



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL PROGRAMA**  
**DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS**

**RENATA LOCARNO FROTA**

**MODELAGEM HIDRO-ECONÔMICA APLICADA À COBRANÇA PELO USO DA**  
**ÁGUA BRUTA**

**FORTALEZA**

**2023**

**RENATA LOCARNO FROTA**

**MODELAGEM HIDRO-ECONÔMICA APLICADA À COBRANÇA PELO USO DA  
ÁGUA BRUTA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Samiria Maria Oliveira da Silva.

FORTALEZA

2023

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Sistema de Bibliotecas  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

F961m Frota, Renata Locarno.  
Modelagem hidro-econômica aplicada à cobrança pelo uso da água bruta / Renata Locarno Frota. – 2023.  
132 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Recursos Hídricos, Fortaleza, 2023.  
Orientação: Profa. Dra. Samiria Maria Oliveira da Silva.

1. Escassez de água. 2. Gestão de bacia hidrográfica. 3. Instrumento econômico. 4. Preço da água. 5. Teoria dos Jogos. I. Título.

CDD 627

---

**RENATA LOCARNO FROTA**

**MODELAGEM HIDRO-ECONÔMICA APLICADA À COBRANÇA PELO USO DA  
ÁGUA BRUTA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Engenharia Civil. Área de concentração: Recursos Hídricos.

Aprovada em \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Samiria Maria Oliveira da Silva. (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Francisco de Assis Souza Filho  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Bárbara de Araújo Nunes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Jackeline Lucas Souza  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Luiz Martins de Araújo Junior  
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

---

Prof. Dr. Nicolino Trompieri Neto  
Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará (IPECE)

A Deus.

Aos meus pais, Potiguara e Rosina.

Ao meu irmão, Victor.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado e me ajudado até aqui.

Aos meus pais Francisco Potiguara e Rosina, que sempre me apoiaram e incentivaram na concretização desta etapa da vida.

Ao meu irmão Victor que sempre esteve presente e me apoiando.

Às minhas avós Kalliopi e Vera.

À Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Samiria Maria Oliveira por ter sempre acreditado neste trabalho, pela excelente orientação sempre serena com comentários muito bem aproveitados e pela amizade desenvolvida durante esse período.

Ao amigo Victor Costa Porto que sempre me ajudou com questionamentos e excelentes comentários.

Aos professores e mestres participantes da banca examinadora pelo tempo, pelas valiosas colaborações e sugestões.

Ao Professor Anísio Sousa Meneses Filho pelo incentivo ainda na graduação.

Ao Prof. Dr. Francisco de Assis Souza Filho pelas análises e recomendações.

Aos amigos do PÓS-DEHA, pela amizade e apoio.

À CAPES, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

## RESUMO

Instrumentos econômicos têm sido utilizados para promover a conservação da água e arrecadar recursos para o financiamento do sistema de recursos hídricos. Diante disto, este estudo propõe modificações no atual modelo de cobrança pelo uso da água bruta no Estado do Ceará incorporando a variabilidade climática e os custos da transposição do rio São Francisco. Para isso, verificou-se o impacto das secas nos custos e na arrecadação de recursos financeiros na cobrança de água durante o período de 2011 a 2019 visando responder as seguintes perguntas: A cobrança cumpre a sua função de financiar o sistema de recursos hídricos? O modelo de tarifação é flexível a fim de absorver os efeitos da variabilidade do clima? A metodologia foi dividida em duas partes: análise de conteúdo e análise dos custos de operacionalização do sistema. Em seguida, propõe-se um modelo hidro-econômico utilizando-se da tarifa flutuante em função dos níveis dos reservatórios. Ele foi desenvolvido em função da capacidade de pagamento unitária (CPU) e dos Índices de Estado das regiões hidrográficas. Por fim, construiu-se uma proposta de rateio de custo das águas da transposição utilizando a Teoria dos Jogos. O modelo foi aplicado ao Sistema Jaguaribe-Metropolitano-São Francisco no qual existem conflitos em períodos de escassez hídrica quanto aos usos da água. A metodologia de alocação de custos considerou a tarifa flutuante e o valor de Shapley para obter um parâmetro de rateio entre os usos da água. Constatou-se que o Índice de Estado está correlacionado negativamente com os custos de AO&M (Administração, Operação & Manutenção), e que a arrecadação gerada é direcionada quase em sua totalidade para estes custos, sendo insuficiente para financiar as medidas, programas e projetos para melhoria das respectivas bacias. O modelo hidro-econômico possibilitou que as arrecadações médias excedessem os custos de AO&M, permitindo o financiamento das ações do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Por último, aplicou-se a tarifa flutuante no modelo de alocação de custos das águas da transposição e verificou-se que a maior parcela de pagamento e, conseqüentemente, de benefícios é do abastecimento público da Região Metropolitana de Fortaleza. Além disso, verificou-se benefícios em todas as coalizões, realçando que a cooperação entre os atores do sistema é essencial. Assim, analisou-se a eficiência econômica da cobrança de água bruta, na qual o modelo proposto pretende auxiliar na tomada de decisão, planejamento e gestão dos recursos hídricos.

**Palavras-Chave:** Escassez de água. Gestão de bacia hidrográfica. Instrumento econômico. Preço da água. Teoria dos Jogos.

## ABSTRACT

Economic instruments have been used to promote water conservation and raise funds to finance water resources. The study proposes changes in the current model of State of Ceará's raw water collection incorporating climate variability and the costs of the Transposition of the São Francisco River. To do so, we verified the impact of droughts on water costs and collection during the period 2011-2019 to answer the following questions: Does collection fulfill its function of financing the water resources system? Is the pricing model flexible to absorb the effects of climate variability? In this chapter we divided the methodology into two parts: content analysis and analysis of the system's operationalization costs. In the next step, we proposed a hydro-economic model using the floating tariff according to the levels of the reservoirs. It was developed according to the unit payment capacity (CPU) and the State Indices of the hydrographic regions. Finally, we built a cost allocation proposal considering the transposition waters and applying Game Theory. The model was applied to the Jaguaribe-Metropolitano-São Francisco System in which there are conflicts in periods of water scarcity regarding water use. The cost allocation methodology considered the floating tariff and the Shapley value to obtain an apportionment parameter between water uses. We found that the State Index is negatively correlated with the AO&M costs, and that the revenue generated is directed almost entirely to these costs, being insufficient to finance the measures, programs, and projects to improve the respective basins. The hydro-economic model allowed average revenues to exceed AO&M costs by allowing the financing of the actions of the State Water Resources Plan. Finally, the floating tariff was applied in the model of allocation of costs of the transposition waters, and it was found that the largest portion of payment and, consequently, of benefits is the human supply of the Metropolitan Region of Fortaleza. In addition, there were benefits in all coalitions, highlighting that cooperation between players is essential. Thus, we analyzed the economic efficiency of the collection of raw water, in which the proposed model intends to assist in decision making, planning and management of water resources.

Keywords: Water shortage. Watershed management. Economic instrument. Water Price. Game Theory.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Número de publicações por países .....	17
Figura 2 – Periódicos que publicaram na temática.....	18
Figura 3 – Número de publicações por ano .....	18
Figura 4 – Bacias hidrográficas do Estado do Ceará.....	23
Figura 5 – Linha do tempo da Cobrança de Água Bruta.....	29
Figura 6 – Capacidade de Pagamento Unitária (CPU) e o Valor médio da tarifa em vigor.....	34
Figura 7 - Custo de administração (ADM) do sistema de recursos hídricos do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019 (em R\$1.000). .....	37
Figura 8 - Custo de Operação e Manutenção (OM) do sistema de recursos hídricos do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019 (em R\$1.000,00). .....	38
Figura 9 - Correlação de Pearson entre os custos de operação e IE .....	40
Figura 10 - Consumo faturado médio para o período de 2011 a 2019 .....	41
Figura 11 - Consumos faturados anuais das Gerências de Limoeiro e Quixeramobim; Crateús, Sobral e Crato; Pentecoste e Iguatu; e Metropolitana .....	41
Figura 12 - Consumo faturado médio em 1.000 m <sup>3</sup> e custo unitário médio (R\$) das gerências do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019. ....	43
Figura 13 - Curvas de arrecadação média e custos médios no período 2011 a 2019 .....	45
Figura 14 - Regiões Hidrográficas do Jaguaribe e das Bacias Metropolitanas .....	53
Figura 15 - Volumes armazenados nas Gerências em estudo .....	60
Figura 16 - Tarifa aplicada por categoria em 2020 (R\$/m <sup>3</sup> ).....	61
Figura 17 - Tarifa simulada para (a) abastecimento público, (b) indústria, (c) piscicultura, (d) carcinicultura, (e) água mineral e (f) irrigação. ....	63
Figura 18 - Montante arrecadado para a Gerência Metropolitana, Gerência de Iguatu e Gerência de Limoeiro. ....	68
Figura 19 - Sistema de cores da tarifa flutuante .....	70
Figura 20 - Frequência relativa dos estados de seca na Gerência Metropolitana.....	71
Figura 21 - Frequência relativa dos estados de seca nas Gerências Iguatu e Limoeiro .....	71
Figura 22 - Duração máxima para a Gerência Metropolitana .....	73
Figura 23 - Duração máxima para as Gerências Iguatu e Limoeiro .....	74
Figura 24 - Arrecadação simulada para a Gerência Metropolitana .....	75
Figura 25 - Arrecadação simulada para a Gerência de Iguatu.....	76
Figura 26 - Arrecadação simulada para a Gerência de Limoeiro .....	77

Figura 27 - Localização do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.....	84
Figura 28 – Metodologia .....	87
Figura 29 – Esquema do modelo proposto no estudo.....	92

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Capacidade de Armazenamento das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará.....	23
Tabela 2 – Categorização do Índice de Estado.....	26
Tabela 3 – Categorias e volume consumido.....	27
Tabela 4 - Índice de Estado (IE) para o período de 2011 a 2019.....	39
Tabela 5 - Arrecadação em R\$1.000,00.....	44
Tabela 6 - Valores aplicados no custeio.....	45
Tabela 7 - Classificação quanto ao nível de armazenamento ( $\forall$ ) de água das bacias hidrográficas no Estado do Ceará.....	55
Tabela 8 - Setores e Categorias consideradas para o estudo.....	58
Tabela 9 - Capacidade de pagamento unitária e tarifa média das categorias em vigor.....	61
Tabela 10 - Capacidade de pagamentos nos três cenários.....	62
Tabela 11 - Valores cobrados pela água bruta em países da OECD (Ferreira <i>et al.</i> , 2020).....	66
Tabela 12 - Tarifas simuladas para os ES.....	67
Tabela 13 – Jogadores.....	88
Tabela 14 – Membros e formas das Coalizões.....	88
Tabela 15 – Custo Unitário.....	90
Tabela 16 - Demandas do sistema Jaguaribe- Metropolitano.....	91
Tabela 17 – Tabela modelo com <i>status quo</i> seguindo o modelo da equação 15: $Bliq = 1 \times 2 - 3 \times 4$ , onde 1 é o valor econômico, 2 é a demanda, 3 é o custo unitário e 4 o volume transposto.....	95
Tabela 18 –Benefícios da coalizão {1} AP RMF.....	95
Tabela 19 – Benefícios da coalizão {1-5} AP RMF – IRR CASTANHÃO.....	96
Tabela 20 - Benefícios, Contribuição marginal e Valor de Shapley.....	98
Tabela 21 – Simulação mensal do custo por categoria/infraestrutura.....	99

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivos</b> .....	<b>15</b>
1.1.1	Objetivo geral.....	15
1.1.2	Objetivos específicos .....	15
<b>1.2</b>	<b>Contribuição científica e/ou tecnológica</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3</b>	<b>Estrutura da tese</b> .....	<b>19</b>
<b>2</b>	<b>ASPECTOS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA BRUTA NO CEARÁ, BRASIL: A SECA E SEUS DESAFIOS</b> .....	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>22</b>
<b>2.3</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>24</b>
2.3.1	Análise de conteúdo .....	24
2.3.2	Análise dos Custos de operacionalização do sistema .....	25
<b>2.4</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>26</b>
2.4.1	Evolução da cobrança pelo uso da água bruta .....	26
2.4.2	Custos de Operacionalização do Sistema.....	35
2.4.3	Desafios da cobrança pelo uso da água bruta.....	46
<b>2.5</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>48</b>
<b>3</b>	<b>MODELO HIDRO-ECONÔMICO PARA AUXILIAR NA ESCASSEZ DE ÁGUA</b> .....	<b>50</b>
<b>3.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>50</b>
3.1.1	Local de aplicação.....	53
<b>3.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>54</b>
3.2.1	Base de dados.....	55
3.2.2	Design do modelo de tarifação.....	56
3.2.3	Análise de sensibilidade.....	59
<b>3.3</b>	<b>Resultados e Discussão</b> .....	<b>59</b>
3.3.1	Modelagem da tarifa flutuante .....	59
3.3.2	Análise de Sensibilidade .....	71
<b>3.4</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>79</b>
<b>4</b>	<b>ALOCAÇÃO DE CUSTOS DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO UTILIZANDO TEORIA DOS JOGOS E TARIFA FLUTUANTE</b> .....	<b>81</b>
<b>4.1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>81</b>
<b>4.2</b>	<b>Área de Estudo</b> .....	<b>83</b>
<b>4.3</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>86</b>
4.3.1	Coalizões .....	87
4.3.2	Definição da Função Característica .....	88
4.3.3	Regras de Prioridade do Sistema .....	93
<b>4.4</b>	<b>Resultados e Discussões</b> .....	<b>93</b>
<b>4.5</b>	<b>Conclusão</b> .....	<b>101</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>103</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>105</b>

<b>APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES NA LINHA DE PESQUISA ENTRE OS ANOS 2012 E 2022 .....</b>	<b>116</b>
<b>APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES COM AS PALAVRAS-CHAVE “WATER TARIFFS” E “CEARÁ” ENTRE OS ANOS 2012 E 2022 .....</b>	<b>122</b>
<b>APÊNDICE C - COALIZÃO {2} IND RMF .....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE D - COALIZÃO {3} AP JAG .....</b>	<b>123</b>
<b>APÊNDICE E - COALIZÃO {4} IND JAG .....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE F - COALIZÃO {5} IRR CASTANHÃO .....</b>	<b>124</b>
<b>APÊNDICE G - COALIZÃO {6} IRR BANABUIÚ .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE H - COALIZÃO {7} IRR EIXÃO .....</b>	<b>125</b>
<b>APÊNDICE I - COALIZÃO {8} IRR CT .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE J - COALIZÃO {1-2} AP RMF – IND RMF .....</b>	<b>126</b>
<b>APÊNDICE K - COALIZÃO {1-3-5} AP RMF – AP JAG – IRR CASTANHÃO .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE L - COALIZÃO {1-5-6} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ .....</b>	<b>127</b>
<b>APÊNDICE M - COALIZÃO {1-5-7} AP RMF – IRR CASTANHÃO – EIXÃO .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE N - COALIZÃO {1-5-8} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR CT .....</b>	<b>128</b>
<b>APÊNDICE O - COALIZÃO {1-2-3-5} AP RMF – IND RMF – AP JAG - IRR CASTANHÃO .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE P - COALIZÃO {1-5-6-7} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ – IRR EIXÃO .....</b>	<b>129</b>
<b>APÊNDICE Q - COALIZÃO {1-2-5-6} AP RMF – IND RMF - IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ .....</b>	<b>130</b>
<b>APÊNDICE R - COALIZÃO {1-2-3-4-5-6-7-8} AP RMF – IND RMF- AP JAG – IND JAG - IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ – IRR EIXÃO – IRR CT .....</b>	<b>130</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O direito à água foi reconhecido pelo Conselho dos Direitos Humanos da ONU como um direito fundamental, compreendendo quatro dimensões: Humanitária e de, no mínimo, existencial para a sobrevivência humana; Social, onde a água é um elemento de inclusão social; Sanitária, garantindo a potabilidade das águas; e Econômica trazendo a noção da limitação do recurso natural (BOLSON *et al.*, 2016).

Na Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, no seu art. 1º, a água é descrita como um bem de domínio público e um recurso natural limitado, dotado de valor econômico (BRASIL, 1997). Dentre os bens públicos conhecidos juridicamente tem-se os bens de uso especial, dominical e de uso comum, no qual a água se encaixa nesta última classificação uma vez que a sua utilização é realizada por membros da coletividade, sendo a União responsável por gerir este bem, podendo um ente privado apropriar-se mediante outorga (CNI, 2022).

Sob essa legislação, Barlow e Clarke, (2003) apontam que a água perde a condição de bem de direito universal no qual se classifica em mero recurso natural e apropriável e torna-se inalienável e não passível de apropriação.

Esta mudança abre espaço para a inserção do conceito de governança hídrica, que implica no estabelecimento de condutas que envolvem múltiplas categorias de instituições e atores (*stakeholders*), a descentralização que transfere o controle para o governo local (*empowerment*) e a unidade de gestão por bacias hidrográficas (BOLSON *et al.*, 2016). Uma boa governança dos recursos hídricos é fundamental para a sustentabilidade da região, dada a desigualdade social e econômica, heterogeneidade na disponibilidade dos recursos hídricos e consequentes conflitos na utilização do recurso (SILVA, 2022).

Contudo, a demanda crescente e as mudanças climáticas têm intensificado a escassez hídrica, a qual enfatiza o caráter econômico da água (CAPELLARI; CAPELLARI, 2018).

Robbins (1935) definiu economia como “a ciência que estuda o comportamento humano como uma relação entre fins e meios escassos que possuem usos alternativos”, deste modo, o conceito de água como recurso escasso é fundamental para incentivar seu uso racional.

Nesse sentido, para que seja possível reconhecer a água como bem econômico é necessário utilizar-se de instrumentos de controle e fiscalização. Esses instrumentos estão divididos em comando e controle (outorga, por exemplo) e econômicos.

Os mecanismos de comando e controle caracterizam-se por ter pouca flexibilidade e altos custos administrativos, o que tem intensificado o interesse nos instrumentos econômicos.

Instrumentos esses contemplados por tributos e encargos, programas de permissões comercializáveis, subsídios e fundos ambientais, e sistemas de depósito e retorno e títulos ambientais (ANA, 2018).

O mecanismo econômico mais conhecido é a cobrança pelo uso que é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos e resulta de uma relação jurídica bilateral, consensual e sinalagmática. Este último termo, não muito habitual, refere-se à existência de uma relação de direitos e obrigações recíprocas. Assim, a cobrança se baseia no princípio de que alguém se apropria e/ou obtém benefícios pelo uso de um bem do povo, deve retornar à coletividade algum pagamento, remuneração ou contraprestação (CNI, 2022).

Essa remuneração não se enquadra como imposto, pois não ocorre uma contraprestação estatal, também não é uma taxa pois nenhum serviço público encontra-se à disposição do contribuinte já que ocorre uma cessão do uso da água por um ente privado. Ela se trata de um preço público, no qual ocorre uma indenização por um uso de um bem do povo (CNI, 2022).

A cobrança e a outorga caminham juntas já que a outorga concede o direito do uso do recurso natural que é pertencente à União e aos Estados (DOMINGUES, 2009; FERREIRA *et al.*, 2020). Posteriormente, a arrecadação advinda desses instrumentos deve ser utilizada para financiar estudos, programas, projetos nas bacias hidrográficas em que foram arrecadadas (BRASIL, 1997).

Diante disto, observando a variabilidade climática da região e os custos de AO&M das infraestruturas surgiu a seguinte pergunta: O modelo tarifário atual é capaz de suprir os custos operacionais e, conforme dita a Lei 9433/1997, financiar os programas e estudos?

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Propor uma modelagem hidro-econômica à cobrança pelo uso da água bruta do Estado do Ceará.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

1. Analisar os custos de operacionalização do sistema de recursos hídricos (AO&M);
2. Discutir o cumprimento da função da cobrança pelo uso da água bruta para financiar o sistema de recursos hídricos.

3. Propor um modelo de tarifa de água incorporando a variabilidade climática e a capacidade de pagamento dos usuários;
4. Desenvolver um modelo de rateio de custo das águas da transposição do rio São Francisco que auxilie no processo de tomada de decisão da alocação de água.

## 1.2 Contribuição científica e/ou tecnológica

A elevada variabilidade climática do Nordeste brasileiro impacta, diretamente, no nível dos reservatórios, justificando que a tarifa da água bruta necessita incorporar esta variabilidade climática a fim de cobrar uma tarifa mais próxima aos custos inerentes ao período de escassez hídrica.

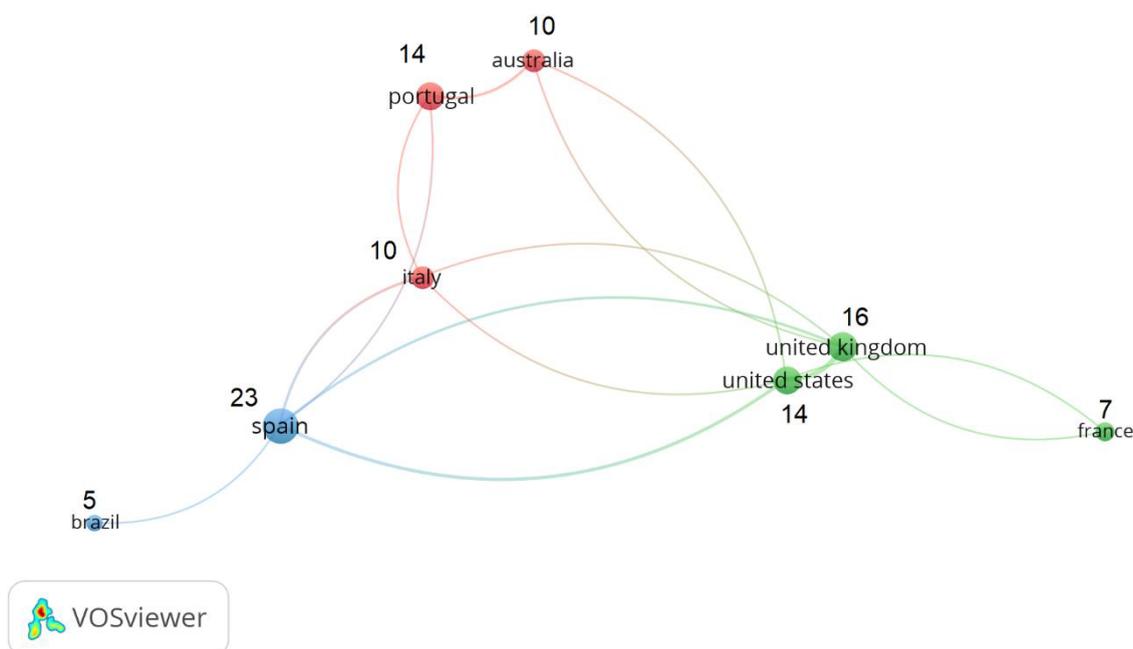
Além disso, o Projeto de Transposição do rio São Francisco (PISF) é uma iniciativa do Governo Federal – do Ministério da Integração (MI) no qual a Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA), ainda, não possui uma tarifa da água definida e a Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) está avaliando uma forma de ratear esse custo entre os usuários da água. Portanto, em busca de assegurar a segurança hídrica da região, o trabalho pretende aplicar o modelo de tarifa flutuante no custo da água alocada do rio São Francisco, permitindo obter um parâmetro de rateio entre aos usuários e as infraestruturas hídricas do Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Um levantamento realizado na base de dados da Scopus utilizando-se as palavras-chave, para o período de 2012 a 2022: “*water tariffs*”, destacou 139 trabalhos científicos publicados e “*water tariffs*” e “Ceará” resultaram em, apenas, 11 trabalhos que poderiam ter tema semelhante à proposta desta pesquisa. Entretanto, os estudos disponíveis na temática tratam do arcabouço legal, comparações com outros modelos de cobrança existentes, desperdício de água, irrigação, aspectos sociais e/ou econômico-financeiros da tarifa e simulações hidrológicas. No apêndice encontram-se as tabelas com todos os trabalhos, autores, ano e revista de publicação.

Em busca de uma investigação profunda sobre os trabalhos publicados no tema apresentam-se algumas métricas, tais como: número de publicações e país onde foram publicadas, periódicos e número de publicações por periódicos.

Observou-se na Figura 1 que o país com maior número de publicações no tema “*water tariffs*” é a Espanha, com 23 publicações, seguidas do Reino Unido, 16 publicações. O Brasil possui, apenas, cinco publicações.

Figura 1 – Número de publicações por países



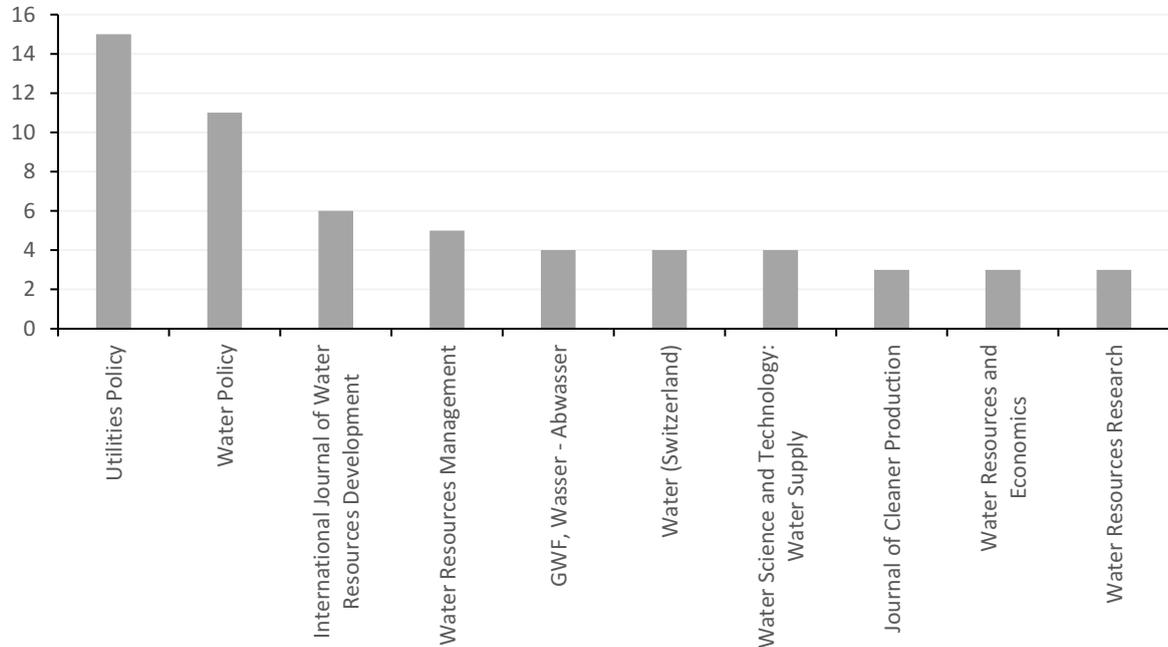
Fonte: Elaborado pela autora no software VOSViewer.

Espanha, Estados Unidos e Reino Unido são os que apresentam alta centralidade, ou seja, possuem muitas ligações e, portanto, encontram-se próximo do centro do grafo. Os três países, apresentam cinco ligações cada um, seguidos da Itália com quatro ligações e Portugal e Austrália, com três ligações.

O software VOSViewer, no qual foi realizada a análise, agrupa os itens em *clusters*, entretanto, possui uma limitação que consiste em não revelar o parâmetro utilizado para este agrupamento. Portanto analisando manualmente as publicações percebeu-se que os itens em azul tratam com frequência de tarifas no abastecimento público, enquanto os itens em vermelho retratam experiências locais relacionadas às tarifas e os itens em azul relatam aspectos da tarifa em si, como eficiência e melhoras.

Quanto ao periódico que mais publicou o tema, tem-se a *Utilities Policy* com 15 publicações, seguida da *Water Policy*, 11 publicações. Para a elaboração da Figura 2 considerou-se apenas os periódicos com três ou mais publicações.

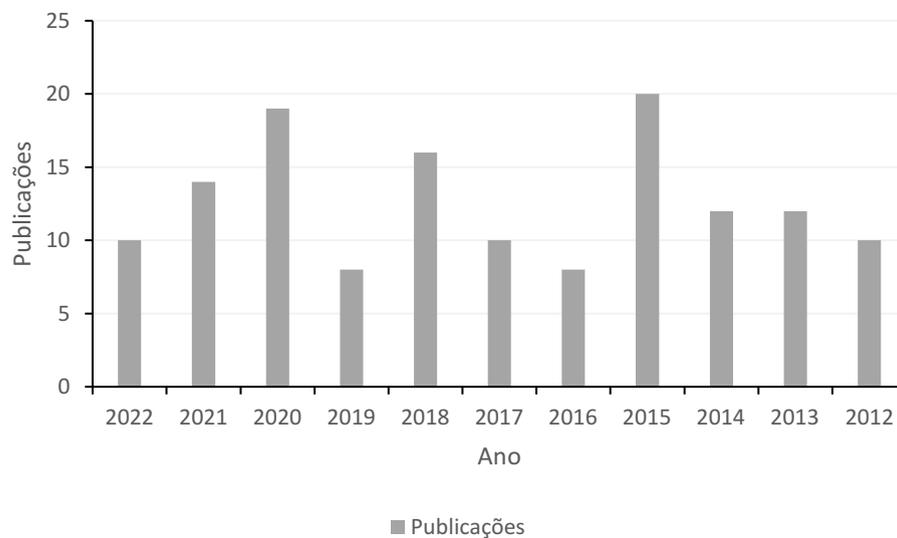
Figura 2 – Periódicos que publicaram na temática



Fonte: Elaborado pela autora.

Verificando o número de publicações por ano (Figura 3), percebe-se que a temática vem sendo constantemente explorada, porém, há uma lacuna no meio científico por apresentar sempre inovações na área e necessidade de melhorias.

Figura 3 – Número de publicações por ano



Fonte: Elaborado pela autora.

Assim, pautando-se nas melhorias, revela-se à necessidade de aprofundar o conhecimento no tema para contribuir cientificamente na análise de custos na escassez hídrica e tecnologicamente para desenvolver o modelo tarifário que absorva a escassez hídrica, incluindo a água da transposição, o que possibilitaria a melhora no processo de alocação de água, segurança financeira, e conseqüentemente, maior resiliência do sistema.

O modelo aqui proposto deve ser reproduzido, principalmente, em locais que sofrem com a escassez hídrica.

### **1.3 Estrutura da tese**

Este documento está organizado em sete capítulos, no qual o primeiro é a introdução que inclui os objetivos gerais e específicos, a contribuição científica e tecnológica da pesquisa. No segundo capítulo expõe-se a justificativa do trabalho, no qual está presente a análise dos custos de administração, manutenção e operação (AO&M) das gerências e suas arrecadações. A análise destes dados fortaleceu a necessidade de discutir uma nova metodologia para a cobrança pelo uso da água bruta. Além disso, neste capítulo encontra-se uma análise bibliográfica da evolução da cobrança da água bruta no Estado do Ceará. O capítulo três apresenta o modelo hidro econômico de tarifa flutuante, suas variáveis e funcionamento. Neste capítulo são feitas análises de séries sintéticas para comprovar a robustez do modelo. O capítulo quatro expõe como a tarifa flutuante poderia ser aplicada junto a um modelo de rateio de custos para alocação de água da transposição do rio São Francisco. Esse modelo de rateio de custos embasou-se na Teoria dos Jogos Cooperativa, com ênfase no Valor de Shapley. Por último, tem-se o capítulo cinco com as conclusões do estudo, o capítulo seis, com as referências bibliográficas, e o capítulo sete, com os cálculos (Apêndice).

Os capítulos estão estruturados em forma de artigos, desta forma até a defesa da tese o capítulo dois foi publicado na revista AIDIS de *Ingeniería y Ciencias Ambientales Investigación desarrollo y práctica* e o terceiro capítulo na *Water Economics and Policy*.

## 2 ASPECTOS DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA BRUTA NO CEARÁ, BRASIL: A SECA E SEUS DESAFIOS

### 2.1 Introdução

A variabilidade do clima está associada aos riscos de extremos hidrológicos, principalmente em regiões com eventos de seca frequentes, onde a variabilidade de baixa frequência é relevante (ROCHA *et al.*, 2019). Considerando esta informação as mudanças nos padrões de temperatura e precipitação estão conectadas indiretamente ao acesso de recursos que pode resultar em escassez frente às demandas múltiplas e concorrentes, potencializando a gestão de conflitos ligados a fatores políticos, econômicos e sociais (FROESE; SCHILLING, 2019).

A gestão de conflitos visa reduzir os danos decorrentes de um evento extremo, sendo relevante uma abordagem sistêmica afim de identificar, avaliar e controlar riscos associados às incertezas climatológicas para priorizar ações preventivas e corretivas (ANA, 2016).

O gerenciamento desses riscos exige flexibilidade e capacidade de adaptação dos sistemas jurídico-institucionais, para que eles tenham autonomia diante das ações estruturais e não estruturais dos sistemas hídricos relacionados aos eventos extremos e às mudanças na sociedade e economia. Deste modo, a gestão dos recursos hídricos deve conciliar a gestão de riscos afim de obter sucesso em seus estudos, planejamentos, programas e obras.

Instrumentos regulatórios e econômicos são utilizados para este fim, tentando alinhar o comportamento do indivíduo com os objetivos das políticas públicas para prover água em quantidade e qualidade à população e mitigar os riscos relacionados ao abastecimento (REY *et al.*, 2019).

Berbel *et al.* (2019) relata que a combinação ideal de políticas de água deve incluir instrumentos tanto de oferta, quanto de demanda, com instrumentos econômicos e não econômicos atrelados a políticas convencionais de comando e controle.

De acordo com Dalcin e Fernandes Marques (2020), a implementação e coordenação desses instrumentos para atender às metas atuais e futuras são limitadas de acordo com a região ou país, sendo necessário uma análise detalhada de suas condições físicas, econômicas e jurídicas.

No Brasil, o gerenciamento dos recursos hídricos baseia-se numa gestão integrada, participativa e descentralizada composta por Estado, sociedade civil e usuários. A Lei das

Águas (Lei nº 9433/1997) apresenta como instrumentos de gestão: os planos de Recursos Hídricos; o enquadramento dos corpos de água em classes, segundo os usos preponderantes da água; a outorga dos direitos de uso de recursos hídricos; a cobrança pelo uso de recursos hídricos; e o sistema de informações sobre recursos hídricos (BRASIL, 1997). Salienta-se que esses instrumentos devem ser aplicados na unidade territorial, ou seja, a bacia hidrográfica que permite uma visão sistêmica dos recursos hídricos de determinado território incorporando aspectos ambientais, sociais e econômicos (ANA, 2020).

Segundo Porto e Porto (2008), a Lei das Águas apresenta como aspecto positivo a flexibilidade e a adaptação das bacias hidrográfica às suas condições sociais, políticas, econômica e climáticas. Não tornando obrigatória a adoção de todos os instrumentos nas bacias, além de não se limitar apenas a estes instrumentos, sendo possível o emprego de outros de acordo com suas necessidades.

Um desses instrumentos que tem ganhado visibilidade nas últimas duas décadas é a cobrança pelo uso dos recursos hídricos. Ela é caracterizada como um preço público, pois a receita vem diretamente da exploração de um bem público e está sendo aplicado gradualmente em bacias federais e estaduais (ANA, 2014; FERREIRA *et al.*, 2020). Ela possui função econômica de incentivar a conservação de água através do preço e função financeira como mecanismo de arrecadação de recursos para financiar o sistema de recursos hídricos (CERQUEIRA, 2019).

De Sousa e Dias Fouto (2019) demonstraram que esses incentivos econômicos foram eficazes na redução do consumo de água em São Paulo durante a crise hídrica. Essa questão é reforçada por Lopez-Nicolas *et al.* (2018) que relata que as políticas de tarifação da água ainda têm um grande potencial inexplorado principalmente em situações de escassez.

De Brito e De Azevedo (2020) relatam que a implementação da cobrança é um sucesso, porém após comparar o modelo de cobrança brasileiro com o de países como França, Austrália e Canadá, verificou-se a necessidade de aprimoramento desse instrumento, principalmente quanto ao modelo de cobrança. Baseado na *Organization for Economic Cooperation and Development* (OECD), eles enfatizaram três aspectos: universalização da cobrança, pois nem todos os Estados a implementaram; cobrar mais para aqueles que utilizam mais; e decidir quanto cobrar.

Nesse sentido, faz-se perguntas como: A arrecadação advinda da cobrança é suficiente para cobrir os custos de operacionalização do sistema? Ou seja, a cobrança cumpre sua função de financiar o sistema de recursos hídricos? O modelo de tarifação é flexível, a fim de absorver os efeitos da variabilidade do clima?

Para essa reflexão foi realizado o estudo da evolução da cobrança do uso de água bruta no Estado do Ceará com foco nas leis federal e estadual, e resoluções do Conselho Estadual dos Recursos Hídricos (CONERH) utilizando a análise de conteúdo, além da verificação dos custos operacionais do sistema, da arrecadação da água e a relação com a seca durante o período de 2011 a 2019.

O estudo foi aplicado para o Estado do Ceará, pois é um Estado marcado historicamente por secas. Assim, as discussões levantadas nesse estudo podem ser replicadas para outras regiões que sofrem com a variabilidade climática, auxiliando-os no aprimoramento ou instauração da sua cobrança pelo uso da água bruta.

## 2.2 Área de estudo

O Estado do Ceará está localizado no Nordeste do Brasil e possui uma área de 148.894,4 km<sup>2</sup> (IBGE, 2020). Mais de 90% do seu território está localizado na região semiárida, que é caracterizada por baixos níveis de precipitação e altas taxas de evaporação, portanto, uma região vulnerável às secas (PONTES FILHO *et al*, 2020).

A principal estação chuvosa ocorre de fevereiro a maio, e a chuva é responsável pela água meteórica aproveitada na agricultura de sequeiro e nas cisternas rurais. Entretanto, devido a condições oceânicas e atmosféricas, o regime de chuvas caracteriza-se pela grande variabilidade espacial e temporal, sendo muitas vezes insuficiente para abastecer os reservatórios (CEARÁ, 2018).

Os 155 reservatórios do Estado são considerados estratégicos por transportar água dos anos chuvosos para anos secos subsequentes, sendo caracterizados como plurianuais. Portanto, eles são responsáveis por reduzir a variabilidade sazonal e interanual característica do Estado. A Tabela 1 mostra o número de reservatórios em cada bacia hidrográfica no Ceará. A Bacia do Médio Jaguaribe possui a maior capacidade de armazenamento, enquanto a Bacia do Alto Jaguaribe possui o maior número de reservatórios.

