

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE CIÊNCIAS SOCIAIS APLICADAS – CCSA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA – PIMES  
DOUTORADO EM ECONOMIA

BRUNO NUNES GUEDES

INTEGRAÇÃO DE UM MODELO DE ALOCAÇÃO BASEADO EM REDES COM  
UM MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: UM ESTUDO DE CASO  
EM BACIAS INTERLIGADAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Recife

2023

BRUNO NUNES GUEDES

INTEGRAÇÃO DE UM MODELO DE ALOCAÇÃO BASEADO EM REDES COM  
UM MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: UM ESTUDO DE CASO  
EM BACIAS INTERLIGADAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO

Tese de doutorado submetida ao Programa de  
Pós-Graduação em Economia da Universidade  
Federal de Pernambuco (PIMES/UFPE) como  
requisito parcial à obtenção do título de doutor  
em Economia.

Orientadora:

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes

Coorientador:

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha

Recife

2023

Catálogo na Fonte  
Bibliotecária Ângela de Fátima Correia Simões, CRB4-773

G924i Guedes, Bruno Nunes  
Integração de um modelo de alocação baseado em redes com um modelo de equilíbrio geral computável: um estudo de caso em bacias interligadas no Agreste de Pernambuco / Bruno Nunes Guedes. - 2023.  
172 folhas: il. 30 cm.

Orientadora: Prof.<sup>a</sup> Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes e coorientador Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha.  
Tese (Doutorado em Economia) – Universidade Federal de Pernambuco, CCSA, 2023.  
Inclui referências e apêndices.

1. Modelagem integrada. 2. Alocação negociada. 3. Eficiência econômica. I. Moraes, Márcia Maria Guedes Alcoforado de (Orientadora). II. Cunha, Marcelo Pereira da (Coorientador). III. Título.

336 CDD (22. ed.) UFPE (CSA 2024 – 037)

BRUNO NUNES GUEDES

**INTEGRAÇÃO DE UM MODELO DE ALOCAÇÃO BASEADO EM REDES  
COM UM MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: UM ESTUDO  
DE CASO EM BACIAS INTERLIGADAS NO AGRESTE DE PERNAMBUCO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia - PIMES da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Economia.

Aprovado em: 28/07/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Márcia Maria Guedes Alcoforado de Moraes (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Marcelo Pereira da Cunha (Coorientador)  
Universidade Estadual de Campinas

---

Prof. Dr. Carlos de Oliveira Galvão (Examinador Externo)  
Universidade Federal de Campina Grande

---

Prof. Dr. Gerald Norbert Souza da Silva (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Paraíba

---

Prof. Dr. Ignácio Tavares de Araújo Júnior (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Paraíba

---

Prof. Dr. Jorge Henrique Norões Viana (Examinador Externo)  
Universidade Federal da Paraíba

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, ao longo da minha vida como estudante, pesquisador e professor, de alguma forma contribuíram para a concretização desta tese, em especial:

Aos meus pais, Madalena e Antônio, que sempre me incentivaram, apoiaram e ofereceram todo o necessário desde os primeiros anos de escola;

À minha esposa Marina, que sempre esteve ao meu lado para enfrentar todas as dificuldades e celebrar cada uma das pequenas vitórias ao longo desses mais de seis anos de doutorado, sendo sempre uma fonte inesgotável de apoio, compreensão e amor. Sem ela nada disso teria sido possível;

Aos meus amigos, entre os quais destaco Jaílson (Júnior), Luísa, Luiz Henrique, Michelly e Márcio, que apesar de todas as minhas ausências se mantiveram próximos e se mostraram presentes sempre que possível e Ângelo, por todo o apoio dado no período que passei na Unicamp;

Aos meus alunos e alunas da Universidade de Pernambuco Campus Salgueiro: Fernanda, Cristina, Nádio, Ítalo, Ingrid, Tamires, Bárbara, Leidiane, Antônio, Maíza e Raquel, que a cada aula me deram motivação e energia para seguir em frente;

A todos os monitores que estavam sempre disponíveis para tirar dúvidas e dar dicas valiosas para cada disciplina: Andrews e Gabriel, Gilberto (Gil do Vigor) e Pablo, e Francisco (Pancho);

Aos meus chefes ao longo desse período, Rachel Pontes e Marcelo Bruto por terem autorizado meu afastamento por um ano, período no qual escrevi grande parte deste trabalho e Hugo Medeiros e Katarina Santiago, por terem permitido flexibilizações de horário que foram essenciais nos meses finais do doutorado;

À minha orientadora Márcia Alcoforado de Moraes e ao meu coorientador Marcelo Cunha por todo o ensinamento e orientações para o desenvolvimento desta tese;

Agradeço ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsa de doutorado dentro do Programa de Apoio à Formação de Doutores em Áreas Estratégicas e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e à Agência Nacional de Águas e Saneamento (ANA) pelo Programa Pró-Recursos Hídricos, do qual esta tese faz parte.

## RESUMO

Esta tese integra o projeto CAPES/ANA – Pró-Recursos Hídricos nº16/2017 que tem como área de estudo as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Una e Sirinhaém em Pernambuco e se propôs a avaliar, através de modelagem econômico-integrada, a ação de instrumentos de gestão regulatórios e econômicos em um período de escassez na região e ao Projeto de Apoio à Formação de Doutores em Áreas Estratégicas, chamada pública nº 01/2019, financiado pelo CNPq. A modelagem aqui proposta, que representa uma primeira integração de um modelo baseado em redes com um Modelo de Equilíbrio Geral Computável (MEGC) desenvolvido nesta tese, representa avanços importantes em relação a outras integrações obtidas nesse mesmo projeto: i) a inclusão da água bruta como um fator de produção no MEGC, através do modelo baseado em redes e da MIP; ii) a consideração de quatro regiões distintas no MEGC: Resto do Brasil, Resto de Pernambuco e área de estudo, sendo esta última dividida a área de estudo em Região Seca e Região Úmida; iii) setores econômicos modelados de forma distinta (árvores) de acordo com os fatores de produção utilizados, resultando em grupos de setores distintos, a saber: Grupo 1, utilizam apenas capital 1 e trabalho, Grupo 2, utilizam também capital 2 e água bruta, e Grupo 3 utilizam também terra irrigável e terra de sequeiro. Foram modelados dois cenários para análise, com o objetivo de representar diferentes instrumentos de gestão: no cenário 1, simulou-se um choque com critério hidrológico (exógeno ao MEGC, dado pelo modelo em redes). Neste cenário 1, cada setor da área de estudo, que utilizava o recurso água bruta, sofre uma redução na disponibilidade hídrica dada pelo modelo baseado em redes, simulando a ação de instrumentos regulatórios diante da escassez – assim, foi feita uma redução específica setor a setor de forma exógena ao MEGC. No cenário 2, simulou-se a ação de um instrumento econômico, aplicando-se a redução na disponibilidade hídrica da área de estudo de forma global, a mesma redução agregada simulada no cenário 1 (-9,4%, de média no ano), deixando que o MEGC então, determinasse endogenamente a nova alocação de água bruta entre os setores na área de estudo. Em cada cenário, assim representativo da ação, diante da escassez, dos dois tipos de instrumentos de gestão, puderam ser analisadas :i) as mudanças nas alocações do recurso hídrico diante do instrumento econômico; ii) as alterações no uso dos demais fatores de produção diante dos dois instrumentos; iii) os impactos sobre variáveis macroeconômicas relevantes (PIB) por setor agregado – agricultura, indústria, serviços – bem como, nos principais setores usuários de água bruta. Vale destacar ainda a análise de ganhos de eficiência por setor econômico, utilizando o indicador *water use efficiency* (WUE), diante dos dois instrumentos de gestão. Alguns dos principais resultados obtidos pela modelagem integrada desenvolvida nesta tese, mostram que a Região Seca sofre maiores cortes diante do instrumento regulatório (cenário 1), enquanto a região úmida sofre maiores cortes diante do instrumento econômico (cenário 2); as reduções no PIB das duas regiões Seca e Úmida são maiores diante do instrumento regulatório (cenário 1) do que no econômico (cenário 2); o ganho de eficiência total da área de estudo foi muito próximo em ambos os cenários, mas o ganho de eficiência na indústria da área de estudo foi quase quatro vezes maior diante do instrumento econômico (cenário 2). De uma forma geral, a modelagem desenvolvida pôde comprovar que o instrumento econômico, ao sinalizar a escassez do fator água, e deixar os setores econômicos resolverem suas alocações endogenamente, resulta em transferências proporcionais do recurso água, em relação a regulação, que levam a menores perdas socioeconômicas. Essas transferências por setor agregado, ocorreram do setor industrial principalmente para serviços e em menor proporção para a Agricultura. Analisando por região, essas transferências do setor industrial ocorreram na região úmida, majoritariamente constituída pela indústria de

