curitiba, 1 - 4 juillát 93 - mimeo). 1993.

REDCLIFT, Michael. **The environmental consequences of Latin America's agricultural development: some thoughts on the Brundtland Commission report.** World Development, 1989, 17. Jg., Nr. 3, S. 365-377.

REISI, M. et al. **Transport sustainability index: Melbourne case study.** Ecological Indicators, v. 43, p. 288-296, 2014.

RIBEIRO, Márcia Maria Rios. **Alternativas para a outorga e a cobrança pelo uso da água: simulação de um caso.** Porto Alegre: UFRGS, 2000.

RIJSBERMAN, Frank R. **Water scarcity: fact or fiction?**. Agricultural water management, 2006, 80. Jg., Nr. 1-3, S. 5-22.

RYLANDS, Anthony B.; BRANDON, Katrina. **Unidades de conservação brasileiras**. Megadiversidade. 2005, 1. Jg., Nr. 1, S. 27-35.

SAISANA, Michaela; SALTELLI, Andrea; TARANTOLA, Stefano. **Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators**. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society), 2005, 168. Jg., Nr. 2, S. 307-323.

SILVEIRA, G. D., ROBAINA, A. D., GIOTTO, E., & DEWES, R. **Outorga para uso dos recursos hídricos: aspectos práticos e conceituais para o estabelecimento de um sistema informatizado**. 1998. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, 3(3), 5-16.

SINGH, R. K. et al. **An overview of sustainability assessment methodologies**. Ecological Indicators, v. 15, n. 1, p.281-299, 2012.

SIQUEIRA, Hygor Evangelista. **Vulnerabilidade ambiental dos recursos hídricos interceptados por rodovias na bacia do rio Uberaba**. UNESP. SP. 2016.

SMEETS, Edith, et al. **Environmental indicators: Typology and overview**. Copenhagen: European Environment Agency, 1999.

SMITH, P. (2002) **Developing composite indicators for assessing health system efficiency**, in Smith, P.C. (ed.) Measuring up: Improving the performance of health systems in OECD countries, OECD: Paris.

SOUZA, M.P., **Instrumentos de Gestão Ambiental: fundamentos e prática**. Editora Riani Costa, 2000.

STUDART, T. M. C. et al., **A alocação e o uso dos recursos hídricos no Ceará**. In: XII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bases Técnicas para a Implementação dos Sistemas de Gestão de Recursos Hídricos, Vitória, ES. 1997.

THOMAS, V., 2003, “**O desafio da água**”, *O Globo*, 24 de março.

TUCCI, C.E. M.; et al.; **Interdisciplinaridade em Ciências Ambientais**, São Paulo, Signus. 2000.

UNESCO - The United Nations World Water Development Report. **Water for people, water for life**. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap>.

UNITED NATIONS. COMMISSION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT. **Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies**. 2001. <http://www.un.org/esa/sustdev/isd.htm>.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Conceptual framework to support development and use of environmental information in decision-making**. Washington, DC, 1995. (EPA-239-R-95-012).

VESTENA, Leandro Redin et al. **Vazão ecológica e disponibilidade hídrica na bacia das Pedras, Guarapuava-PR**. Revista Ambiente e Água, v. 7, n. 3, 2012.

VIENNA, **World maps of Köppen-Geiger climate classification - Observed and projected climate shifts 1901-2100** depicted by world maps of the Köppen-Geiger climate classification. Disponível em: <http://koeppen-geiger.vu-wien.ac.at/shifts.htm>, acessado em 24/06/2016.

WALZ, Rainer. **Development of environmental indicator systems: experiences from Germany**. Environmental Management, 25(6):613-623. Junho. 2000.

WINOGRAD, Manuel. **Marco conceptual para el desarrollo y uso de indicadores ambientales y de sustentabilidad para la toma de decisiones en Latinoamérica y el Caribe**. Cali, 1995. <http://www.ciat.cgiar.org/indicators/unepciat/paper.htm>, 16/04/1999.

WORLD BANK. Expanding the measure of wealth – **Environmentally sustainable development studies and monographs series, 17**. Washington, 1997.

WORLD BANK, Banco Mundial; **Understanding Poverty – Water overview**. 2018.

WORLD BANK, Banco Mundial; **Understanding Poverty – Water Resources Management -Context & Challenges**. 2017.