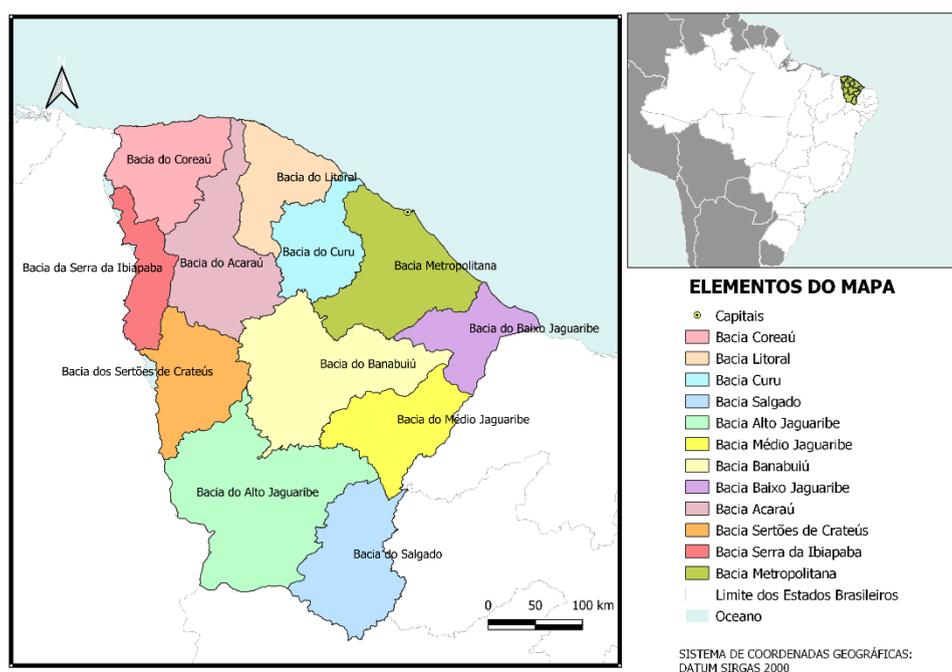
O Estado do Ceará é espacialmente dividido em 12 bacias hidrográficas para efetivar o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo estas: Metropolitana, Curu, Litoral, Acaraú, Coreaú, Serra da Ibiapaba, Sertões de Crateús, Banabuiú, Salgado, e as bacias do Alto, Médio e Baixo Jaguaribe (Figura 4).

Tabela 1 - Capacidade de Armazenamento das Bacias Hidrográficas do Estado do Ceará

Bacia Hidrográfica	Número de Reservatórios	Capacidade de Armazenamento (hm <sup>3</sup> )
Médio Jaguaribe	15	7.373,99
Alto Jaguaribe	24	2.765,67
Banabuiú	19	2.687,84
Acaraú	15	1.719,42
Metropolitana	22	1.383,78
Curu	13	1.028,80
Salgado	15	447,45
Sertões de Crateús	10	436,04
Coreaú	10	301,68
Litoral	10	214,90
Serra da Ibiapaba	1	140,33
Baixo Jaguaribe	1	24,00
<b>Total</b>	<b>155</b>	<b>18.523,90</b>

Fonte: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos - Funceme (2022).

Figura 4 – Bacias hidrográficas do Estado do Ceará



Fonte: Elaboração própria.

Dessa forma, as análises desse estudo serão estruturadas em relação as Gerências Regionais, que para facilitar a gestão uniram oito bacias hidrográficas, resultando na seguinte divisão:

Gerência Metropolitana (Bacia Metropolitana),

Gerência Pentecoste (Bacias Curu e Litoral),

Gerência Iguatu (Bacia Alto Jaguaribe),

Gerência Limoeiro (Bacias Médio e Baixo Jaguaribe),  
Gerência Crato (Bacia do Salgado),  
Gerência Sobral (Bacias Acaraú e Coreaú),  
Gerência Crateús (Bacias Sertões de Crateús e Serra da Ibiapaba),  
Gerência de Quixeramobim (Bacia do Banabuiú).

## 2.3 Metodologia

Este estudo apresenta a evolução da cobrança de água bruta e a análise dos custos de operacionalização do sistema no Estado do Ceará, durante o período de 2011 a 2019. A metodologia utilizada para desenvolvimento do estudo foi dividida em duas partes onde a primeira consistiu em analisar o conteúdo da cobrança de água bruta e a segunda em analisar os custos totais. Nesta etapa, o Índice de Estado (IE), desenvolvido por Estrela *et al.* (2005), foi utilizado para verificar as relações existentes entre o estado de seca das bacias hidrográficas e a variação dos custos.

### 2.3.1 Análise de conteúdo

A análise de conteúdo é um método que analisa mensagens escritas, verbais ou visuais. Ela surgiu no início do século XX nos Estados Unidos para analisar materiais jornalísticos. Posteriormente, essa técnica foi utilizada por cientistas nos discursos políticos (BARDIN, 2010; SCHIAVINI; GARRIDO, 2018). Atualmente, ela é amplamente utilizada em diversos temas.

Ela foi usada para observar mudanças ocorridas no instrumento de cobrança de água bruta ao longo dos anos. Essas mudanças envolvem alterações nos valores de tarifa, categorias de uso e critérios de cobrança.

A aplicação dessa técnica deu-se em três fases conforme descrito por Bardin (2010): (i) A pré-análise para organização do material; (ii) A exploração do material onde ocorre a classificação e categorização dos dados; (iii) O tratamento dos resultados e interpretações. A ênfase nesse método está na contagem das ocorrências que determinado palavra, frase ou tema aparece, portanto, procurou-se as palavras “Cobrança” e “Tarifa” em todo o material de estudo. E assim, procedeu-se para uma leitura crítica dos documentos selecionados e montagem da linha do tempo.

Foi utilizado como material de estudo as resoluções do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (CONERH) disponíveis no site da Secretaria de Recursos Hídricos (SRH) e as Leis Estaduais n<sup>o</sup>s 11.996 de 24 de julho de 1992 e n<sup>o</sup>14.844 de 28 de dezembro de 2010

que dispõem sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos e instituem o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH.

### 2.3.2 Análise dos Custos de operacionalização do sistema

Os custos de operacionalização do sistema de recursos hídricos foram obtidos junto à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH), para o período de 2011 a 2019. Eles foram divididos em custos de administração e custos de operação e manutenção para uma análise dos gastos.

Os custos de administração são referentes a salários, encargos trabalhistas, diárias, transportes, obrigações tributárias e indenizações. Já os custos de operação e manutenção referem-se à conservação, monitoramento e operacionalização da infraestrutura hídrica, serviço de coleta de água para análise e energia elétrica.

O custo unitário (R\$/m<sup>3</sup>) foi calculado pela razão dos custos totais com o consumo faturado de cada gerência. Este custo permite visualizar a evolução no preço da água fosse vista de forma simplificada.

Para analisar a relação existente entre os custos e a seca hidrológica aplicou-se a correlação de Pearson. O Coeficiente da Correlação de Pearson (Equação 1) indica a força da relação das variáveis e podem variar de +1 a -1. Portanto, quanto mais próximo de 1 mais intensa será a correlação linear positiva indicando uma relação direta entre as duas variáveis. E quanto mais próxima de -1, mais intensa será a correlação linear negativa indicando uma relação inversa entre as duas variáveis. Quando a correlação for zero significa que não há correlação. Ele foi obtido pela aplicação do pacote Corrplot do software R.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

Onde: r é o coeficiente de correlação;

$x_i$  são os valores x em uma amostra;

$\bar{x}$  é a média dos valores da variável x;

$y_i$  são os valores da variável y em uma amostra;

$\bar{y}$  é a média dos valores da variável y.

A seca hidrológica foi caracterizada por meio do Índice de Estado de Seca (IE). Este índice é adimensional e possui valores entre 0 e 1, que correspondem ao valor mínimo histórico e o valor máximo, respectivamente (ARAÚJO JUNIOR et al., 2020). A Equação 2 apresenta o cálculo do IE e a

Tabela 2, a sua categorização.

$$\text{Se } V_i \geq V_{med} \rightarrow I_e = \frac{1}{2} \left[ 1 + \frac{V_i - V_{med}}{V_{max} - V_{med}} \right] \text{ ou } V_i < V_{med} \rightarrow I_e = \frac{V_i - V_{min}}{2(V_{med} - V_{min})} \quad (2)$$

Tabela 2 – Categorização do Índice de Estado

<b>Estado</b>	<b>IE</b>
Normal	$I_e > 0,5$
Pré-Alerta	$0,5 \geq I_e > 0,3$
Alerta	$0,3 \geq I_e > 0,15$
Emergência	$0,15 \geq I_e$

Fonte: Araújo Junior *et al.* (2020).

Para o cálculo do IE foram somados os volumes dos reservatórios de cada bacia, assim criando um reservatório equivalente. Os volumes utilizados para este cálculo são referentes ao mês de dezembro de cada ano. Utilizou-se o mês de dezembro para unificar os dados evitando qualquer equívoco já que o mês de dezembro sintetiza o comportamento anual do estoque de água, considerando as entradas e saídas do sistema.

Os custos foram comparados com a arrecadação anual da cobrança no intuito de verificar a sustentabilidade financeira do sistema de Recursos Hídricos. Os dados de arrecadação foram obtidos no site da Agência Nacional de Águas (ANA).

## 2.4 Resultados e Discussão

### 2.4.1 Evolução da cobrança pelo uso da água bruta

A cobrança de água bruta é aplicada aos usuários que consumirem água bruta subterrânea ou superficial e que detenham a outorga de uso sendo considerada nove categorias: abastecimento público, indústria, piscicultura, carcinicultura, água mineral e água potável de mesa, irrigação, serviço e comércio e demais. A Tabela 3 apresenta as percentagens de consumo de cada categoria, exceto para serviços e comércio e demais categorias de uso para as quais não existe informação suficiente.

Observando a Tabela 3 temos que o abastecimento público é a categoria que mais consome água, seguido da irrigação. A partir de 2013, pode-se observar uma diminuição no consumo de irrigação ao longo dos anos, devido à estiagem e ao aumento do consumo para abastecimento público. Salvam-se os usos de vazão insignificantes, são eles: para satisfação das

necessidades de pequenos núcleos populacionais, distribuídos no meio rural; e às derivações, às acumulações e às captações consideradas insignificantes e/ou em estado de calamidade pública. Os principais eventos relacionados a ampliação e/ou melhoria desse instrumento de gestão no Estado do Ceará estão apontados na Figura 5.

Tabela 3 – Categorias e volume consumido

Ano	Categorias	Volume Consumido (m <sup>3</sup> )	Porcentagem do Volume Consumido
2011	Abastecimento Público	418,519,793.02	77.07%
	Indústria	10,244,935.82	1.89%
	Irrigação	96,276,903.90	17.73%
	Piscicultura	3,215,248.88	0.59%
	Carcinicultura	14,662,763.40	2.70%
	Água mineral e água potável de mesa	137,297.41	0.03%
2012	Abastecimento Público	448,922,743.72	65.81%
	Indústria	20,304,671.57	2.98%
	Irrigação	185,955,772.82	27.26%
	Piscicultura	4,074,500.02	0.60%
	Carcinicultura	22,870,845.01	3.35%
	Água mineral e água potável de mesa	44,069.96	0.01%
2013	Abastecimento Público	451,928,753.13	53.52%
	Indústria	30,677,449.08	3.63%
	Irrigação	311,850,048.41	36.93%
	Piscicultura	3,943,285.76	0.47%
	Carcinicultura	45,348,475.40	5.37%
	Água mineral e água potável de mesa	690,982.04	0.08%
2014	Abastecimento Público	499,551,341.00	55.04%
	Indústria	38,007,813.07	4.19%
	Irrigação	308,013,616.96	33.93%
	Piscicultura	7,703,343.43	0.85%
	Carcinicultura	53,841,249.39	5.93%
	Água mineral e água potável de mesa	578,352.95	0.06%
2015	Abastecimento Público	498,599,038.41	62.07%
	Indústria	33,604,298.06	4.18%
	Irrigação	217,823,115.25	27.12%
	Piscicultura	3,726,888.03	0.46%
	Carcinicultura	49,238,098.45	6.13%
	Água mineral e água potável de mesa	318,399.01	0.04%
2016	Abastecimento Público	440,690,299.81	70.24%
	Indústria	36,542,266.45	5.82%
	Irrigação	126,703,319.86	20.19%
	Piscicultura	2,104,051.75	0.34%
	Carcinicultura	20,868,662.87	3.33%
	Água mineral e água potável de mesa	518,439.03	0.08%
2017	Abastecimento Público	444,268,906.46	76.14%
	Indústria	38,965,328.79	6.68%
	Irrigação	93,929,510.95	16.10%
	Piscicultura	1,209,177.71	0.21%
	Carcinicultura	4,461,071.53	0.76%
	Água mineral e água potável de mesa	623,003.82	0.11%
2018	Abastecimento Público	460,440,034.87	77.12%
	Indústria	39,555,501.10	6.62%
	Irrigação	83,555,232.86	13.99%
	Piscicultura	775,119.09	0.13%
	Carcinicultura	12,133,862.21	2.03%
	Água mineral e água potável de mesa	609,517.88	0.10%

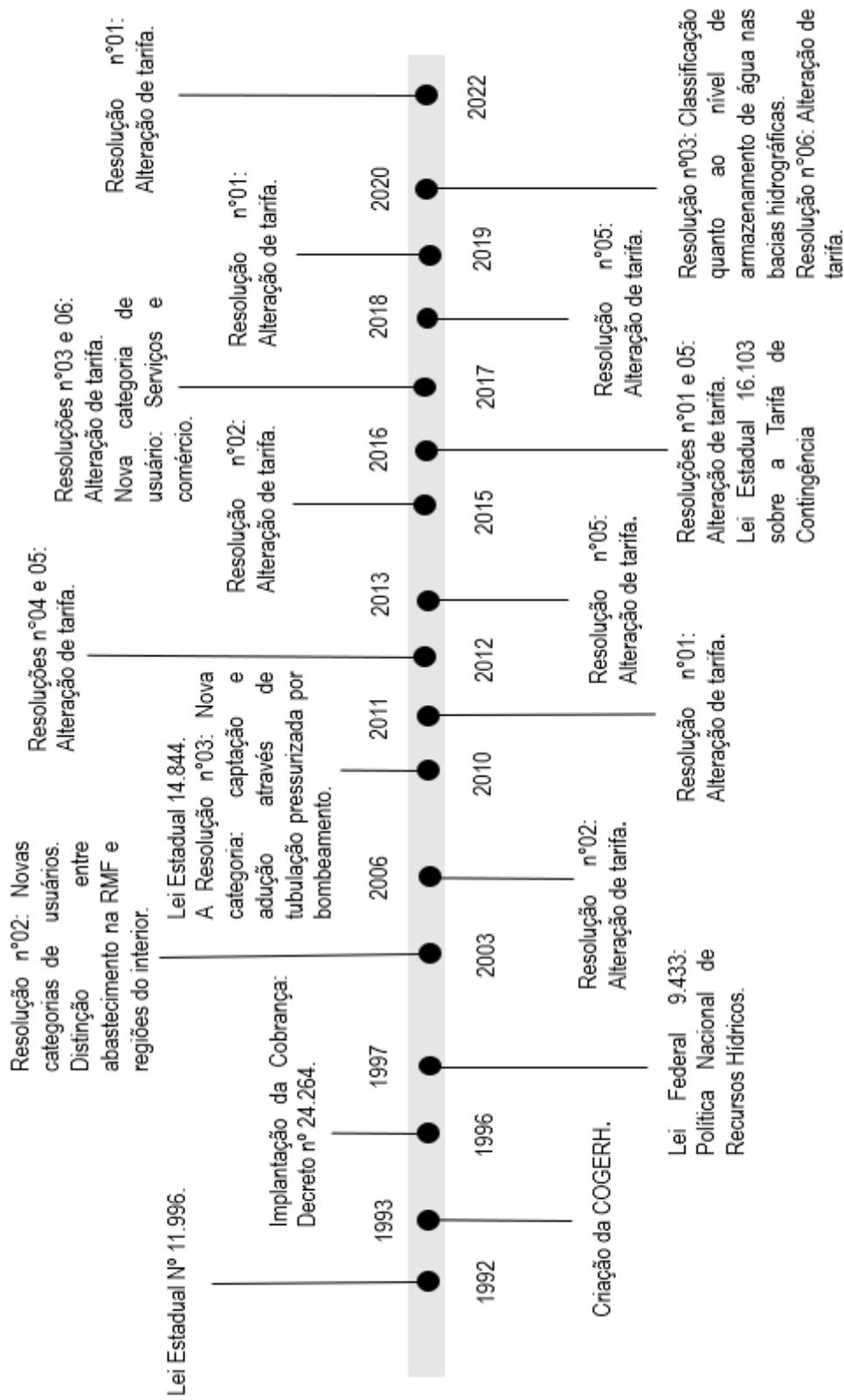
---

	Abastecimento Público	472,380,403.17	77.24%
	Indústria	37,971,395.48	6.21%
2019	Irrigação	95,522,810.26	15.62%
	Piscicultura	485,215.36	0.08%
	Carcinicultura	4,578,216.20	0.75%
	Água mineral e água potável de mesa	608,879.93	0.10%

---

Fonte: Fonte: Secretaria dos Recursos Hídricos (2016) e COGERH (2020). Informação cedida pela COGERH via Portal da Transparência em 10 de novembro de 2020.

Figura 5 – Linha do tempo da Cobrança de Água Bruta



Fonte: Elaboração própria.

O sistema de gestão de águas do Estado do Ceará se inicia em 1992 com a instituição da Lei Estadual de Recursos Hídricos (Lei Estadual nº 11.996). Esta Lei instituiu a Política Estadual de Recursos Hídricos e o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH. Ela designa instituições para esse gerenciamento e estabelece que a unidade básica de gerenciamento é a bacia hidrográfica (CEARÁ, 1992).

Quanto a cobrança, essa lei descreve que será cobrado o uso dos recursos hídricos superficiais ou subterrâneos, segundo as peculiaridades das Bacias Hidrográficas considerando a classe de uso preponderante em que for enquadrado o Corpo d'Água onde se localiza o uso, a disponibilidade hídrica local, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a vazão captada o seu regime de variação, o consumo efetivo e a finalidade a que se destina. Assim como pela diluição, transporte e a assimilação de efluentes do sistema de esgotos e outros líquidos, de qualquer natureza considerará a classe de uso em que for enquadrado o corpo d'água receptor, o grau de regularização assegurado por obras hidráulicas, a carga lançada e seu regime de variação, ponderando-se, dentre outros, os parâmetros orgânicos e físico-químicos dos efluentes e a natureza da atividade responsável por eles.

Entretanto, foi apenas após a criação da COGERH com a Lei Estadual nº 12.217 de 18 de novembro de 1993 que tem início a operacionalização do gerenciamento. Este órgão tem a finalidade de gerenciar a oferta dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos de domínio do Estado.

O Estado do Ceará foi uma das unidades da federação que antecipou a União na promulgação de uma lei específica para os recursos hídricos. Em 08 de outubro de 1996, o Conselho Estadual de Recursos Hídricos (CONERH) aprovou a Moção nº 1, dando competência à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH) para gerenciar todos os reservatórios do Estado do Ceará, bem como efetuar a Cobrança pelo Uso da Água Bruta, de forma a ser ressarcida pelos serviços sob sua responsabilidade (RODRIGUES; AQUINO, 2014).

Apenas em 1997 foi promulgada a Lei das Águas, Lei Federal nº 9.433, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos. Segundo essa lei, a água é definida como um bem público e dotado de valor econômico que deve satisfazer aos múltiplos usos da água, e ter como prioritário o uso humano e a dessedentação animal.

Ela estabelece a cobrança como instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos e estabelece parâmetros para fixação de valores semelhantes aos da lei estadual nº 11.996/1992, como derivações, captações e extrações de água, o volume retirado e seu regime de variação e lançamentos de esgotos com variação de características físico-químicas, biológicas e de

toxicidade do afluente. Entretanto ela prevê o uso dos valores arrecadados para financiamento de estudos, programas, projetos, além de estabelecer o limite de sete e meio por cento do total arrecadado em custeios administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, o que não é definido na lei estadual. Além disso, nela não estão dispostas as regras para aplicação estadual, sendo de responsabilidade de cada Estado/Bacia Hidrográfica sua metodologia e aplicação.

No Decreto de 1996 foram estabelecidas três categorias de usuários: indústrias; concessionárias de serviço de água potável; e usuários onde a água é entregue pressurizada, com bombeamento ou conduzidas em canais. Entretanto, apenas nas duas primeiras categorias foram atribuídos valores, R\$0,01217/m<sup>3</sup> e R\$0,730/m<sup>3</sup> respectivamente. Porém apenas em 2003, são consideradas novas categorias de usuários: Piscicultura, Carcinicultura, Água mineral e água potável de mesa e Irrigação, assim como novas tarifas. Ressalta-se que na irrigação os preços variam de acordo com o consumo e que houve distinção entre abastecimento na RMF e regiões do interior.

Além disso, neste mesmo decreto é citado a forma binomial de cobrança, onde envolve um componente referente ao consumo (tarifa de consumo) e outro equivalente à demanda outorgada (tarifa de demanda). Porém, devido à necessidade de estruturação do órgão de gerenciamento, da universalização da outorga, assim como uma maior compreensão e aceitação dos usuários, implementou-se a cobrança do tipo monomial na qual é aplicado uma tarifa-padrão sobre o volume consumido. Este modelo perdura até o ano presente (2022).

Em 2006, a Resolução nº02, de 23 de março de 2006, que altera os valores das tarifas, mas manteve as categorias. Este aumento variou entre 20% e 29% sendo os menores aumentos na Piscicultura, na Carcinicultura e na Irrigação, e os maiores na Indústria e na Água mineral e água potável de mesa.

Em 2010, foi editada a Lei Estadual nº 14.844 que revogou a Lei nº 11.996/1992. Essa lei também é sobre a Política de Recursos Hídricos e visa principalmente a participação pública no processo de mediação de conflitos em torno do uso da água. Dentre as modificações ocorridas na lei 14.844/2010 em relação à cobrança tem-se a instituição dos objetivos de reconhecer a água como um bem de valor econômico e dar ao usuário uma indicação de sua real importância; incentivar a racionalização do uso da água; e obter recursos financeiros para apoiar estudos, programas e projetos incluídos nos Planos de Recursos Hídricos. Assim como foram especificados os usos de vazões insignificantes de água e estabelecido que o cálculo da tarifa deverá ser elaborado pela Companhia de Gestão de Recursos Hídricos do Estado do Ceará (COGERH) e submetido à análise e à aprovação do CONERH.

Nesse mesmo ano a Resolução nº03 de 21 de julho de 2010 da CONERH criou um subitem para a categoria abastecimento público com a finalidade de enquadrar os casos em que o fornecimento de água bruta seja efetivado com captação e adução, por parte da COGERH, através de tubulação pressurizada por bombeamento.

Apenas em 2011, com a Resolução nº 1 de 7 de julho, que foram inseridos nas outras categorias o fornecimento de água bruta com captação e adução através de tubulação pressurizada por bombeamento. Neste ano também houve alteração dos valores da tarifa, onde as categorias abastecimento público e indústria tiveram variação de 43%. Devido a nova divisão de categorias em “Com” e “Sem” adução, os valores sem adução reduziram-se, como em piscicultura, carcinicultura e irrigação.

As Resoluções nº4, de 10 de outubro de 2012 e nº5, de 3 de dezembro de 2012, alteraram novamente os valores das tarifas. Entretanto, os aumentos foram da ordem de 6% e algumas categorias como irrigação, piscicultura em tanques escavados com adução e carcinicultura com adução não sofreram variação.

Em 2013, a Resolução de 16 de outubro aumentou a tarifa em 4% em todas as categorias. E novamente em 2015 e 2016, com as Resoluções de 19 de maio de 2015, 2 de fevereiro de 2016 e 4 de maio de 2016, tem-se um aumento de 13% e 10% respectivamente, em suas tarifas. Porém, observou-se que no último ano, a Carcinicultura com captação em estrutura hídrica com adução apresentou um aumento de 725%, passando de R\$0,0158 para R\$0,1303.

A Lei nº16.103 de 2 de setembro de 2016 criou a tarifa de contingência para os usuários na finalidade industrial. Esta tarifa somou-se a tarifa de cobrança pelo uso dos recursos hídricos e tem caráter transitório, perdurando durante o período de situação crítica de escassez hídrica.

As Resoluções nº3 de 22 de fevereiro de 2017 e nº6 de 17 de agosto de 2017 adicionaram a categoria Serviço e Comércio à cobrança de água bruta. Além disso, houve aumento de 15% em todas as categorias. Já em 2018 a Resolução nº5 de 3 de setembro alterou novamente a tarifa, resultando num aumento de 5%. Apenas Serviço e Comércio tiveram aumento de 3%. Em 2019, a Resolução nº1 de 27 de fevereiro apresentou aumentos de 12% em todas as categorias e em 2020, a Resolução nº6 de 14 de outubro alterou novamente as tarifas em 11%.

A Resolução nº3 de 25 de julho de 2020 dispõe sobre a classificação quanto ao nível de armazenamento de água nas bacias hidrográficas, onde até 10% representa uma situação muito crítica de escassez; 10-30%, situação crítica; 30-50% situação de alerta; 50-70% nível confortável de armazenamento; e acima de 70% nível muito confortável de armazenamento

hídrico. A COGERH é a responsável por fornecer as informações dos reservatórios e quando atingirem o nível de situação crítica será emitido um ato declaratório.

A Resolução que está em vigor atualmente é a nº1 de 28 de janeiro de 2022, que apresentou aumentos de 4% em todas as categorias. Percebe-se que inicialmente a categoria abastecimento público e Indústria, que foram as primeiras em 1996, apresentaram variação de 1693% e 349% respectivamente nos 26 anos.

Todos os aumentos das tarifas foram realizados por meio de um modelo de tarifação *Ad Hoc* referenciado na Capacidade de Pagamento e Subsídio Cruzado (Equação 3, 4 e 5). A capacidade de pagamento informa a tarifa máxima que pode ser aplicada para cada categoria. Ela é baseada no valor da renda bruta de cada classe de usuário para o último ano de estatística disponível atualizada pelo índice IGP-DI disponibilizado pela Fundação Getúlio Vargas (SRH, 2016).

$$M = \sum_{w=1}^n (Ts_i \cdot \forall_i) \quad (3)$$

$$Ts = (1 + S)Tm \quad (4)$$

$$Tm = \theta \cdot CPU \quad (5)$$

Onde:

$M$  é arrecadação com a cobrança pelo uso da água bruta da  $i$ -ésima cada classe de usuários R\$/ano;

$Ts_i$  é a tarifa unitária da  $i$ -ésima cada classe de usuários R\$/m<sup>3</sup>;

$\forall$  é o volume de água consumido pela  $i$ -ésima cada classe de usuários m<sup>3</sup>/mês e  $w =$  número de meses;

$S$  é o fator de subsídio cruzado;

$Tm$  é a tarifa média da categoria em R\$/m<sup>3</sup>.

$\theta$  é o parâmetro que define a fração da capacidade de pagamento a ser tarifada ( $0 < \theta < 1$ ). Este parâmetro é calibrado de forma *ad hoc*;

$CPU$  é a capacidade de pagamento unitária da categoria em R\$/m<sup>3</sup>.

As condições utilizadas para o subsídio cruzado são (SRH, 2016):

Se  $S = -1$  então aplica-se  $Tm=0$ ;

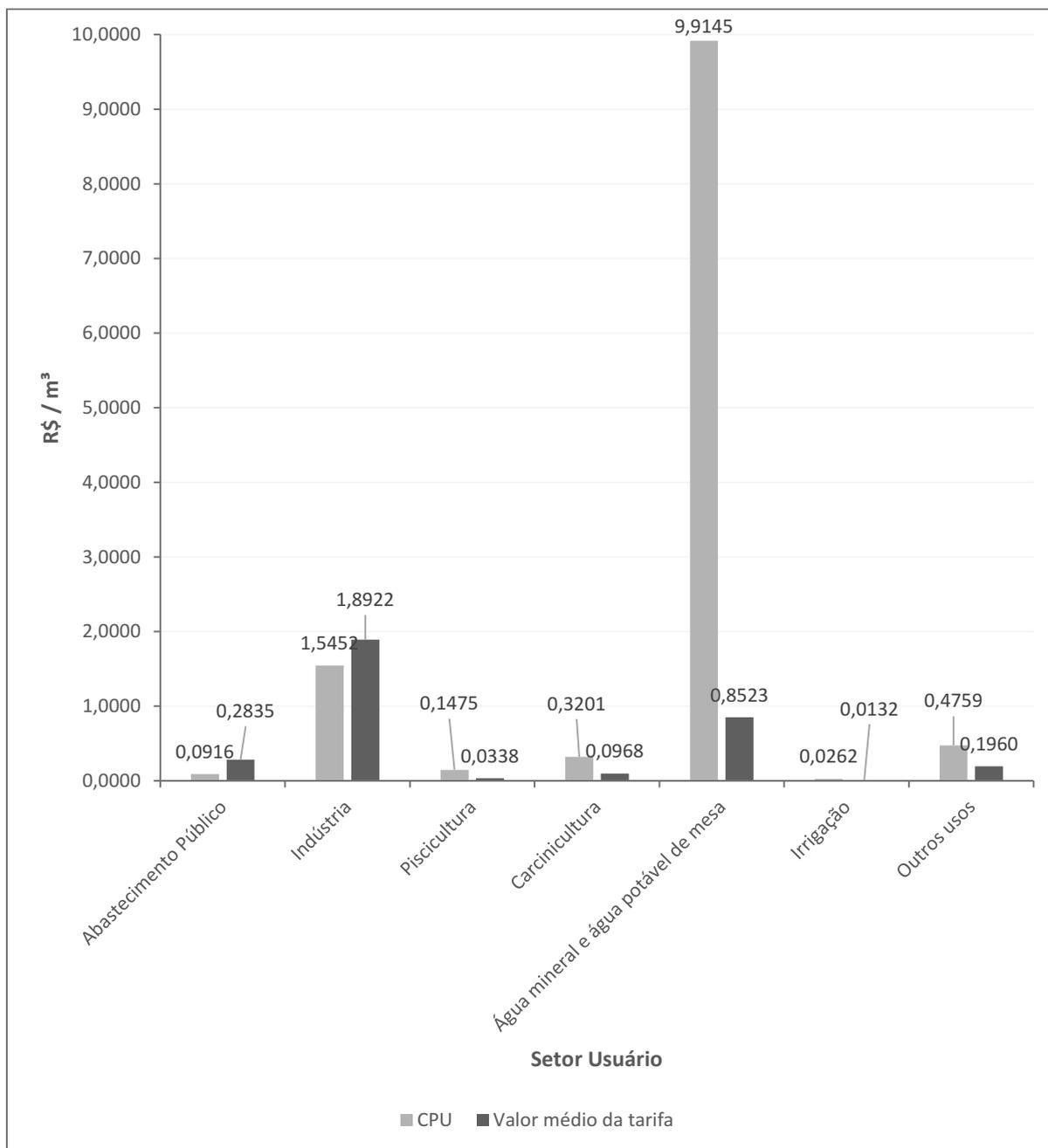
Se  $-1 < S < 0$  então, a tarifa da classe de usuário  $i$  é subsidiada;

Se  $S = 0$  então aplica-se a tarifa média;

Se  $S > 0$  então é aplicado a sobretarifa.

A Figura 6 apresenta a Capacidade de Pagamento Unitária (CPU) e o Valor médio da tarifa em vigor.

Figura 6 – Capacidade de Pagamento Unitária (CPU) e o Valor médio da tarifa em vigor



Fonte: Elaboração própria.

Na categoria industrial e de abastecimento, o valor médio da tarifa está acima da CPU. Já nas outras categorias o valor médio encontra-se abaixo dos valores de CPU, destacando-se a piscicultura com a CPU superior em 4,4 vezes a média da tarifa. O mesmo acontece com a água mineral e água potável de mesa que possuem o valor de CPU bastante discrepante, R\$9,9145/m³, enquanto a tarifa é R\$0,8523/m³, ou seja, a CPU é superior em 11,6 vezes a tarifa.

Assim, os resultados indicam uma expressiva capacidade de pagamento frente aos valores cobrados pela Companhia de Gestão das Águas.

Atenta-se para os valores da categoria serviço e comércio não constam na Figura 6 pois esta categoria foi inserida posteriormente ao último estudo de capacidade de pagamento realizado pela Secretária de Recursos Hídricos (SRH, 2016b).

Com base na análise da capacidade de pagamento unitário de cada categoria de usuário, os aumentos são insignificantes em relação ao valor proposto. Os resultados da análise da captação de água no período de estudo confirmam isso. O crescimento foi insuficiente para atender às demandas do Plano Estadual de Recursos Hídricos. Salienta-se que ainda é possível avançar em melhorias no modelo de tarifação visto que ele é um modelo ad hoc.

#### 2.4.2 Custos de Operacionalização do Sistema

A cobrança pelo uso da água bruta no Estado do Ceará é usada para recuperar os custos de operacionalização do sistema de recursos hídricos (SILVA, 2015).

A cobertura de custos de uma bacia hidrográfica é composta pelos custos de gestão e custos de investimento. Define-se como custos de gestão aqueles custos necessários para o bom funcionamento do sistema de gestão de recursos hídricos, ou seja, os custos de administração, operação e manutenção (AO&M). Já os custos de investimento, são os custos necessários para a realização das intervenções estruturais e não-estruturais nas estruturas hídricas.

Segundo Thomas (2020) e Pereira e Cunha Marques (2020), a composição dos custos varia entre os países. Na Inglaterra e Espanha, considera-se apenas os custos de gestão. Já na França, na Holanda, na proposta do Estado de São Paulo e na bacia do rio Paraíba do Sul, estão inclusos os custos de gestão e investimento.

Na política de recursos hídricos do Estado do Ceará, o Estado é responsável pelos investimentos, portanto não sendo determinantes na cobrança pelo uso da água bruta. Assim, apenas os custos de gestão são utilizados para compor a matriz tarifária sendo de responsabilidade da COGERH a implementação do sistema de custo de AO&M. Para isso, as bacias hidrográficas são administradas por gerências regionais, distribuídas em oito gerências, localizadas nos municípios de Fortaleza (Gerência das Bacias Metropolitanas), Pentecoste (Gerências das Bacias do Curu e do Litoral), Sobral (Gerência das Bacias do Acaraú e do Coreaú), Crateús (Gerência das Bacias da Serra da Ibiapaba e dos Sertões de Crateús), Quixeramobim (Gerência da Bacia do Banabuiú), Crato (Gerência da Bacia do Salgado), Iguatu

(Gerência da Bacia do Alto Jaguaribe) e Limoeiro do Norte (Gerência das Bacias do Médio e do Baixo Jaguaribe).

Além do custo destas gerências, existem os custos da Sede, localizada em Fortaleza e composta por setores essenciais (Diretoria de Operações, Gerência de Segurança e Infraestrutura, Gerência de Gestão dos Recursos Hídricos, Gerência de Desenvolvimento Operacional, entre outros) para o funcionamento do Sistema de Recursos Hídricos do Estado do Ceará.

Para a distribuição de custos, são contabilizadas as infraestruturas hídricas e organizacionais de cada bacia hidrográfica (reservatórios, adutoras e canais), assim como as estruturas organizacionais e o aparato administrativo gerencial (SRH, 2016a).

Os custos de administração (Figura 7) envolvem o aparato administrativo, gerencial e de planejamento do sistema, considerando salários, encargos trabalhistas, materiais de consumo, diárias, transportes, obrigações tributárias e indenizações.

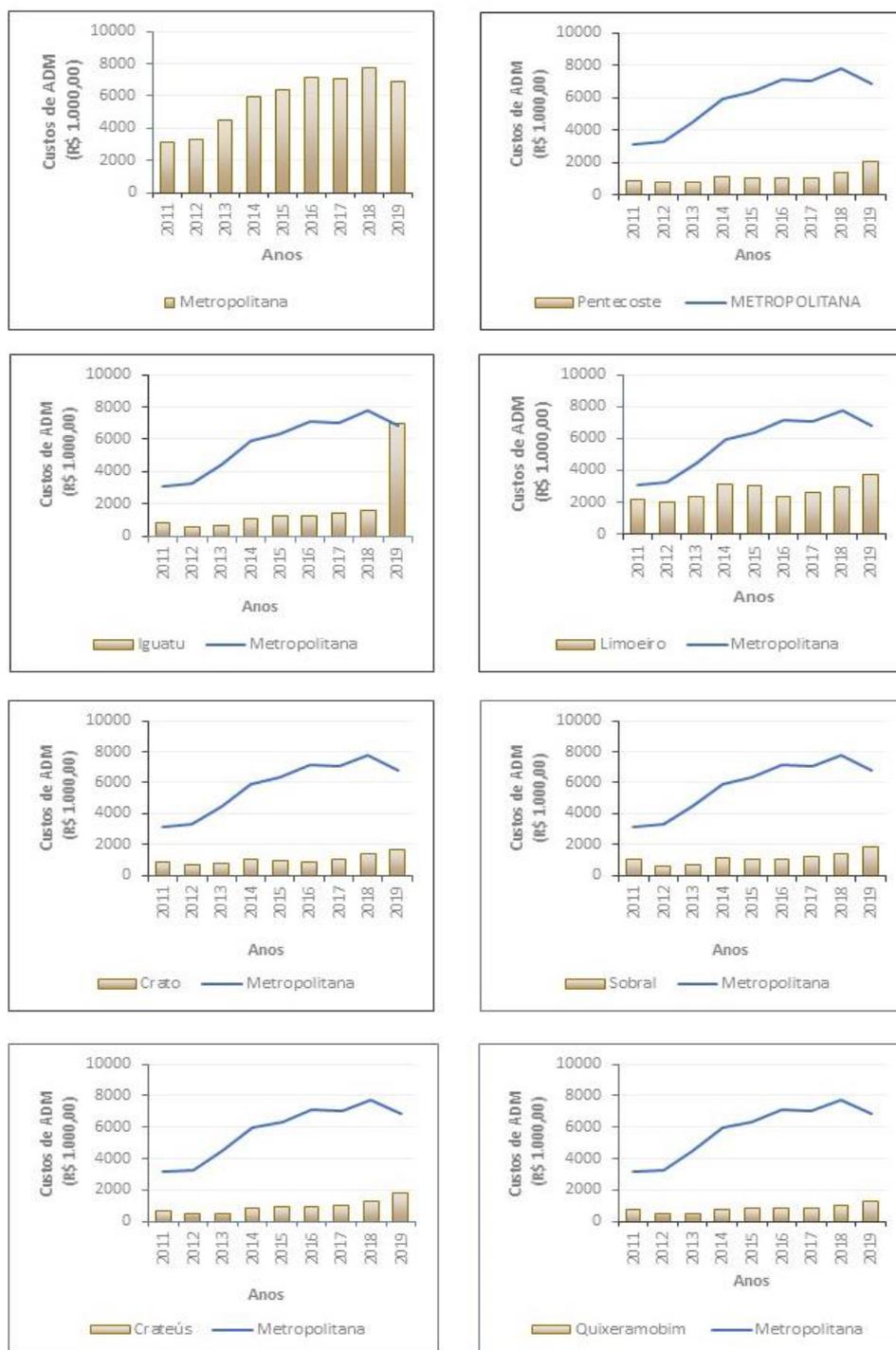
Os custos de operação e manutenção, mostrados na Figura 8, envolvem o aparato de conservação, monitoramento e operacionalização da infraestrutura hídrica, como reservatórios, canais de integração, adutoras e estações de bombeamento. Além da manutenção dessas estruturas, serviço de coleta de água para análise e energia elétrica das estações de bombeamento. Dentre esses, os custos com energia elétrica representam uma parcela alta dos custos de operação e manutenção das bacias hidrográficas.