álcool e açúcar, que reduziu o seu uso e aumentou sua eficiência, disponibilizando maiores proporções para a indústria e os serviços da região seca, que incluem setores industriais urbanos. Estes setores agregados nesta região seca (Indústria e Serviços), se mostraram mais resilientes e conseguiram elevar o seu PIB, diante da escassez, sendo tais elevações maiores diante da realocação econômica quando comparada à regulação. No caso da agricultura, o discreto aumento na proporção de uso da água com a realocação econômica, em relação à regulação, foi distribuído entre as regiões da região seca para a úmida, sendo que nesta última a proporção de uso na cana irrigada caiu, o que significa que esta água foi usada em outros cultivos.

Palavras-chave: MEGC, modelagem integrada, alocação hídrica, eficiência.

## ABSTRACT

This thesis integrates the CAPES/ANA project – Pró-Recursos Hídricos nº16/2017, which focuses on the basins of the Capibaribe, Ipojuca, Una, and Sirinhaém rivers in Pernambuco. It aims to evaluate, through integrated economic modeling, the action of regulatory and economic management instruments during a period of scarcity in the region. Additionally, it contributes to the Project for Support to the Training of PhDs in Strategic Areas, public call nº 01/2019, funded by CNPq. The proposed modeling, which represents the initial integration of a network-based model with a Computable General Equilibrium Model (CGE) developed in this thesis, presents significant advancements compared to previous integrations within the same project: i) The inclusion of raw water as a production factor in the CGE, through the network-based model and MIP ii) The consideration of four distinct regions in the CGE: Rest of Brazil, Rest of Pernambuco, and the study area, with the latter divided into Dry Region and Wet Region iii) Economic sectors modeled differently (trees) according to the production factors used, resulting in distinct sector groups: Group 1 utilizes only capital 1 and labor, Group 2 also utilizes capital 2 and raw water, and Group 3 also utilizes irrigable land and dryland. Two scenarios were modeled for analysis to represent different management instruments: In Scenario 1, a shock with hydrological criteria (exogenous to the CGE, given by the network-based model) was simulated. Each sector in the study area using raw water resources experienced a reduction in water availability determined by the network-based model, simulating the action of regulatory instruments in response to scarcity. In Scenario 2, the action of an economic instrument was simulated by applying a global reduction in water availability in the study area, equivalent to the aggregate reduction simulated in Scenario 1 (-9.4% on average for the year). The CGE then endogenously determined the new allocation of raw water among sectors in the study area. In each scenario, representing the action of the two types of management instruments in response to scarcity, the following aspects were analyzed: i) Changes in water resource allocations due to the economic instrument ii) Changes in the use of other production factors due to both instruments iii) Impacts on relevant macroeconomic variables (GDP) by aggregate sector—agriculture, industry, services—as well as in the main sectors using raw water. It's worth noting the analysis of efficiency gains by economic sector using the water use efficiency (WUE) indicator under both management instruments. Some of the main results obtained from the integrated modeling developed in this thesis indicate that the Dry Region experiences greater cuts under the regulatory instrument (Scenario 1), while the Wet Region experiences greater cuts under the economic instrument (Scenario 2). The reductions in GDP for both the Dry and Wet Regions are greater under the regulatory instrument (Scenario 1) than under the economic instrument (Scenario 2). The total efficiency gain in the study area was very similar in both scenarios, but the efficiency gain in the study area's industry was almost four times higher under the economic instrument (Scenario 2). Overall, the modeling demonstrates that the economic instrument, by signaling water scarcity and allowing economic sectors to allocate resources endogenously, leads to proportional transfers of water resources compared to regulation, resulting in lower socioeconomic losses. These transfers by aggregate sector predominantly occurred from the industrial sector to services, with a smaller proportion to agriculture. Analyzing by region, these transfers from the industrial sector primarily occurred in the Wet Region, mainly constituted by the alcohol and sugar industry, which reduced its usage and increased its efficiency, thereby providing larger proportions to the industry and services in the Dry Region, including urban industrial sectors. These aggregated sectors in the Dry Region (Industry and Services) demonstrated more

resilience and managed to increase their GDP in the face of scarcity, with greater increases resulting from economic reallocation compared to regulation. In the case of agriculture, the slight increase in water usage proportion with economic reallocation, compared to regulation, was distributed from the Dry Region to the Wet Region, with a decrease in the proportion of water usage in irrigated sugarcane in the latter, indicating that this water was used in other crops.

Keywords: CGEM, integrated modeling, water allocation, WUE.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo Conceitual da Plataforma de Integração de Modelos .....	25
Figura 2 - Componentes dos Modelos de Equilíbrio Geral Computável .....	32
Figura 3 - Mapa da área de estudo com a rede de nós e links desenvolvida para representar a área de estudo no âmbito do projeto ANA-CAPES.....	44
Figura 4 - Visão geral do Modelo de Equilíbrio Geral Computável .....	54
Figura 5 - Árvore dos setores do Grupo 1 .....	63
Figura 6 - Árvore dos setores do Grupo 2 .....	65
Figura 7 - Árvore dos setores do Grupo 3 .....	67
Figura 8 - Variação na alocação da água por setor agregado .....	88
Figura 9 - Variação no PIB real na Área de Estudo, região seca e região úmida (%)....	93
Figura 10 - Variação no PIB da Área de Estudo por setor agregado (%).....	97
Figura 11 - Variação no PIB da Região Seca por setor agregado (%) .....	102
Figura 12 - Variação no PIB real da Região Úmida por setor agregado (%) .....	110
Figura 13 – Variação nas alocações de água bruta entre os principais setores usuários (%) .....	118
Figura 14 - Alocação de água entre os principais setores usuários – Cenário Base, Cenário 1 e Cenário 2.....	121

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Municípios e agregados que compõem a Região Seca .....	58
Quadro 2 - Municípios que compõem a Região Úmida .....	59
Quadro 3 - Divisão dos setores da área de estudo em grupos de acordo com os fatores primários utilizados .....	60
Quadro 4 - Variáveis endógenas e exógenas nos Cenários 1 e 2 .....	82

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distribuição da população e da produção do estado de Pernambuco por Região de Desenvolvimento (RD).....	43
Tabela 2 - Uso de água bruta pelos diferentes usos na área de estudo - 2011.....	45
Tabela 3 - Distribuição da água por setor agregado e regiões nos dois cenários de escassez e no cenário base (%)......	91
Tabela 4 - Distribuição da água bruta entre as regiões seca e úmida nos cenários base, 1 e 2 (%) .....	92
Tabela 5 - Distribuição do PIB por setor agregado e por região da área de estudo (%)	92
Tabela 6 - Variação no uso de fatores de produção por região na Área de Estudo - Cenário 1 em relação ao Cenário Base (%)......	94
Tabela 7 - Variação no uso de fatores de produção na Área de Estudo - Cenário 2 em relação ao cenário Base (%) .....	94
Tabela 8 - Variação no uso de fatores de produção na Área de Estudo - Cenário 2 em relação ao Cenário 1 (%) .....	94
Tabela 9 - Eficiência do uso de água (WUE) por setor agregado/região e cenário no MEGC (R\$/m <sup>3</sup> ).....	98
Tabela 10 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na área de estudo (%) .....	98
Tabela 11 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na Região Seca (%) .....	103
Tabela 12 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na Região Úmida (%) .....	111
Tabela 13 - Variação na produção dos principais setores usuários de água (%).....	119
Tabela 14 - Variação no uso dos fatores de produção entre os principais setores usuários de água (%).....	120
Tabela 15 - Eficiência do uso de água (WUE) para os principais setores usuários (R\$/m <sup>3</sup> ) .....	122

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CBH – Comitê de Bacia Hidrográfica

CEIVAP – Comitê de Integração da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul

CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos

CRH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos

GIRH – Gestão Integrada de Recursos Hídricos

GWP – Global Water Partnership

HEAL – Hydro – Economic Allocation System

MCS – Matriz de Contabilidade Social

MEGC – Modelo de Equilíbrio Geral Computável

MIP – Matriz de Insumo-Produto

MPL – Modelo de Programação Linear

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

PL – Programação Linear

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

PPU – Preço Público Unitário

PMP – Programação Matemática Positiva

SADE – Sistema de Apoio à Decisão Espacial

SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos

WEM – *World Economy Models*

WS – Water Stress (estresse hídrico)

WUE – Water Use Efficiency (eficiência no uso de recursos hídricos)

WWAP – World Water Assessment Programme

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
1.1. OS MODELOS ECONÔMICO-INTEGRADOS PARA APOIO A DECISÃO NA GESTÃO DA DEMANDA .....	19
1.2. ESTUDO DE CASO E PROPOSTA DE MODELAGEM ECONÔMICO-INTEGRADA PARA APOIAR O DESENHO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE DEMANDA .....	22
2. REVISÃO DA LITERATURA .....	31
2.1. MODELOS DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEIS (MEGC) PARA APOIO A DECISÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E NO DESENHO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO .....	31
2.2. INTEGRAÇÃO DOS MEGC COM OUTROS “ <i>WATER-ECONOMY MODELS</i> ” PARA APOIAR A DEFINIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO, EM ESPECIAL DE VALORES DE COBRANÇA .....	38
3. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA .....	43
3.1. ÁREA DE ESTUDO .....	43
3.2. METODOLOGIA.....	47
3.2.1. OS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO BASEADOS EM REDES E O SISTEMA DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL <i>HEAL SYSTEM</i> .....	48
3.2.2. O MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL (MEGC) .....	51
3.2.3. A INTEGRAÇÃO DO MEGC NA PLATAFORMA INTEGRADORA DE MODELOS PARA SUBSIDIAR ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA BRUTA .....	55
3.2.4. EQUAÇÕES DO MEGC .....	68
3.2.5. A CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO REPRESENTATIVO DE INSTRUMENTO DE GESTÃO REGULATÓRIO ( CRITÉRIO HIDROLÓGICO – CENÁRIO 1).....	79

3.2.6. A CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO REPRESENTATIVO DE INSTRUMENTO DE GESTÃO ECONÔMICO(CRITÉRIO ECONÔMICO – CENÁRIO 2).....	80
3.2.7. FECHAMENTO DO MODELO.....	82
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	87
4.1. MPACTOS SETORIAIS E REGIONAIS DAS REALOCAÇÕES SEGUNDO OS CRITÉRIOS ECONÔMICO E HIDROLÓGICO.....	87
4.1.1. ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA ALOCAÇÃO POR SETOR AGREGADO E REGIÃO DIANTE DA ESCASSEZ .....	87
4.1.2. OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO POR REGIÃO .....	92
4.1.3. OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO POR SETOR AGREGADO .....	96
4.1.3.1. IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA REGIÃO SECA POR SETOR AGREGADO .....	101
4.1.3.2. IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA REGIÃO ÚMIDA POR SETOR AGREGADO.....	110
4.1.4. ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA ALOCAÇÃO E NOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DO PONTO DE VISTA DOS MAIORES USUÁRIOS DE ÁGUA BRUTA DA ÁREA DE ESTUDO .....	117
5. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS.....	133
REFERÊNCIAS .....	142
APÊNDICE A - CÓDIGOS DOS SETORES ECONÔMICOS.....	149
APÊNDICE B - DIVISÃO DOS SETORES POR SETOR AGREGADO.....	153
APÊNDICE C - ELASTICIDADES UTILIZADAS NO MEGC.....	157

## 1. INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos tem aumentado nas últimas décadas em decorrência do crescimento populacional, mudanças climáticas, degradação da qualidade, mudanças nos padrões de consumo e outros fatores. De acordo com o (WWAP, 2012), até 2025 1,8 bilhão de pessoas viverão em regiões com escassez absoluta de água, enquanto dois terços da população enfrentarão grande déficit hídrico. Historicamente, cerca de 70% da água doce utilizada no mundo vem sendo destinada à irrigação e dessedentação animal, 14% para a indústria e 16% ao uso humano dentre os usos consuntivos, já entre os usos não consuntivos, 31,5% dos recursos são usados para produção de energia (Tucci, 2001). Estima-se que a demanda por água para agricultura e uso urbano deva aumentar de 50% a 70%, enquanto a demanda para o setor de energia deve aumentar 85% até 2035 (World Bank Group, 2016), evidenciando uma forte perspectiva de acirramento na competição pelos recursos hídricos disponíveis.

Para atender à crescente demanda por recursos hídricos e minimizar conflitos especialmente em contextos de incertezas e escassez hídrica, utilizam-se dois tipos de estratégias de gestão: a gestão da oferta – regularizando, transportando espacial e temporalmente o recurso hídrico de forma a prover segurança hídrica – e a gestão da demanda através de instrumentos regulatórios e econômicos voltados a diminuir perdas, evitar desperdícios e induzir uma alocação eficiente entre os usos. Na agricultura brasileira cerca de 60% do volume da água captada se perde antes de chegar à plantação que deveria irrigar, enquanto na indústria nacional o desperdício é da ordem de 20%. No abastecimento humano, estima-se que a rede de distribuição de água tratada apresenta perdas de 40,1% no Brasil, de 46,3% no Nordeste e de 49,9% em Pernambuco (SNIS, 2021).