Observa-se um crescimento em ambas as classes de custos, sendo a gerência de Iguatu bastante discrepante no custo de Administração, principalmente no ano de 2019. Verificou-se nos dados coletados que essa gerência gastou mais de 5 milhões com “Despesa por ajuste imobilizado ou baixas”. Não se tem informações mais precisas sobre o que compõe este custo.

Em seguida tem-se a Gerência de Crateús e de Pentecoste, com 173% e 131%, respectivamente, no crescimento de custo de administração no período de nove anos. As mesmas gerências são responsáveis pelos maiores crescimentos em custos de operação e manutenção, com 287% e 224%, respectivamente.

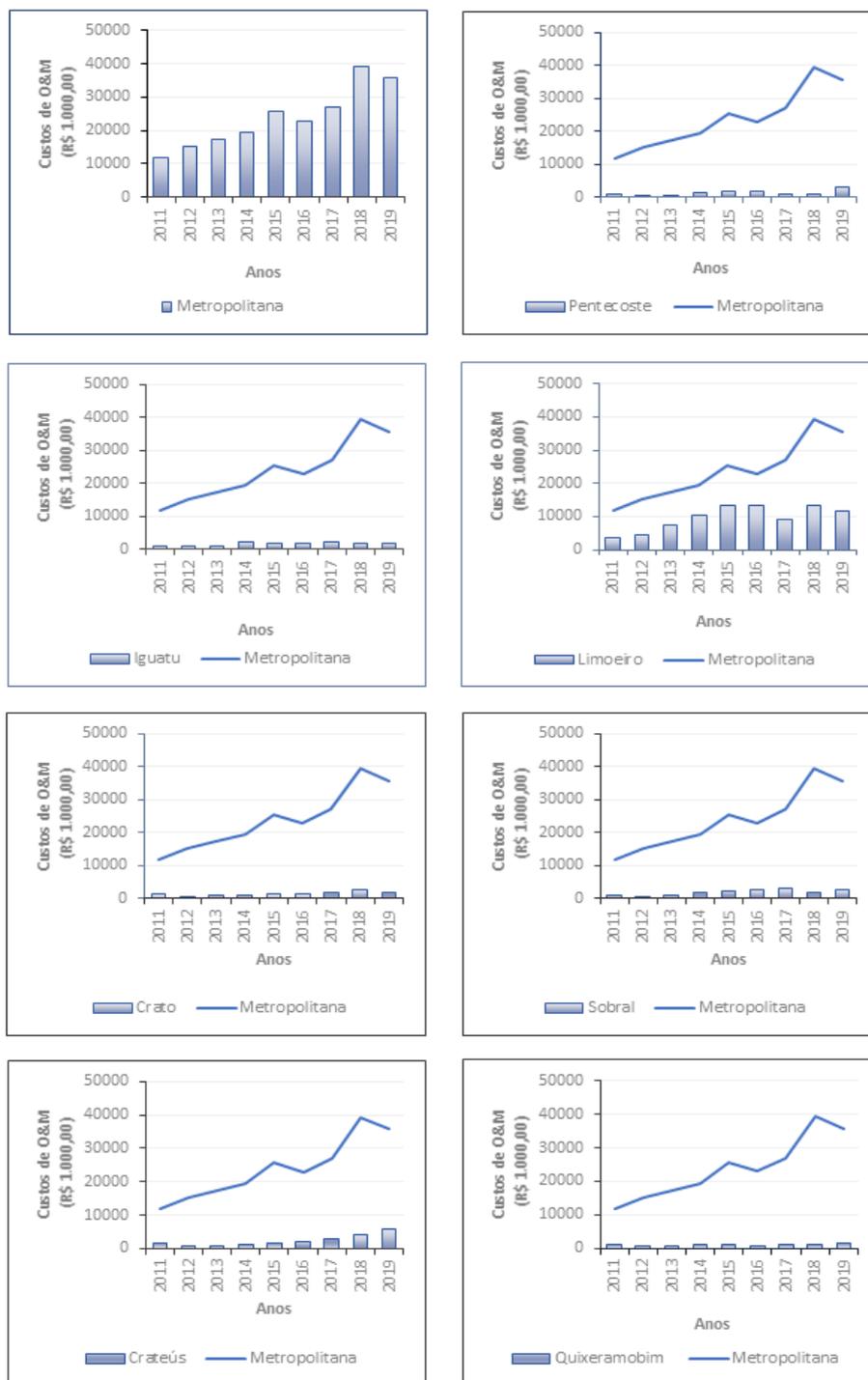
Os menores crescimentos de custos de administração foram constatados nas Gerências de Quixeramobim e Limoeiro, respectivamente, 67% e 68%. Quanto aos custos de operação e manutenção, tem-se as Gerências do Crato e de Limoeiro, 41% e 42%.

Figura 7 - Custo de administração (ADM) do sistema de recursos hídricos do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019 (em R\$1.000)



Fonte: Elaboração própria.

Figura 8 - Custo de Operação e Manutenção (OM) do sistema de recursos hídricos do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019 (em R\$1.000,00)



Fonte: Elaboração própria.

Os maiores custos de ADM e O&M foram observados para a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), que inclui a capital do estado, Fortaleza, que é uma das dez cidades com maior contribuição para a economia do país e maior Produto Interno Bruto (PIB) no nordeste

(~R\$67 bilhões; ATALIBA, 2021). Situa-se nos limites da Bacia Metropolitana e possui uma demanda de 13,15 m<sup>3</sup>/s dentre os quais 1,33 m<sup>3</sup>/s foram registrados para o Complexo Industrial do Porto do Pecém (LÔBO NETO, 2020).

Assim, a Bacia Metropolitana possui o maior consumo da região, necessitando do repasse de água de outras bacias para atender sua demanda. Além disso, o principal consumo da RMF está relacionado à indústria e ao abastecimento humano, sendo a irrigação o setor de maior consumo nas demais regiões.

Vale ressaltar que no período de 2012 a 2018, o Estado do Ceará enfrentou a pior crise hídrica já registrada, num período de retorno estimado de 240 anos (PONTES FILHO *et al*, 2020). Em 2012 a média anual de chuva ficou entre 200 e 400mm, de 2013 a 2017, entre 400 e 700mm, apresentando melhoras a partir de 2018, com média anual entre 700 e 1.000mm. Já o nível dos reservatórios situou-se abaixo de 12%, de 2015 a 2018, o que fez com que os reservatórios operassem com vazões limitadas durante 2017 e 2018.

A severidade dessa seca pode ser visualizada na Tabela 4 que expõe quatro estados de seca (normal, pré-alerta, alerta e emergência) e mostra que, a partir de 2014, houve um agravamento da situação dos reservatórios de forma geral, onde as Gerências que permaneceram mais tempo em emergência foram Limoeiro, Crateús e Quixeramobim.

Tabela 4 - Índice de Estado (IE) para o período de 2011 a 2019

Ano	Metropolitana	Pentecoste	Iguatu	Limoeiro	Crato	Sobral	Crateús	Quixeramobim
2011	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2012	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
2013	Pré-Alerta	Alerta	Normal	Normal	Normal	Pré-Alerta	Pré-Alerta	Normal
2014	Alerta	Emergência	Normal	Normal	Normal	Emergência	Emergência	Alerta
2015	Pré-Alerta	Emergência	Pré-Alerta	Alerta	Emergência	Emergência	Emergência	Emergência
2016	Emergência	Emergência	Alerta	Emergência	Emergência	Emergência	Emergência	Emergência
2017	Alerta	Pré-Alerta	Emergência	Emergência	Emergência	Alerta	Emergência	Emergência
2018	Pré-Alerta	Normal	Emergência	Emergência	Pré-Alerta	Pré-Alerta	Pré-Alerta	Alerta
2019	Normal	Normal	Emergência	Emergência	Alerta	Normal	Normal	Emergência

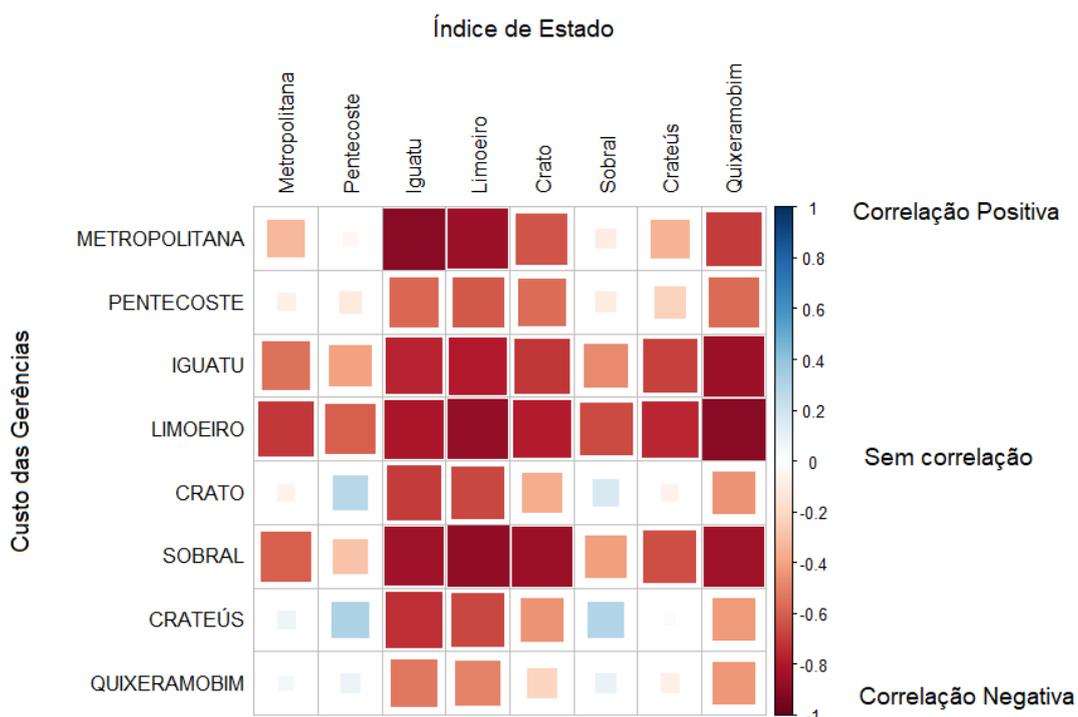
Fonte: Elaboração própria.

Os custos das Gerências de Pentecoste e Sobral apresentaram crescimento nos anos 2014, 2015 e 2016 que correspondem ao período de Emergência no nível dos reservatórios. O mesmo aconteceu com as Gerências de Iguatu e Crato que apontaram crescimento discrepante de custos no ano que entraram em estado de Emergência.

A Figura 9 aponta correlação negativa predominante entre os Custos de OM e o IE, assim, enquanto o nível dos reservatórios diminui (representado pela redução do Índice de

Estado) os custos elevam-se. Portanto, o aumento da severidade da seca possui uma relação linear inversa com o aumento dos custos e, por consequência, é necessária uma maior arrecadação para manter a sustentabilidade financeira do sistema hídrico. Na Figura 9 a linha refere-se aos valores do Índice de Estado e a coluna, aos custos das gerências. Já o número 1, em azul, até -1, em vermelho, indicam a escala de cores e correlação.

Figura 9 - Correlação de Pearson entre os custos de operação e IE

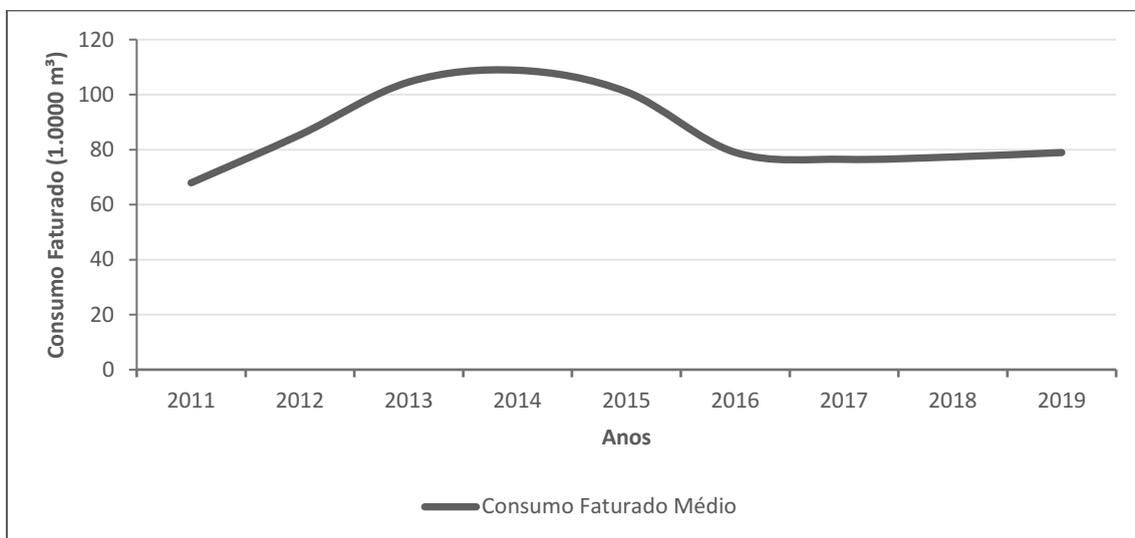


Fonte: Elaboração própria.

O aumento dos custos durante a seca está associado ao gasto de energia elétrica, pois aumenta-se bombeamento de água quando os níveis dos reservatórios estão baixos. Adiciona-se a esses custos, a intensificação da fiscalização das outorgas e dos volumes retirados. A fiscalização é necessária para a ação de *free-rider*, que são usuários que realizam retiradas indevidas.

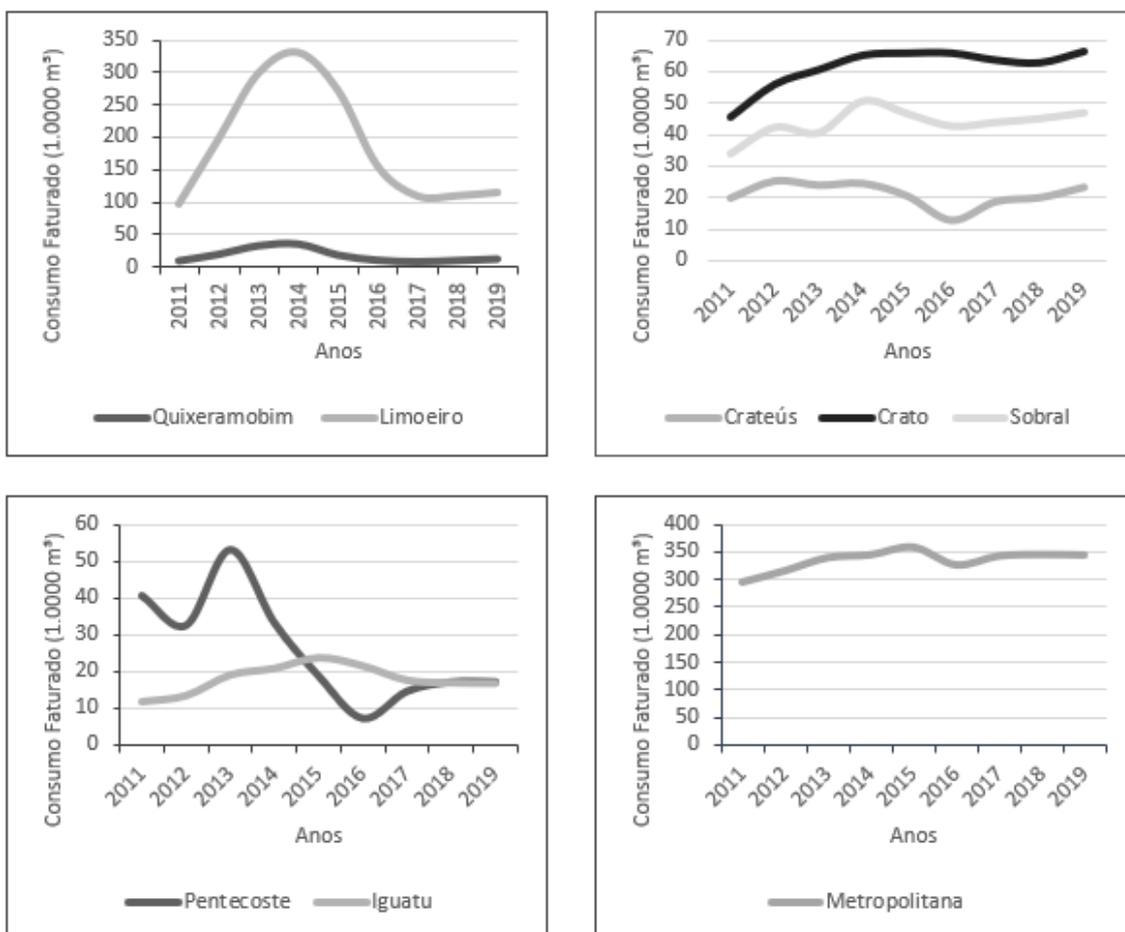
As Figura 10 e Figura 11 apresentam o consumo faturado médio para o período e os consumos faturados anuais para as gerências.

Figura 10 - Consumo faturado médio para o período de 2011 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

Figura 11 - Consumos faturados anuais das Gerências de Limoeiro e Quixeramobim; Crateús, Sobral e Crato; Pentecoste e Iguatu; e Metropolitana



Fonte: Elaboração própria.

Apesar da seca, observou-se um aumento do consumo faturado médio de 2011 a 2014 e um estabelecimento dele em torno 78mil m<sup>3</sup> no período de 2016 a 2019, ou seja, esse consumo médio apresentou tendência crescente em relação a 2011 (Figura 10). Esse comportamento também é observado para os consumos faturados anuais das Gerências de Limoeiro e Quixeramobim (Figura 11) e de forma menos branda nas Gerências de Crateús, Sobral e Crato (Figura 11), pois nelas a redução do consumo ocorreu nos anos 2016 e 2018 respectivamente. Enquanto Pentecoste e Iguatu possuem comportamento discrepante dos demais (Figura 11).

A gerência Metropolitana apresentou o maior consumo faturado médio (Figura 11). Esta gerência abriga o mais importante centro consumidor de água do Estado do Ceará, que é a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) que possui uma população de 4.074.730 habitantes e é a maior região metropolitana do Nordeste (IBGE, 2018). A segunda posição é apresentada por Limoeiro (Figura 11). Essa área é conhecida por ser a principal região de perímetros irrigados, ou seja, utiliza-se bastante água para irrigação de culturas como banana, melão, soja, milho e feijão (FAPIJA, 2023).

Atentou-se para a redução do consumo faturado na Gerência de Pentecoste (Figura 11) que variou negativamente em 57,4% durante todo o período, isto pode ser explicado pela redução das vazões destinadas aos Perímetros Irrigados dessa Gerência em virtude da crise hídrica que assolou o Estado. Destaca-se a redução máxima de 61% entre os anos 2015 e 2016.

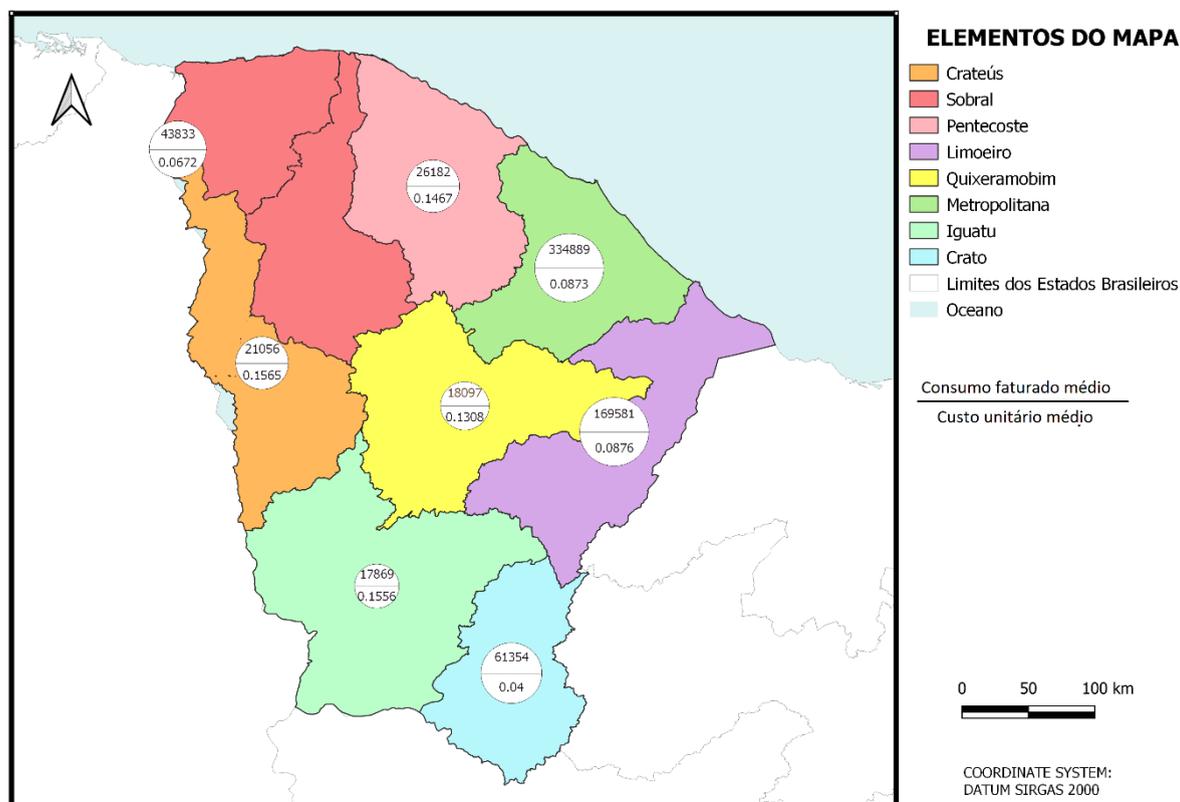
O consumo apresentou crescimento nos quatro primeiros anos, que pode ter sido gerado pelas políticas públicas para o desenvolvimento econômico, assim como pelo um aumento da temperatura global. Entretanto, devido à crise hídrica, em 2015, foram suspendidas as emissões de outorgas para novas captações de água de domínio do Estado, no Sistema Integrado Jaguaribe – Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), compreendendo os trechos perenizados dos rios Jaguaribe e Banabuiú e nos canais do Trabalhador e Eixão das Águas, abastecidos pelos reservatórios do Açude Castanhão, Banabuiú e Orós, nas finalidades de irrigação e aquicultura. Isto resultou numa diminuição do consumo faturado.

Considerando todo o período de estudo, a maior variação percentual foi da Gerência do Crato em 46,8%, seguida da Gerência de Iguatu em 41,6%. A principal demanda hídrica da Gerência do Crato é a Irrigação, além disso essa região está em constante desenvolvimento econômico, o que reflete em aumento de população e conseqüentemente aumento do consumo de água.

A gerência de Iguatu apresentou o menor consumo faturado médio e o maior custo unitário médio (Figura 12), o que significa que seus custos de AO&M estão altos. É nesta bacia

que se encontram 24 dos 155 reservatórios gerenciados pelo Estado, entre eles o Orós que possui capacidade de armazenamento de 1.940,00 hm<sup>3</sup> sendo um dos principais reservatórios plurianuais desse Estado.

Figura 12 - Consumo faturado médio em 1.000 m<sup>3</sup> e custo unitário médio (R\$) das gerências do Estado do Ceará, para o período de 2011 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

Quanto ao custo unitário médio, percebeu-se que as gerências com custo unitário mais alto são Crateús e Iguatu. Entretanto, as gerências que apresentaram uma maior variação percentual foram Pentecoste e Iguatu, com 585% e 220% respectivamente.

Crateús e Pentecoste tiveram as maiores variações percentuais dos custos AO&M, o que refletiu no custo unitário.

Já a gerência com menor custo unitário médio é Crato, o que pode ser justificado devido à presença de aquíferos na região, tornando-se assim, um auxílio ao consumo faturado de água bruta.

Os custos de O&M da Metropolitana são superiores (R\$23.763.000,00) à soma dos custos de O&M das demais regiões (R\$19.086.000,00). Além disso, os custos médios de ADM

na Metropolitana são de R\$5.778.000, o que é mais que o dobro dos custos de Limoeiro (R\$2.702.000,00).

O consumo médio de água na Metropolitana é de 48%, enquanto em Limoeiro é de 24%. Assim, os valores da RMF diferem significativamente dos de outras regiões, indicando dificuldades de gestão associadas à transposição das bacias.

A arrecadação proveniente da cobrança pelo uso da água bruta pode ser visualizada na Tabela 5. Observou-se que em 2018, quatro gerências tiveram os maiores valores de arrecadação do período. Como esperado a Gerência Metropolitana é responsável por 90% da arrecadação, seguida das Gerências do Crato, Sobral e Limoeiro, cada uma com 2%.

Tabela 5 - Arrecadação em R\$1.000,00

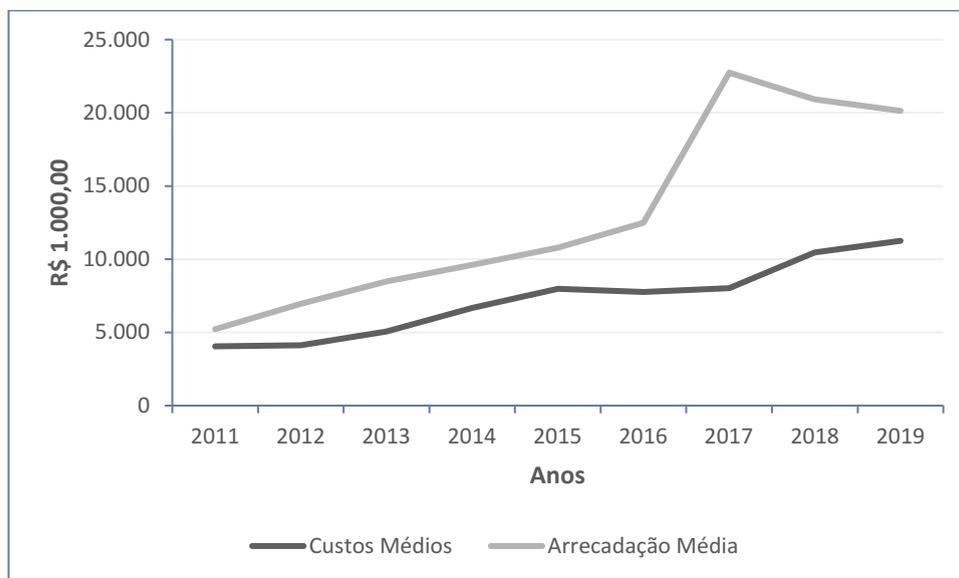
Gerências	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Metropolitana	35,548	48,510	58,779	66,154	76,117	88,765	169,294	153,260	148,345
Pentecoste	809	766	980	1,167	1,238	1,133	1,527	1,551	1,509
Iguatu	406	458	552	757	1,002	1,119	814	876	872
Limoeiro	1,259	1,659	2,448	2,862	2,643	2,368	2,379	2,767	2,621
Crato	1,192	1,406	2,027	2,204	2,032	2,582	3,224	3,709	3,191
Sobral	1,473	1,567	1,815	2,175	2,061	2,257	2,633	2,843	2,755
Crateús	540	594	589	666	687	1,029	1,420	1,475	1,067
Quixeramobim	540	651	715	833	607	652	642	836	697
<b>Total</b>	<b>41,767</b>	<b>55,612</b>	<b>67,906</b>	<b>76,818</b>	<b>86,388</b>	<b>99,905</b>	<b>181,932</b>	<b>167,319</b>	<b>161,058</b>

Fonte: Elaboração própria.

Ressalta-se que segundo a Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997), os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos serão aplicados prioritariamente na bacia hidrográfica em que foram gerados e serão utilizados. Essa Lei não explicita o caso de bacias que são abastecidas por transposição de águas inter-regionais ou interestaduais. Este é o caso das Bacias Metropolitanas que possuem um valor discrepante de arrecadação quando comparado às outras bacias e possui parte da RMF abastecida por águas da região do Jaguaribe.

Observando a Figura 13, tem-se que a arrecadação tem o comportamento semelhante aos custos, ou seja, também é crescente ao longo dos anos. Entretanto, a arrecadação média mostrou um aumento substancial em 2017 e reduziu levemente nos anos seguintes.

Figura 13 - Curvas de arrecadação média e custos médios no período 2011 a 2019



Fonte: Elaboração própria.

Segundo a Lei Estadual dos Recursos Hídricos nº 14.844/2010 (CEARÁ, 2010), a arrecadação com a cobrança deve ser utilizada para obter recursos financeiros para apoiar estudos, programas e projetos incluídos nos Planos de Recursos Hídricos e obter recursos para o gerenciamento dos recursos hídricos.

A Lei nº 9.433/1997 ressalta que as despesas de custeio não devem ultrapassar 7,5% da arrecadação, portanto, no ano de 2019 foram arrecadados R\$161.058.000,00 mas 7,5% desse valor resulta em R\$12,079,000 que correspondem a 13% do valor necessário para cobrir os custos totais. A Tabela 6 ilustra esses valores dentro do período analisado, observando que a arrecadação anual não consegue cobrir a totalidade dos custos de AO&M e nem é suficiente para financiar as medidas, programas e projetos para melhoria das respectivas bacias.

Tabela 6 - Valores aplicados no custeio

Ano	Arrecadação total	7.50% da Arrecadação	Custos AO&M	7.5% Arrecadação/Custos
2011	41,767	3,133	32,380	10%
2012	55,612	4,171	32,941	13%
2013	67,906	5,093	40,544	13%
2014	76,818	5,761	53,392	11%
2015	86,388	6,479	63,832	10%
2016	99,905	7,493	62,079	12%
2017	181,932	13,645	64,111	21%
2018	167,319	12,549	83,617	15%
2019	161,058	12,079	90,040	13%

Fonte: Elaboração própria.

Rogers *et al.* (2002) relataram que este sistema não é sustentável e contestaram que os custos de fornecimento e O&M deveriam ser o mínimo coberto pelas tarifas. Massarutto (2007) e Pinto e Marques (2016) sugeriram que custos de oportunidade e externalidades econômicas devem ser considerados além dos custos de abastecimento e O&M para recuperar totalmente os custos econômicos, também é possível adicionar a dimensão ambiental para uma recuperação total dos custos.

Lago *et al.* (2015) e Rodrigues e Aquino (2014) sugeriram que a cobrança pela água deveria contemplar objetivos mais nobres como o uso mais racional e a obtenção de recursos de gestão e investimento, principalmente em regiões semiáridas menos desenvolvidas, como o Estado do Ceará, em que o potencial hídrico só pode ser realizado por meio de gestão e investimento em armazenamento e transferência de água. Com base em nosso estudo de caso, as cobranças de água no Ceará são usadas principalmente para cobrir custos de O&M, sem muito sucesso, e os investimentos podem ser considerados custos irrecuperáveis. Schuerhoff *et al.* (2013) apontaram que é difícil desenhar uma política que equilibre o objetivo de obtenção de receita com mudança de comportamento de forma que a receita não tenha um significado Ramseyano.

Pinto *et al.* (2021) relataram que as tarifas de água desempenham papéis importantes em ambientes com escassez de recursos, nos quais os usos competitivos, a disponibilidade de recursos e as restrições de infraestrutura devem ser considerados.

Segundo Ferreira *et al.* (2020) e Cerqueira (2019), os preços do metro cúbico de água bruta cobrados no Brasil ainda são muito baixos. Eles não são suficientes para recompensar as demandas presente no Plano Nacional de Recursos Hídricos e não estimulam de forma eficiente o uso racional de água (ANA, 2014).

Segundo Cerqueira (2019) existem duas soluções para a falta de recursos, são elas: aumentar o limite legal (7,5%) por meio da lei ou aumentar o valor da tarifa da cobrança. Segundo ele, o aumento da tarifa teria mais resistência pelos usuários, já um aumento do limite legal poderia elevar as despesas desnecessárias.

### 2.4.3 Desafios da cobrança pelo uso da água bruta

No contexto da escassez de água, acadêmicos e organizações internacionais afirmam que o preço da água é uma ferramenta que pode contribuir significativamente para a melhor gestão dos recursos hídricos e que objetivos econômicos, ambientais e sociais podem ser alcançados através do desenho ótimo de tarifas (GÁRCIA-RUBIO *et al.*, 2015).

Segundo Pereira e Cunha Marques (2020), na Espanha, a tarifa não supre todos os custos de AO&M, sendo necessário uma taxa extra para cobrir esses custos. Na Itália, a tarifa cobre, apenas, parte dos custos de AO&M, excluindo os custos de investimento e depreciação. Já a Austrália vem modificando sua tarifa, pois o governo subsidiava bastante os custos de AO&M. Apenas na França, onde a tarifa da água tem aumentado com o passar dos anos, permite cobrir na sua totalidade os custos de AO&M assim como uma parte do custo de capital.

Assim como no contexto internacional, as análises realizadas para o Estado do Ceará apontam que o instrumento de cobrança gera uma arrecadação que é direcionada quase em sua totalidade para os custos de AO&M, sendo insuficiente para subsidiar estudos, projetos e programas de gerenciamento de recursos hídricos. Sendo necessária, portanto, a reavaliação da tarifa que é considerada preço-público.

Entretanto neste processo é necessário avaliar se a política de preços, ou seja, a tarifa, atende aos critérios sociais de acessibilidade, justiça e equidade, além de eficiência econômica, sustentabilidade ambiental e aceitação pública e transparência (GARCÍA-VALIÑAS, 2005; DONOSO, 2017).

A capacidade de pagamento é uma forma de verificar se alguns desses objetivos são atendidos, expondo que usuários como carcinicultura, irrigação e piscicultura, assim como para indústria com captação e adução por parte do usuário a partir de mananciais, e abastecimento público das demais regiões possuem expressiva capacidade de pagamento frente aos valores cobrados.

Além disso, o atual modelo de cobrança do Estado do Ceará cobra uma tarifa média impondo que o valor arrecadado não varie em função da disponibilidade hídrica, assim, em períodos de escassez, no qual os custos operacionais são maiores tem-se o mesmo valor arrecadado de períodos de estado de normalidade. Esse cenário acarreta a fragilidade financeira da instituição de gestão e, por consequência, na insustentabilidade do sistema de gestão dos recursos hídricos.

O aumento da sustentabilidade e da eficiência desse sistema são desafios do instrumento de cobrança. Diante deles, sugere-se que o modelo de tarifação seja reestruturado no intuito de incorporar uma tarifa flutuante com a severidade da seca para que a arrecadação com a cobrança possa acompanhar os movimentos de oferta e demanda pelo recurso natural. Além disso, um coeficiente de escassez que considere a disponibilidade hídrica e reporte isto junto a essa tarifa é de extrema importância. Neste coeficiente os usuários devem sentir-se coagidos a diminuir seu consumo em épocas de escassez e ou estarem dispostos a pagar mais pelo recurso.

Assim, a tarifa flutuante seria uma sinalização dos estados de seca de uma bacia hidrográfica e poderia funcionar como um gatilho da mudança de comportamento do usuário diante do uso da água. Esses estados de seca já foram definidos pela Resolução da CONERH nº3/2020, de acordo com a classificação do armazenamento do reservatório em situação muito crítica de escassez hídrica, crítica, de alerta, nível confortável de armazenamento hídrico e muito confortável.

Os consumos faturados, como visto para o Estado do Ceará, se diferenciam entre regiões e subsistema. Isso indica que a cobrança também tem o desafio de incorporar as peculiaridades das regiões e de promover a alocação e/ou realocação de água entre bacias hidrográficas e/ou subsistemas podendo ser um indicador de capacidade máxima alocativa, papel atualmente exercido pela Outorga de Uso da Água.

## 2.5 Conclusão

O estudo apresentou a evolução da cobrança de água bruta no Estado do Ceará, que teve início com a Lei Estadual nº 11.996/92 estabelecendo este instrumento econômico e antecipando-se à Federação. Porém somente em 1996 foram iniciadas as cobranças para apenas três categorias de usuários: indústrias; concessionárias de serviço de água potável; e usuários onde a água é entregue pressurizada, com bombeamento ou conduzidas em canais.

Ao longo dos anos a cobrança passou por doze modificações na sua tarifa resultando em aumentos de 1505% em abastecimento público e 302% na Indústria. Além disso, houve acréscimos de categorias de usuários, resultando em abastecimento público, indústria, piscicultura, carcinicultura, água mineral e água potável de mesa, irrigação, serviço e comércio e demais categorias de uso.

Entretanto observando a capacidade de pagamento unitária de cada categoria constatou-se que esses aumentos foram insignificantes diante do valor proposto. O que foi confirmado após analisar a arrecadação no período em estudo. Esta teve um comportamento crescente, porém não suficiente para o que demanda o Plano Estadual de Recursos Hídricos.

Quanto aos custos de AO&M, segmentou-se em custos de Administração e custos de Operação e Manutenção para uma análise mais ampla. Tem-se que as gerências de Crateús e Pentecoste obtiveram os maiores crescimentos em ambos os custos. E que os menores crescimentos nos custos de Administração foram das Gerências de Quixeramobim e Limoeiro, respectivamente, 67% e 68%. Quanto aos custos de Operação e Manutenção, foram as Gerências do Crato e de Limoeiro, 41% e 42%.

Em seguida demonstrou-se que o agravamento da seca tem correlação negativa com o crescimento dos custos, ou seja, enquanto a seca se intensifica por meio da diminuição do Índice de Estado (IE) os custos aumentam.

Também foi observado o comportamento do consumo faturado médio das Gerências, onde foi constatado um aumento entre 2011 e 2014 e devido à crise hídrica observou-se uma queda e posteriormente estabeleceu-se constante nos anos subsequentes. Porém ressalta-se que as Gerências de Pentecoste e Iguatu tiveram comportamento discrepante.