Alternativas para aumentar a disponibilidade através de investimentos em gestão de oferta são as mais usadas até agora, mas vão ficando cada vez mais limitadas e caras, enquanto a gestão da demanda com seus instrumentos vão se tornando mais necessários para garantir a disponibilidade do recurso em tempos de escassez (Harou *et al.*, 2009; Rosegrant *et al.*, 2014). Estes instrumentos usados de forma complementar gestão de oferta, podem incentivar a eficiência no uso e induzir uma realocação do uso da água dos setores econômicos mais intensivos para os menos intensivos, promovendo assim um desenvolvimento econômico socialmente justo e ambientalmente sustentável.

Segundo (Rosegrant e Binswanger, 1994), quando a economia, a competição por água e seu valor econômico crescem, os benefícios da sua realocação acompanham este crescimento de forma significativa. Os autores apontam uma série de fatores que aumentam o valor da água e, por conseguinte, os benefícios da alocação eficiente: a oferta de longo prazo da água torna-se inelástica; a demanda por água aumenta rapidamente; a competição por água entre os usos agrícolas, industrial, urbano e não-consuntivo aumenta; os problemas de externalidade, tais como, salinização de águas subterrâneas e da terra, tornam-se mais importantes.

Para que as políticas de gestão de demanda sejam efetivas, seus instrumentos devem ser desenhados e avaliados com base na teoria econômica (a economia estuda a alocação ótima de recursos escassos) que apreendam a complexidade de sua aplicação. Instrumentos de gestão de demanda que possam induzir o uso eficiente do recurso, do ponto de vista econômico, precisam ser avaliados levando-se em conta os impactos das alocações resultantes sobre os diversos setores econômicos direta e indiretamente afetados, e o horizonte de tempo a ser considerado (Cai, McKinney e Lasdon, 2003; Hurford, Huskova e Harou, 2014).

Existem dois tipos de instrumentos para implementar políticas de gestão de demanda: os de comando e controle, também conhecidos como regulatórios, (p.ex. os direitos de uso e padrões para descarga de efluentes), e os instrumentos baseados em mercado ou econômicos (Benn, Bindra e UNEP, 2011; Crompton, Nuttall e UNEP, 2012). De forma mais específica, os primeiros estabelecem níveis quantitativos de uso e padrões ambientais, como por exemplo, o nível máximo de contaminação permitido. Já os incentivos baseados em mercado, como a cobrança ou precificação da água bruta e mercados de água, visam influenciar diretamente o comportamento dos usuários fornecendo incentivos para mudanças de comportamento, que levem a uma maior qualidade do recurso, bem como a sua maior disponibilidade (Alcoforado de Moraes et al., 2015).

Atualmente os instrumentos de comando e controle, não só em gestão de recursos hídricos, mas na política ambiental como um todo, são os mais frequentemente empregados. Já há evidências que mostram que complementá-las com estratégias baseadas em mercado deve trazer maiores benefícios ambientais, econômicos e sociais. Segundo (Alcoforado de Moraes, Ringler e Cai, 2011) o uso de instrumentos regulatórios e econômicos combinados na gestão de recursos hídricos deve resultar em menores

quantidades de água usadas, maiores receitas para o Estado e melhor distribuição de água entre ricos e pobres.

Dentre os instrumentos de gestão baseados em mercado existentes, a cobrança, ou seja a determinação de um preço para uso da água bruta tem potencial para trazer diversos benefícios como: i) internalizar externalidades de uso do recurso; ii) promover estratégias custo-efetivas e tecnicamente eficientes; iii) prover um incentivo natural aos usuários para conservação do recurso; e, iv) gerar receitas que podem ser usadas para fortalecer o cumprimento da regulação vigente (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2015). No entanto, a mesma tem sido considerada subutilizada, principalmente devido à dificuldade de se estabelecer esses preços (Griffins, 2007). Na verdade, a subutilização da cobrança vem sendo atribuída ao estabelecimento de preços muito baixos, que não só geram recursos insuficientes para suprir as necessidades de disponibilidade e qualidade de água (Quental, Bombo e Yansen, 2010), como também não resultam em mudanças de comportamento nos usuários em direção ao uso mais racional do recurso (Demajorovic, Caruso e Jacobi, 2015; Féres *et al.*, 2005). Estabelecer tais preços não é trivial e requer o uso de ferramentas analíticas e modelagens baseados na teoria econômica, que possam apoiar a tomada de decisão incorporando toda a complexidade inerente ao problema.

### **1.1.OS MODELOS ECONÔMICO-INTEGRADOS PARA APOIO A DECISÃO NA GESTÃO DA DEMANDA**

Uma estratégia central para apoiar a implementação de uma gestão de demanda adequada é a identificação da alocação ótima dos recursos hídricos considerando os diferentes usos concorrentes, que, segundo relatório da (OCDE, 2015), pode ser conseguida através de uma combinação de políticas, leis e instrumentos alocativos. Tais instrumentos devem levar a uma diminuição do risco de escassez, redução das perdas e indução a um uso eficiente pelos setores econômicos. Ao ser obtido sob diferentes critérios, cenários e análises de sensibilidade, o valor ótimo deve subsidiar a identificação de um regime de alocação robusto, com um bom desempenho para qualquer nível de oferta, além da capacidade de adaptação a mudanças climáticas a um menor custo.

A otimização obtida utilizando um critério econômico e ao mesmo tempo atendendo a restrições ambientais e de justiça social está alinhada com o conceito de Gestão Integrada de Recursos Hídricos (GIRH) segundo a definição da *Global Water Partnership* (GWP, 2004). Além disso, de acordo com (Gallagher *et al.*, 2016) regimes de alocação baseados

em otimização econômica geram incentivos para investimentos e inovação promovendo utilização eficiente e reutilização do recurso hídrico. Ao mesmo tempo, têm impactos positivos na proteção ecológica dos rios, lagos e lençóis freáticos, além de promover igualdade social, gerando emprego e renda e acesso à água potável com equidade. Para ser implementado, este ótimo econômico não prescindirá de instrumentos de gestão baseados em mercado adequadamente desenhados e periodicamente avaliados. Para tal, serão requeridos modelos econômicos em diferentes níveis, desde os baseados em rede, com informações geográficas e mais apropriados para mensurar impactos econômicos locais até os mais abrangentes, que possam medir impactos regionais, como os modelos de insumo-produto e os modelos de equilíbrio geral computável (MEGC).

Os Modelos de otimização baseados em rede são aqueles capazes de obter a alocação ótima de acordo com diferentes critérios, tanto os hidrológicos como os econômicos, para um dado sistema físico, possibilitando ainda a incorporação de restrições hidrológicas, institucionais e ambientais. Tais modelos têm sido amplamente utilizados em nível de bacias hidrográficas para avaliar diferentes instrumentos de gestão (regulatórios e econômicos) e as alocações resultantes, a partir da mensuração dos seus efeitos locais. Esses modelos têm como principais vantagens a capacidade de incorporar fidedignamente aspectos temporais e espaciais, essenciais para garantir a aplicabilidade dos instrumentos de alocação de recursos hídricos. No entanto, modelos baseados em rede não conseguem captar efeitos econômicos ampliados, tanto setorial como regionalmente, de estratégias de alocação diferentes.

Para mensuração de efeitos econômicos ampliados de realocações de recursos, utilizam-se os chamados modelos *economywide*. A mensuração de impactos econômicos setoriais e regionais nesses modelos é obtida pelas informações relativas às relações interindustriais da economia que fazem parte dos mesmos. Assim, esse grupo de modelos é capaz de mensurar os efeitos econômicos de mudanças nas quantidades de oferta e demanda de recursos e produtos da economia não só nos setores usuários e regiões diretamente afetadas, mas em todos os demais setores da economia e regiões relacionados aos primeiros, que são afetados somente de forma indireta.

No entanto, os modelos *economywide* não possuem uma boa representação geográfica. Mesmo quando incluem o recurso água, tais modelos não conseguem representar bem decisões de alocação de água entre os usos, por não levarem em conta limitações físicas e espaciais, tais como a existência de infraestrutura hídrica, como reservatórios e adutoras

que viabilizem fisicamente uma dada alocação (Bekchanov *et al.*, 2017). Exemplos de modelos *economywide* são os Modelos de Insumo-Produto (MIP) e os Modelos de Equilíbrio Geral Computáveis (MEGC).

A principal diferença entre MIPs e MEGCs está na premissa usada nos primeiros da relação linear entre os insumos e produtos que não varia, ou seja nos MIPs a proporção de uso dos fatores de produção nos setores produtivos se mantém, diante de um choque de demanda ou oferta. Assim, os MIPs não consideram a possibilidade de substituição entre insumos ou fatores primários, como capital, trabalho, terra e água, diante da escassez ou aporte de alguns desses. Uma outra diferença importante decorrente desta hipótese é que MIPs não respondem a preços, que são tomados como constantes e, portanto, não podem ser ajustados endogenamente. Ao permitir que preços e proporções dos recursos sejam ajustados endogenamente, os MEGCs trazem novos efeitos resultantes de choques exógenos de fatores de produção como a água na economia, refletindo no seu uso, na sua escassez relativa e na produção de bens intermediários e finais. A maior limitação do MEGC para o estudo de alocações de recursos hídricos é que as informações geográficas e temporais, especialmente importantes na gestão das águas, não são consideradas. Por exemplo, a alocação econômica ótima da água, que pode ser obtida através de um MEGC, pode não ser factível pois o modelo não tem informações sobre ligações naturais e a infraestrutura hídrica existente. Assim, decisões de operação como alocações entre os usos/ usuários, de água em períodos de escassez, volumes de reservatórios, fluxos mínimos e/ou ecológicos não podem ser facilmente subsidiadas através dos resultados de modelos *economywide*.

A integração de um modelo econômico baseado em redes a um MEGC é capaz de incorporar a este último a espacialidade e a temporalidade das informações hidrológicas e econômicas existentes na rede de nós e links. Tais MEGCs, assim integrados, não representariam toda a bacia através de um único nó, e assim não negligenciariam as restrições espaciais da alocação do recurso hídrico. Com a integração, o MEGC tornar-se-ia capaz, por exemplo, de mensurar efeitos de alocações viáveis, espacial e temporalmente, alcançadas através da aplicação de instrumentos de gestão numa bacia hidrográfica representada por uma rede de nós e links. Estes impactos econômicos seriam medidos usando as premissas de não-linearidade e substitutibilidade entre fatores de produção usados no MEGC e poderiam ser dados por mudanças em indicadores macroeconômicos, tais como: PIB, emprego, valor da produção, preços etc.

Fazer a integração entre modelos baseados em rede e modelos *economywide* não é uma tarefa trivial, dado que estes tipos de modelos, além de requererem expertises diferentes são baseados em dados com diferentes horizontes de tempo, limites geográficos e administrativos. Dadas diferentes expertises requeridas para os modeladores, o desenvolvimento de tal integração em geral requer equipes interdisciplinares. Segundo destacado por (Bekchanov *et al.*, 2017), este é o desafio mais recente na modelagem de apoio à gestão de recursos hídricos. Essa integração visa unir a boa representação geográfica dos modelos baseados em rede com a capacidade de mensurar impactos econômicos de forma mais abrangente, característica dos modelos *economywide*. Ainda de acordo com esses autores, são esses modelos híbridos agregando as características dos dois tipos de *water-economy<sup>1</sup> models* que poderão apoiar a decisão no desenho e avaliação de instrumentos de gestão, que induzam a um desenvolvimento econômico sustentável e que sejam temporal e espacialmente viáveis.

## **1.2. ESTUDO DE CASO E PROPOSTA DE MODELAGEM ECONÔMICO-INTEGRADA PARA APOIAR O DESENHO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO DE DEMANDA**

Para a formulação de políticas realmente efetivas, o uso dos instrumentos regulatórios e econômicos devem ser parte de uma análise de alocação intersetorial integrada que avalie custos e benefícios, e inclua os custos de oportunidade dos usos. Assim, a ideia é que as políticas de alocação sejam construídas e avaliadas de forma a não só focar nas questões de eficiência no uso (nos aspectos de quantidade e qualidade de água) como também incorporar custos e benefícios socioeconômicos. É com essas características que as mesmas tornam-se agentes de um real processo de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos (Integrated Water Management Systems - IWRM), viabilizando o desenvolvimento econômico e o bem-estar social de forma sustentável (Alcoforado de Moraes & Marques, 2012).

No Brasil, foi a edição da Lei n.9.433, de 8/1/97, em substituição ao Código de Águas<sup>2</sup> do início do século, que segundo (Granziera, 2000) passou a fornecer os instrumentos

---

<sup>1</sup> Modelos que integram as complexas interrelações entre sistemas hidrológicos e econômicos e são especialmente úteis para analisar mudanças futuras em sistemas hídricos, tais como mudanças socioeconômicas, de infraestrutura ou desafios de gestão de recursos hídricos como situações de escassez (Bekchanov *et al.*, 2017).

<sup>2</sup> O Código de Águas foi um diploma legal formulado no início do século, considerado um instrumento avançado para a época. Todavia, a evolução das atividades humanas, no decorrer do tempo, encarregou-se

necessários à administração dos recursos hídricos, no que se refere à proteção e melhoria dos aspectos de qualidade e quantidade. A lei se constitui num instrumento hábil para que se possa gerir as águas do Brasil de acordo com os critérios mais modernos que existem.

É ela que reconhece o valor econômico do recurso em situação de escassez e estabelece o instrumento de cobrança baseado em mercado (instrumento econômico), entre os instrumentos de gestão, além das outorgas e enquadramentos, que são as abordagens de comando-e-controle ou os instrumentos regulatórios. Os critérios para cobrança são estabelecidos nos Planos de Recursos Hídricos, elaborados para o nível de bacia, e submetidos aos respectivos comitês de bacia hidrográfica (CBH).