Observou-se que a arrecadação anual não consegue cobrir a totalidade dos custos de AO&M e nem é suficiente para financiar as medidas, programas e projetos para melhoria das respectivas bacias.

Nesse sentido cita-se como desafio a elaboração de uma tarifa flutuante que tenha relação a escassez hídrica e possa incorporar os efeitos da variabilidade do clima.

### 3 MODELO HIDRO-ECONÔMICO PARA AUXILIAR NA ESCASSEZ DE ÁGUA

#### 3.1 Introdução

A variabilidade do clima está associada aos riscos de extremos hidrológicos, principalmente em regiões com eventos de seca frequentes, onde a variabilidade de baixa frequência é relevante (ROCHA *et al.*, 2019). Essa variabilidade impacta diretamente os processos hidrológicos e a disponibilidade hídrica.

Necessitando adaptar-se a estes eventos, a construção de reservatórios tornou-se comum pois eles transferem água do período úmido para o período seco. Além disso, tem-se a alocação de água entre as bacias hidrográficas (PONTES FILHO *et al.*, 2020), que é marcada por conflitos entre os usos da água que se agrava em períodos de escassez hídrica.

Portanto, para analisar a escassez de água, a seca e as mudanças climáticas, são utilizadas modelos hidroeconômicos (HEMs). Eles ajudam a testar os efeitos das respostas de infraestrutura e políticas em relação aos problemas de gestão da água. Os HEMs procuraram identificar oportunidades para aumentar/maximizar os benefícios da bacia hidrográfica usando simulação, otimização ou ambos (HOSSEN *et al.*, 2021).

Aliadas aos HEMs, as tarifas desempenham um papel cada vez mais importante no financiamento da transição das infraestruturas hídricas. De forma geral, elas são quase obsoletas, em países de baixa e média renda, requerendo financiamento para sua manutenção e/ou substituição (FUENTE, 2019).

Portanto, os economistas da água defendem abordagens baseadas em preços, especificamente tarifas, para promover uma utilização mais eficiente dos recursos hídricos (EXPÓSITO; BERBEL, 2020). A elaboração dessas tarifas é complexa, pois elas devem considerar os aspectos sociais, econômicos e ambientais do local e, ainda, a disponibilidade de recursos hídricos (PEREIRA; CUNHA MARQUES, 2020). Beecher (2020) relata que a água é frequentemente caracterizada como barata e subvalorizada em relação a outros bens. Segundo Lopez-Nicolas *et al.* (2018), as políticas de tarifação de água em situações de escassez, ainda, possuem um potencial inexplorado.

Um dos modelos de tarifa de água amplamente aplicados é a tarifa em blocos crescentes. Ela é encontrada em locais que sofrem com secas severas como Estados Unidos (ASCI *et al.*, 2017), Arábia Saudita (MCILWAINE; OUDA, 2020), Iran (BABAMIRI *et al.*, 2020), Jordânia (KLASSERT, 2018), entre outros. Nesse modelo, o

consumo inicial tem um preço baixo para garantir a demanda essencial enquanto o consumo subsequente tem um preço mais alto a fim de desencorajar o uso (LU *et al.*, 2019).

Boland (2000) afirmara que se o clima ou as condições econômicas afetarem o consumo de água, as receitas e os custos também devem ser afetados. Essa premissa é conhecida como "estabilidade da receita líquida" (*net revenue stability*) e a tarifa de bloco não a acompanha, pois é baseado apenas no consumo e não na escassez de água.

Lopez-Nicolas *et al.* (2018) aplicaram, para a cidade de Valência na Espanha, a tarifa de água urbana em dois blocos crescentes na qual a taxa do primeiro bloco foi baseada nas condições de equidade e a taxa do segundo bloco em função da escassez hídrica na escala da bacia hidrográfica.

Outra abordagem é a aplicação da tarifa flutuante, que em vez de basear-se no consumo, baseia-se diretamente na escassez (LIMA *et al.* 2017). Portanto, ela tem a vantagem de minimizar os riscos de fracasso econômico devido às condições climáticas. Em 2010, o setor hidrelétrico brasileiro aplicou tarifa flutuante por meio de bandeiras tarifárias (ANEEL 2010; LIMA *et al.*, 2017). Estas são tarifas que flutuam em função da sazonalidade e das estações úmidas e seca do ciclo anual de precipitações, e buscam ajustar o perfil de consumo em resposta a um estímulo. No modelo atual são usadas quatro bandeiras: verde, amarela, vermelha patamar 1 (crítico) e vermelho escuro patamar 2 (mais crítico). Essas bandeiras seguem as condições favoráveis de geração de energia, condições de geração menos favoráveis, condições mais custosas de geração e condições ainda mais custosas de geração, respectivamente. A determinação das condições e consequentemente das bandeiras tarifárias dependem do custo variável unitário das usinas termelétricas realizado pelo Operador Nacional do Sistema (ONS).

Salienta-se que a bandeira tarifária se difere da tarifa de energia elétrica. Enquanto a tarifa compõe os custos envolvidos na geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, além dos encargos setoriais e tributos, as bandeiras tarifárias refletem os custos variáveis da geração de energia elétrica que, antes, eram repassados à população, somente, após reajuste da tarifa, ou seja, quando prejuízo já estabelecido (GUERRA; LUKIC, 2018).

Portanto, a partir da bandeira tarifária, espera-se um equilíbrio entre oferta e demanda de energia, pois sem variações de preço a curva de demanda é uma reta vertical e, consequentemente, inelástica assim como a curva da água. Porém, quando consideradas as variações de preço de curto prazo, nota-se que a reta inclina-se tornando-se uma

demanda elástica, diminuindo o consumo de energia. Assim, espera-se que o consumidor tenha uma resposta de demanda, ou seja, ajuste o seu perfil de consumo baseado na sinalização mensal do custo de geração de energia elétrica (MORAES, 2018).

Nesse contexto, o presente estudo propõe um *design* de tarifa flutuante aplicada à cobrança de água bruta do Estado do Ceará no intuito de sinalizar o nível de escassez hídrica e propiciar o uso racional da água. Esta tarifa flutua em função dos estados de seca das bacias hidrográficas e, seu modelo pode ser adaptado para outras regiões que convivem com as secas. Para isso, buscou-se modificar o modelo atual da tarifa estadual de água através de HEMs que buscam alcançar princípios de equidade e justiça.

Fuente (2019) afirmou que 70% dos estudos sobre *design* tarifário examinaram apenas dois ou menos objetivos, nos quais a eficiência, a equidade social e a recuperação de custos são os objetivos mais comuns. Além dos princípios de equidade e justiça, o HEM proposto neste trabalho engloba um objetivo mais nobre, que busca um uso mais racional. Ele engloba também a eficiência econômica, que busca obter recursos para gestão e investimento, especialmente em uma região semiárida menos desenvolvida, como no Estado do Ceará, que pode alcançar o seu potencial hídrico apenas através da gestão e investimento em armazenamento e transferência de água.

Gómez *et al.* (2018) relata que a volatilidade temporal da oferta de água é um desafio que reflete na precificação. Dessa forma, o modelo proposto pretende suprir essa volatilidade temporal da disponibilidade de água.

De acordo com Nauges e Whittington (2017), poucas concessionárias de água podem cobrir seus custos totais, de modo que eles são incapazes de investir em capital estratégico para eventos extremos ou variabilidade do fluxo. No Ceará, os custos de investimento são considerados custos irrecuperáveis; por conseguinte, a arrecadação da tarifa flutuante será aplicada para cobrir custos de administração, de operação e manutenção (AO&M), resultando na sustentabilidade financeira do sistema de gestão, além de estudos de financiamento, programas.

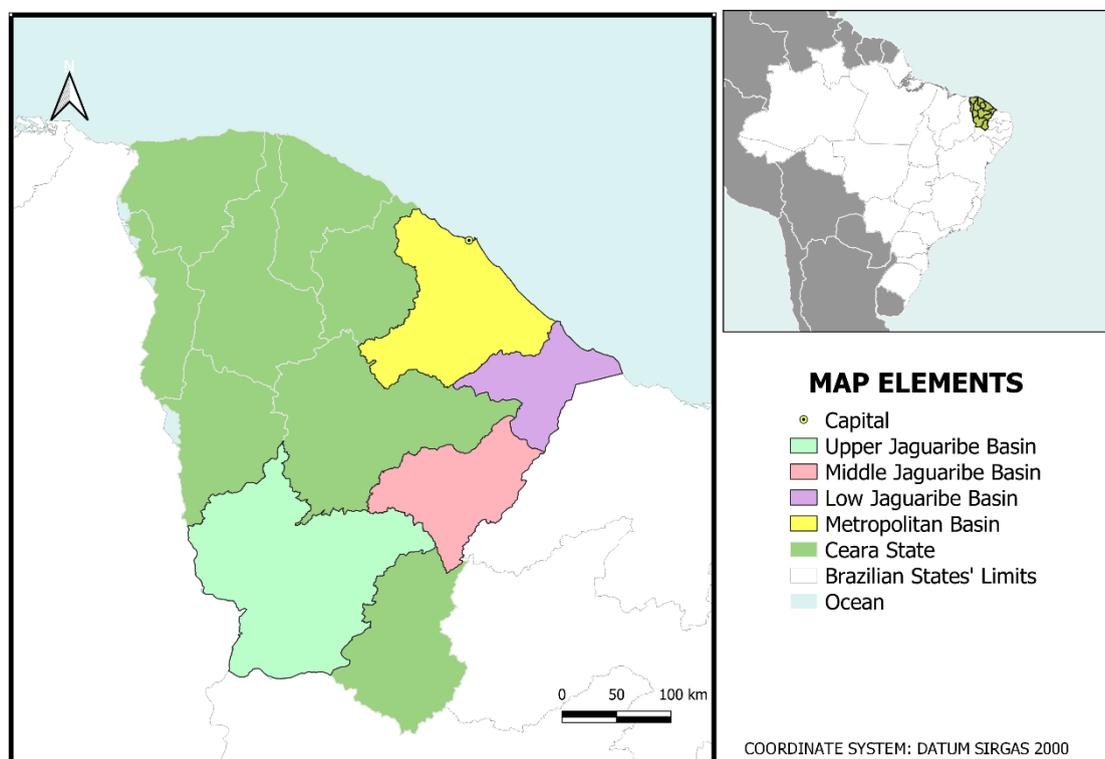
Marques e Miranda (2020) afirmaram que a sustentabilidade financeira e política devem ser uma prioridade na concepção e implementação da tarifação da água. Massarutto (2020) sublinhou que os objetivos das tarifas estão, por vezes, em conflito com outros e são até incompatíveis. Portanto, o HEM proposto tenta combinar todos esses objetivos principais para trabalhar em conjunto. Além disso, espera-se construir um modelo tarifário baseado na aceitabilidade pública e política, que necessita ser suficientemente transparente e simples para ser implementado facilmente.

### 3.1.1 Local de aplicação

O modelo foi aplicado para as Gerências que compõem o Sistema Jaguaribe-Metropolitano, são elas: Metropolitana, Iguatu e Limoeiro, responsáveis pelas bacias Metropolitana, Alto Jaguaribe e Médio e Baixo Jaguaribe respectivamente.

A Figura 14 apresenta a localização dessas regiões hidrográficas que representam aproximadamente 40% do território cearense e compõem os principais sistemas de reservatório do Estado. Além disso, elas estão presentes no semiárido que se caracteriza pela alta variabilidade interanual, sazonal e decadal e altas taxas de evaporação (SILVA *et al.*, 2019).

Figura 14 - Regiões Hidrográficas do Jaguaribe e das Bacias Metropolitanas



Fonte: Elaboração própria.

Dentro do limite das bacias Metropolitanas está presente a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) que está entre as 10 cidades com maior participação na economia do país e possui um Produto Interno Bruto (PIB) em torno de R\$67 bilhões, a maior do Nordeste (ATALIBA, 2021).

As bacias Metropolitanas são atendidas por águas locais e de transposição de bacia advindas da bacia do Jaguaribe e da transposição do rio São Francisco. Essas águas são transferidas por meio do Eixão das Águas e do Canal do Trabalhador.

A região hidrográfica do rio Jaguaribe possui uma área de 72 mil km<sup>2</sup> que compreende aproximadamente 48% do Estado do Ceará. Desta forma, devido a sua extensão e para facilitar o processo de gestão, ela foi dividida em cinco sub-regiões: Alto Jaguaribe, Banabuiú, Médio Jaguaribe, Salgado e Baixo Jaguaribe (SILVA *et al.*, 2015). Nesta região localizam-se grandes perímetros irrigados do Estado como o de Tabuleiro de Russas, o de Morada Nova e o do Jaguaribe-Apodi.

As bacias do Alto e Médio Jaguaribe somam aproximadamente 54,75% da capacidade dos reservatórios do Estado, representando as principais fontes de oferta hídrica, entretanto essas bacias são caracterizadas por sofrerem secas acentuadas e prolongadas. Segundo Pontes Filho *et al.*, (2020), o Nordeste Brasileiro experimentou uma das suas piores secas no período de 2012 a 2018, no qual a bacia do Alto Jaguaribe apresentou pior condição de severidade diante das outras bacias do Estado.

Dessa forma, ressalta-se a importância de a cobrança da água bruta conectar-se com a situação de escassez hídrica, observando ainda que cada bacia possui suas especificidades e diferentes tipos de seca sendo importante que estas sejam consideradas na estrutura da tarifária.

### **3.2 Metodologia**

A metodologia utilizada para o desenvolvimento do estudo foi dividida em duas partes: modelagem da tarifa de água bruta e avaliação da tarifa simulada por meio da análise de sensibilidade utilizando-se os métodos Cadeia de Markov e distribuição de máxima entropia para limites definidos.

A tarifa de água proposta foi desenvolvida considerando os estados de seca da bacia hidrográfica no período de 2016 a 2019. Este estado foi obtido a partir da relação dos níveis de água armazenados nos reservatórios com a capacidade de armazenamento. O modelo de tarifação considerou a capacidade de pagamento unitária (CPU) como a disponibilidade a pagar das categorias. O algoritmo de otimização por enxame de partículas (PSO) foi utilizado para buscar o valor ótimo da fração da CPU aplicada no cálculo da tarifa.

### 3.2.1 Base de dados

Para a realização deste estudo foram utilizados os seguintes dados:

- Volume de água tarifado por categoria ( $m^3$ );
- Capacidade de pagamento unitária da categoria ( $R\$/m^3$ );
- Custo de operação e manutenção do sistema das gerências das bacias hidrográficas ( $R\%$ );
- Capacidade de armazenamento dos reservatórios ( $hm^3$ );
- Volume armazenado mensal dos reservatórios ( $hm^3$ ).

O volume armazenado e a capacidade de armazenamento dos reservatórios foram concedidos pela Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), enquanto a capacidade de pagamento unitária foi obtida no Relatório nº2 - Revisão da capacidade de pagamento (SRH, 2016b). Este relatório contempla o último estudo de capacidade de pagamento realizado no Estado do Ceará e a calcula para o ano de 2015 (SRH, 2016b). Já os demais dados foram requeridos à Companhia de Gestão dos Recursos Hídricos (COGERH).

A capacidade de armazenamento e o volume armazenado dos reservatórios foram aplicados para o cálculo dos Estados de Seca. Utilizou-se essas informações junto a classificação quanto ao nível de armazenamento de água das bacias hidrográficas no Estado do Ceará, presentes na Resolução nº3/2020 do CONERH (CONERH, 2020a) (Tabela 7). Quando o reservatório atinge os valores limites das classificações de capacidade, o CONERH lança uma nova resolução indicando uma mudança de estado de seca, o que na metodologia proposta significaria uma mudança de tarifa.

Tabela 7 - Classificação quanto ao nível de armazenamento ( $\forall$ ) de água das bacias hidrográficas no Estado do Ceará

Classificação	Estado de seca	
$\forall_{Arm} > 70\%$	1	nível muito confortável de armazenamento hídrico
$50\% \leq \forall_{Arm} \leq 70\%$	2	nível confortável de armazenamento hídrico

$30\% \leq \forall_{Arm} < 50\%$	3	situação de alerta de escassez hídrica
$10\% \leq \forall_{Arm} < 30\%$	4	situação crítica de escassez hídrica
$\forall_{Arm} < 10\%$	5	situação muito crítica de escassez hídrica

Fonte: CONERH (2020)

A capacidade de pagamento foi corrigida monetariamente para o ano e mês da tarifa de água em vigor, isto é, outubro de 2020, conforme a data de publicação da Resolução nº6 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará (CONERH, 2020b). Para isso utilizou-se os índices de correções mensais do Índice Nacional de Preços ao Consumidor Amplo (IPCA) disponibilizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. O IPCA é o índice oficial de inflação no Brasil (DE VASCONCELLOS *et al.*, 2021). Deste modo, considerou-se dezembro de 2015 e outubro de 2020 como data inicial e final para a correção monetária, respectivamente.

Assim, é possível uma análise justa de ambos os dados (CPU e tarifa em vigor) já que estes possuem a mesma data: outubro de 2020.

### 3.2.2 Design do modelo de tarifação

O modelo em estudo baseou-se no modelo tarifário CPS (Capacidade de Pagamento e Subsídio Cruzado) concebido pela SRH no início da década de 2000 que utiliza a capacidade de pagamento unitária das categorias e o subsídio cruzado para encontrar as tarifas verificando a assimetria de consumo/demanda entre os usuários (SRH, 2016a). Ressalta-se que este modelo ainda não foi utilizado para a definição da tarifa de água bruta do Estado do Ceará.

O modelo utiliza as seguintes equações para calcular o montante a arrecadar:

$$M = \sum_{i=1}^n (Tm_i \times \forall_i) \quad (6)$$

$$Tm = \theta \times CPU \quad (7)$$

$$T_s = (1 + S) \times T_m \quad (8)$$

Onde:

M é o montante a arrecadar dos setores usuários em R\$/ano;

$Tm_i$  é a tarifa média da i-ésimo categoria em R\$/m<sup>3</sup>;  $V_i$  é a vazão tarifada da i-ésima categoria em m<sup>3</sup>/ano;

CPU é a capacidade de pagamento unitária da categoria em R\$/m<sup>3</sup>;

$\theta$  é o parâmetro que define a fração da capacidade e pagamento a ser tarifada.

$T_s$  é a tarifa unitária da classe de usuários de uma categoria em R\$/m<sup>3</sup>;

S é o fator de subsídio cruzado;

A tarifa média deve ser condicionada pela Capacidade de Pagamento Unitária da categoria em R\$/m<sup>3</sup>, portanto deve-se definir um parâmetro  $\theta$  da fração a ser considerada pela capacidade de pagamento a ser tarifada, sendo  $0 < \theta < 1$ .

O valor de S está compreendido entre -1 e 1 e define se a categoria é isenta, subsidiada, tarifa média ou sobretarifada, sendo:

- Para a tarifa de isenção ( $T_f = 0$ ), o fator de subsídio cruzado é:  $S = -1$ ;
- Para a tarifa subsidiada ( $T_f < T_m$ ), o fator é:  $-1 < S < 0$ ;
- Para a tarifa média ( $T_f = T_m$ ), o fator é:  $S = 0$ ;
- Para a sobretarifa ( $T_f > T_m$ ), o fator é:  $S > 0$ .

Esse valor foi definido de forma oral com a COGERH após algumas reuniões.

Neste estudo, o modelo CPS foi adaptado absorvendo a tarifa média ( $T_m$ ) em função da severidade da seca conforme observa-se na Equação 9.

$$M_{w,t} = \sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n (T_m \times V_i), \quad (9)$$

$$T_m = \begin{cases} Ts_i^p & \text{para o estado de seca 1} \\ Ts_{i,j} & \text{para os estados de seca 2,3,4 ou 5} \end{cases}$$

$$Ts_{i,j} = Ts_i^p \times \delta_j$$

Onde:  $M_{w,t}$  = arrecadação da gerência da bacia hidrográfica (w) em análise no tempo t;  $Ts_i^p$  = tarifa unitária da i-ésima classe de usuário da categoria k em R\$/m<sup>3</sup> no nível muito confortável de armazenamento hídrico;  $Ts_{i,j}$  = tarifa unitária da i-ésima classe de usuário da categoria k em R\$/m<sup>3</sup> no estado de seca j;  $\delta_j$  = percentual acrescido em cada estado de seca no valor da tarifa da classe de usuário devido a situação de escassez hídrica.

O valor de  $Ts_i^p$  foi calculado conforme a Equação 10 e 11:

$$Ts_i^p = (1 + S) \times T_m \quad (10)$$

$$T_m = CPU \times \theta \quad (11)$$

O valor de subsídio cruzado foi definido de forma *ad hoc* devido à dificuldade de obtenção dessa informação junto à COGERH.

Para o funcionamento do modelo considerou-se algumas restrições, são elas:

$$T_{si,5} > T_{si,4} > T_{si,3} > T_{si,2} > TS_i^p$$

$$TS_{i,j}, TS_i^p < CPU$$

$$M_{w,t} > CO_{w,t}$$

$$0 < \theta < 1$$

$$\delta_j > 1$$

Onde:  $CO_{w,t}$  = custo de operação e manutenção do sistema hídrico para a gerência da bacia hidrográfica em análise em R\$/ano.

Assim a arrecadação é obrigatoriamente maior que os custos de operação e manutenção para que o sistema seja autofinanciável. Entretanto, considerou-se a possibilidade de 1 ano de falha onde os custos de operação podem superar a arrecadação.

O modelo foi aplicado utilizando o *software* livre R e o pacote de otimização PSO para buscar os valores ótimos de  $\theta$  e a maximização de  $M$ . Este pacote computacional é utilizado para otimização de funções paramétricas e multiparamétricas e tem fornecido boas soluções para problemas de funções de otimização global com restrições (BENDTSEN; BENDTSEN, 2011).

Foram utilizadas as categorias de abastecimento público, indústria, piscicultura, carcinicultura, água mineral e irrigação. A categoria comércio e serviços não está presente devido à falta de dados sobre a CPU. Para cada um dos setores considerou-se as categorias dispostas na Tabela 8.

Tabela 8 - Setores e Categorias consideradas para o estudo

Setores	Categoria
Abastecimento Público	Abastecimento de demais regiões
	Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAEs) + Prefeituras
	Cagece Interior
	Região Metropolitana de Fortaleza
	Abastecimento Pressurizado
	Abastecimento Adução Cogerh
Indústria	Adução Própria
	Adução Cogerh
Piscicultura	Piscicultura em Tanques Escavados
	Piscicultura em Tanques Rede
Carcinicultura	Carcinicultura

Água mineral e água potável de mesa	Água mineral e água potável de mesa
Irrigação	Irrigação

Fonte: Adaptação da CONERH (CONERH, 2020b).

### 3.2.3 Análise de sensibilidade

A análise de sensibilidade foi aplicada para apreciar a robustez do modelo e a confiabilidade dos resultados. Ela permitiu avaliar a variação da arrecadação dado alterações nos valores das tarifas. Para isso, utilizou-se do software livre R para gerar 100 séries sintéticas com 100 anos do volume armazenado e do volume faturado em cada bacia.

Para a geração das séries sintéticas do volume armazenado foi utilizado o Método Cadeia de Markov no qual consiste num processo estocástico com tempo e estado discretos. Este método faz previsões de um valor futuro utilizando-se da transferência de probabilidade da informação atual (DU *et al.*, 2020).

A amostra do volume faturado era composta apenas por quatro anos, 2016 a 2020, resultando numa geração de série mais crítica. Assim escolheu-se trabalhar com a distribuição de máxima entropia para limites definidos, ou seja, distribuição uniforme. Este método gera uma distribuição aleatória de dados sob determinadas restrições que foram determinados a partir dos valores das amostras (CABRERA; LEE, 2020).

A partir das séries sintéticas de volume armazenado obteve-se os estados de seca e calculou-se o montante arrecado conforme a Equação 12.

$$M_{w,t} = t_{s,j} \times V_t \quad (12)$$

Onde:  $t_{s,j}$  = tarifa simulada do estado de seca  $j$ ;  $V_t$  = volume faturado no tempo  $t$ .

## 3.3 Resultados e Discussão

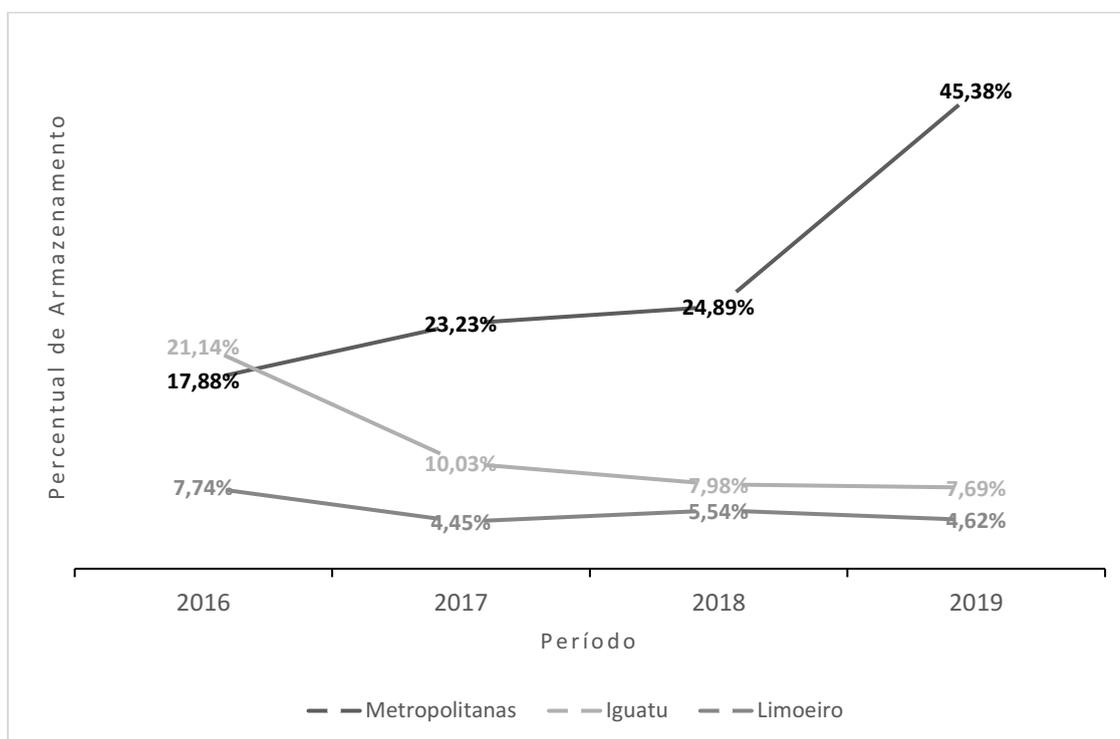
### 3.3.1 Modelagem da tarifa flutuante

O modelo proposto impõe que a tarifa de água bruta aumente proporcionalmente a severidade da seca no intuito de induzir o uso racional da água. Para isso, foi simulado a tarifa unitária no nível muito confortável de armazenamento hídrico ( $TS_i^p$ ) e aplicado uma penalidade ( $\delta_j$ ) para a obtenção das tarifas aplicadas aos outros estados de seca. Esta penalidade foi fixada em 1.15, 1.25, 1.45 e 1.55 para os estados de seca 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Os valores das penalidades foram fixados devido à dificuldade de otimização causado pela ausência de todos os estados de seca no período em análise. Além disso, não foram fornecidas informações suficientes dos custos das gerências para que a série tivesse um maior período de análise.

Avaliando os volumes armazenados (Figura 15) nas Gerências em estudo identificou-se que na Metropolitanas tem-se a situação de alerta de escassez hídrica no ano de 2019 (estado de seca 3) e a situação crítica de escassez hídrica anos de 2016 a 2018 (estado de seca 4). Na Gerência de Iguatu tem situação crítica em 2016 e 2017 (estado de seca 4) enquanto 2018 e 2019 enquadram-se como situação muito crítica (estado de seca 5). Já Limoeiro apresentou situação muito crítica de escassez hídrica (estado de seca 5) em todo o período (2016 a 2019).

Figura 15 - Volumes armazenados nas Gerências em estudo



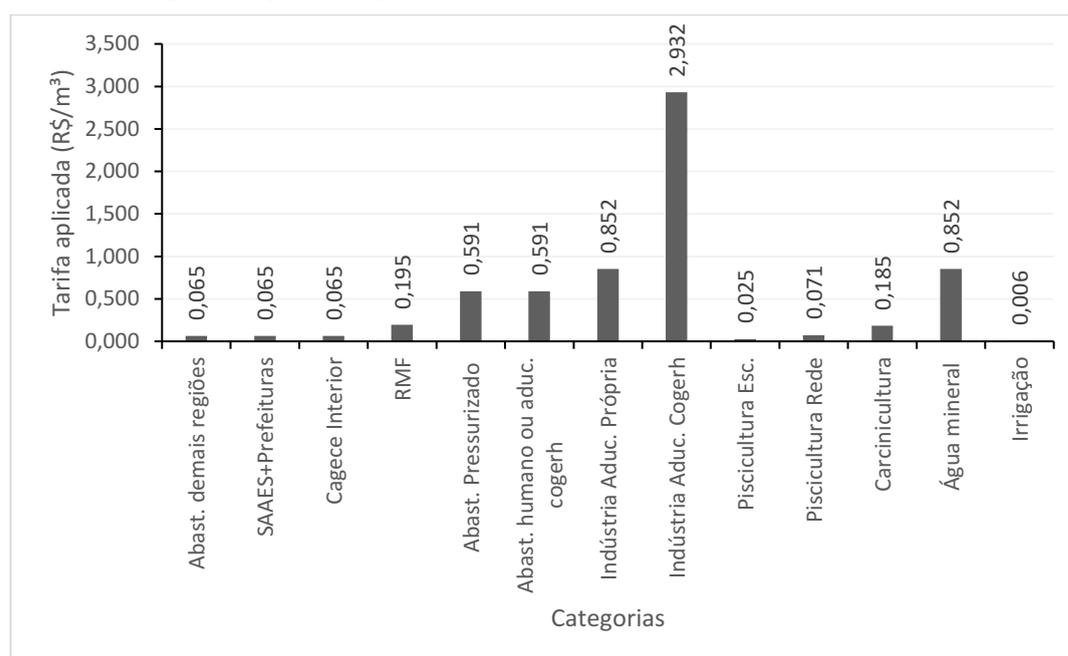
Fonte: Elaboração própria.

Os valores da capacidade de pagamento unitária das categorias e a tarifa de água bruta em vigor foram dispostos na Tabela 9. A Figura 16 apresenta detalhadamente a tarifa aplicada por categoria em 2020 (R\$/m<sup>3</sup>).

Tabela 9 - Capacidade de pagamento unitária e tarifa média das categorias em vigor

Categoria	CPU 2015 (R\$/m <sup>3</sup> )	CPU 2020 (R\$/m <sup>3</sup> )	Tarifa em vigor (R\$/m <sup>3</sup> )
Abastecimento público	0.092	0.136	0.262
Indústria	1.545	2.277	1.892
Piscicultura	0.147	0.217	0.048
Carcinicultura	0.320	0.472	0.185
Água mineral	9.915	14.616	0.852
Irrigação	0.026	0.038	0.006

Fonte: Elaboração própria.

Figura 16 - Tarifa aplicada por categoria em 2020 (R\$/m<sup>3</sup>)

Fonte: Elaboração própria.

Observou-se que a CPU das categorias RMF, abastecimento pressurizado, abastecimento adução Cogeh e indústria adução Cogeh apresentaram-se inferiores a tarifa de água vigente.

Segundo Ribeiro (2010), o abastecimento público e a irrigação do Estado do Ceará possuem maior capacidade de pagamento quando comparado com as mesmas categorias nos estados de Rio Grande do Norte e Paraíba. O contrário acontece com a categoria da indústria que possui valor inferior.

Foram simulados três cenários de tarifação conforme os valores obtidos da fração da capacidade de pagamento ( $\theta$ ) a partir das restrições do modelo. Desta forma, eles pretendem maximizar os custos, mas são inferiores a CPU.

Os cenários possuem comportamento crescente de fração da capacidade de pagamento, sendo o cenário 1 mais brando, cenário 2 mediano e o cenário 3 com a maior fração, assim,  $\theta_1 < \theta_2 < \theta_3$  e o mesmo comportamento ocorre com a arrecadação.

Entretanto, percebe-se que a indústria possui o mesmo valor de  $\theta$  em todos os cenários devido à sua alta CPU e tarifa vigente, sendo uma parcela significativa da arrecadação. Comportamento semelhante foi observado no abastecimento público. Esses valores foram apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Capacidade de pagamentos nos três cenários

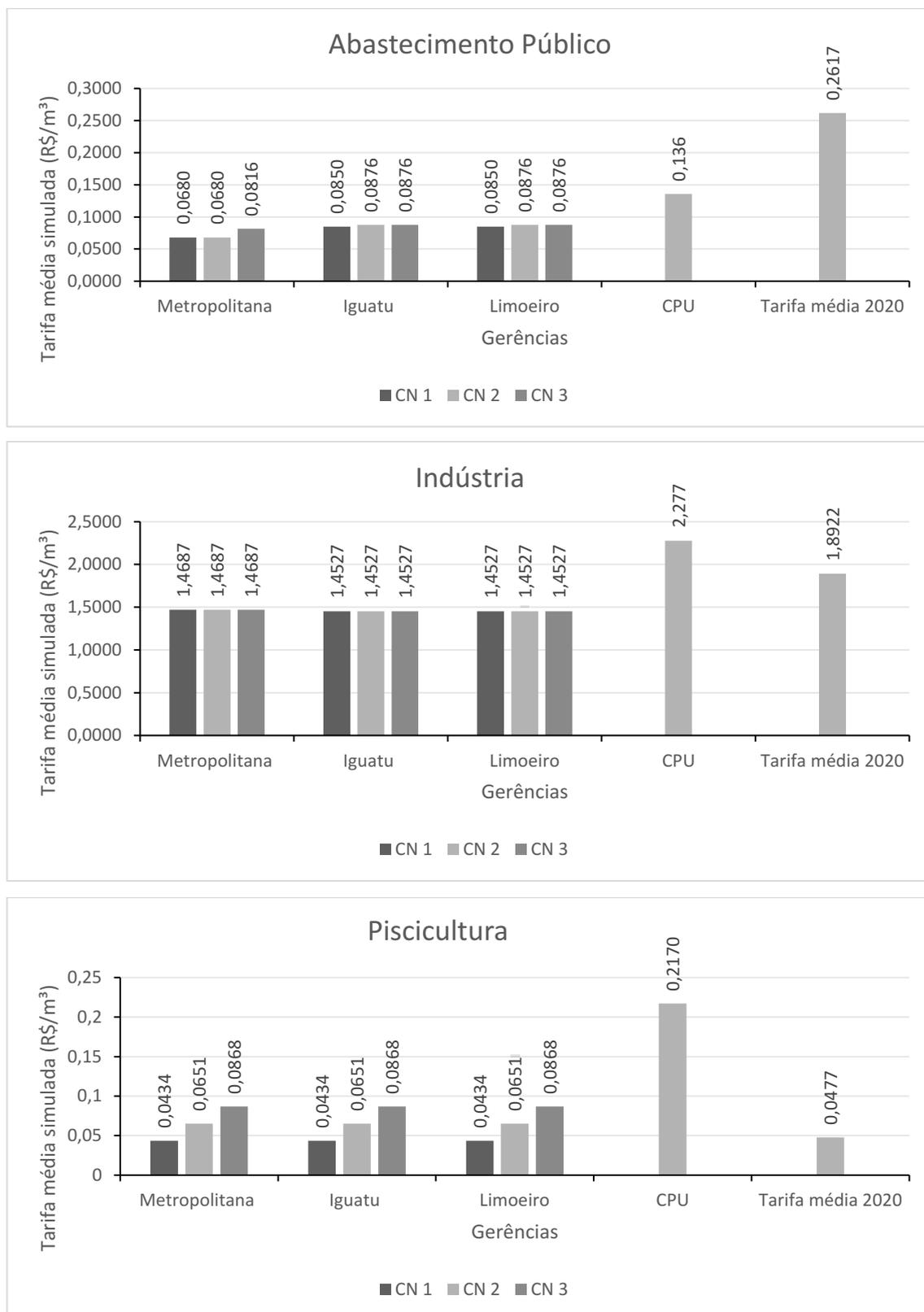
<b>Gerências</b>	<b>Metropolitanas</b>			<b>Iguatu e Limoeiro</b>		
	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>	<b>Cenário 3</b>
<b>Abastecimento Público</b>	0.500	0.500	0.600	0.500	0.515	0.515
<b>Indústria</b>	0.645	0.645	0.645	0.440	0.440	0.440
<b>Piscicultura</b>	0.200	0.300	0.400	0.200	0.300	0.400
<b>Carcinicultura</b>	0.250	0.300	0.400	0.250	0.300	0.400
<b>Água Mineral</b>	0.200	0.300	0.400	0.200	0.300	0.400
<b>Irrigação</b>	0.100	0.200	0.300	0.100	0.200	0.300

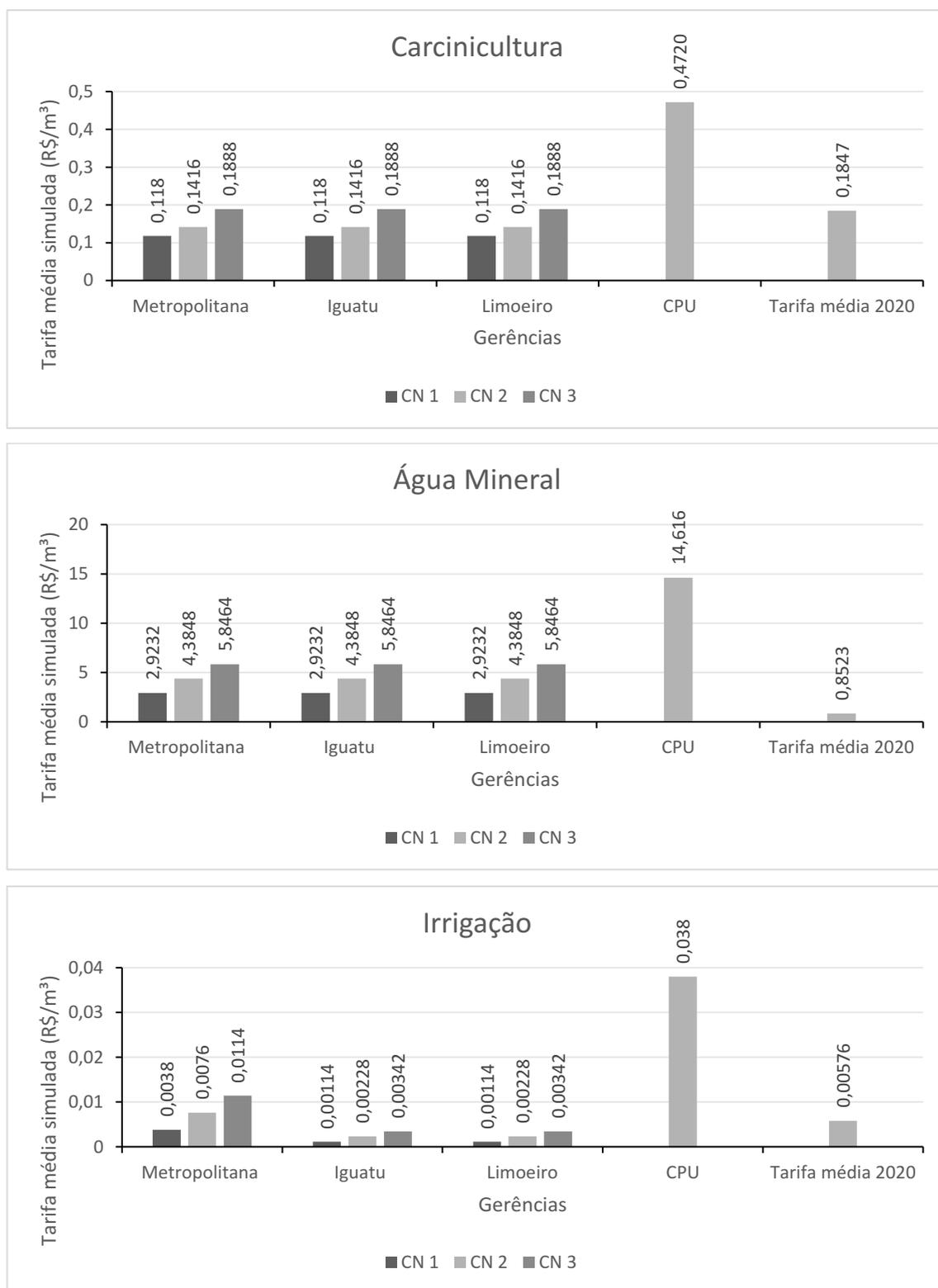
Fonte: Elaboração própria.