A cobrança tem, segundo a referida lei, três objetivos principais: (1) dar uma indicação do real valor do recurso hídrico para o usuário; (2) incentivar o uso eficiente do ponto de vista econômico; e, (3) obter recursos financeiros para financiar programas e intervenções previstos nos planos de recursos hídricos, tais como projetos de infraestrutura hídrica e manutenção e operação das mesmas (Gelain, 2018; Mota, 2004; Pereira, 2002). Além disso, os recursos podem ser usados para o pagamento de despesas de implantação e custeio administrativo dos órgãos e entidades integrantes do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH), devendo ser aplicados prioritariamente na bacia em que foram gerados.

A cobrança é o único instrumento econômico de gestão de águas originalmente previsto e atualmente permitido pela lei brasileira. Os mercados de águas ainda não o são, mas há uma consulta pública ao projeto de lei (495/2017) para incluir mais esse instrumento econômico que necessita de regulação para ter efeitos positivos na gestão. O projeto pretende alterar a lei 9433 de forma a incorporar mais esse instrumento como uma alternativa para promover a alocação eficiente em situações de crise hídrica. Enquanto isso, a cobrança no país ainda se encontra em parte não aplicada. Em apresentação feita no XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos (Foz do Iguaçu), um dos diretores da Agência Nacional de Águas (ANA), em 28 de novembro de 2019, contabilizou apenas 55 bacias estaduais com cobrança estabelecida, dentre as mais de 200 bacias com CBHs estabelecidos e no caso das federais, 6 dentre as 10. Mesmo entre as que cobram, a maior

---

de torná-lo desatualizado, à medida que novas atividades econômicas surgiram, ensejando a necessidade de criação de outros instrumentos de controle, em função do aumento da demanda da água, seja pela quantidade, seja pela qualidade.(Granziera, 2000)

parte dos preços estabelecidos para a água bruta são definidos com objetivos arrecadatários, o que não induz o comportamento eficiente do ponto de vista econômico.

Dificuldades na determinação dos valores a se cobrar que induzam benefícios a toda a sociedade, bem como implicações distributivas relacionadas ao incremento de preços dos produtos que usam água como matéria-prima são dois importantes desafios que ainda precisam ser enfrentados, a fim de que a cobrança seja aplicada de forma a atingir os seus objetivos. Ao mesmo tempo, diante da possibilidade de se utilizar mercados de água em situações críticas e ter que regulá-los, cresce a necessidade por modelos de apoio a decisão que permitam desenhar e avaliar esses novos instrumentos de acordo com a teoria econômica.

Especialmente em regiões que enfrentam escassez hídrica como o Agreste pernambucano, instrumentos de gestão desenhados de forma a induzir uma alocação eficiente do ponto de vista econômico são essenciais. O presente estudo está inserido no projeto de pesquisa “Integração de modelos econômicos para apoio à decisão em políticas de alocação de águas” aprovado na chamada CAPES/ANA – Pró-Recursos Hídricos nº16/2017 que tem como área de estudo as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Una e Sirinhaém, já interligadas, que se estendem do litoral ao agreste do estado.

O desenvolvimento dos modelos baseados em rede e sua integração com os modelos *economywide* está sendo viabilizada por um Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE) chamado *Hydro – Economic Allocation System (HEAL)*, cuja arquitetura e principais funcionalidades têm sido desenvolvidas e aperfeiçoadas através de financiamentos de projetos de pesquisa com recursos do CT-Hidro / CNPq (2007-2011 e 2012-2018) e atualmente da ANA (Agência Nacional de Águas) / CAPES (2018-2023) totalizando investimentos em mais de uma década de pesquisa. O HEAL (Souza Da Silva & Alcoforado de Moraes, 2021) é um sistema que integra um Sistema de Informação Geográfico (SIG) com modelos baseados em rede (modelos de otimização da alocação) de uma forma forte, ou seja, a base de dados espacial gerenciada por um SIG baseado na internet é compartilhada com os modelos. A arquitetura desta integração baseia-se no modelo conceitual apresentado em (Mckinney & Cai, 2002) e permite integrar dados hidrológicos e econômicos através de uma rede de nós e links. A conexão com os modelos *economywide* é possibilitada pelo HEAL, em um acoplamento fraco, ou seja, sem compartilhar a mesma base de dados. No entanto, há total correspondência entre os setores econômicos e municípios a que pertencem os usuários de águas nos modelos de

alocação, com os setores/ municípios representados nos modelos *economywide* (Alcoforado de Moraes, Tavares Júnior & Cunha, 2023).

A primeira integração (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021) obtida na plataforma foi realizada entre um modelo de otimização da alocação com critério hidrológico, baseado em uma rede de nós e links, representativa das 4 bacias interligadas com um Modelo Insumo-Produto (*economywide*) regionalizado para a mesma região (Guilhoto et al, 2010). A partir de uma Matriz de Insumo – Produto (MIP) brasileira de 2011 (IBGE, 2011) houve uma regionalização para a área de estudo (as 4 bacias interligadas) que resultou em 76 setores econômicos e 75 regiões. A integração permitiu analisar os *tradeoffs* e impactos econômicos setoriais e regionais de estratégias de alocação representativas de instrumentos de gestão regulatórios simulados pelo modelo de otimização com critério hidrológico.

Conforme já mencionado, os Modelos de Insumo-Produto baseiam-se numa relação linear entre insumos e produtos, não respondem a preços e não consideram a possibilidade de substituição entre fatores primários de produção. Estas são limitações que podem ser resolvidas utilizando-se um MEGC. A ideia desta tese é então desenvolver e incorporar à plataforma HEAL, um novo modelo, um MEGC inter-regional para compor a base de modelos a ser disponibilizada ao usuário.

A Figura 1 a seguir, apresenta o esquema conceitual da plataforma econômico-integrada, que vem sendo desenvolvida e disponibilizada através do HEAL System e onde se vê os módulos já disponibilizados e os módulos em desenvolvimento, que incluem o modelo proposto nesta tese.

*Figura 1 – Modelo Conceitual da Plataforma de Integração de Modelos*



menores disponibilidades hídricas, ainda assim o indicador é útil pois caracteriza a situação da bacia como um todo.

Analisando o WUE, no ano base de 2011, por setor econômico e regiões na área das 4 bacias interligadas, os autores observaram duas porções com características bem diferenciadas: uma **região seca**, com maiores valores do indicador de eficiência, formada pela Bacia do Capibaribe e porções oeste das Bacias do Ipojuca e Una, e uma **região úmida**, com menores valores de eficiência, formada pela Bacia do Sirinhaém e porções leste das Bacias do Ipojuca e Una (Região Úmida). (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021)

Fazendo-se uma superposição entre os indicadores por região e os WS obtidos por bacia, verificou-se baixa eficiência no uso da água e elevado indicador de estresse hídrico nas regiões mais úmidas: porção final da bacia do Capibaribe, Bacia do Sirinhaém e porção Leste da Bacia do Ipojuca, em que predomina a cultura da cana-de-açúcar. Essa região mais úmida apresenta forte necessidade de gestão de recursos hídricos. por apresentar baixa eficiência no uso da água e pertencer a bacias que apresentam elevado estresse hídrico.