Os valores de  $\theta$  das Gerências de Iguatu e Limoeiro diferenciam-se da Metropolitana devido ao subsídio cruzado. Como são regiões em que a irrigação é bastante presente e característica da economia local, adotou-se os seguintes valores de subsídio cruzado: abastecimento público 0,25, indústria 0,45 e irrigação -0,7.

A Figura 17 apresenta a tarifa simulada para as categorias das Gerências em estudo no nível muito confortável de armazenamento (ES 1) considerando os cenários (CN) de fração de capacidade de pagamento.

Figura 17 - Tarifa simulada para (a) abastecimento público, (b) indústria, (c) piscicultura, (d) carcinicultura, (e) água mineral e (f) irrigação





Fonte: Elaboração própria.

Nota-se que a tarifa vigente é superior, em alguns casos, à tarifa simulada devido à restrição dela ser uma fração da capacidade de pagamento e a tarifa atual ser definida de forma *ad hoc*. Como é o caso da categoria do abastecimento público que reduziu sua

tarifa média simulado em 70% em relação a tarifa vigente. A tarifa simulada para a piscicultura e irrigação tiveram aumentos de 35% e 28%, respectivamente, em relação ao valor vigente. Na carcinicultura, a tarifa simulada teve uma redução de 19% em relação a tarifa de 2020. Entretanto, as categorias ainda possuem disposição a pagar por uma tarifa mais elevada.

Na indústria, a tarifa simulada teve uma redução de 23% em relação à média da tarifa vigente. Percebe-se que as tarifas médias se repetiram nos três cenários, isso ocorreu, pois, a categoria da indústria e do abastecimento público são os principais setores usuários e responsáveis por subsidiar outros setores como a irrigação.

Já a categoria da água mineral apresentou uma tarifa simulada superior em 415% a tarifa vigente. Observando o cenário 3 (de maior fração) e a CPU, percebe-se que ainda é possível explorar bastante esta categoria.

Observando as tarifas cobradas pelo uso da água na categoria do abastecimento público no Estado da Paraíba (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, 2011) e do Rio de Janeiro (Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2021), mais especificamente no comitê da bacia Baía da Ilha Grande, tem-se R\$0,012 e R\$0,051, respectivamente. Esses valores encontram-se abaixo da tarifa média simulada ( $T_m$ ) em todos os cenários mesmo ela tendo sido reduzida em relação a tarifa vigente.

Quanto à piscicultura, tem-se R\$0,005 na Paraíba (Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba - AESA, 2011) e R\$0,051 no Rio de Janeiro (Instituto Estadual do Ambiente – INEA, 2021), observou-se que os valores se encontram bem próximos das tarifas simuladas nos três cenários e da tarifa cobrada em 2020.

Pode-se observar que os valores da tarifa média simulada para a Gerência Metropolitana na categoria irrigação estão próximos aos do estudo de Ribeiro (2010) e Magalhães Filho (2015) que relatam que a CPU do usuário agrícola no Tocantins é R\$0,0067/m<sup>3</sup>.

Ferreira *et al.* (2020) apresentou os valores cobrados pela água bruta em alguns países membros da The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) conforme a Tabela 11.

Tabela 11 - Valores cobrados pela água bruta em países da OECD

País	Valores por categoria (€/m <sup>3</sup> )		
	Abastecimento Público	Indústria	Irrigação
Alemanha	0.0150	0.0050	0.0050
Polonia	0.0092	0.0163	0.0163

Fonte: Adaptado da OECD (Ferreira *et al.*, 2020).

Considerando o euro com cotação de R\$6,00 e comparando esses valores com a tarifa simulada, observa-se que a categoria do abastecimento público possui um valor reduzido enquanto a categoria da indústria possui valores simulados acima dos valores internacionais. Já a categoria da irrigação encontra-se com a tarifa simulada dentro do intervalo de valores internacionais.

Rodrigues *et al.* (2022) avaliou a eficiência relativa da cobrança pela água bruta nas categorias de irrigação, abastecimento público e indústria nas bacias cearenses. A categoria da indústria obteve maior eficiência seguido pelo abastecimento público e irrigação. Este resultado reflete principalmente os valores faturados e arrecadados da cobrança, demonstrando que tarifas superiores influem positivamente na eficiência. Uma atenção especial deve ser dada a categoria da irrigação que obteve os piores resultados.

As tarifas simuladas para todos os estados de seca podem ser visualizadas na Tabela 12. Ressalta-se que a Gerência Metropolitana, no período de 2016 a 2019, apresentou apenas os estados de alerta (3) e situação crítica (4). A Gerência de Iguatu enquadrou-se em situação crítica em 2016 e 2017 (4) enquanto 2018 e 2019 em situação muito crítica (5). Já Limoeiro apresentou apenas situação muito crítica de escassez hídrica (5).

Tabela 12 - Tarifas simuladas para os ES

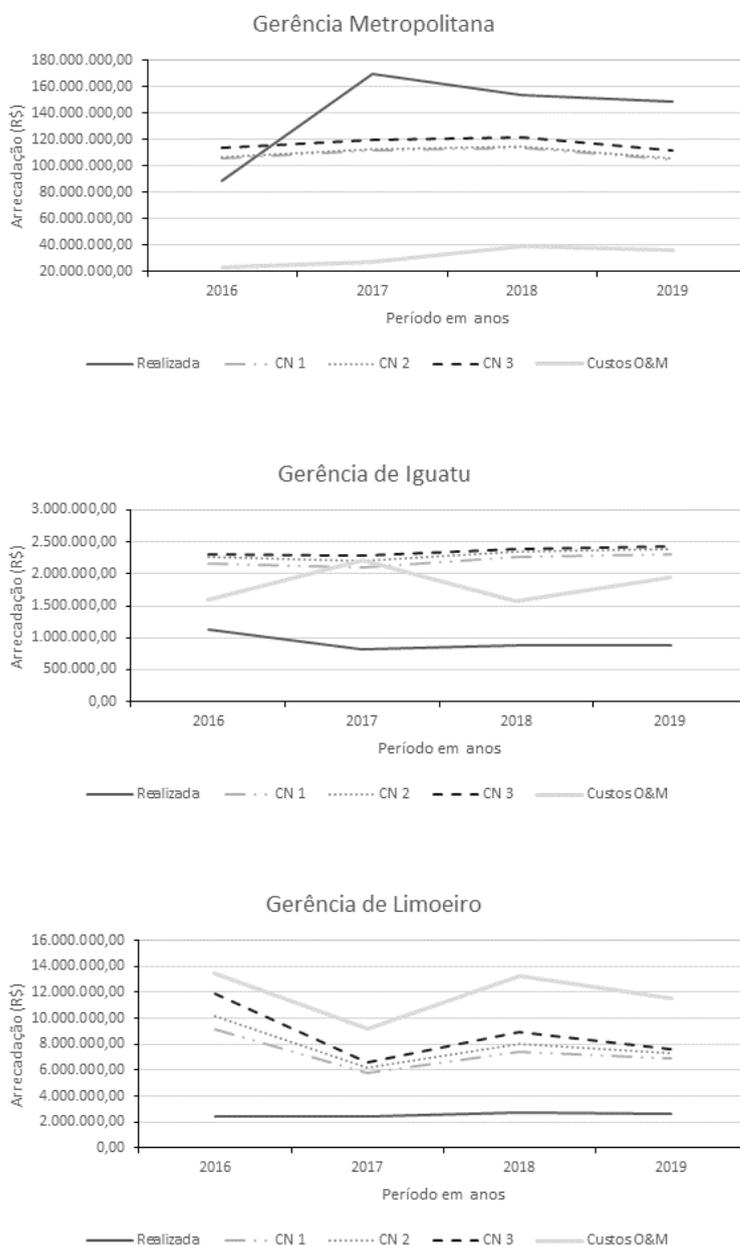
Categorias	Abast. Humano	Indústria	Piscicultura	Carcinicultura	Água Mineral	Irrigação
Gerência Metropolitana						
CN 1 - ES 3	0.085	1.836	0.054	0.148	3.654	0.005
CN 2 - ES 3	0.085	1.836	0.081	0.177	5.481	0.01
CN 3 - ES 3	0.085	1.836	0.109	0.236	7.308	0.014
CN 1 - ES 4	0.099	2.130	0.063	0.171	4.239	0.006
CN 2 - ES 4	0.099	2.130	0.094	0.205	6.358	0.011
CN 3 - ES 4	0.099	2.130	0.126	0.274	8.477	0.017
Gerências de Iguatu e Limoeiro						
CN 1 - ES 4	0.1233	2.1064	0.0629	0.1711	4.2386	0.0017
CN 2 - ES 4	0.1269	2.1064	0.0944	0.2053	6.3580	0.0033
CN 3 - ES 4	0.1269	2.1064	0.1259	0.2738	8.4773	0.0050
CN 1 - ES 5	0.1378	2.2517	0.0673	0.1829	4.5310	0.0018
CN 2 - ES 5	0.1357	2.2517	0.1009	0.2195	6.7964	0.0035
CN 3 - ES 5	0.1357	2.2517	0.1345	0.2926	9.0619	0.0053

Nota: Abast. Humano: Abastecimento público, CN: Cenário, ES: Estado de Seca.

Fonte: Elaboração própria.

O montante arrecadado simulado, realizado e os custos de operação e manutenção para o período de 2016 a 2019 pode ser visualizado na Figura 18.

Figura 18 - Montante arrecadado para a Gerência Metropolitana, Gerência de Iguatu e Gerência de Limoeiro



Fonte: Elaboração própria.

A Gerência Metropolitana é responsável por quase 90% da arrecadação do Estado do Ceará (valor médio do período 2016 a 2019). Contudo, a região hidrográfica das bacias Metropolitanas é abastecida pela transposição de águas da região do Jaguaribe, e segundo a Lei das Águas, nº 9.433/1997, os valores arrecadados com a cobrança pelo uso de recursos hídricos devem ser prioritariamente aplicados na bacia hidrográfica em que foram gerados. Portanto, isto pode impactar no planejamento dos recursos hídricos das outras bacias, resultando em menos recursos para estudos, planejamentos e obras.

O mesmo comportamento acontece com os Custos de Operação & Manutenção (O&M) que se encontram 53,86% concentrados nesta bacia em relação ao Estado.

Observou-se que os valores simulados na Gerência Metropolitana são inferiores em relação aos valores arrecadados no mesmo período (Figura 18). Entretanto deve-se salientar que a CPU é uma restrição do modelo e algumas categorias como RMF, abastecimento pressurizado, abastecimento adução Cogerh e indústria adução Cogerh apresentam os valores cobrados na tarifa 2020 superiores à CPU, o que impactou o modelo.

Na Gerência de Iguatu, a arrecadação simulada ultrapassa os custos em 80% do período enquanto a arrecadação realizada é quase metade do valor dos custos, reforçando Parween *et al.* (2021) que realizou uma *review* da política de tarifação no setor de irrigação da Índia e constatou que a arrecadação entre os estados varia de 60 a 90% e ainda é muito baixa para cobrir os custos de O&M do sistema, não se comportando como um sistema sustentável. A baixa receita da cobrança se deve principalmente aos preços baixos e falhas no mecanismo existente de coleta. Os custos de O&M referem-se à conservação, monitoramento e operacionalização da infraestrutura hídrica, como reservatórios, canais de integração, adutoras e estações de bombeamento.

Já na Gerência de Limoeiro, a arrecadação simulada aproxima-se dos custos, mas não consegue superá-los. Entretanto, salienta-se que esta Gerência se encontrava em situação muito crítica de escassez hídrica, o que consequentemente aumentam os custos, conforme demonstrado no capítulo 1.

O aumento dos custos durante a seca está associado ao gasto de energia elétrica, pois aumenta-se bombeamento de água quando os níveis dos reservatórios estão baixos. Adiciona-se a esses custos, a intensificação da fiscalização das outorgas e dos volumes retirados. A fiscalização é necessária para a ação de *free-rider*, que são usuários que realizam retiradas indevidas.

A escassez hídrica afeta não somente os custos hídricos, mas também do sistema de energia, como observou-se no estudo de Abdin *et al.* (2019) que compararam a resiliência do sistema de energia em períodos normais e de seca concluindo que os custos O&M do setor energético tem comportamento crescente conforme o aumento da escassez hídrica.

Operacionalmente as tarifas flutuantes poderiam funcionar como as bandeiras tarifárias do setor energético. Nessas tarifas podem ser utilizados um sistema de cores para comunicar a severidade da seca aos usuários, no qual sugere-se verde para o nível

muito confortável de armazenamento hídrico, amarelo para o nível confortável, laranja para a situação de alerta, vermelho para a situação crítica e vermelho escuro para situação muito crítica de escassez, como ilustrado na Figura 19.

Figura 19 - Sistema de cores da tarifa flutuante

	Estado de seca	Classificação	Tarifa aplicada
1	$\forall_{Arm} > 70\%$	nível muito confortável de armazenamento hídrico	$T_{si}^p$
2	$50\% \leq \forall_{Arm} \leq 70\%$	nível confortável de armazenamento hídrico	$T_{si,2}$
3	$30\% \leq \forall_{Arm} < 50\%$	situação de alerta de escassez hídrica	$T_{si,3}$
4	$10\% \leq \forall_{Arm} < 30\%$	situação crítica de escassez hídrica	$T_{si,4}$
5	$\forall_{Arm} < 10\%$	situação muito crítica de escassez hídrica	$T_{si,5}$

Fonte: Elaboração própria.

Estas cores são semelhantes às utilizadas pelo setor energético. Além disso, elas foram utilizadas no Metropolitan Washington Water Supply and Drought Awareness Response Plan (MWWCOG, 2000) e no Colorado Drought Mitigation and Response Plan (BOARD, 2010).

Segundo Gorn *et al.* (1997) geralmente as decisões de cores são baseadas na intuição e evidências anedóticas. Portanto estas cores assemelham-se a um semáforo, que é algo bastante conhecido e utilizado diariamente pela população, facilitando sua percepção.

Adicionalmente, a adoção das tarifas flutuantes poderia ser instituída formalmente e imediata por uma resolução do CONERH. Assim como foi instituída a classificação quanto ao nível de armazenamento de água nas bacias hidrográficas, sistemas hídricos integrados e reservatórios públicos no Estado do Ceará na Resolução nº3/2020 do

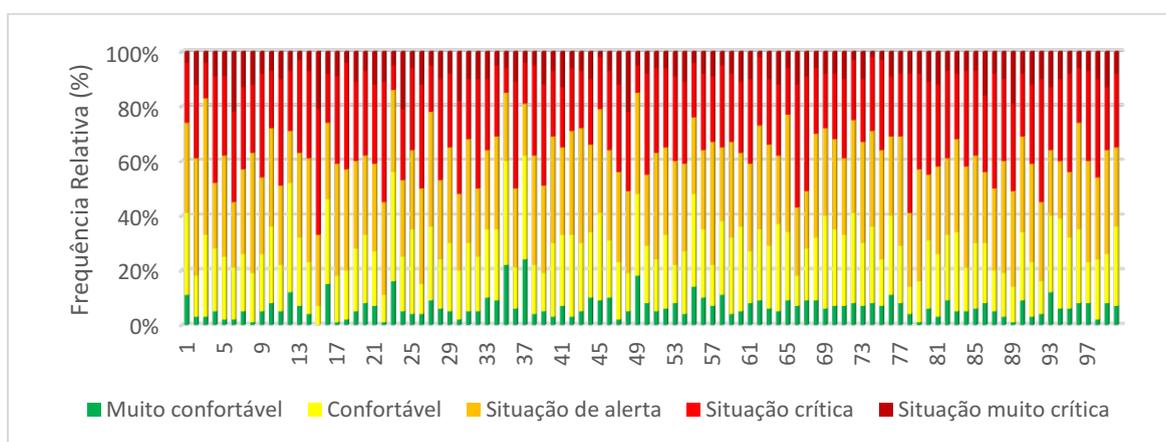
CONERH (CONERH, 2020a). Deste modo, as tarifas flutuantes tratar-se-iam de um complemento a esta resolução, fortalecendo a cobrança pelo uso dos recursos hídricos e promovendo o uso racional de água.

### 3.3.2 Análise de Sensibilidade

Foram gerados por meio dos métodos Cadeia de Markov e distribuição de máxima entropia para limites definidos 100 séries sintéticas de 100 anos dos estados de severidade de seca para avaliar a sensibilidade da arrecadação em relação a tarifa simulada.

Para refinar a análise, elaborou-se nas Figura 20 e Figura 21 um gráfico de frequência relativa dos estados de seca.

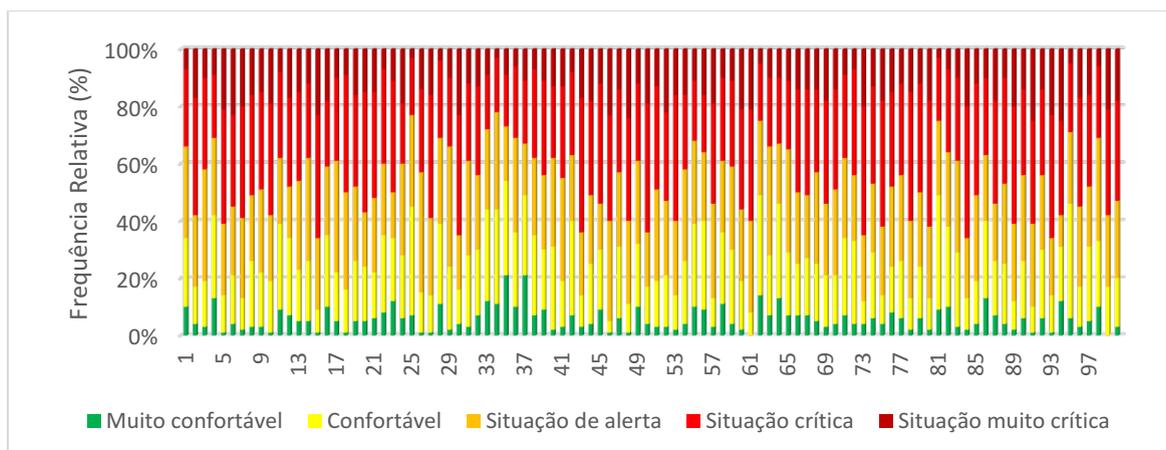
Figura 20 - Frequência relativa dos estados de seca na Gerência Metropolitana



Fonte: Elaboração própria.

Observou-se que os níveis confortáveis, situação de alerta e situação crítica predominam na série, o que significa que as tarifas nesses estados estarão mais presentes.

Figura 21 - Frequência relativa dos estados de seca nas Gerências Iguatu e Limoeiro



Fonte: Elaboração própria.

Percebeu-se que nas Gerências de Iguatu e Limoeiro a frequência da situação muito crítica sofreu um aumento em relação à Gerência Metropolitana, conseqüentemente reduzindo a frequência do nível muito confortável.

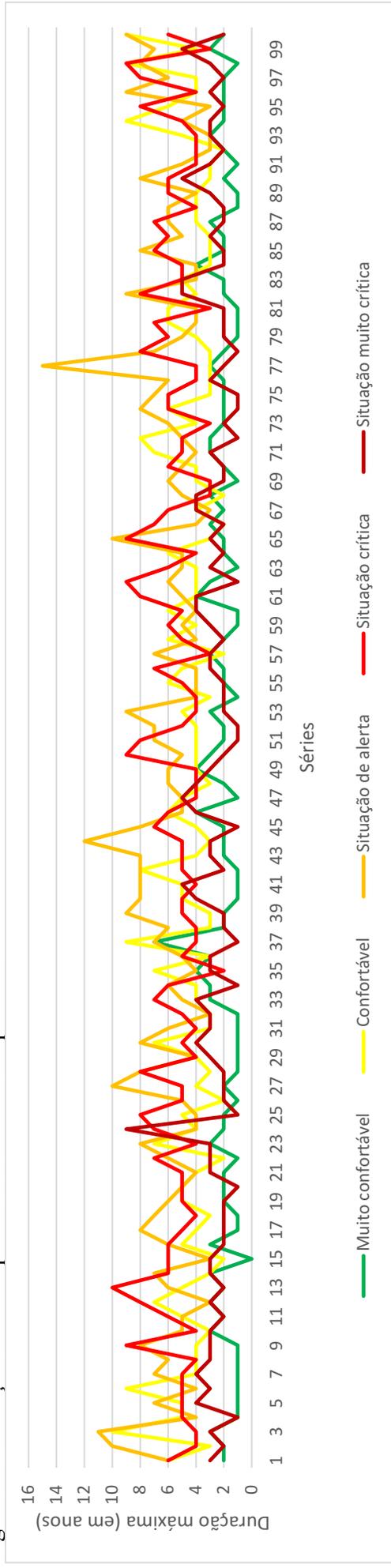
Além disso, na Figura 22 e

Figura 23 verificou-se a duração máxima de cada estado de seca no intuito de identificar a possibilidade de aplicação da mesma tarifa por um longo período.

Na Figura 22, para a Metropolitana pode-se observar que o nível muito confortável tem duração máxima de 7 anos, nível confortável, situação de alerta, crítica e muito crítica 10, 15, 10 e 9 anos respectivamente. Já para Iguatu e Limoeiro,

Figura 23, observou-se no apêndice 2 que o máximo de anos em nível muito confortável foi 7, enquanto os outros foram 10, 10, 8 e 9 respectivamente.

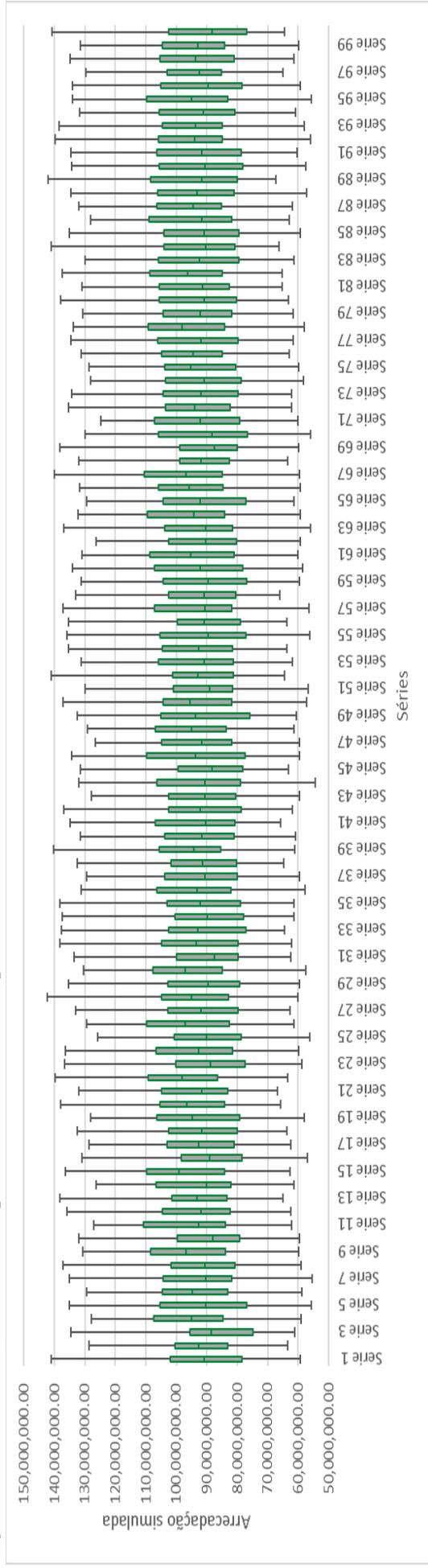
Figura 22 - Duração máxima para a Gerência Metropolitana



Fonte: Elaboração própria.



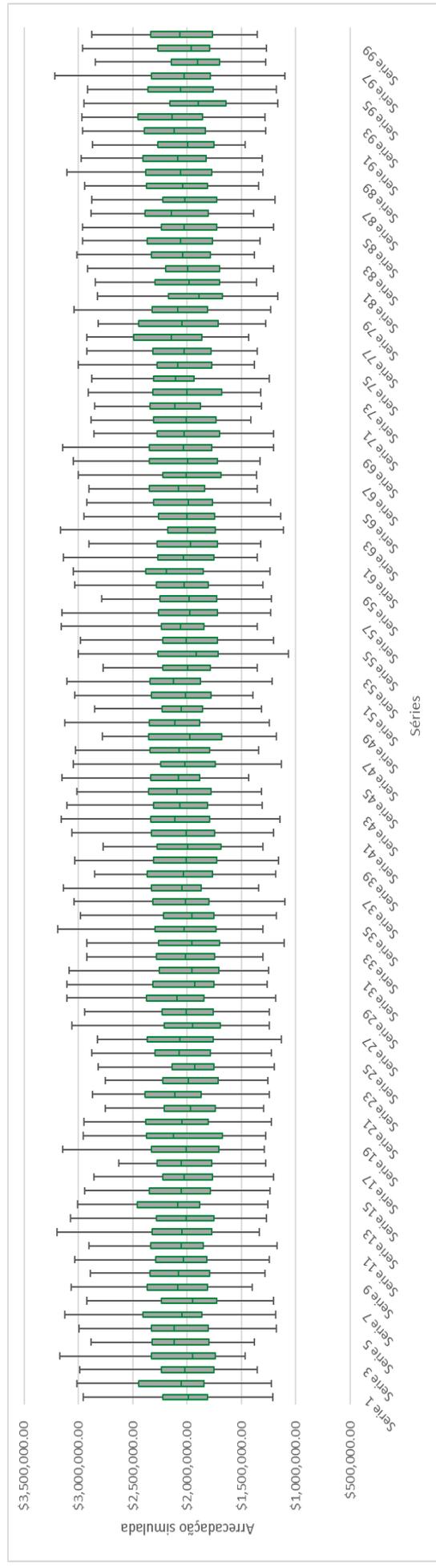
Figura 24 - Arrecadação simulada para a Gerência Metropolitana



Fonte: Elaboração própria.

Observou-se na Figura 24 que os valores mínimos de arrecadação da Metropolitana ficaram em torno de R\$60.000.000,00 enquanto os máximos R\$135.000.000,00. Já a mediana encontra-se entre R\$90.000.000,00. Comparando com os custos médios do período 2016 a 2019, que é de R\$31.189.466,34, percebe-se que a arrecadação simulada é bastante superior sendo possível o financiamento da gerência. Porém considerando a média da arrecadação realizada que é de R\$139.916.069,90, os valores da arrecadação simulada são inferiores.

Figura 25 - Arrecadação simulada para a Gerência de Iguatu



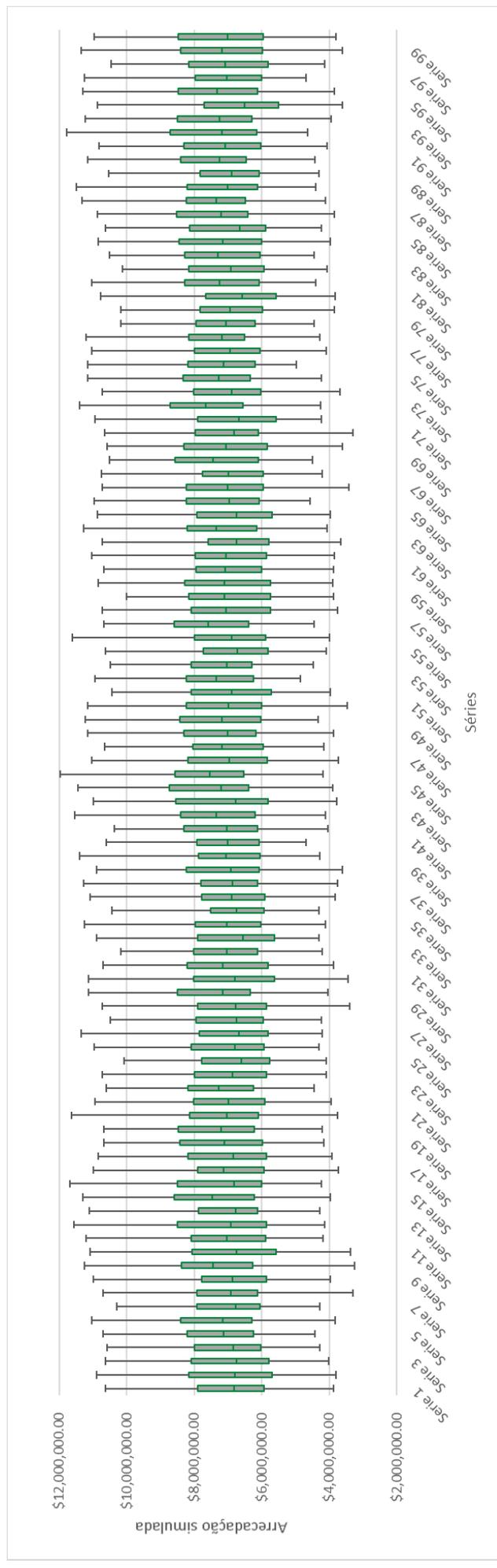
Fonte: Elaboração própria.

Quanto à Gerência de Iguatu, Figura 25, verificou-se que os valores de arrecadação variam entre R\$1.200.000,00 e R\$3.200.000,00, respectivamente para mínimo e máximo. Observou-se que a média dos valores arrecadados no período de 2016 a 2019 foi de R\$920.200,63, ou seja, os valores mínimos simulados são superiores a esta média. Quanto aos custos médios do período 2016 a 2019, R\$1.833.851,91, verificou-se que ele se encontra dentro da margem de arrecadação simulada.

As simulações expõem a possibilidade de geração de excedente de arrecadação. Para gerenciá-lo pode ser elaborado um fundo financeiro no qual possibilitaria garantia de renda à população em períodos de escassez hídrica, principalmente a categoria de irrigação, assim como um

auxílio nos custos de O&M do sistema. Transformando, assim, variabilidade hidrológica em valores monetários, buscando, consequentemente, o gerenciamento dos riscos (BROWN E CARRIQUITY, 2007; SOUSA *et al.*, 2015).

Figura 26 - Arrecadação simulada para a Gerência de Limoeiro



Fonte: Elaboração própria

A Figura 26 apresentou os resultados para a Gerência de Limoeiro, que oscilou entre R\$3.000.000,00 e R\$12.000.000,00 para valores mínimos e máximos de arrecadação. Ela apresentou como mediana o valor R\$6.800.000,00 que é superior à média de arrecadação do período em estudo, que foi de R\$2.533.837,96. Considerando os custos médios do período 2016 a 2019, R\$11.830.379,48, tem-se que ele está dentro da

margem dos valores de arrecadação simulada. Salienta-se que esta Gerência se encontrava neste período em situação crítica de escassez hídrica que conseqüentemente aumentam os custos.

Ressalta-se que a sensibilidade do modelo foi avaliada considerando as frações de capacidade de pagamento obtidas no cenário 1 que representa a pior situação de arrecadação.

### 3.4 Conclusão

O estudo apresentou uma modelagem da tarifa de água bruta atrelada aos níveis de água armazenados nos reservatórios definidos pela Resolução nº3/2020 do CONERH com base no período de 2016 a 2019.

O modelo definiu frações de capacidade de pagamento em torno de 0,136, 2,277, 0,217, 0,472, 14,616 e 0,038 para as categorias abastecimento público, indústria, piscicultura, carcinicultura, água mineral e irrigação respectivamente. Salienta-se que nas Gerências de Iguatu e Limoeiro, a categoria da irrigação foi subsidiada pelas categorias abastecimento público e indústria.

Existem categorias que possuem CPU maior do que a tarifa vigente como RMF, abastecimento pressurizado, abastecimento adução Cogerh e indústria adução Cogerh. Isto ocorreu naquelas categorias que apresentam a tarifa mais alta nos seus respectivos setores.

Para avaliar a robustez do modelo aplicou-se a análise de sensibilidade utilizando-se de 100 séries de 100 anos, a partir do pior cenário de arrecadação, CN 1. Verificou-se que os níveis confortáveis, situação de alerta e situação crítica predominam nas séries.

Considerando a arrecadação simulada da Gerência Metropolitana, tem-se que esses valores são inferiores aos valores arrecadados no mesmo período, o que se deu devido à restrição da CPU ( $Ts_{i,j}, Ts_i^p < CPU$ ), impactando o modelo. Entretanto, os Custos de Operação e Manutenção foram cobertos pela arrecadação simulada, financiando esta gerência e possibilitando um possível fundo financeiro para compensação em situações de escassez hídrica extrema.

Essa ideia foi defendida em 2007 por Brown e Carriquiry, no qual consiste de uma troca do uso da água por uma compensação financeira nos anos de seca. E como exemplo deste fundo financeiro, tem-se o estudo de Sousa *et al.* (2015) que desenvolveu um contrato de opções entre os setores e um fundo de financeiro para guardar os recursos necessários para o pagamento das opções visando promover transferências de risco climático com base na retirada anual do sistema que seria acionado em períodos secos e desligado em períodos úmidos.

As Gerências de Iguatu e Limoeiro apresentaram arrecadações simuladas superiores às arrecadações realizadas neste mesmo período. Ademais, os Custos de Operação e Manutenção das Gerências de Iguatu e Limoeiro são superiores à arrecadação realizada no período de estudo (2016 a 2019), o que reforça a necessidade da reformulação do modelo tarifário. Portanto, após este estudo, verificou-se que a arrecadação simulada possibilitou que estes valores se iguallassem ou fossem superiores aos custos.

Neste contexto, faz-se a reflexão quanto ao impasse de gestão gerado pela arrecadação superior na Gerência Metropolitana, na qual pela Lei das Águas, tem-se que a arrecadação deverá ser utilizada prioritariamente na bacia onde foi arrecada, deixando a Gerências de Iguatu e Limoeiro que alimentam a RMF em parte pela transposição de águas com menos recursos para estudos, planejamento e obras.

Além disso, a tarifa flutuante pode ser associada a bandeiras tarifárias no intuito de comunicar o estado de seca da região hidrográfica aos usuários, conforme feito pelo setor hidroelétrico brasileiro, contribuindo para a conscientização da necessidade de economizar água.

Diante disto, recomenda-se um novo estudo de CPU, que possibilite a verificação dos valores de cada categoria especificamente para então aprimorar o modelo proposto. Ainda se recomenda que em trabalhos futuros sejam otimizados os sigmas,  $\delta$ , (percentual acrescido em cada estado de seca no valor da tarifa da classe de usuário devido a situação de escassez hídrica), pois as penalidades utilizadas no trabalho foram fixadas de acordo com as restrições do modelo, porém não foram otimizadas. Apesar do modelo utilizar um algoritmo de otimização só foi possível otimizar as frações da capacidade de pagamento ( $\theta$ ) devido à ausência de dados.

## 4 ALOCAÇÃO DE CUSTOS DAS ÁGUAS DO RIO SÃO FRANCISCO UTILIZANDO TEORIA DOS JOGOS E TARIFA FLUTUANTE

### 4.1 Introdução

A escassez de água e o estresse hídrico afetam principalmente as regiões semiáridas aumentando a competição entre os usos múltiplos da água e impactando o desenvolvimento regional (DINESH, 2017, EXPÓSITO *et al.*, 2020). Desta forma, a alocação de água entre usuários, bacias hidrográficas e estados é um desafio (ZHOU *et al.*, 2015, KAZEMI *et al.*, 2020).

Uma forma de minimizar a escassez hídrica é transpor água de um espaço para outro por meio de infraestruturas hídricas. Apesar da complexidade, a transposição de água é uma prática adotada por diversos países. Uma importante experiência internacional é a transposição do rio Colorado para o rio Big Thompson (C-BT) nos Estados Unidos, construída em 1938 e que conta com diversos reservatórios, túneis e aquedutos (KHRAN *et al.*, 2007).

Meran *et al.* (2021) relata que transposição de água por meio de infraestruturas é um instrumento de gestão aplicado em diversas regiões. Ela pode ocorrer dentro de uma mesma bacia ocorrendo entre usos ou entre regiões de jusante e montante (VAN HUYNH *et al.*, 2019), assim como pode ocorrer envolvendo duas ou mais bacias (KAZEMI *et al.*, 2020; LIU *et al.*, 2020) e ainda entre regiões, intra-regional ou inter-regional (BOZORG-HADDAD *et al.*, 2020).

Segundo Boelens *et al.*, (2014); Gómez-Limón *et al.*, (2020); Estácio *et al.*, (2022), essas obras são marcadas por conflitos relacionados com a definição dos limites hidrológicos e alocação de água e envolvendo aspectos econômicos, geofísicos, sociais, culturais e políticos, indo de encontro à prioridade de abastecimento.

No Brasil existem várias experiências de transposição de bacia, tais como: (i) a transposição de águas da bacia do Rio Piracicaba (constituído pelos barramentos nos rios Jaguari, Jacaré, Cachoeira e Atibainha) para o a bacia do Alto Tietê (reservatório Paiva Castro); (ii) a transposição do rio Paraíba do Sul para a bacia hidrográfica do Rio Guandu; (iii) e, a transposição do rio São Francisco para as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional denominada PISF.

A transposição do rio São Francisco foi dividida em dois eixos, o Norte e o Leste. O Eixo Norte com aproximadamente 400 km de extensão tem o objetivo de levar água para

os sertões de Pernambuco, Ceará, Paraíba e Rio Grande do Norte. O Eixo Leste, com aproximadamente 220 km de extensão, destina a água para o Agreste de Pernambuco e da Paraíba (NUNES, 2011).

A motivação para esta obra foi, principalmente, associada ao problema crônico de falta de água e secas prolongadas enfrentadas pelo Nordeste brasileiro (FERREIRA, 2017). Entretanto, as instituições de operação e gestão dessa infraestrutura hídrica possuem duas questões pendentes: Quanto cobrar pela água da transposição para os Estados? Quais usos devem pagar pela água transposta?

No Estado do Ceará, a Companhia de Gestão de Recursos Hídricos (COGERH) atua como operadora da infraestrutura hídrica estadual interligada ao PISF. A COGERH pagará à operadora federal do PISF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba (CODEVASF) – tarifa de água associada aos custos de administração, operação e manutenção (AO&M) pelo serviço de adução de águas para o território cearense. Com isso, as águas da transposição são armazenadas no açude Castanhão<sup>1</sup> e se misturam as águas locais para serem alocadas entre múltiplos usuários. O modelo de cobrança das águas locais é monomial (ver capítulo 2) e não possui uma tarifa vinculada ao uso das águas interestaduais. Além disso, neste modelo é suprido, apenas, os custos de AO&M, pois os custos de investimentos são considerados irre recuperáveis.

Na política de cobrança pelo uso das águas, a recuperação dos custos está no âmago de uma das questões mais sensíveis a ser considerada pelos formuladores de política. Tal questão consiste na improvável contemplação simultânea de objetivos pretendidos envolvendo a definição de tarifas para gestão de demanda, para encorajar o reuso e para recuperar custos, como sugerem Molinos-Senante, Hernández-Sancho e Sala-Garrido (2013).

Dessa forma, a definição de critérios de rateio de custos das águas interestaduais é necessária para proporcionar previsibilidade econômica aos usuários e a instituição de gestão.

Nesse sentido, o estudo busca construir uma proposta de rateio de custo das águas do rio São Francisco utilizando a Teoria dos Jogos. Esta teoria reflete a interação e estratégia entre jogadores, utilizando-se de um modelo matemático. A decisão de cada jogador tem influência sobre os demais e suas compensações (JEONG *et al.*, 2018).

---

<sup>1</sup> Maior reservatório do Estado do Ceará em termos de capacidade de armazenamento (6.700,00 hm<sup>3</sup>).

Os jogos podem ser cooperativos e não-cooperativos. Nos cooperativos parte-se do princípio que os jogadores colaboram em busca de um modelo justo entre os demais, porém buscando maximizar o seu benefício. Já nos não cooperativos analisa-se o comportamento dos jogadores que consideram seus interesses totalmente conflitantes com os demais, impossibilitando um acordo entre os jogadores (HEMATI; ABRISHAMCHI, 2021).

Zeng *et al.* (2019) apresenta diversos estudos que apontam que os jogos cooperativos são capazes de produzir benefícios maiores para as partes do que se elas agissem individualmente.

Um conceito de solução dos jogos cooperativos foi apresentado por Shapley (1953). Serrano (2013) define o Valor de Shapley como uma solução que prescreve um *payoff* único para cada jogador envolvido em uma solução de cooperação. Na literatura científica, o Valor de Shapley tem sido aplicado para resolver problemas relacionados a custos do setor elétrico (POUYAFAR, 2019), benefícios de restauração urbana (LI *et al.*, 2022), alocação de lucros entre empresas em *joint venture* (EISSA *et al.*, 2021), entre outros.

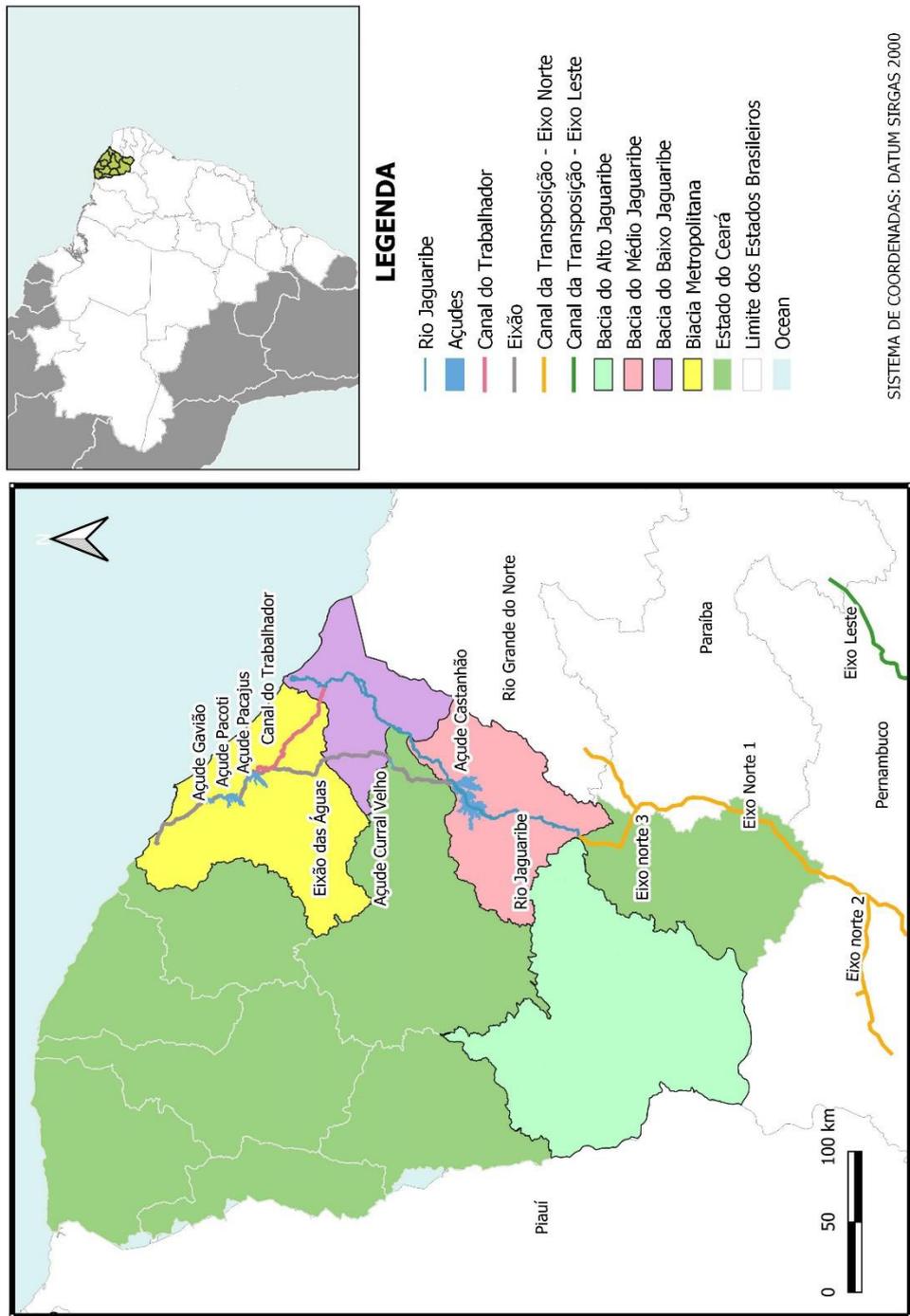
Na temática de recursos hídricos o Valor de Shapley foi aplicado por Jeong *et al.* (2018) para alocação de custo da construção de uma barragem na Coreia do Sul que beneficiaria seis regiões. Liu *et al.* (2021) utilizou a metodologia para alocar os benefícios num sistema de economia de água em Handan, na China.

Apesar dos trabalhos tratarem sobre o tema alocação de custo, a perspectiva de alocação de custos da água da transposição ainda se encontra inexplorada. Além disso, a metodologia é aplicada à tarifa flutuante que trata de uma inovação ao considerar o nível dos reservatórios como gatilho para a oscilação da tarifa. Dessa forma, as apropriações científicas da metodologia possibilitaria o aumento da resiliência do sistema hídrico e auxílio na tomada de decisões.

## 4.2 Área de Estudo

O estudo foi desenvolvido para o sistema de transposição de águas estaduais e interestaduais São Francisco-Jaguaribe-Metropolitano, localizado no Nordeste do Brasil, conforme Figura 27. Essa região é caracterizada por ter uma vazão anual bastante variável, elevadas taxas de evaporação e variabilidade temporal de precipitações (SILVA *et al.*, 2017).

Figura 27 - Localização do Sistema Jaguaribe-Metropolitano



Fonte: Elaboração própria.

O sistema Jaguaribe-Metropolitano (SJM) caracteriza-se pela integração das bacias do rio Jaguaribe com a Região Metropolitana de Fortaleza (RMF) por meio de dois canais: o Eixão das Águas e o Canal do trabalhador (SILVA *et al.*, 2015).

Ele possui oito reservatórios, sendo cinco deles situados na RMF (Gavião, Pacoti Riachão, Pacajus e Aracoiaba), que tem capacidade acumulada de 871hm<sup>3</sup>, e três na bacia do Jaguaribe (Orós, Castanhão e Banabuiú) com capacidade acumulada de 10.241hm<sup>3</sup>, sendo o Castanhão responsável por 65% desse valor (SILVA *et al.*, 2019).

A região hidrográfica do Jaguaribe possui uma demanda de 29,14 m<sup>3</sup>/s e a RMF 13,15m<sup>3</sup>/s, sendo 1,33m<sup>3</sup>/s pertencentes ao Complexo Industrial do Porto do Pecém, totalizando a demanda total do sistema Jaguaribe-Metropolitano de 42,26 m<sup>3</sup>/s (LÔBO NETO, 2020).

O Projeto de Integração do Rio São Francisco com as Bacias Hidrográficas do Nordeste Setentrional (PISF) é um empreendimento de infraestrutura hídrica com dois sistemas independentes, denominados Eixo Norte e Eixo Leste (Figura 1), que captarão água no rio São Francisco entre as barragens de Sobradinho e Itaparica, no Estado de Pernambuco para o abastecimento de municípios do Semiárido, do Agreste Pernambucano e da Região Metropolitana de Fortaleza (MI., 2004).

Segundo o Relatório de Impacto Ambiental do empreendimento (MI, 2004), o Eixo Leste conta com cerca de 220 km de extensão, iniciando sua captação em Itaparica e sua conclusão no Rio Paraíba (PB), com uma capacidade de 28 m<sup>3</sup>/s. Já o Eixo Norte possui uma capacidade de transporte de volume média de 45,2 m<sup>3</sup>/s e levará água para os rios Brígida (PE), Salgado (CE), do Peixe e Piranhas-Açu (PB e RN) e Apodi (RN), por meio de aproximadamente 402 km de canais artificiais, 4 estações de bombeamento, 22 aquedutos, 6 tuneis.

No Estado do Ceará, a água é recebida por meio da bacia do Rio Salgado que é afluente do Jaguaribe e, depois é conduzida para o reservatório do Castanhão formando o sistema São Francisco-Jaguaribe-Metropolitano (SOUZA FILHO *et al.*, 2021).

Conforme Resolução nº 67, de 15 de março de 2021, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), órgão regulador do PISF, as tarifas de disponibilidade e de consumo da transposição foram estabelecidas em R\$0,264/m<sup>3</sup> e R\$0,474/m<sup>3</sup>, respectivamente. Entretanto, foi realizado um acordo entre a CODEVASF e a COGERH isentando os custos das transferências hídricas abaixo de 160 hm<sup>3</sup> devido à ausência de um modelo de rateio (CONERH, 2022).

Em 2021, foram aportados 64,9 hm<sup>3</sup> de águas do PISF ao Estado do Ceará, sendo 54,9 hm<sup>3</sup> transferidos para a RMF por meio do Eixão das Águas, e os 10hm<sup>3</sup> restantes foram mantidos no Açude Castanhão. Para 2022 solicitou-se à União uma transferência mínima do PISF de 95,1 hm<sup>3</sup>. Estes valores estão dentro dos 160 hm<sup>3</sup> isentos de tarifação, porém a vazão de transferência prevista no PISF é de 7,57 m<sup>3</sup>/s necessitando de uma tarifação e consequentemente um rateio entre as bacias e usuários que utilizarão suas águas.

Em 17 de março de 2023 a ANA publicou no Diário Oficial da União a Resolução 148/2023 que aprova as tarifas para prestação de serviços de adução de água do PISF para 2023 e define a tarifa de disponibilidade em R\$0,322/ m<sup>3</sup> e tarifa de consumo em R\$ 0,204/ m<sup>3</sup>.

### 4.3 Metodologia

O estudo pretende desenvolver uma metodologia para alocação de custos da transposição do Rio São Francisco utilizando o valor de Shapley.

Shapley (1988) considerou a distribuição da compensação de acordo com a quantidade de benefício adicional de cada jogador na coalizão. Assim, o aumento da compensação com a ocorrência das coalisões, é chamada de custo marginal e o valor de Shapley é a soma das contribuições marginais de cada jogador (Equação 13).

$$y_i = \sum_{s=1}^n \frac{(s-1)!(n-s)!}{n!} \sum_{S:i \in S} [V(S) - V(S - i)] \quad (13)$$

Onde:

$y_i$  é o valor de Shapley do jogador  $i$ ;

$n$  é o total de jogadores;

$s$  é o número de jogadores que participam na coalizão  $S$ ; e

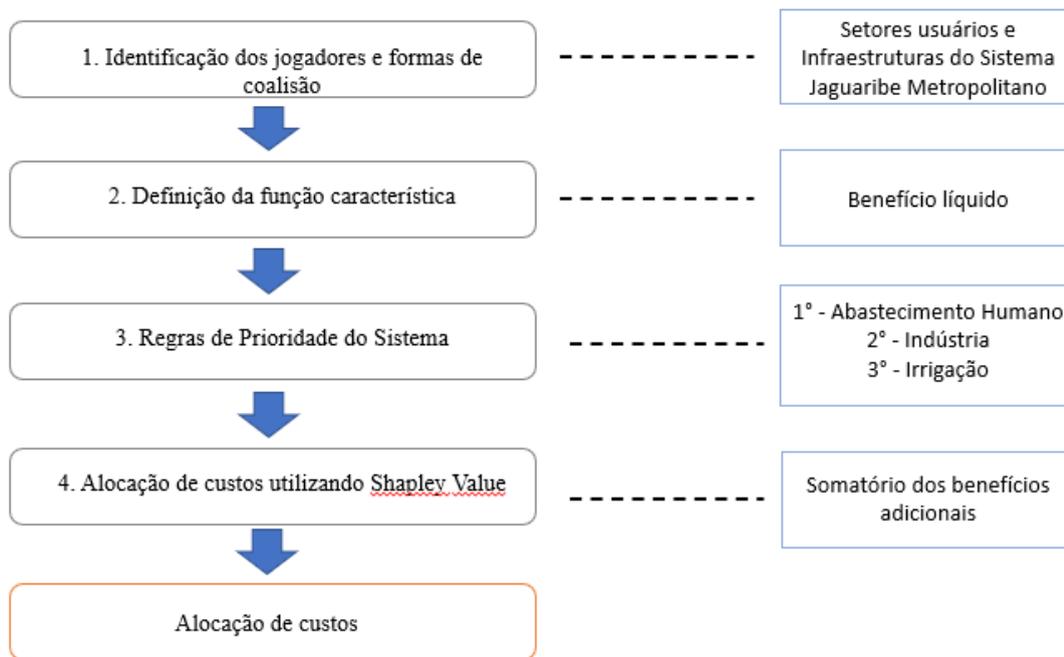
$S$  é a coalizão que contém  $s$  jogadores incluindo o jogador  $i$ .

Após cada valor individual das contribuições marginais procede-se para o valor relativo de Shapley  $y_i'$  que representa a fração da compensação do jogador  $i$  em relação a compensação da coalizão  $S$ , conforme Equação 14.

$$y_i' = \frac{y_i}{V(N)} \quad (14)$$

Dessa forma, conforme a Figura 28, a metodologia compõe-se de quatro etapas: (1) identificação dos jogadores e formas de coalizão; (2) definição da função característica; (3) regras de prioridade do sistema e (4) alocação de custos utilizando o Valor de Shapley.

Figura 28 – Metodologia



Fonte: Elaboração própria.

#### 4.3.1 Coalizões

A cooperação entre os jogadores ou a formação de coalizões é um caminho para se alcançar resultados mais eficientes em negociações. Neste estudo, os jogadores são representados pelas categorias de usuários da água das infraestruturas do SJM, que concorrem pelo consumo da água transposta em busca de aumentar seus benefícios e garantir a segurança hídrica. A Tabela 13 apresenta os jogadores e seus respectivos números na formação da coalizão.

Tabela 13 – Jogadores

Número do jogador	Infraestruturas	Sigla
1	Abastecimento público na Região Metropolitana de Fortaleza	AP RMF
2	Indústria na Região Metropolitana de Fortaleza	IND RMF
3	Abastecimento público no Jaguaribe	AP JAG
4	Indústria no Jaguaribe	IND JAG
5	Irrigação no Castanhão	IRR CASTANHÃO
6	Irrigação no Banabuiú	IRR BANABUIU
7	Irrigação Eixão	IRR EIXÃO
8	Irrigação Canal do Trabalhador	IRR CT

Fonte: Elaboração própria.

Cada coalizão busca a recompensa dos jogadores pelo uso da água. Na coalizão {1-5-6-7} apenas quatro jogadores receberão água transferida do rio São Francisco, sendo responsáveis pelos benefícios gerados e as contribuições marginais (Tabela 14). A justificativa para a existência de coalizões, segundo Aliprantis e Chakrabarti (2000), está no fato de que as alternativas propostas e implementadas por seus membros podem garantir a eles *payoffs* maiores do que receberiam caso não se associassem a nenhum outro jogador. Na prática, os jogadores podem conversar entre si para buscar acordos, assim, as coalizões propostas na Tabela 14 não pretendem findar todas as negociações, mas subsidiar a aplicação da metodologia.

Tabela 14 – Membros e formas das Coalizões

Número de membros da coalizão	Formas de Coalizão
A água flui por todo o sistema	{1-2-3-4-5-6-7-8}
Água para cada setor individualmente	{1}, {2}, {3}, {4}, {5}, {6}, {7} e {8}
Dois jogadores	{1,5}, {1,2}
Três jogadores	{1-3-5}, {1,5,6}, {1,5,7}, {1,5,8}
Quatro jogadores	{1-2-3-5}, {1-5-6-7} e {1-2-5-6}

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.3.2 Definição da Função Característica

A função característica (Equação 15) busca contabilizar os benefícios de cada grupo de jogador obtidos com a água de transposição do São Francisco (SF). Neste estudo foi considerado o valor econômico gerado pelos setores e o custo da água.

$$B_{liq} = V_e \times D - C_{unit} \times V_t \quad (15)$$

Onde:

$B_{liq}$  é o Benefício líquido (R\$/m<sup>3</sup>);

$V_e$  é o valor econômico da água;

$C_{unit}$  é o custo unitário da água;

$D$  é a demanda hídrica da categoria de usuário; e

$V_t$  é o volume de água transposta

Esta equação busca contabilizar o benefício que poderá ser gerado pela água de acordo com a demanda de cada infraestrutura menos o custo do volume transposto. Os itens a seguir explicam de forma detalhada cada item da equação.

#### 4.3.2.1 Valor econômico da água

O valor econômico da água foi obtido de Soares *et al.* (2021). Neste estudo foi avaliado o consumo direto e indireto da água entre 32 setores econômicos. Desta forma, utilizou-se os seguintes de valores por metro cúbico de água consumida:

- Indústria –R\$2.986,32/m<sup>3</sup> de água (código 0315 - Other industrial activities);
- Abastecimento público –R\$2.130,97/m<sup>3</sup> de água (código 0401 Electricity and gas, water, sewage, waste management, and decontamination activities);
- Irrigação –R\$17,09/m<sup>3</sup> de água (código 0101 Agricultural).

#### 4.3.2.2 Custo unitário da água

O custo unitário da água corresponde a tarifa flutuante proposta no capítulo 2 (Tabela 15).

O custo unitário foi obtido por meio da tarifa proposta aplicada aos estados de seca de cada gerência na qual estão localizadas as infraestruturas. Após obtenção destes valores de tarifa flutuante multiplicou-os pelo volume anual médio fornecido por cada infraestrutura. O volume anual médio teve seus valores previamente informados pela COGERH.

Tabela 15 – Custo Unitário

<b>Categoria</b>	<b>Infraestrututra</b>	<b><math>C_{unit}</math> (R\$/m<sup>3</sup>)</b>
Abastecimento público	Banabuiú	0,0943
	Canal do trabalhador	0,0983
	Castanhão	0,0983
	Eixão	0,0983
	Reservatórios do Sistema Metropolitano	0,0456
Indústria	Eixão	1,6054
	Reservatórios do Sistema Metropolitano	1,6364
Irrigação	Banabuiú	0,0012
	Canal do trabalhador	0,0012
	Castanhão	0,0013
	Eixão	0,0012
	Reservatórios do Sistema Metropolitano	0,0039

Fonte: Elaboração própria.

#### 4.3.2.3 Demandas hídricas

Segundo Lôbo Neto (2020), o sistema Jaguaribe-Metropolitano demanda aproximadamente 42,29 m<sup>3</sup>/s de água, utilizado principalmente para o abastecimento público, dessedentação animal, irrigação e indústria.

Da vazão total demandada 29,14 m<sup>3</sup>/s é destinada ao sistema Jaguaribe, onde 77,66% deste é destinado a áreas de plantio da região. O abastecimento público e dessedentação animal são os mais consumidos, utilizando aproximadamente 4,5% do total.

A Região Metropolitana demanda uma vazão de 13,15 m<sup>3</sup>/s do sistema, onde 82,59% desta é destinada ao abastecimento público e 14,75% para a indústria. A Tabela 16 expõe as demandas por infraestrutura de abastecimento.

No PISF está previsto uma vazão de 7,57 m<sup>3</sup>/s para o Estado do Ceará. Hidrologicamente, espera-se a ocorrência de perdas ao longo do trecho de transposição. Essas perdas podem acontecer (i) por infiltração nos leitos de rios intermitentes e/ou (ii) devido a evaporação dos pequenos reservatórios localizados no trecho. Segundo Brito (2019) as perdas por evaporação e infiltração nas calhas dos rios da transposição do Eixo Norte estão em torno de 20%. E as maiores perdas hídricas são por evaporação, situando-se entre 18 milhões de m<sup>3</sup> de água em um período de 5 anos (2012-2017).

Tabela 16 - Demandas do sistema Jaguaribe- Metropolitano

Região	Infraestrutura de Abastecimento	Tipo de Uso				
		Abastecimento público	Irrigação	Indústria	Total	
Jaguaribe	Orós	0,22	2,81	0	3,03	23,89
	Castanhão	0,58	11,9	0	12,48	
	Banabuiú	0,07	6,32	0	6,39	
	Eixão das águas	0,26	0,7	0,01	0,97	
	Canal do Trabalhador	0,12	0,9	0	1,02	
Metropolitano	Pacajus	0,4	0	0,19	0,59	13,15
	Aracoiaba	0,18	0,35	0	0,53	
	Pacoti/Riachão	0,28	0	0,12	0,4	
	Gavião	10	0	1,63	11,63	
<b>Total (m<sup>3</sup>/s)</b>		<b>12,11</b>	<b>22,98</b>	<b>1,95</b>	<b>37,04</b>	

Fonte: Lôbo Neto, 2020

Entretanto, na análise de custos, esse volume de perda não pode ser desconsiderado, pois ele é inerente ao processo de produção, ou seja, a água perdida também deve ser contabilizada no custo já que se paga por este montante. Assim, neste estudo foi considerado a vazão média de 7,57 m<sup>3</sup>/s.

Barroso Junior (2022) avaliou o impacto da transposição do rio São Francisco no sistema Jaguaribe-Metropolitano, no qual realizou uma a operação e simulação do sistema em rede de fluxo no cenário atual utilizando-se do *software* o ACQUANET desenvolvido pelo Laboratório de Sistema de Apoio a Decisão da Escola Politécnica da USP (LABSID). O autor observou que a região do Jaguaribe está mais suscetível à falta de água, na qual o déficit apresenta variação de 0,1 a 23 m<sup>3</sup>/s, enquanto a região Metropolitana possui um déficit de 0,1 a 0,4 m<sup>3</sup>/s.

Trabalhando-se com a média desses déficits encontra-se 11,8 m<sup>3</sup>/s que corresponde a 28,10% da demanda do sistema Jaguaribe-Metropolitano. Portanto, para aplicar o método, estabeleceu-se que 70% da demanda hídrica do sistema, ou seja, dos jogadores, é atendida por águas locais e 30% será atendido ou não com a água da transposição. Esses percentuais podem ser modificados no intuito de avaliar diferentes cenários de atendimento. A viabilidade de ser atendido ou não será verificada nas coalisões/cenários.

No cenário zero (cenário de referência) não há transposição, ou seja, avaliou-se o benefício de 70% da demanda atendida por águas locais. Esse benefício é uma parcela fixa, portando sempre contabilizados no benefício líquido. Deste modo, busca-se suprir 100%

da demanda com a transposição do rio São Francisco, de acordo com a Equação 16 (equação proposta no estudo).

$$B_{liq} = B_{liq,sq} + B_{liq,jc} \quad (16)$$

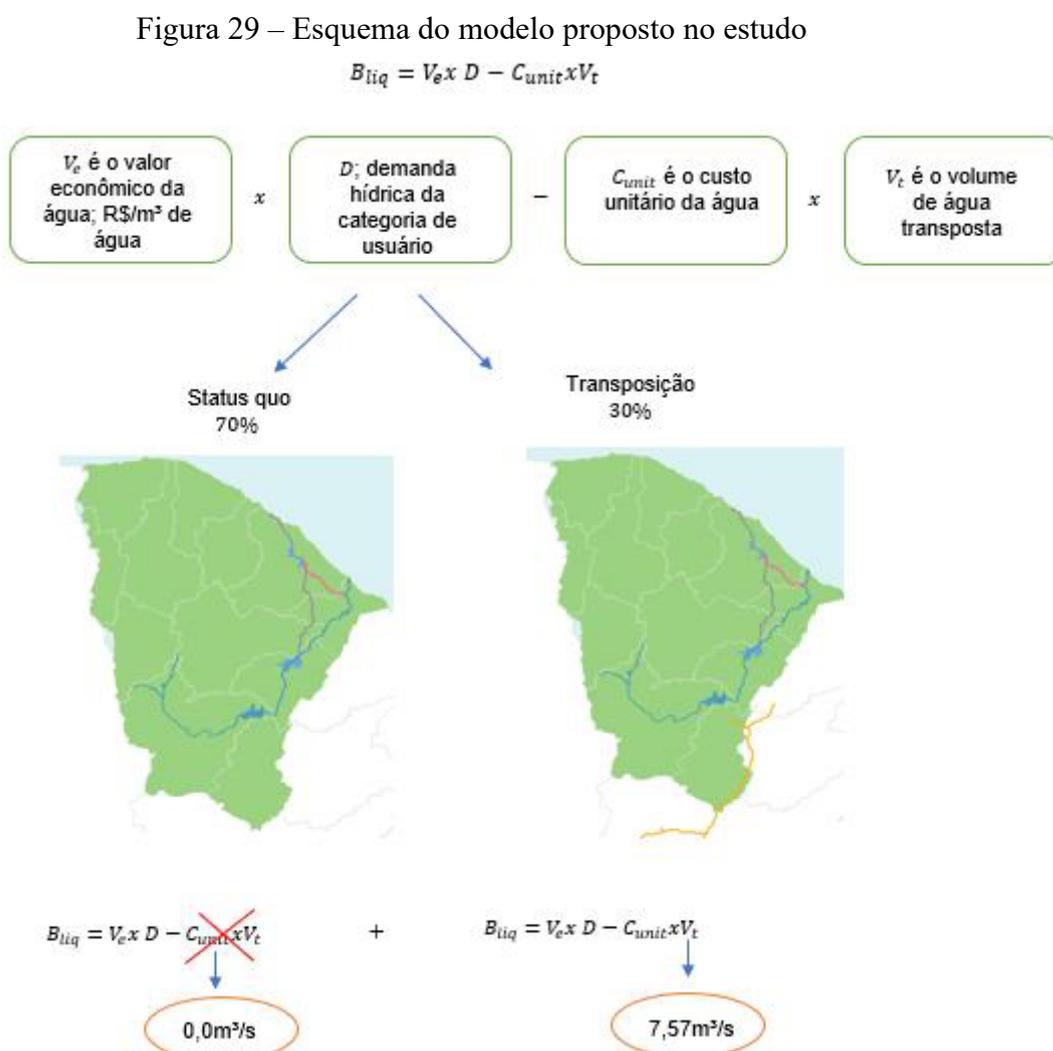
Onde:

$B_{liq}$  é benefício líquido de atendimento da demanda;

$B_{liq,sq}$  é o benefício líquido no cenário *status quo*; e

$B_{liq,jc}$  é o benefício líquido dos jogadores e em cada coalizão fora do cenário *status quo*.

A Figura 29 representa um esquema do modelo proposto.



Fonte: Elaboração própria.

O benefício líquido no cenário *status quo* é o benefício gerado pelas águas locais, aqui definidos por 70% da demanda, ou seja, sem transposição. Enquanto o benefício líquido dos jogadores é o que pode ser adicionado ao benefício do *status quo* devido às águas de transposição, representadas por 30% da demanda. Estes dois benefícios geram o total líquido de atendimento da demanda.

A água de transposição necessita ser rateada entre as infraestruturas e, por isso, será aplicada a teoria dos jogos para analisar aspectos operacionais e financeiros.

#### 4.3.3 Regras de Prioridade do Sistema

Para definir qual categoria deve receber água prioritariamente teve-se como base a Lei nº 9.433/1997 (Brasil, 1997) que no seu art. 1º, inciso III relata “em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo urbano e a dessedentação de animais;”. Deste modo, priorizou-se o abastecimento público em todas as coalizões.

#### 4.4 Resultados e Discussões

Os resultados para o cenário de referência, estão apresentados na Tabela 17. Em todos os cenários, foi considerado a vazão média transferida de 7,57m<sup>3</sup>/s, resultando em 235.457.280 m<sup>3</sup> por ano. Este valor está vinculado ao benefício máximo que cada jogador pode obter na negociação.

Este benefício máximo estará sempre presente nas coalizões, pois representa o abastecimento de 70% da demanda total. Assim, observou-se que a infraestrutura do Gavião, mais especificamente, o abastecimento público possui um maior benefício líquido, já que sua demanda é a maior dentre as demais. Além disso, verificou-se que os maiores benefícios líquidos estão nesta ordem: abastecimento público, indústria e irrigação; e que a Metropolitana supera em R\$47.860.770.101,76 o Jaguaribe.

A Tabela 18 apresenta os benefícios do jogador 1 – AP RMF. Para obtê-los, as águas do São Francisco foram alocadas entre as infraestruturas hídricas da Metropolitana que fornecem água para o abastecimento público da RMF proporcionalmente a sua demanda, por exemplo, o Gavião possui uma demanda de 3m<sup>3</sup>/s, correspondendo a 92% de toda a demanda do abastecimento público da Metropolitana, portanto 92% a água transposta foi alocada para ele. O mesmo princípio foi seguido para os demais jogadores

que possuem mais de uma infraestrutura para fornecimento de água. As tabelas com os benefícios máximos de cada jogador foram apresentadas no apêndice A.

Após o cálculo dos benefícios individuais procedeu-se para o cálculo dos benefícios com outros jogadores.

A coalizão {1-5} simula água transferida apenas para o abastecimento público e irrigação do Castanhão. Seguindo as prioridades, alocou-se a demanda necessária de 3,258 m<sup>3</sup>/s para o abastecimento público e o restante, 4,312 m<sup>3</sup>/s, para a irrigação do Castanhão. Por se tratar de uma coalizão com poucos jogadores ainda “sobraria” 0,742 m<sup>3</sup>/s pois a irrigação neste local necessita apenas de 3,570m<sup>3</sup>/s. Porém foi escolhido alocar para a indústria por possuir um maior valor econômico da água, aumentando, assim, o seu benefício (Tabela 19).

Tabela 17 – Tabela modelo com *status quo* seguindo o modelo da equação 15:  $B_{liq} = 1 \times 2 - 3 \times 4$ , onde 1 é o valor econômico, 2 é a demanda, 3 é o custo unitário e 4 o volume transportado

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq= 1 x 2 - 3 x 4	Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema (m/s)	Abastecimento Público (m³/s)	Irrigação (m³/s)	Indústria (m³/s)	Abastecimento Público		
Jaguaribe	Castanhão	0,406	8,330	0,000				0,0013	0,0983		0	0	0	2,2425	0,3690	0,0000	4,6512
	Banabuiú	0,049	4,424	0,000				0,0012	0,0943		0	0	0	0,2707	0,1960	0,0000	
	Eixo das águas	0,182	0,490	0,007	2130,97	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054	0	0	0	1,0053	0,0217	0,0542	
	Canal do Trabalhador	0,084	0,630	0,000				0,0012	0,0983		0	0	0	0,4640	0,0279	0,0000	
Metropolitano	Pacajus	0,280	0,000	0,000							0	0	0	1,5466	0,0000	1,0295	52,5119
	Araçoiaba	0,126	0,245	0,245				0,0039	0,0456	1,6364	0	0	0	0,6960	0,0109	0,0000	
	Pacoti/Riachão	0,196	0,000	0,000	2130,97	17,09	2986,32				0	0	0	1,0826	0,0000	0,6502	
	Gavião	7,000	0,000	0,000							0	0	0	38,6643	0,0000	8,8320	
<b>Total (m³/s)</b>		<b>8,323</b>	<b>14,119</b>	<b>0,252</b>							<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>45,9719</b>	<b>0,6254</b>	<b>10,5658</b>	<b>57,1631</b>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 18 – Benefícios da coalizão {1} AP RMF

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq= 1 x 2 - 3 x 4	Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema (m/s)	Abastecimento Público (m³/s)	Irrigação (m³/s)	Indústria (m³/s)	Abastecimento Público		
Jaguaribe	Castanhão	0,174	3,570	0,000				0,0013	0,0983								0,0000
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0012	0,0943								
	Eixo das águas	0,078	0,210	0,003	2130,97	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054							
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983								
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057								0,279		0,6628			56,6592
	Araçoiaba	0,054	0,105	0,000							7,570			0,2983			
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	2130,97	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364				0,4639			
	Gavião	3,000	0,000	0,489								7,570			55,2339		
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>			<b>56,6589</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>56,6592</b>

Fonte: Elaboração própria.

Tabela 19 – Benefícios da coalizão {1-5} AP RMF – IRR CASTANHÃO

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (R\$/m³)			3 - Custo unitário da água (R\$/m³)				4 - Água transposta (m³/s)				Função Objetivo (RS) Blig= x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria			
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000				0,0013	0,0983			4,312			0,5271			0,5271		
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0012	0,0943											
	Eixo das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32		0,0012	0,0983	1,6054										
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983		7,570									
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057								0,120						56,6594		
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000				0,0039	0,0456	1,6364		0,054								
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	17,09	2986,32		0,0039	0,0456			0,084								
	Gavião	3,000	0,000	0,489								3,000								
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>3,258</b>	<b>4,312</b>	<b>0</b>	<b>0,5271</b>	<b>0</b>	<b>57,1865</b>			

Fonte: Elaboração própria.

Na coalizão seguinte {1-5} foi seguido o mesmo raciocínio alocando o necessário para atender o abastecimento público da RMF e o restante para a irrigação do Castanhão. Neste caso, houve uma “sobra” de 0,742 m<sup>3</sup>/s para este usuário, pois ele necessita de 3,57m/s.

Com exceção da coalizão {1-5}, as coalizões seguintes que envolvem o AP RMF e a irrigação no Jaguaribe (IRR Castanhão + IRR Banabuiú, IRR Eixão ou IRR CT), sempre houve débito para os jogadores do Jaguaribe.

Na coalizão {1-2-5-6} priorizou-se o Abastecimento público seguido da Indústria da RMF, que não apresentaram déficits hídricos, porém a Irrigação do Castanhão e o Banabuiú apresentaram déficits de 1,134 m<sup>3</sup>/s e 0,602 m<sup>3</sup>/s respectivamente.

A Tabela 20 expõe os resultados da função característica e contribuição marginal para todas as coalizões. Para calcular a contribuição marginal subtraiu-se o benefício total da coalizão pelas contribuições individuais de cada jogador, conforme Equação 17.

$$C \{1 - 2\} = V \{1 - 2\} - C \{1\} - C \{2\} \quad (17)$$

Onde C é a contribuição marginal e V é a função característica.

Tabela 20 - Benefícios, Contribuição marginal e Valor de Shapley

Coalizão	Jogador									
	Função Característica (R\$)	Contribuição Marginal (R\$)	1 - AP RMF	2 - IND RMF	3 - AP JAG	4 - IND JAG	5 - IRR CASTANHÃO	6 - IRR BANABUIU	7 - IRR EIXÃO	8 - IRR CT
{1}	98.648.355,221,09	98.648.355,221,09	98.648.355,221,09							
{2}	25.496.197,928,70	25.496.197,928,70		25.496.197,928,70						
{3}	6.692.527,010,54	6.692.527,010,54	6.692.527,010,54							
{4}	100.089,086,62	100.089,086,62		100.089,086,62						
{5}	896.108.736,12	896.108.736,12		896.108.736,12						
{6}	475.906.444,76	475.906.444,76		475.906.444,76						
{7}	52.689.379,41	52.689.379,41						52.689.379,41		
{8}	67.750.459,40	67.750.459,40							67.750.459,40	
{1-2}	124.158.881,417,63	14.328,267,85	7.164.133,92	7.164.133,92						
{1-5}	99.544,984,458,61	520,501,40	260.250,70	260.250,70						
{1-3-5}	106.239,721,487,56	2.730,519,81	910.173,27	910.173,27						
{1-5-6}	100.020,914,772,15	544,370,18	181.456,73	181.456,73				181.456,73		
{1-5-7}	99.597,698,247,85	544,912,23	181.637,41	181.637,41				181.637,41		
{1-5-8}	99.612,759,331,43	544,914,82	181.638,27	181.638,27				181.638,27		181.638,27
{1-5-6-7}	100.073,628,540,88	568,759,50	142.189,88	142.189,88				142.189,88		
{1-2-3-5}	131.765,275,356,07	32.086,459,63	8.021,614,91	8.021,614,91						
{1-2-5-6}	125.546,753,815,01	30.185,484,35	7.546,371,09	7.546,371,09				7.546,371,09		
{1-2-3-4-5-6-7-8}	132.493,201,117,21	63.576,850,57	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32	7.947,106,32
<b>Total da contribuição marginal de cada jogador</b>			<b>98.680.891.793,58</b>	<b>25.526.877.154,93</b>	<b>6.709.405.905,03</b>	<b>108.036.192,95</b>	<b>921.481.174,69</b>	<b>491.723.568,77</b>	<b>60.960.313,02</b>	<b>75.879.203,99</b>
<b>Shapley Value</b>			<b>0,7443</b>	<b>0,1923</b>	<b>0,0506</b>	<b>0,0008</b>	<b>0,0070</b>	<b>0,0037</b>	<b>0,0005</b>	<b>0,0005</b>

Fonte: Elaboração própria.