O MEGC aqui proposto, pretende expandir os resultados encontrados através da integração de modelos atual, ao iniciar uma análise para apoiar a decisão em atuais e potenciais estratégias de alocação da água bruta nas 4 bacias e enriquecer a análise de bem-estar, provendo indicadores socioeconômicos diretos e indiretos.

Além dessas duas regiões (a seca e a úmida, descritas acima), para fins da modelagem aqui proposta serão consideradas também as regiões resto de Pernambuco e resto do Brasil, para manter a compatibilidade com a MIP nacional utilizada. O MEGC dessa tese foi assim desenvolvido com quatro regiões: Região Seca e Região Úmida, que formam a área de estudo, Resto de Pernambuco e Resto do Brasil e os mesmos 76 setores econômicos da MIP regionalizada para a área de estudo. Esta decisão, de agregar as regiões em 4, foi tomada por razões computacionais, para reduzir o número de combinações, e utilizou o diagnóstico acima obtido em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021).

Os resultados da primeira integração, já disponibilizada na plataforma de apoio a decisão e publicada em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021), mostraram que os instrumentos regulatórios (comando-e-controle) de alocação de águas, especialmente na região mais crítica do ponto de vista da gestão (região úmida: baixa eficiência no uso e alto índice de

stress), não conseguiram diferenciar entre os usuários, setores econômicos e regiões mais ou menos eficientes, num contexto de escassez (período de 2011 a 2013, que incluiu um período de seca iniciado em 2012 e que durou até 2018). Os cortes na alocação efetuados por tais instrumentos de comando-e-controle, nesse triênio inicial de seca, não levaram em conta a eficiência no uso do recurso, resultando em maiores perdas econômicas e sociais em regiões mais industrializadas e com maiores PIBs do interior e mais eficientes no uso da água, promovendo assim incentivos inadequados. Em regiões com escassez de água e com necessidades crescentes de transferência, como a nossa área de estudo, incentivos adequados, desenhados por meio de instrumentos de gestão baseados na teoria econômica mostram-se essenciais para promover o desenvolvimento sustentável.

Ao incorporar à atual plataforma HEAL um MEGC, será possível identificar além dos efeitos socioeconômicos diretos e indiretos dos instrumentos regulatórios da primeira integração sob outras premissas (diferentes das adotadas no Modelo Insumo-Produto), os impactos sobre os preços relativos da economia. Além disso, será possível identificar uma alocação econômica ótima, que simula a ação de instrumentos econômicos.

Assim, a incorporação de um MEGC à plataforma de modelos pretende incorporar à análise econômico-integrada os seguintes resultados: 1) Mensurar os impactos econômicos e sociais diretos e indiretos e sobre os preços da economia, usando as premissas do MEGC, advindos do uso dos instrumentos regulatórios na alocação de água bruta na região das 4 bacias num período de escassez (2011-2013). A ação dos instrumentos regulatórios foi simulada usando dois critérios hidrológicos no modelo de otimização baseado em redes: maximização do atendimento às outorgas e a maximização no volume nos reservatórios ou a maximização da segurança hídrica, conforme estabelecido em (Alcoforado de Moraes et al, 2021) 2) Usando a redução total na alocação de água bruta (diminuição de atendimento) para aumentar o volume armazenado, segundo o critério hidrológico (instrumentos regulatórios) na região das 4 bacias interligadas no período de escassez (2011-2013) obtida através do modelo em redes, para obter a disponibilidade hídrica total, identificar qual seria a distribuição entre os setores (realocação econômica ótima -critério econômico de alocação) calculada pelo MEGC, e quais seriam os impactos diretos e indiretos desta realocação sobre a economia, em especial dentro da área de estudo e comparar as diferenças entre tais impactos e os anteriores obtidos usando o critério hidrológico.

Para obter tais medidas e desenvolver o modelo a ser integrado à plataforma de apoio à decisão necessária para tal, enumeramos os seguintes objetivos específicos:

- Construir um MEGC com quatro regiões, dividindo a região formada pelas bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém e Una em duas: **a seca**, que apresenta maior eficiência no uso da água e menor estresse hídrico e **a úmida** (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021), menos eficiente no uso da água e com maior estresse hídrico; o resto de Pernambuco e o Resto do Brasil, com 76 setores econômicos em cada uma delas, e com seis fatores primários de produção, capital 1, capital 2, trabalho, terra irrigável, terra de sequeiro e água para irrigação (água azul), a partir de uma MIP regionalizada, e integrado ao modelo de alocação baseado em redes;
- Aplicar as mesmas reduções na alocação de água em cada setor e região do modelo em redes impostas pelos critérios hidrológicos ao MEGC para simular a ação de instrumentos regulatórios – Cenário 1.
- A partir da soma das reduções de alocação da água bruta de cada setor e região usando os critérios hidrológicos, obtém-se a redução e a resultante disponibilidade hídrica total dada pelo modelo em redes (-9,4%) e considera-se como entrada no MEGC, que identifica então uma nova distribuição entre os setores e regiões (alocação econômica ótima), simulando a ação de instrumentos econômicos Cenário 2 – e então avaliam-se os impactos diretos e indiretos desta realocação para a economia.
- Comparar os resultados anteriores (cenários 1 e 2) e usá-los para mensurar as diferenças nos impactos econômicos entre os dois tipos de critérios de alocação e seus instrumentos de gestão associados, a saber: critério hidrológico (instrumentos regulatórios) (cenário 1) e critério e instrumentos econômicos (cenário 2).

Além deste capítulo introdutório, a presente tese é composta por: um capítulo de revisão da literatura, que aborda o uso de MEGC para o apoio à decisão na gestão de recursos hídricos e a utilização de *water-economy models* para a gestão integrada de recursos hídricos e a sua utilização no estabelecimento de valores de cobrança, o único instrumento econômico de gestão, atualmente utilizado no Brasil. O capítulo seguinte é dedicado à área de estudo e a metodologia. Neste é apresentada a região de estudo, as bacias hidrográficas e os municípios que as compõem, além da sua divisão em Região Seca e Região Úmida; a teoria dos Modelos de Equilíbrio Geral Computáveis e a modelagem proposta em detalhes. Ainda na metodologia são descritas as árvores para cada grupo de

setores, a integração com o modelo em redes dentro da Plataforma HEAL System, todas as equações do modelo, além do fechamento utilizado. Um capítulo de resultados e discussão, em que são apresentados todos os impactos decorrentes das diferentes estratégias de redução na alocação de água bruta na área de estudo, sob os dois tipos de instrumentos (representados pelos dois cenários) usando a modelagem desta tese. E por fim, um capítulo com as considerações finais, em que são destacadas as principais contribuições, resultados, limitações e sugestões para trabalhos futuros. A última seção apresenta as referências bibliográficas utilizadas.

## **2. REVISÃO DA LITERATURA**

A revisão da literatura está dividida em duas subseções. A primeira subseção trata dos modelos de equilíbrio geral computável que consideram o recurso hídrico explicitamente como um dos fatores primários de produção, e o seu uso para apoiar a decisão na alocação de recursos hídricos e na avaliação dos instrumentos de gestão associados. A segunda apresenta MEGCs integrados com outros *water-economy models* e a tendência recente de integrá-los para apoiar a decisão no desenho e avaliação de instrumentos de alocação, em especial, os econômicos.