Para obter o Shapley Value, ao final de todas as coalisões, somou-se as contribuições marginais individuais e dividiu-se pelo valor total da contribuição de todos os jogadores. Deste modo, as porcentagens de cada jogador representam o rateio do custo da água do SF entre as estruturas e categorias do Estado do Ceará.

Realizando uma simulação com a tarifa sugerida pela ANA na Resolução nº 148, de 17 de março de 2023, R\$0,322/m<sup>3</sup> para disponibilidade e R\$0,204/m<sup>3</sup> para consumo, na metodologia utilizada, cada categoria/estrutura deverá pagar os valores listados na

Tabela 21.

Tabela 21 – Simulação mensal do custo por categoria/infraestrutura

Jogador	Shapley Value (R\$)	Valor total mensal (R\$)
1 AP RMF	0,7443	93.939.340,29
2 IND RMF	0,1923	24.300.327,61
3 AP JAG	0,0506	6.387.023,39
4 IND JAG	0,0008	102.845,13
5 IRR CASTANHÃO	0,0070	877.204,61
6 IRR BANABUIU	0,0037	468.096,58
7 IRR EIXÃO	0,0005	58.031,21
8 IRR CT	0,0005	72.233,26

Fonte: Elaboração própria.

O valor total equivale a R\$ 126.205.102,08 anuais pagos a CODEVASF relativo à transposição de águas apenas do Estado do Ceará. Entretanto na Resolução 148/2023 a Operadora Federal espera uma receita líquida de R\$ 92.982.500,37. Esta diferença resulta dos volumes transpostos considerados para o cálculo, pois neste trabalho considerou-se 7,57 m<sup>3</sup>/s mensais enquanto na Resolução estima-se uma média de 5,58 m<sup>3</sup>/s mensais.

Observou-se que o AP RMF é responsável pela maior taxa de alocação de custos, pois ela está presente em todas as coalisões, já que é prioridade de abastecimento, aumentando assim o seu benefício. Além disso, ele possui um benefício superior aos outros jogadores, sendo 6 vezes maior que a média dos benefícios.

O benefício do AP RMF no cenário *status quo* é de R\$41.989.451.172,48 enquanto na coalizão {1-2}, no qual toda a sua demanda é suprida, esse benefício aumenta para R\$98.655.519.355,01. Já o IRR CT que apresenta menor Valor de Shapley, apresentou um benefício inicial no cenário *status quo* de R\$27.907.286,40 subindo para R\$67.932.091,67 no

caso da coalizão {1-5-8}. A disparidade de benefícios é bastante visível nos casos, o que impacta na taxa de alocação proposta.

A irrigação de um modo geral apresenta taxas de alocação menores, seguindo o princípio da cobrança de água bruta no qual a irrigação apresenta preços inferiores aos demais usos da água.

O resultado da proposta metodológica de alocação está de acordo com o relatório da Confederação Nacional da Indústria (2022) no qual o saneamento é o setor que mais contribui para a cobrança de água bruta no país, responsável por 69,5%, seguido da indústria, 29,13%.

Essa mesma situação, repete-se ao Estado do Ceará, no qual o abastecimento público em 2017 foi responsável por 67,75%, seguida da indústria, 31,39% e do setor agropecuário, 0,86% (CNI, 2022). Reforçando os resultados da metodologia aplicada no estudo.

Leite (2022) relata que o Valor de Shapley deve basear-se em quatro axiomas, são eles: Eficiência, Simetria, Aditividade e Jogador *Dummy*. O princípio da eficiência é atingido pois verifica-se que a soma das alocações de *payoffs* de todos os jogadores deve ser superior ao valor total do jogo. Deste modo, utilizando-se a coalizão {1-3-5} como exemplo, tem-se que o benefício conjunto, R\$106.239.721.487,56, esgota a alocação R\$106.239.990.967,75 em R\$2.370.519,81. Isto acontece em todas as coalizões, conforme apresenta a Tabela 20.

Ao cumprir-se o axioma da eficiência afirma-se a necessidade do trabalho em conjunto entre os jogadores, mostrando que existem incentivos para a cooperação. Isto pode ser observado em Ahmadi *et al.* (2019) que estudou a transferência de água entre bacias no Iran e relata que na abordagem cooperativa os jogadores aumentaram seus lucros nas coalizões mais do que se trabalhassem individualmente.

Verificou-se também que a simetria é observada quando a ordem dos jogadores não interfere no valor final do *payoff*, pois a função característica respeita um sistema de prioridades. Além disso, a aditividade, ou seja, a soma de dois jogos deve ser igual à soma do que é recebido separadamente em cada um deles, também é satisfeita.

Neste estudo, não foi observado a presença de um jogador *dummy*, pois todos os jogadores contribuem com algum valor para a coalizão. Caso contrário, ele receberia apenas o seu valor individual.

A formação de coalisões e cumprimento de acordos, na prática da gestão, direciona para a necessidade da aplicação de um modelo de gestão de conflitos. Frota *et al.* (2021) revela que conflito é a variável mais importante do sistema sócio-hidrológico da Bacia do Jaguaribe, respaldada no âmbito social, biológico, e literatura antropológica que considera o conflito como

uma força reguladora social funcional. Além disso, De Carvalho Studart *et al.* (2021) relata que a resolução de conflitos de forma judicial está cada vez mais fracassada abrindo espaço para resoluções administrativas.

Uma das opções de minimizar conflitos pertinentes alocação de benefícios do uso da água é a utilização contratos de opção e fundo financeiro conforme demonstrado por Sousa *et al.* (2015).

Um outro mecanismo é promover a formação dessas coalisões por meio de um processo participativo. A participação dos usuários na gestão e planejamento dos recursos hídricos está respaldada na Política Estadual de Recursos Hídricos, Lei nº14.844/2010 (CEARÁ, 2010), que a inclui como uma das premissas fundamentais no gerenciamento das águas juntamente com a descentralização e a integração.

Entretanto, mesmo tendo um modelo de gestão que prevê a participação dos usuários nas decisões, as relações de poder desiguais entre os usuários dificultam o atendimento da população economicamente mais vulnerável (PEREIRA; CUELLAR, 2015). Deste modo, espera-se que as duas soluções (mecanismos financeiros e alocação de água participativa) mescladas ao rateio de custos melhorem desempenho do sistema e a minimização dos conflitos.

#### **4.5 Conclusão**

O estudo propôs uma metodologia para a alocação de custos da água da transposição do PISF envolvendo múltiplos participantes representados pelas categorias/estruturas hídricas, baseada na teoria dos jogos.

O abastecimento público da RMF apresentou a maior taxa de alocação de custos, por ser prioridade e por apresentar o maior benefício. Em seguida, tem-se a indústria da RMF que possui um alto valor econômico da água aumentando também o benefício.

O princípio da eficiência ao ser atendido expôs aos jogadores que a cooperação entre eles é vantajosa e que a “quebra de contrato das colizões” não traria benefícios.

Deste modo, espera-se que este estudo auxilie os tomadores de decisão na alocação e no preço a ser cobrado pela água na tentativa de garantir a segurança hídrica do Nordeste.

Recomenda-se testar mais coalisões assim como outros sistemas de prioridades, como irrigação após o abastecimento público. Outra recomendação é buscar valores econômicos da água referente a Irrigação, que se apresentou muito discrepante no estudo.

A metodologia apresenta desafios quanto às negociações entre jogadores, necessitando da cooperação deles para cumprir os acordos, o que não é uma tarefa fácil em vista da quantidade de agentes envolvidos. Além disso, enfrenta dificuldades quanto a estabilidade das coalizões com possíveis entradas e saídas de jogadores, perturbando o acordo entre eles.

Porém espera-se que ações como as reuniões de alocação e a adoção do fundo financeiro amenizem esses conflitos conforme comprovado em outros estudos (AHNMADI *et al.*, 2019) que uma cooperação bilateral proporciona maiores benefícios para as partes. Assim, negociação e participação parecem ser os caminhos mais naturais para melhorar a governança hídrica em relação à alocação de água.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste estudo desenvolveu-se uma metodologia de tarifa flutuante para a cobrança de água bruta e um modelo de rateio das águas da transposição do São Francisco em busca de aumentar a segurança hídrica do Estado do Ceará.

Apresentou-se a evolução da cobrança de água bruta no Estado do Ceará assim como os custos de AO&M das Gerências, a fim de contextualizar o problema e analisar a situação atual. Demonstrou-se que o agravamento da seca tem correlação negativa com o crescimento dos custos, ou seja, enquanto a seca se intensifica por meio da diminuição do Índice de Estado (IE) os custos aumentam.

Além disso, observou-se que a arrecadação anual não consegue cobrir a totalidade dos custos de AO&M e nem é suficiente para financiar as medidas, programas e projetos para melhoria das respectivas bacias. Justificando a necessidade de uma remodelação da tarifa que tivesse relação a escassez hídrica e que incorporasse os efeitos da variabilidade do clima.

Deste modo, apresentou-se uma tarifa flutuante atrelada aos níveis de água armazenados nos reservatórios definidos pela Resolução nº3/2020 do CONERH e tendo como base a Capacidade Unitária de Pagamentos das categorias de usuários. Nesta etapa o estudo restringiu-se ao Sistema Jaguaribe-Metropolitano.

Aplicou-se uma análise de sensibilidade com 100 séries de 100 anos para avaliar a robustez do modelo e verificou-se que a arrecadação simulada da Gerência Metropolitana, apresenta valores inferiores aos valores arrecadados no mesmo período, o que se deu devido à restrição da CPU. Entretanto, os Custos de Operação e Manutenção foram cobertos pela arrecadação simulada, financiando esta gerência e possibilitando um possível fundo financeiro para compensação em situações de escassez hídrica extrema.

Quanto às Gerências de Iguatu e Limoeiro, elas apresentaram arrecadações simuladas superiores às arrecadações realizadas neste mesmo período. Ademais, os Custos de Operação e Manutenção das Gerências de Iguatu e Limoeiro são superiores à arrecadação realizada no período de estudo (2016 a 2019), o que reforça a necessidade da reformulação do modelo tarifário.

Em seguida utilizou-se a tarifa flutuante para elaborar um modelo de rateio das águas do São Francisco que iniciaram o abastecimento do Estado do Ceará. Utilizou-se a teoria dos jogos cooperativos e o Valor de Shapley para oito jogadores representados pelos usos da água nas principais infraestruturas da RMF e Jaguaribe.

O modelo revelou que os benefícios, quando ocorre cooperação entre os jogadores, são maiores do que se eles estivessem fora da coalizão.

A metodologia proposta pretende auxiliar a tomada de decisão, o planejamento e gestão dos recursos hídricos e aprimorar a arrecadação da água bruta, principalmente em situação de escassez, sendo possível financiar programas e estudos presentes no Plano Nacional e Estadual de Recursos Hídricos.

Desde modo, dentre os três critérios de análise de alocação de água, a citar: eficiência econômica, justiça e equidade, o estudo se propôs a analisar apenas o primeiro deles, não avaliando os outros dois. Recomenda-se que nos próximos estudos essa avaliação seja contemplada.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDIN, I. F.; FANG, Y.-P.; ZIO, Enrico. A modeling and optimization framework for power systems design with operational flexibility and resilience against extreme heat waves and drought events. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 112, p. 706-719, 2019.
- AHMADI, Azadeh; ZOLFAGHARIPOOR, Mohammad Amin; AFZALI, Ali Akbar. Stability analysis of stakeholders' cooperation in inter-basin water transfer projects: A case study. **Water Resources Management**, v. 33, p. 1-18, 2019.
- AQUINO, T. S. A; GOMES, C. C.; SOUZA FILHO, F. A; SILVA, S. M.O. Impacto da recuperação dos investimentos na infraestrutura hídrica na cobrança pelo uso da água. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 8, n.1, p. 87 - 98, 2013.
- AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Cobrança pelo uso da água bruta no Estado da Paraíba**. 2011.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos: avaliações e diretrizes para adaptação**. – Brasília: ANA, GGES, 2016.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (BRASIL). **Direito de águas à luz da governança**. Pilar Carolina Villa; Maria Luiza Machado Granziera. – Brasília: ANA, 2020.
- ALIPRANTIS, Charalambos D. *et al.* **Games and decision making**. New York: Oxford university press, 2000.
- ANA (Brasil). **Cadernos de capacitação em recursos hídricos: cobrança pelo uso de recursos hídricos**. v. 7. Brasília, 2014.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Nota técnica nº (363/2010)**, Superintendence of Economic Regulation, Brasília. 2010.
- DE ARAUJO JUNIOR, Luiz Martins *et al.* Avaliação de índices de seca meteorológica e hidrológica em relação ao impacto de acumulação de água em reservatório: Um estudo de caso para o reservatório de Jucazinho-Pe. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**. Investigación, desarrollo y práctica, v. 13, n. 2, p. 382-398.
- ATALIBA, Flávio. Por que Fortaleza tornou-se a maior economia do Nordeste?. **Revista Conjuntura Econômica**, v. 75, n. 01, p. 30-31, 2021.
- ASCI, Serhat; BORISOVA, Tatiana; DUKES, Michael. Are price strategies effective in managing demand of high residential water users?. **Applied Economics**, v. 49, n. 1, p. 66-77, 2017.
- BABAMIRI, Amir Salimi; PISHVAEE, Mir Saman; MIRZAMOHAMMADI, Saeed. The analysis of financially sustainable management strategies of urban water distribution network under increasing block tariff structure: A system dynamics approach. **Sustainable Cities and Society**, v. 60, p. 102193, 2020.

BARROSO JUNIOR, Luiz Queiroz. **Transposição do rio São Francisco: custo e alocação de água. 2022.** 72 f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo.** 3. ed. Lisboa: Edições 70. 2004.

BARLOW, Maude; CLARKE, Tony. **O ouro azul: como as grandes corporações estão se apoderando da água doce do nosso planeta.** Trad. Andréia Nastri. São Paulo: M. Books, 2003.

BEECHER, Janice A. Policy note: a universal equity–efficiency model for pricing water. **Water Economics and Policy**, v. 6, n. 03, p. 2071001, 2020.

BENDTSEN, Claus; BENDTSEN, Maintainer Claus. **Package ‘pso’.** 2011.

BERBEL, Julio *et al.* Analysis of irrigation water tariffs and taxes in Europe. **Water Policy**, v. 21, n. 4, p. 806-825, 2019.

BOARD, Colorado Water Conservation. Colorado drought mitigation and response plan. **Drought Annex to the State All Hazards Mitigation Plan**, 2010.

BOLAND, John J. The political economy of water tariff design in developing countries: increasing block tariffs versus uniform price with rebate. **The political economy of water pricing reforms**, 2000.

BRASIL. Presidência da República. **Lei n. 9.433, de 9 de janeiro de 1997.** Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Diário Oficial [da] União: seção 1, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BRITO, Virgínia da Costa. **Análise de perdas de água por meio de otimização para o projeto de integração do rio São Francisco, eixo leste-bacia do rio Paraíba. 2019.** 107 f. 2019. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

BOELEN, Rutgerd; VOS, Jeroen. Legal pluralism, hydraulic property creation and sustainability: The materialized nature of water rights in user-managed systems. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 11, p. 55-62, 2014.

BOLSON, Simone Hegele; HAONAT, Ângela Issa. A governança da água, vulnerabilidade hídrica e os impactos das mudanças climáticas no Brasil. **Veredas do Direito: Direito Ambiental e Desenvolvimento Sustentável**, v. 13, n. 25, p. 223-248, 2016.

BOZORG-HADDAD, Omid *et al.* Assessment of potential of intraregional conflicts by developing a transferability index for inter-basin water transfers, and their impacts on the water resources. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 1, p. 1-16, 2020.

BROWN, Casey; CARRIQUIRY, Miguel. Managing hydroclimatological risk to water supply with option contracts and reservoir index insurance. **Water Resources Research**, v. 43, n. 11, 2007.

CABRERA, Jonathan Salar; LEE, Han Soo. Flood risk assessment for Davao Oriental in the Philippines using geographic information system-based multi-criteria analysis and the maximum entropy model. **Journal of Flood Risk Management**, v. 13, n. 2, p. e12607, 2020.

CAMPOS, Robério Telmo; CAMPOS, Kilmer Coelho. Capacidade de pagamento pela água bruta utilizada na irrigação pública na bacia do Jaguaribe-Ceará. **Revista de Economia e Agronegócio**, Viçosa, v. 11, n. 3, 2014.

CAPELLARI, Adalberto; CAPELLARI, Marta Botti. A água como bem jurídico, econômico e social. A necessidade de proteção das nascentes. **Cidades. Comunidades e Territórios**, n. 36, 2018.

CEARÁ. **Plano de Segurança Hídrica da Região Metropolitana de Fortaleza**. Governo do Estado do Ceará: Fortaleza, Brasil, 2016.

CEARÁ. **Lei nº. 11.996, de 24 de julho de 1992**. Dispõe sobre a política estadual de recursos hídricos, institui o sistema integrado de gestão de recursos hídricos – Sigerh e dá outras providências. Legislação Estadual., 1992. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/leis-1992/>. Acesso em: 14 de setembro 2020.

CEARÁ. **Lei Estadual nº 14.844, de 28 de dezembro de 2010**. Dispõe sobre a Política Estadual de Recursos Hídricos, institui o Sistema Integrado de Gestão de Recursos Hídricos – SIGERH, e dá outras providências. 2010.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Estudos de análise e integração dos instrumentos de gestão com foco na Outorga, Cobrança e Fiscalização: Relatório nº1: Revisão dos custos fixos e variáveis dos sistemas de recursos hídricos**. Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/integracao-dos-instrumentos-de-gestao-outorga-cobranca-e-fiscalizacao/>. Acesso: 20 de março 2020.

CEARÁ. Ceará 2050. **Estudo Setorial Especial Recursos Hídricos**. Fortaleza. Julho de 2018.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Relatório Diagnóstico da Alocação Negociada De Água**. Projeto Gerenciamento de Risco, Alocação e Operação do Sistema de Recursos Hídricos. 2021.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Estudos de análise e integração dos instrumentos de gestão com foco na Outorga, Cobrança e Fiscalização: Relatório nº2: Revisão da capacidade de pagamento**. Fortaleza, 2016. Disponível em: <https://www.srh.ce.gov.br/integracao-dos-instrumentos-de-gestao-outorga-cobranca-e-fiscalizacao/>. Acesso: 25 de outubro 2022.

CEARÁ. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Diagnóstico da Alocação Negociada de Água; Governo do Estado do Ceará**. Fortaleza, Brasil, 2021.

CERQUEIRA, Gustavo Aouar. **Instrumentos econômicos na gestão de recursos hídricos: análise e contribuições sobre mercados de água e cobrança pelo uso de recursos hídricos.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) —Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

CONERH. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará. **Resolução nº3 de 25 de junho de 2020.** Secretaria dos Recursos Hídricos. Ceará. 2020a.

CONERH. Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Ceará. **Resolução nº6 de 14 de outubro de 2020.** Secretaria dos Recursos Hídricos. Ceará. 2020b.

CONERH. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Ata da 105ª Reunião.** Fortaleza. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Estudo sobre a Cobrança pelo Uso de Recursos Hídricos / Confederação Nacional da Indústria.** – Brasília: CNI, 2022.

DALCIN, Ana Paula; FERNANDES MARQUES, Guilherme. Integrating water management instruments to reconcile a hydro-economic water allocation strategy with other water preferences. **Water Resources Research**, v. 56, n. 5, p. e2019WR025558, 2020.  
DE BRITO, Pedro Lucas Cosmo; DE AZEVEDO, José Paulo Soares. Charging for Water Use in Brazil: State of the Art and Challenges. **Water Resources Management**, v. 34, n. 3, p. 1213-1229, 2020.

DE CARVALHO STUDART, Ticiania Marinho et al. Turbulent waters in Northeast Brazil: A typology of water governance-related conflicts. **Environmental Science & Policy**, v. 126, p. 99-110, 2021.

DE SOUSA, Cláudia Orsini M.; DIAS FOUTO, Nuno MM. Economic incentives for water consumption reduction: case study of the city of São Paulo, Brazil. **Water Policy**, v. 21, n. 6, p. 1266-1278, 2019.

DE VASCONCELLOS, Luiz Felipe Marvila *et al.* Formação do Índice de Cesta Básica em Campos dos Goytacazes: uma análise do nível de preços da Cesta Alimentar em 2018. **Mundo Livre: Revista Multidisciplinar**, v. 7, n. 1, p. 23-40, 2021.

DINESH KUMAR, M. Physical transfer of water versus virtual water trade: economic and policy considerations. **Water Economics and Policy**, v. 4, n. 03, p. 1850001, 2018.

DOMINGUES, José Marcos. Cobrança de água: regime jurídico-financeiro dos recursos hídricos. In: **Direito ambiental estadual: Revista de direito da associação dos procuradores do novo estado do rio de janeiro**, v. 21, p. 120, 121, 2009.

DONOSO, Guillermo. Urban water pricing in Chile: Cost recovery, affordability, and water conservation. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Water**, v. 4, n. 2, p. e1194, 2017.

DU, Hongyan; ZHAO, Zhihua; XUE, Huifeng. ARIMA-M: A new model for daily water consumption prediction based on the autoregressive integrated moving average model and the markov chain error correction. **Water**, v. 12, n. 3, p. 760, 2020.

EISSA, Radwa; EID, Mohamed S.; ELBELTAGI, Emad. Conceptual profit allocation framework for construction joint ventures: Shapley value approach. **Journal of Management in Engineering**, v. 37, n. 3, p. 04021016, 2021.

ESTÁCIO, Ályson Brayner Sousa *et al.* Priority of Water Allocation during Drought Periods: The Case of Jaguaribe Metropolitan Inter-Basin Water Transfer in Semiarid Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6876, 2022.

ESTRELA, Teodoro *et al.* Droughts and the European water framework directive: implications on Spanish river basin districts. **Drought management and planning for water resources**, p. 169-191, 2005.

EXPÓSITO, A. *et al.* A simplified hydro-economic model of Guadalquivir River Basin for analysis of water-pricing scenarios. **Water**, v. 12, n. 7, p. 1879, 2020.

FERREIRA, José Gomes. A transposição das águas da bacia do rio São Francisco no contexto da resposta à seca do Nordeste. **Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade (ANPPAS)**, 2017.

FAPIJA, Federação das Associações do Perímetro Irrigado Jaguaribe. **Empresa**. Disponível em: <https://www.fapija.org/>. Acesso em: 10 de agosto de 2023.

FERREIRA, Fernanda Neves; RIBEIRO, Hebe Morganne Campos; DUTRA, Vítor Abner Borges. Potentialities of water charge in the management of Brazilian water resources. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, 2020.

FUENTE, David. The design and evaluation of water tariffs: A systematic review. **Utilities Policy**, v. 61, p. 100975, 2019.

FROESE, Rebecca; SCHILLING, Janpeter. The nexus of climate change, land use, and conflicts. **Current climate change reports**, v. 5, n. 1, p. 24-35, 2019.

FROTA, Renata Locarno *et al.* "Network" socio-hydrology: a case study of causal factors that shape the Jaguaribe River Basin, Ceará-Brazil. **Hydrological Sciences Journal**, v. 66, n. 6, p. 935-950, 2021.

GARCÍA-RUBIO, Miguel A.; RUIZ-VILLAVARDE, Alberto; GONZÁLEZ-GÓMEZ, Francisco. Urban water tariffs in Spain: What needs to be done?. **Water**, v. 7, n. 4, p. 1456-1479, 2015.

GARCÍA-VALIÑAS, María Á. Efficiency and equity in natural resources pricing: A proposal for urban water distribution service. **Environmental and Resource Economics**, v. 32, n. 2, p. 183-204, 2005.

GÓMEZ GÓMEZ, Carlos Mario *et al.* Managing water scarcity at a river basin scale with economic instruments. **Water Economics and Policy**, v. 4, n. 01, p. 1750004, 2018.

GÓMEZ-LIMÓN, José A.; GUTIÉRREZ-MARTÍN, Carlos; MONTILLA-LÓPEZ, Nazaret M. Agricultural water allocation under cyclical scarcity: The role of priority water rights. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1835, 2020.

GORN, Gerald J. *et al.* Effects of color as an executional cue in advertising: They're in the shade. **Management science**, v. 43, n. 10, p. 1387-1400, 1997.

GUERRA, Sérgio; LUKIC, Melina Rocha. Regulação e natureza jurídica das bandeiras tarifárias. **Revista do programa de Pós-Graduação em Direito da UFC**. v. 38. 2018.

HEMATI, Hasti; ABRISHAMCHI, Ahmad. Water allocation using game theory under climate change impact (case study: Zarinerood). **Journal of Water and Climate Change**, v. 12, n. 3, p. 759-771, 2021.

HOSSEN, M. A.; CONNOR, J.; AHAMMED, F. Review of hydro-economic models (HEMs) which focus on transboundary river water sharing disputes. **Water Policy**, v. 23, n. 6, p. 1359-1374, 2021.

HUI, Eddie CM; BAO, Haijun. The logic behind conflicts in land acquisitions in contemporary China: A framework based upon game theory. **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 373-380, 2013.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente para os municípios e para as unidades da federação brasileiros com data de referência em 1º de julho**. 2019.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Panorama**. 2020.

<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/panorama>.

Instituto Estadual do Ambiente – INEA. **Cobrança pelo Uso dos Recursos Hídricos**. Rio de Janeiro. 2021. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/ar-agua-e-solo/cobranca/>. Acesso em: 02 de fevereiro de 2023.

JEONG, Hoyoung; HA, Sooji; KIM, Hyoungkwan. Flood protection cost allocation using cooperative game theory for adapting infrastructure to climate change. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 144, n. 4, p. 04018010, 2018.

KAZEMI, Mehdi *et al.* Inter-basin hydropolitics for optimal water resources allocation. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 192, n. 7, p. 1-10, 2020.

KHRAN, F.S; MACIEL, S; DOURADO, T.M. **Transposição de águas e bacias: aspectos teóricos e conceituais**. Trabalho apresentado no Séminário de Integração, Universidade Federal do Tocantins, 2007.

KLASSERT, Christian *et al.* Increasing block tariffs in an arid developing country: A discrete/continuous choice model of residential water demand in Jordan. **Water**, v. 10, n. 3, p. 248, 2018.

LAGO, Manuel *et al.* **Use of Economic Instruments in Water Policy**. Heidelberg: Springer, 2015.

LEITE, Gil Bracarense. Jogos cooperativos: uma introdução ao valor de Shapley. **Informe Econômico (UFPI)**, v. 44, n. 1, 2022.

LI, Dezhi *et al.* How to share benefits of old community renewal project in China? An improved Shapley Value approach. **Habitat International**, v. 126, p. 102611, 2022.

LIMA, Delberis A.; PEREZ, Ricardo C.; CLEMENTE, Gabriel. A comprehensive analysis of the Demand Response Program proposed in Brazil based on the Tariff Flags mechanism. **Electric Power Systems Research**, v. 144, p. 1-12, 2017.

LIU, Jingya *et al.* How to allocate interbasin water resources? A method based on water flow in water-deficient areas. **Environmental Development**, v. 34, p. 100460, 2020.

LIU, Xinxin *et al.* Benefit allocation in shared water-saving management contract projects based on modified expected shapley value. **Water Resources Management**, v. 35, n. 1, p. 39-62, 2021.

LÔBO NETO, José Benevides. **Planejamento da segurança hídrica em cenário de mudança climática considerando avaliação de custos de múltiplos mananciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

LOPEZ-NICOLAS, A. *et al.* Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urban water tariff. Application to the city of Valencia, Spain. **Environmental Modelling & Software**, v. 101, p. 137-145, 2018.

LU, Liang; DELLER, David; HVIID, Morten. Price and behavioural signals to encourage household water conservation: Implications for the UK. **Water resources management**, v. 33, n. 2, p. 475-491, 2019.

MAGALHÃES FILHO, Luiz Norberto Lacerda; VERGARA, Fernán Enrique; RODRIGUES, Waldecy. Cobrança pelo uso da água na bacia hidrográfica do rio Formoso-TO: Estudo de Viabilidade Financeira. **Revista de Gestão de Águas da América Latina**, v. 12, n. 1, p. 53-61, 2015.

MASSARUTTO, Antonio. Water pricing and full cost recovery of water services: economic incentive or instrument of public finance?. **Water Policy**, v. 9, n. 6, p. 591-613, 2007.

MASSARUTTO, Antonio. Servant of too many masters: Residential water pricing and the challenge of sustainability. **Utilities Policy**, v. 63, p. 101018, 2020.

MARQUES, Rui Cunha; MIRANDA, João. Sustainable tariffs for water and wastewater services. **Utilities Policy**, v. 64, p. 101054, 2020.

MCILWAINE, Stephen J.; OUDA, Omar KM. Drivers and challenges to water tariff reform in Saudi Arabia. **International Journal of Water Resources Development**, v. 36, n. 6, p. 1014-1030, 2020.

MERAN, Georg; SIEHLOW, Markus; VON HIRSCHHAUSEN, Christian. **The Economics of Water: Rules and Institutions**. Springer Nature, 2021.

Metropolitan Washington Council of Governments. Task Force on Regional Water Supply Issues. **Metropolitan Washington water supply and drought awareness response plan: Potomac river system**. Metropolitan Washington Council of Governments, 2000.

MOHAJAN, Haradhan Kumar *et al.* Qualitative research methodology in social sciences and related subjects. **Journal of Economic Development, Environment and People**, v. 7, n. 1, p. 23-48, 2018.

MOLINOS-SENANTE, M.; HERNÁNDEZ-SANCHO, F.; SALA-GARRIDO, R. Tariffs and cost recovery in water reuse. **Water Resources Management**, v. 27, p. 1797–1808, 2013.

MORAES, Felipe Augusto Cardoso. **Impacto econômico das bandeiras tarifárias nos processos tarifários das distribuidoras de energia elétrica**. Dissertação (mestrado) – Políticas Públicas e Desenvolvimento, Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada-IPEA, 2018.

MOREIRA NETO, Diogo de Figueiredo. **Curso de direito administrativo**. 15. ed. [S.l.]: Forense, 2011. P. 385-387.

NAUGES, Celine; WHITTINGTON, Dale. Evaluating the performance of alternative municipal water tariff designs: Quantifying the tradeoffs between equity, economic efficiency, and cost recovery. **World Development**, v. 91, p. 125-143, 2017.

NUNES, C. N. **Transposição do rio São Francisco: Análise de oportunidade do projeto**. Brasília: Ipea, 2011. 60 p. (Texto para Discussão n. 1.577).

PARWEEN, Fakeha; KUMARI, Pratibha; SINGH, Ajai. Irrigation water pricing policies and water resources management. **Water Policy**, v. 23, n. 1, p. 130-141, 2021.

PEREIRA, Guilherme Reis; CUELLAR, Miguel Dragomir Zanic. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos Avançados**, v. 29, p. 115-137, 2015.

PEREIRA, Helga; CUNHA MARQUES, Rui. Irrigation water tariffs: lessons for Portugal. **Water Policy**, v. 22, n. 5, p. 887-907, 2020.

PINTO, Francisco Silva; MARQUES, Rui Cunha. Tariff suitability framework for water supply services. **Water Resources Management**, v. 30, n. 6, p. 2037-2053, 2016.

PINTO, F. Silva; DE CARVALHO, B.; MARQUES, R. Cunha. Adapting water tariffs to climate change: linking resource availability, costs, demand, and tariff design flexibility. **Journal of Cleaner Production**, v. 290, p. 125803, 2021.

POLKINGHORNE, Donald E. Language and meaning: Data collection in qualitative research. **Journal of counseling psychology**, v. 52, n. 2, p. 137, 2005.

PONTES FILHO, João Dehon *et al.* Copula-based multivariate frequency analysis of the 2012–2018 drought in Northeast Brazil. **Water**, v. 12, n. 3, p. 834, 2020.

POUYAFAR, Saeid; HAGH, Mehrdad Tarafdar; ZARE, Kazem. Circuit-theory-based method for transmission fixed cost allocation based on game-theory rationalized sharing of

mutual-terms. **Journal of Modern Power Systems and Clean Energy**, v. 7, n. 6, p. 1507-1522, 2019.

REY, Dolores *et al.* Role of economic instruments in water allocation reform: lessons from Europe. **International Journal of Water Resources Development**, v. 35, n. 2, p. 206-239, 2019.

RIBEIRO, Francisco Wellington. **Proposta de Modelo Tarifário de Água Bruta para Estados do Nordeste Brasileiro**. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, Fortaleza, 2010.

RIBEIRO, Francisco Wellington *et al.* Concentration of water use permit and volume-based fees in Ceará, Brazil. **Water Policy**, v. 23, n. 2, p. 327-342, 2021.

ROBBINS, L. **An Essay on the Nature and Significance of Economic Science**. Londres: MacMillan, 1935.

ROCHA, Renan Vieira; SOUZA FILHO, Francisco de Assis de; SILVA, Samiria Maria Oliveira da. Analysis of the Relationship Between the Average Rainfall of Orós Reservoir, Brazil-Ceará, and the PDO and AMO Indexes Through Change-point Analysis and Wavelet Transform. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, p. 139-149, 2019.

RODRIGUES, Marcus Vinícius Sousa *et al.* Análise da eficiência do instrumento da cobrança pela água bruta nas bacias cearenses: uma aplicação da fronteira invertida em análise envoltória de dados. **Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales**. Investigación, desarrollo y práctica, v. 15, n. 1, p. 448-464.

RODRIGUES, Marcus Vinícius Sousa; AQUINO, Marisete Dantas de. Análise comparativa entre a cobrança pelo uso da água bruta do Estado do Ceará com a cobrança aplicada no Estado de São Paulo. **Revista de Gestão de Água da América Latina**. Vol. 11, n. 2, p. 37-51, 2014.

ROGERS, Peter; DE SILVA, Radhika; BHATIA, Ramesh. Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability. **Water policy**, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2002.

SCHIAVINI, Janaina Mortari; GARRIDO, Ivan. Análise de Conteúdo, Discurso ou Conversa? Similaridades e Diferenças entre os Métodos de Análise Qualitativa. **Revista ADM. MADE**, v. 22, n. 2, p. 01-12, 2018.

SCHUERHOFF, Marianne; WEIKARD, Hans-Peter; ZETLAND, David. The life and death of Dutch groundwater tax. **Water policy**, v. 15, n. 6, p. 1064-1077, 2013.

SERRANO, R. Lloyd Shapley's matching and game theory. **Scandinavian Journal of Economics**, v. 115, n. 3, p. 599-618, 2013.

SHAPLEY, L. S. **A value for n-person games**. Contributions to the Theory of Games, v.2, n. 28, p.307, 1953.

SHAPLEY, Lloyd. S. **A value for n-person games, The Shapley value.** 1988.

SILVA, Antonio Paulo da. **Governança dos recursos hídricos: o modelo heurístico IAD-SES-ILT e sua aplicação na bacia hidrográfica da região metropolitana de Fortaleza.** 2022. Tese de Doutorado. Universidade Fernando Pessoa (Portugal).

SILVA, S. M.; SOUZA FILHO, F. A.; ARAÚJO JR, L. M. Mecanismo financeiro projetado com índices de seca como instrumento de gestão de risco em recursos hídricos. **Rev. Bras. Recursos Hídricos**, v. 20, p. 320-330, 2015.

SILVA, Samiria Maria Oliveira da. **Compensação financeira como mecanismo de gestão de risco na alocação de água.** Tese (Doutorado em Recursos Hídricos) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

SILVA, Samiria Maria Oliveira da; SOUZA FILHO, Francisco de Assis de; AQUINO, Sandra Helena Silva de. Alocação de custos e a cobrança pelo uso da água no Estado do Ceará. **Revista de Gestão de Água da América Latina.** Vol. 12, n. 2, p. 47-59, 2015.

SILVA, Samiria Maria Oliveira da; SOUZA, Francisco de Assis; AQUINO, Sandra Helena Silva. Avaliação do risco da alocação de água em período de escassez hídrica: o caso do Sistema Jaguaribe-Metropolitano. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 749-760, 2017.

SILVA, Samiria Maria Oliveira *et al.* Proposta de gestão integrada das águas urbanas como estratégia de promoção da segurança hídrica: o caso de Fortaleza. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 239-250, 2019.

SOUSA, Augusto de Brito; SOUZA FILHO, Francisco de Assis de; SILVA, Samiria Maria Oliveira da. Contrato de opção e fundo financeiro como instrumentos de gestão de risco climático na alocação de água. **Revista de Gestão de Água da América Latina.** Vol. 12, n. 2, p. 5-15, 2015.

SOUZA FILHO, F. A. *et al.* Projeto Gerenciamento de Risco, Alocação e Operação do Sistema de Recursos Hídricos – ALOCA. **Relatório Diagnóstico da Alocação Negociada de Água.** Fortaleza, 2021.

SOUSA ESTÁCIO, Ályson Brayner *et al.* Priority of Water Allocation during Drought Periods: The Case of Jaguaribe Metropolitan Inter-Basin Water Transfer in Semiarid Brazil. **Sustainability**, v. 14, n. 11, p. 6876, 2022.

VAN HUYNH, Chuong *et al.* Drought and conflicts at the local level: Establishing a water sharing mechanism for the summer-autumn rice production in Central Vietnam. **International Soil and Water Conservation Research**, v. 7, n. 4, p. 362-375, 2019.

VON NEUMANN, John; MORGENSTERN, Oskar. **Theory of games and economic behavior.** 2 ed. 1947.

XAVIER, Louise Caroline Peixoto *et al.* Use of machine learning in evaluation of drought perception in irrigated agriculture: the case of an irrigated perimeter in Brazil. **Water**, v. 12, n. 6, p. 1546, 2020.

ZENG, Yong *et al.* A hybrid game theory and mathematical programming model for solving trans-boundary water conflicts. **Journal of Hydrology**, v. 570, p. 666-681, 2019.

ZHOU, Yanlai *et al.* Integrated optimal allocation model for complex adaptive system of water resources management (I): Methodologies. **Journal of Hydrology**, v. 531, p. 964-976, 2015.

## APÊNDICE A - PUBLICAÇÕES NA LINHA DE PESQUISA ENTRE OS ANOS 2012 E 2022

Autores	Título do artigo	Ano	Revista Científica
Vidal Lamolla P., Popartan A., Perello-Moragues T., Noriega P., Sauri D., Poch M., Molinos-Senante M.	Agent-based modelling to simulate the socio-economic effects of implementing time-of-use tariffs for domestic water	2022	Sustainable Cities and Society
Barberán R., López-Laborda J., Rodrigo F.	The Perception of Residential Water Tariff, Consumption, and Cost: Evidence of its Determinants Using Survey Data	2022	Water Resources Management
Jiang Y., Calub R.A.T., Zheng X.	Water tariff setting and its welfare implications: Evidence from Chinese cities	2022	Water Resources and Economics
Adeoti O., Fatu B.O.	Factors constraining household willingness to pay for piped water tariffs: the case of Ekiti State, Nigeria	2022	H2Open Journal
Ahmed T., Sipra H., Zahir M., Ahmad A., Ahmed M.	Consumer Perception and Behavior Toward Water Supply, Demand, Water Tariff, Water Quality, and Willingness-To-Pay: A Cross Sectional Study	2022	Water Resources Management
Firouziyan M., Stenstrom M.K., Rosso D.	Effects of power tariffs and aeration dynamics on the expansion of water resource recovery facilities	2022	Journal of Cleaner Production
Garcia-López M., Montano B., Melgarejo J.	The Tariff Structure in the Tagus-Segura Water Transfer	2022	Water (Switzerland)
Little G.R.	"Print paper ought to be as free as the air and water": American Newspapers, Canadian Newspapers, and the Payne-Aldrich Tariff, 1909-1913	2022	American Periodicals
Ben Zaid Y., Taleb L., Ben Lahouel B., Managi S.	Sustainable Water Demand Management and Incentive Tariff: Evidence From a Quantile-on-Quantile Approach	2022	Environmental Modeling and Assessment
Lyden A., Tuohy P.G.	Planning level sizing of heat pumps and hot water tanks incorporating model predictive control and future electricity tariffs	2022	Energy
[No author name available]	Erratum: Neighbour effect: applicability of tax mimicking concept to setting tariffs for water provision in Poland, Julita Lukomska and Pawel Swianiewicz (Water Policy 22:5 (943–959)DOI: 10.2166/wp.2020.018)	2021	Water Policy
Fuente D., Kabubo-Mariara J., Kimuyu P., Mwaura M., Whittington D.	Assessing the Performance of Water and Sanitation Tariffs: The Case of Nairobi, Kenya	2021	Water Resources Research
Ramlil M.F., Hek T.K., Hamid H.A., Abu M.S.	Problematic review on water tariff-pricing model and its relation with environment and climate change	2021	AIP Conference Proceedings
Cook J., Brühl J., Visser M.	Distributional Statistics of Municipal Water Use During Cape Town's Drought: Implications for Affordability, Conservation, and Tariffs	2021	Water Resources Research
Al-Khatib I.A., Abu Ali A., Hannon B., Apul D.S., Celik I.	Current trends of public opinion towards block water tariff in developing countries: A case study from Al-Bireh City, Palestine	2021	Water and Environment Journal
Mayol A., Staropoli C.	Giving consumers too many choices: a false good idea? A lab experiment on water and electricity tariffs	2021	European Journal of Law and Economics
Pinto F.S., de Carvalho B., Marques R.C.	Adapting water tariffs to climate change: Linking resource availability, costs, demand, and tariff design flexibility	2021	Journal of Cleaner Production
Sa'Diyah H., Sjah T., Tenriawaru A.N.	Irrigation water economic valuation for irrigation water tariff basis	2021	IOP Conference Series: Earth and Environmental Science
Maldonado-Devis M., Almenar-Llongo V.	A panel data estimation of domestic water demand with IRT tariff structure: The case of the city of Valencia (Spain)	2021	Sustainability (Switzerland)
Coxon C., Gammie G., Cassin J.	Mobilizing funding for nature-based solutions: Peru's drinking water tariff	2021	Nature-Based Solutions and Water Security: An Action Agenda for the 21st Century
Темпауа О.В., Агафонов Д.В., Мозгова О.О.	Incentive based regulation of water supply under tariffs limitation [Стимулирующее регулирование водоснабжения в условиях ограничения тарифов]	2021	Zhurnal Novoi Ekonomicheskoi Assotsiatsii /Journal of the New Economic Association
Meran G., Stiehlow M., von Hirschhausen C.	Water Tariffs	2021	Springer Water
Wolf P., Zavřel V.	Hot water preparation based on predictive control with use of a flexible price tariff and hot water consumption forecast [Připrava teplé vody založená na prediktivním řízení s užitím flexibilního tarifu a předpovědi spotřeby vody]	2021	Vytapeni, Vetrani, Instalace
Veiga M.M.	Tariff structuring in water and sanitation: Public profiting arrangements on universalization initiatives	2021	Water Policy International Journal of Water Resources Development
McIlwaine S.J., Ouda O.K.M.	Drivers and challenges to water tariff reform in Saudi Arabia	2020	Development

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Revista Científica</b>
Pereira H., Marques R.C.	Irrigation water tariffs: Lessons for Portugal	2020	Water Policy
Lukomska J., Swianiewieza P.	Neighbour effect: Applicability of tax mimicking concept to setting tariffs for water provision in Poland	2020	Water Policy
Babamiri A.S., Pishvaeae M.S., Mirzamoammadi S.	The analysis of financially sustainable management strategies of urban water distribution network under increasing block tariff structure: A system dynamics approach	2020	Sustainable Cities and Society
Cook J., Whittington D.	Editorial- Water Tariffs and Affordability: The Economics and Policy of Protecting the Poor	2020	Water Economics and Policy
Montesillo-Cedillo J.L.	Tariff update of drinking water service in Mexico: A methodological proposal [Actualización tarifaria del servicio de agua potable en México: Una propuesta metodológica]	2020	Tecnología y Ciencias del Agua
Bezerra, de Oliveira Bezerra A.G., Libânio M., Lopes M.L.M.	Water tariff forecasting models applied to municipal and private companies in the south and southeast regions of Brazil	2020	Environmental Monitoring and Assessment
Sampaio P.R.P., Sampaio R.S.R.	The challenges of regulating water and sanitation tariffs under a three-level shared-authority federalism model: The case of Brazil	2020	Utilities Policy
Romano G., Guerrini A., Senoner T.	Establishing a new water tariff method that complies with european principles and respects statutory autonomy: The case of South Tyrol	2020	Utilities Policy
Marques R.C., Miranda J.	Sustainable tariffs for water and wastewater services	2020	Utilities Policy
Martins R., Antunes M., Fortunato A.	Regulatory changes to Portugal's social tariffs: Carrying water in a sieve?	2020	Utilities Policy
Pérez R.P.	Dangers of the literalist statutory interpretation: The case of the collection of water tariff for non-use of waters when there are pending applications for changes of sources of water supply [Peligros de la literalista de la ley: El caso del cobro de patentes por no uso de aguas existiendo un cambio de punto de captaci	2020	Revista Chilena de Derecho
Neto S., Camkin J.	What rights and whose responsibilities in water? Revisiting the purpose and reassessing the value of water services tariffs	2020	Utilities Policy
Mercadier A.C., Brenner F.S.	Tariff (un)sustainability in contexts of price (in)stability: The case of the Buenos Aires water and sanitation concession	2020	Utilities Policy
Bel G.	Public versus private water delivery, remunicipalization and water tariffs	2020	Utilities Policy
Damkjaer S.	Drivers of change in urban water and wastewater tariffs	2020	H2Open Journal
Tobarra-González M.Á.	Explicative Factors of Municipal Water Demand and Effects of Tariff Policy on Welfare. The Case of Segura Basin [Factores explicativos de la demanda municipal de agua y efectos en el bienestar de la política tarifaria. Una aplicación a la cuenca del Segura]	2020	Estudios de Economía Aplicada
Wahid N.A., Ariffin S.K., Haron A.	Influences of conditional, environmental and social values, risk and cost on consumers' willingness to pay for water tariff	2020	Journal of Critical Reviews
Truslove J.P., Coulson A.B., Nhlema M., Mbalame E., Kalin R.M.	Reflecting SDG 6.1 in rural water supply tariffs: Considering 'affordability' versus 'operations and maintenance costs' in Malawi	2020	Sustainability (Switzerland)
Suratin A., Triakuntini E., Herdiansyah H.	Effects of the implementation of a progressive tariffs policy on water management in DKI Jakarta, Indonesia	2019	Environmental and Socio-Economic Studies
Fuente D.	The design and evaluation of water tariffs: A systematic review	2019	Utilities Policy
Molinos-Senante M., Villegas A., Maziotis A.	Are water tariffs sufficient incentives to reduce water leakages? An empirical approach for Chile	2019	Utilities Policy
Berbel J., Borrego-Marin M.M., Exposito A., Giannoccaro G., Montilla-Lopez N.M., Roseta-Palma C.	Analysis of irrigation water tariffs and taxes in Europe	2019	Water Policy
Yuan M.-H., Lo S.-L., Chiueh P.-T.	Embedding scarcity in urban water tariffs: mapping supply and demand in North Taiwan	2019	Environmental Earth Sciences
Suwal B.R., Zhao J., Raina A., Wu X., Chindarkar N., Bal Kumar K.C., Whittington D.	Households' preferences for water tariff structures in Kathmandu, Nepal	2019	Water Policy
Karro E.	The dynamics of groundwater use, water abstraction charges and water tariffs in Estonia	2019	International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM
Al-Hashimi A.M., Jabbar A.A.-H.	Role of integrating ABC and VCA through the use of supply chain management in improving potable water tariff in Iraq	2019	International Journal of Supply Chain Management

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Revista Científica</b>
Kayaga S., Sansom K., Godfrey A., Takahashi I., Van Rooijen D.	Towards sustainable urban water services in developing countries: tariffs based on willingness-to-pay studies	2018	Urban Water Journal
Sohani A., Sayyaadi H.	Thermal comfort based resources consumption and economic analysis of a two-stage direct-indirect evaporative cooler with diverse water to electricity tariff conditions	2018	Energy Conversion and Management
Lami N.H.M., Syafuddin A., Yusop Z., Adam U.B., Amin M.Z.B.M.	Performance of small and large scales rainwater harvesting systems in commercial buildings under different reliability and future water tariff scenarios	2018	Science of the Total Environment
Palomero-González J.A., Hernández-Sancho F.	Improving drinking water treatment without tariff impact: The Spanish case study	2018	Water Science and Technology: Water Supply
Suárez-Varela M., Martínez-Españeira R.	A proposal for the analysis of price escalation within water tariffs: The impact of the Water Framework Directive in Spain	2018	Environment and Planning C: Politics and Space
Nicita A., Ollarrega M., Silva P.	Cooperation in WTO's tariff waters?	2018	Journal of Political Economy
Cooper B., Crase L., Rose J.M.	Cost-reflective pricing: empirical insights into irrigators' preferences for water tariffs	2018	Australian Journal of Agricultural and Resource Economics
Marzano R., Rougé C., Garrone P., Grilli L., Harou J.J., Pulido-Velazquez M.	Determinants of the price response to residential water tariffs: Meta-analysis and beyond	2018	Environmental Modelling and Software
Lopez-Nicolas A., Pulido-Velazquez M., Rougé C., Harou J.J., Escriva-Bou A.	Design and assessment of an efficient and equitable dynamic urban water tariff: Application to the city of Valencia, Spain	2018	Environmental Modelling and Software
Klassert C., Sigel K., Klauer B., Gawel E.	Increasing block tariffs in an arid developing country: A discrete/continuous choice model of residential water demand in Jordan	2018	Water (Switzerland)
Mayol A.	Social and nonlinear tariffs on drinking water: Cui bono? Empirical evidence from a natural experiment in France	2018	Revue d'Economie Politique
Varouchakis E.A., Apostolakis A., Siaka M., Vasilopoulos K., Tastopoulos A.	Alternatives for domestic water tariff policy in the municipality of Chania, Greece, toward water saving using game theory	2018	Water Policy
Mastaler M., Klingel P.	Application of a water balance adapted to intermittent water supply and flat-rate tariffs without customer metering in Tiruvannamalai, India	2018	Water Science and Technology: Water Supply
Guerrini A., Vigolo V., Romano G., Testa F.	Levers supporting tariff growth for water services: evidence from a contingent valuation analysis	2018	Journal of Environmental Management
Pinto F.S., Tchadie A.M., Neto S., Khan S.	Contributing to water security through water tariffs: Some guidelines for implementation mechanisms	2018	Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development
Crookes D.J.	Does the construction of a desalination plant necessarily imply that water tariffs will increase? A system dynamics analysis	2018	Water Resources and Economics
Mastaller M., Klingel P.	Adapting the IWA water balance to intermittent water supply and flat-rate tariffs without customer metering	2017	Journal of Water Sanitation and Hygiene for Development
Li L., Wu X., Tang Y.	Adoption of increasing block tariffs (IBTs) among urban water utilities in major cities in China	2017	Urban Water Journal
Meran G., Von Hirschhausen C., Deyà-Tortella B., Garcia C., Nilsson W., Tirado D.	Increasing Block Tariffs in the Water Sector - An Interpretation in Terms of Social Preferences	2017	B.E. Journal of Economic Analysis and Policy
Kurian V., Chen J., Zhu Q.	Analysis of water tariff reform on water consumption in different housing typologies in Calvià (Mallorca)	2017	Water (Switzerland)
Al-Saidi M.	Electric power dependent dynamic tariffs for water distribution systems	2017	Proceedings - 2017 3rd International Workshop on Cyber-Physical Systems for Smart Water Networks, CySWATER 2017
Sahin O., Bertone E., Beal C.D.	Urban water pricing in Yemen: a comparison of increasing block tariffs to other pricing schemes	2017	Water International
Nauges C., Whittington D.	A systems approach for assessing water conservation potential through demand-based water tariffs	2017	Journal of Cleaner Production
Wahid N.A., Alias N.H., Takara K., Ariffin S.K.	Evaluating the Performance of Alternative Municipal Water Tariff Designs: Quantifying the Tradeoffs between Equity, Economic Efficiency, and Cost Recovery	2017	World Development
Pinto F.S., Marques R.C.	Water as a business: Should water tariff remain? Descriptive analyses on Malaysian households' socio-economic background	2017	International Journal of Economic Research
Deyà-Tortella B., Garcia C., Nilsson W., Tirado D.	New era / new solutions: The role of alternative tariff structures in water supply projects	2017	Water Research
	The effect of the water tariff structures on the water consumption in Mallorcan hotels	2016	Water Resources Research

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Revista Científica</b>
Belov A., Kartak V., Vasenev A., Meratnia N., Havinga P.J.M.	Load shifting of domestic water heaters under double price tariffs: Bringing together money savings and comfort	2016	IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe
Pinto F.S., Marques R.C.	Tariff Suitability Framework for Water Supply Services: Establishing a Regulatory Tool Linking Multiple Stakeholders' Objectives	2016	Water Resources Management Journal of Environment and Development
Felgendreher S., Lehmann P., Al Qahtani S., Ismaiel S., Sofian B.	Public Choice and Urban Water Tariffs—Analytical Framework and Evidence From Peru	2016	Journal of Water and Climate Change
Gendries S., Oelmann M., Czichy C.	The impact of reforming municipal water tariff on water rationing and consumer welfare in Saudi Arabia	2016	GWF, Wasser - Abwasser
Pérez-Urdiales M., García-Valiñas M.A., Martínez-Espifeira R.	Four years of system price model: Experiential report after conversion of the RWW tariff system for drinking water prices [Vier Jahre systempreismodell: Erfahrungsbericht nach umstellung des RWW-tarifsystems für trinkwasserpreise]	2016	Environmental and Resource Economics International Journal of Hospitality
Razumova M., Rey-Maqueira J., Lozano J.	Responses to Changes in Domestic Water Tariff Structures: A Latent Class Analysis on Household-Level Data from Granada, Spain	2015	Water Policy
Pinto F.S., Marques R.C.	The role of water tariffs as a determinant of water saving innovations in the hotel sector	2015	Annals of Public and Cooperative Economics
Schaefer C., Warm S.	Tariff structures for water and sanitation urban households: A primer	2015	Use of Economic Instruments in Water Policy: Insights from International Experience
Vollaro M., Sardonini L., Raggi M., Viaggi D.	Financial instruments and socially effective tariff calculations for public services: Using the example of the German water sector	2015	Water Research
Aymerich L., Rieger L., Sobhani R., Rosso D., Corominas L.	Water tariffs in agriculture: Emilia Romagna case study	2015	Utilities Policy
García-Valiñas M.A., Picazo-Tadeo A.J.	The difference between energy consumption and energy cost: Modelling energy tariff structures for water resource recovery facilities	2015	Utilities Policy
Pinto F.S., Marques R.C.	Introduction to Reforming water tariffs: Experiences and reforms	2015	Utilities Policy
Barbosa A., Bruseca I.	Tariff recommendations: A Panacea for the Portuguese water sector?	2015	Utilities Policy
Grafton R.Q., Chu L., Kompas T., Romano G., Guerrini A., Campedelli B.	Governance structures and their impact on tariff levels of Brazilian water and sanitation corporations	2015	Utilities Policy
Suárez-Varela M., Martínez-Espifeira R., González-Gómez F.	Optimal water tariffs and supply augmentation for cost-of-service regulated water utilities	2015	Utilities Policy
Fonseca A., Gabriel C.F.	The new Italian water tariff method: A launching point for novel infrastructures or a backwards step?	2015	Utilities Policy
[No author name available]	An analysis of the price escalation of non-linear water tariffs for domestic uses in Spain	2015	Utilities Policy
Singh S., Srivastava R.K.	Analysis of the effect of tariffs on six operational and quality indicators of water supply services in Brazil [Análise da influência da tarifação em seis indicadores operacionais e de qualidade dos serviços de abastecimento de água no Brasil]	2015	Engenharia Sanitaria e Ambiental
Vollaro M., Sardonini L., Raggi M., Viaggi D.	Dire effects of tariff under-recovery: The South African Local Government Association looks at the costs of treating effluent and producing potable water	2015	Water Sewage and Effluent International Journal of Environment and Sustainable Development
Nauges C., Whittington D., El-Aly F.M.	An approach for designing appropriate water tariff structure: Case study of Allahabad City (India)	2015	Global Issues in Water Policy
Oelmann M., Beele R., Czichy C., Rehberg J.	Water tariffs in agriculture: Emilia Romagna case study	2015	Global Issues in Water Policy
Dasanayaka S.W.S.B., Ranjith V.G.U.	A Simulation Model for Understanding the Consequences of Alternative Water and Wastewater Tariff Structures: A Case Study of Fayoum, Egypt	2015	GWF, Wasser - Abwasser
García-Rubio M.A., Ruiz-Villaverde A., González-Gómez F.	Tariff-check for water utilities - Web-based tariff-check for assessing revenue stability in times of demand decrease - is your water tariff sustainable? [Tarifmodell-check für wasserversorger- Internetbasierte prüfung individueller tarifsysteme auf ertragsstabilität bei nachfragerückgängen- Ist ihr tarifsystern nachhaltig?]	2015	International Journal of Water
Romano G., Masserini L., Guerrini A.	Cost reflective tariff system for domestic water supply in Sri Lanka	2015	Water (Switzerland)
[No author name available]	Urban water tariffs in Spain: What needs to be done?	2015	Water Policy
Cooper B., Crase L., Pawsey N.	Does water utilities' ownership matter in water pricing policy? An analysis of endogenous and environmental determinants of water tariffs in Italy	2015	Applied Economics
	Efficiency and equity in two-part tariffs: the case of residential water rates (Applied Economics, (2014), 46, 5, (539-555))	2014	Applied Studies in Climate Adaptation
	Water tariffs and farmer adaptation: The case of Goulburn-Murray Water, Victoria, Australia		

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Revista Científica</b>
Ma X., Zhang S., Mu Q.	How Do Residents Respond to Price under Increasing Block Tariffs? Evidence from Experiments in Urban Residential Water Demand in Beijing	2014	Water Resources Management
Galaa S.Z., Bukari F.I.M., Porcher S.	Water tariff conflict resolution through indigenous participation in tri-water sector partnerships: Dalun cluster communities in northern Ghana	2014	Development in Practice
Kayaga S., Smout I.	Efficiency and equity in two-part tariffs: the case of residential water rates	2014	Applied Economics
Gunatilake H., Tachiri M.	Tariff structures and incentives for water demand management	2014	Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management
Willingness to pay and inclusive tariff designs for improved water supply services in urban Bangladesh		2014	Journal of Sustainable Development
Gonçalves I., Alves D., Robalo G.	Social tariffs for water and waste services in mainland Portugal: An impact analysis	2014	Water Science and Technology: Water Supply
Barde J.A., Lehmann P.	Distributional effects of water tariff reforms - An empirical study for Lima, Peru	2014	Water Resources and Economics
Burger C., Jansen A.	Increasing Block Tariff structures as a water subsidy mechanism in South Africa: An exploratory analysis	2014	Development Southern Africa
Zicari G., Soardo V., Berruti R., Panata M., Cerrato E.	Tariff modulation for the access to the drinking water system as strategies to the water resource safeguard in the Province of Asti (Italy) [La modulazione della Tariffa per l'accesso al servizio di distribuzione delle acque potabili quale strategia per salvaguardare la risorsa idrica, in Provincia di Asti]	2014	Progress in Nutrition
Sibly H., Tooth R.	The consequences of using increasing block tariffs to price urban water	2014	Australian Journal of Agricultural and Resource Economics
David C.P.C., Cayton P.J.A., Lorenzo T.E., Santos E.C.	Statistical analysis of Philippine water district characteristics and how these affect water tariffs	2014	Water International
Chen D., Liu Z., Luo Z., Wang W., Chen J.	Analysis of residential water tariffs and basic water demand using statistical data	2013	Pakistan Journal of Statistics
Hoque S.F., Wichelns D.	Corrigendum to State-of-the-art review: Designing urban water tariffs to recover costs and promote wise use (International Journal of Water Resources Development, (2013), 29, 3 (472-491))	2013	International Journal of Water Resources Development
Hoque S.F., Wichelns D.	State-of-the-art review: Designing urban water tariffs to recover costs and promote wise use	2013	International Journal of Water Resources Development
Zetland D., Gasson C.	A global survey of urban water tariffs: Are they sustainable, efficient and fair?	2013	International Journal of Water Resources Development
Wichelns D.	Enhancing the performance of water prices and tariff structures in achieving socially desirable outcomes	2013	International Journal of Water Resources Development
Hoffman J.J., du Plessis J.A.	A model to assess water tariffs as part of water demand management	2013	Water SA
Martins R., Cruz L., Barata E., Quintal C.	Assessing social concerns in water tariffs	2013	Water Policy
Martins R., Cruz L., Barata E.	Water Price Regulation: A Review of Portuguese Tariff Recommendations	2013	Public Organization Review
Porcher S.	An estimation of the efficiency costs of the current tariffs of water public services in France [Une estimation des coûts d'efficience des tarifs actuels des services publics de l'eau en France]	2013	Revue Economique
Ueda T., Moffatt P.G.	A Socially Efficient Water Tariff Under the English Optional Metering Scheme	2013	Environmental and Resource Economics
Molinos-Senante M., Hernandez-Sancho F., Sala-Garrido R.	Tariffs and Cost Recovery in Water Reuse	2013	Water Resources Management
Andreev V.A., Bogolubov I.N., Kulesh V.P.	Tariff policy and quota distribution for water and energetic resources to promote steady industrial development of a large city	2013	Vestnik Sankt-Peterburgskogo Universiteta, Seriya Geologiya i Geografiya
Testella F.	Water tariff: Failed expectations and current potential resulting from the regional experience of Emilia-Romagna [Tariffa idrica: Aspettative fallite e potenzialità attuali derivanti dell'Esperienza regionale dell'Emilia-Romagna]	2012	Rivista Giuridica dell'Ambiente
Hernández-Sancho F., Molinos-Senante M., Sala-Garrido R., Del Saz-Salazar S.	Tariffs and efficient performance by water suppliers: An empirical approach	2012	Water Policy
Oelmann M., Gendries S.	Towards new tariff models in the german water supply sector - Part 2: Model and implementation [Auf dem Weg zu einem neuen Tarifmodell in der deutschen Wasserversorgung Teil 2: Modell und Umsetzung]	2012	GWF, Wasser - Abwasser
Oelmann M., Gendries S.	Towards new tariff models in the german water supply sector - Part 1: Requirements of stakeholders, the structuring of the process and the importance of a solid data-base [Auf dem Weg zu einem neuen Tarifmodell in der deutschen Wasserversorgung: Teil 1: Anforderungen aus Sicht eines Wasserversorgers, Prozessgestaltung und Datengenerierung]	2012	GWF, Wasser - Abwasser
Smets H.	Improving the water rates in France [Améliorer les tarifs de l'eau en France]	2012	Eau, l'INDUSTRIE, les Nuisances

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano</b>	<b>Revista Científica</b>
Wu W., Simpson A.R., Maier H.R.	Sensitivity of Optimal Tradeoffs between Cost and Greenhouse Gas Emissions for Water Distribution Systems to Electricity Tariff and Generation	2012	Journal of Water Resources Planning and Management
Arbués F., Barberán R. Abdou N., Josephs J.	Tariffs for urban water services in Spain: Household size and equity Egypt's iron lady of water and how she increased tariffs	2012 2012	International Journal of Water Resources Development Water and Wastewater International Water Distribution Systems Analysis 2010
Abdelmeguid H., Ulanicki B. Cole G., O'Halloran K., Stewart R.A.	Feedback rules for operation of pumps in a water supply system considering electricity tariffs Time of use tariffs: Implications for water efficiency	2012 2012	- Proceedings of the 12th International Conference, WDSA 2010 Water Science and Technology: Water Supply

**APÊNDICE B - PUBLICAÇÕES COM AS PALAVRAS-CHAVE “WATER TARIFFS” E “CEARÁ” ENTRE OS ANOS 2012 E 2022**

<b>Autores</b>	<b>Título do artigo</b>	<b>Ano de publicação</b>	<b>Revista científica</b>
Ribeiro F. W., Da Silva S.M.O., de A. de Souza Filho F., Carvalho T.M.N., de M. Lopes T.M.X., Frota R.L., Silva S.M.O., De Assis Souza Filho F., Porto V.C	Diversification of urban water supply: An assessment of social costs and water production costs  A Hydro-Economic Model to Support Water Scarcity	2022	Water
Rêgo L.C., Costa J.P.D.S., Cardoso G.C.D.C., Santos C.V.D.	A graph model analysis of the conflict in the irrigated perimeter in Chapada do Apodi-Brazil	2021	Environmental Challenges
Nunes Carvalho T. M., de Souza Filho F.D.A	A data-driven model to evaluate the medium-term effect of contingent pricing policies on residential water demand	2021	Environmental Challenges
Rolim T.W.R., da Silva A.O., Neto F.A.U., de A. Lemos J.G., Costa B.R.S.	Performance of Autonomous Irrigation Unit Via Mobile Application for Arugula Yield	2021	Engenharia Agrícola
Ghinis C.P., Fochezatto A., Kuhn C. V.	Price elasticity of the demand for water in the Brazilian states: a panel data analysis, 2011–2017	2020	Sustainable Water Resources Management
Ghinis C.P., Fochezatto A., Kuhn C. V.	A Política Tarifária Como Instrumento De Gestão Da Demanda Por Água: Estimando A Elasticidade Preço Da Demanda Nos Municípios Do Rio Grande Do Sul	2020	Economia Aplicada/Brazilian Journal of Applied Economics
Monteiro L.S., Borges D.A., Studart T.M.C., Campos J.N.B., Mota F.S.B.	Calculation method for charging water on shrimp farming	2016	Revista Brasileira de Recursos Hídricos
MELEG, Alejandro	SISAR: A sustainable management model for small rural decentralized water and wastewater systems in developing countries	2012	Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development
CAMPOS, Robério Telmo.	Avaliação sob risco da capacidade de pagamento por água bruta de produtores da bacia do Jaguaribe (CE)	2010	Revista de Economia e Sociologia Rural
FRAGOSO, Rui; MARQUES, Carlos.	Avaliação econômica de tarifas de água no uso agrícola: Um estudo de caso no Sul de Portugal	2009	Revista de Economia e Sociologia Rural

## APÊNDICE C - COALIZÃO {2} IND RMF

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)							
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria								
Jaguaripe	Castanhão	0,1740	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983														
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0943														
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003				0,0983	1,6054										0,0000			
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,270	0,0983																	
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	7,570	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,4676						
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000							0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036							0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,468		0,0000	0,0000	0,0000	0,9269		14,9954
	Gavião	3,000	0,000	0,489							0,0000	0,489			6,360		0,0000	0,0000	0,0000	12,5901		
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,855</b>							<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>14,9954</b>	<b>14,9954</b>						

## APÊNDICE D - COALIZÃO {3} AP JAG

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)							
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria								
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983				4,263			0,9600							
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0943						0,514			0,1159					
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003				0,0983	1,6054				7,570	1,911			1,4356		2,7108			
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000	0,0983						0,882			0,1986								
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,000												
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000							0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036							0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
	Gavião	3,000	0,000	0,489							0,0000	0,489					7,570	0	0	2,7101	0,00	0,00
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,7101</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>2,7108</b>						

## APÊNDICE E - COALIZÃO {4} IND JAG

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)			
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação		Indústria		
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983		7,570										
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943												
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003			0,0012	0,0983	1,6054							7,570			0,0459	0,0459
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983												
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,000										
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000																
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036																
	Gavião	3,000	0,000	0,489																
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>						<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>7,570</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0459</b>	<b>0,0459</b>			

## APÊNDICE F - COALIZÃO {5} IRR CASTANHÃO

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)			
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação		Indústria		
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983		7,570										
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943												
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003			0,0012	0,0983	1,6054											
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983												
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,000										
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000																
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036																
	Gavião	3,000	0,000	0,489																
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>						<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>7,570</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,5271</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,5271</b>	<b>0,5271</b>		

**APÊNDICE G - COALIZÃO {6} IRR BANABUIÚ**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (R\$/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=I x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)	
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público		Irrigação
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983									
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943				7,570					
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	2130,97	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054	7,570						0,2799
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983								
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057													
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000													
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	2130,97	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,000						0,0000
	Gavião	3,000	0,000	0,489							7,570	0	7,570	0	0,0000	0,2799	0,0000
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,2799</b>	<b>0,0000</b>

**APÊNDICE H - COALIZÃO {7} IRR EIXÃO**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (R\$/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=I x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)	
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público		Irrigação
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983									
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943									
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	2130,97	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054	7,570						0,3010
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983								
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057													
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000													
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	2130,97	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,000						0,0000
	Gavião	3,000	0,000	0,489							7,570	0	7,570	0	0,0000	0,0310	0,0000
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>7,570</b>	<b>0</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0310</b>	<b>0,3010</b>



**APÊNDICE K - COALIZÃO {1-3-5} AP RMF – AP JAG – IRR CASTANHÃO**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (R\$/m³)			3 - Custo unitário da água (R\$/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (R\$) Bliq=1 x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (R\$ 1.000.000.000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria			
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000				0,0013	0,0983			0,174	1,433		0,9600	0,5300	0,0000			
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0012	0,0943			0,021	0		0,1200	0,0000	0,0000			
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32		0,0012	0,0983	1,6054		0,078	0		1,4000	0,0000	0,0000			3,21
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983		7,570	0,036			0,2000	0,0000	0,0000			
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057								0,12		0	0,6600	0,0000	0,0000			
	Araçoiaba	0,054	0,105	0,000	17,09	2986,32		0,0039	0,0456	1,6364		0,054		0	0,6600	0,0000	0,0000			
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036								0,084		0	0,4600	0,0000	0,0000			56,78
	Gavião	3,000	0,000	0,489								3		0	55,0000	0,0000	0,0000			
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>3,567</b>	<b>1,433</b>	<b>0</b>	<b>59,4600</b>	<b>0,5300</b>	<b>0,0000</b>			<b>59,99</b>

**APÊNDICE L - COALIZÃO {1-5-6} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (R\$/m³)			3 - Custo unitário da água (R\$/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (R\$) Bliq=1 x 2 - 3 x 4				Total do benefício líquido (R\$ 1.000.000.000,00)	
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria				
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000				0,0013	0,0983												
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000				0,0012	0,0943												
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32		0,0012	0,0983	1,6054											0,8071
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000				0,0012	0,0983		7,570										
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057								0,120			0,6628						
	Araçoiaba	0,054	0,105	0,000	17,09	2986,32		0,0039	0,0456	1,6364		0,054			0,2983						56,6594
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036								0,084			0,4640						
	Gavião	3,000	0,000	0,489								3,000			55,2344						
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,57</b>	<b>3,258</b>	<b>4,312</b>	<b>0</b>	<b>56,6594</b>	<b>0,8071</b>	<b>0,0000</b>			<b>57,4665</b>	

**APÊNDICE M - COALIZÃO {1-5-7} AP RMF – IRR CASTANHÃO – EIXÃO**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transposta (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria		
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983				4,072			0,5271				
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943											
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054			0,240			0,0310			0,5581	
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983		7,570									
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057							0,120						0,6628		
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000							0,054						0,2983		
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364		0,084						0,4640	56,6594	
	Gavião	3,000	0,000	0,489						7,57	3,000						55,2344		
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,57</b>	<b>3,258</b>	<b>4,312</b>	<b>0</b>	<b>0,581</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>57,2175</b>		

**APÊNDICE N - COALIZÃO {1-5-8} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR CT**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transposta (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000.000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria		
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983				4,009			0,5271				
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943											
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054									0,5670	
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983		7,570		0,303			0,0399				
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057							0,120						0,6628		
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000							0,054						0,2983		
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364		0,084						0,4640	56,6594	
	Gavião	3,000	0,000	0,489						7,57	3,000						55,2344		
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>							<b>7,570</b>	<b>3,9096</b>	<b>4,312</b>	<b>0</b>	<b>0,5670</b>	<b>0,0000</b>	<b>0,0000</b>	<b>57,2264</b>		

**APÊNDICE O - COALIZÃO {1-2-3-5} AP RMF – IND RMF – AP JAG - IRR CASTANHÃO**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	
Jaguaribe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983			0,174	0		0,9600	0,5300	0,0000	3,2100	
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943			0,021	0,851		0,1200	0,0000	0,0000		
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054		0,078	0		1,4000	0,0000	0,0000		
Metropolitano	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983		7,570	0,036			0,2000	0,0000	0,0000	71,8500	
	Pacajus	0,120	0,000	0,057						0,12			0,6600	0,0000	1,5000			
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000						0,054			0,3000	0,0000	0,0000			
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364		0,084		0,036	0,4600	0,0000	0,9300		
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,000</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>						<b>7,570</b>	<b>3,567</b>	<b>0,851</b>	<b>0,582</b>	<b>59,1000</b>	<b>0,5300</b>	<b>15,4300</b>	<b>75,0600</b>	

**APÊNDICE P - COALIZÃO {1-5-6-7} AP RMF – IRR CASTANHÃO – IRR BANABUIÚ – IRR EIXÃO**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)			3 - Custo unitário da água (RS/m³)			4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	
Jaguaribe	Castanhão	0,174	3,570	0,000			0,0013	0,0983			0,174	2,712			0,5271		0,8381	
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943			0,021	1,440			0,2800			
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003	17,09	2986,32	0,0012	0,0983	1,6054		0,078	0,160			0,0310			
Metropolitano	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983		7,570	0,036						56,6594	
	Pacajus	0,120	0,000	0,057						0,12				0,6628				
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000						0,054				0,2983				
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364		0,084		0,036	0,4640				
<b>Total (m³/s)</b>		<b>3,000</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>						<b>7,570</b>	<b>3,258</b>	<b>4,312</b>	<b>0</b>	<b>56,6594</b>	<b>0,8381</b>	<b>0,0000</b>	<b>57,4975</b>	

**APÊNDICE Q - COALIZÃO {1-2-5-6} AP RMF - IND RMF - IRR CASTANHÃO - IRR BANABUIÚ**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)				3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria			
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983	7,570		2,436			0,5271						
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943			1,294			0,2800						
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003			0,0012	0,0983			0,000									
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983												
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,12	0,057	0,6628	1,4705							
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000						0,054	0,000	0,2983								
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036						0,084	0,036	0,4640	0,9287							
	Gavião	3,000	0,000	0,489						3	0,489	55,2344	12,6150							
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>					<b>7,570</b>		<b>3,258</b>	<b>3,730</b>	<b>0,582</b>	<b>0,8071</b>	<b>0,8071</b>	<b>15,0142</b>		<b>72,4807</b>			

**APÊNDICE R - COALIZÃO {1-2-3-4-5-6-7-8} AP RMF - IND RMF - AP JAG - IND JAG - IRR CASTANHÃO - IRR BANABUIÚ - IRR EIXÃO - IRR CT**

Região	Infraestrutura de Abastecimento	2 - Demanda (m³/s)			1 - Valor Econômico da água (RS/m³)				3 - Custo unitário da água (RS/m³)				4 - Água transportada (m³/s)				Função Objetivo (RS) Bliq=1 x 2 - 3 x 4			Total do benefício líquido (RS 1.000.000,000,00)
		Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Agricultura	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Sistema	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria	Abastecimento Público	Irrigação	Indústria			
Jaguaripe	Castanhão	0,174	3,570	0,000	17,09	2986,32	0,0013	0,0983	7,570		0,174	2,016		0,9610	0,5271	0,0000				
	Banabuiú	0,021	1,896	0,000			0,0012	0,0943			1,071	0,1160								
	Eixão das águas	0,078	0,210	0,003			0,0012	0,0983			0,118	0,003		1,4361	0,0310	0,0774				
	Canal do Trabalhador	0,036	0,270	0,000			0,0012	0,0983			0,152			0,1988	0,0399	0,0000				
Metropolitano	Pacajus	0,120	0,000	0,057	17,09	2986,32	0,0039	0,0456	1,6364	0,12	0,057	0,6628	1,4705							
	Aracoiaba	0,054	0,105	0,000						0,054	0,000	0,2983								
	Pacoti/Riachão	0,084	0,000	0,036						0,084	0,036	0,4640	0,9287							
	Gavião	3,000	0,000	0,489						3	0,489	55,2344	12,6150							
<b>Total (m³/s)</b>	<b>3,567</b>	<b>6,051</b>	<b>0,585</b>					<b>7,570</b>		<b>3,567</b>	<b>0,848</b>	<b>0,585</b>	<b>0,8935</b>	<b>0,8935</b>	<b>15,0916</b>		<b>75,3564</b>			