### **2.1. MODELOS DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEIS (MEGC) PARA APOIO A DECISÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS E NO DESENHO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO**

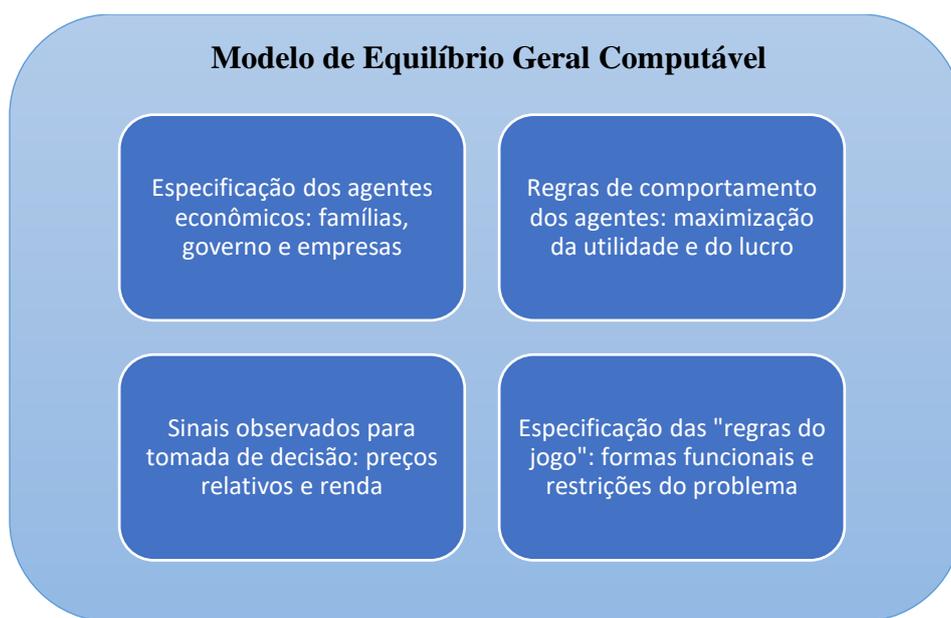
Os modelos de equilíbrio geral são aqueles em que a economia é analisada a partir das condições de oferta e demanda interagindo em vários mercados de bens, de forma que os preços relativos desses bens levem ao equilíbrio (Varian, 2006). Diferentemente dos modelos de equilíbrio parcial, que fazem uso da condição *coeteris paribus* e se concentram na análise de um mercado isoladamente, a análise conjunta de vários mercados nos modelos de equilíbrio geral, permite que a partir das diversas interações setoriais, se quantifique os impactos diretos e indiretos de uma determinada política ou de uma perturbação no sistema econômico.

Os Modelos de Equilíbrio Geral Computável (MEGC) surgiram na década de 1970, como uma evolução natural dos Modelos de Insumo Produto, que representavam condições de equilíbrio da economia, mas utilizavam apenas equações lineares e programação linear (PL). Utilizando equações não lineares e permitindo a substituição neoclássica nas funções de produção e de demanda (Ferreira Filho, 2018), os MEGC têm como componentes básicos: a especificação dos agentes econômicos, as regras de comportamento dos agentes, os sinais observados para tomada de decisão e as formas funcionais e restrições do problema (Figura 2). Além desses elementos, é necessário definir condições de equilíbrio, que funcionam como restrições do modelo, embora não sejam consideradas explicitamente para a tomada de decisão dos agentes. Originalmente, os recursos hídricos não eram incluídos nos MEGC, contudo, a crescente relevância das questões relacionadas à alocação das águas, notadamente devido às alterações nos padrões de consumo, crescimento da escassez e preponderância dos impactos das

mudanças climáticas, aliadas às robustas análises permitidas pelos modelos de equilíbrio geral, tornaram relevante encontrar formas de apoiar a decisão na alocação dos recursos hídricos nos MEGC.

Inicialmente o interesse de estudos relacionados à gestão de recursos hídricos era primordialmente guiado pela busca da segurança hídrica e a garantia do atendimento das demandas temporal e espacialmente. As questões econômicas, quando incluídas, eram relacionadas à viabilidade econômico-financeira das obras de infraestrutura hídrica, ou seja, uma abordagem do que se nomeia como Engenharia Econômica (Lund, Cai e Characklis, 2006). A complexidade da gestão de recursos hídricos diante do crescimento das demandas e da oferta cada vez mais inelástica levando a retiradas excessivas e uso ineficiente mostraram a necessidade crescente de um foco maior numa gestão de demanda e na alocação eficiente do ponto de vista econômico, o que requer o uso de conceitos da teoria econômica.

*Figura 2 - Componentes dos Modelos de Equilíbrio Geral Computável*



Fonte: Elaboração própria com informações de Ginsburg e Robinson (1984).

Além disso, a ineficiência alocativa na agricultura, setor mais intensivo em água, e em outros setores econômicos importantes que utilizam uma quantidade relevante do recurso, bem como o aumento da escassez e da ocorrência de eventos extremos, torna cada vez mais evidente a necessidade do uso da teoria econômica, que é uma ciência voltada à alocação de recursos escassos. Ela pode apoiar o desenho de instrumentos de gestão que incentivem o uso eficiente do recurso pelos agentes econômicos, induzindo a uma

alocação ótima da oferta existente do ponto de vista econômico. O objetivo é que, diante da escassez, o recurso seja direcionado para usos com maiores valores econômicos e sociais (Griffith, 2012).

Políticas públicas e projetos de infraestrutura hídrica costumam ter impactos consideráveis sobre a economia de uma região, como p. ex., a construção de um reservatório ampliando a oferta e a segurança hídrica em uma determinada área e da mesma forma, as reduções na alocação entre os usos devido a uma menor disponibilidade hídrica, i.e., em decorrência de uma seca prolongada (Griffith, 2012). Por sua magnitude, esses eventos tendem a influenciar o nível de preços e salários na economia da região, assim como o valor atribuído à água, que costuma variar muito a depender de sua disponibilidade. (Berck, Robinson e Goldman, 1991).

Os MEGC são capazes de representar mudanças na disponibilidade hídrica naturais, bem como advindas de diferentes alocações entre os usuários/setores econômicos como uma perturbação no sistema econômico e dessa forma mensurar efeitos de ações tanto da gestão da oferta como da demanda. Por serem modelos que respondem a preços e determinam o arranjo de preços relativos que conduzem os mercados ao equilíbrio, podem ser empregados para avaliar as mudanças na oferta, demanda e alocação dos recursos hídricos .

Estes modelos são úteis para estudar diversas questões relacionadas à gestão de recursos hídricos, dentre as quais: como a ampliação da demanda por água para irrigação afeta a realocação entre os setores em uma região? Quais são os impactos de uma redução na disponibilidade de recursos hídricos sobre o crescimento econômico? Quais os impactos de uma realocação de água entre setores econômicos? Ou ainda, qual a alocação econômica ótima de água entre os usos quando se consideram todas as demandas incluindo as ecológicas?

Como a água é um bem essencial, amplamente necessário para uso humano e atividades produtivas, espera-se que reduções em sua disponibilidade dificultem o crescimento econômico. Utilizando um MEGC dinâmico e multirregional que considera o uso da água na agricultura (irrigação), produção energética, abastecimento humano, indústria e serviços, (Hertel e Liu, 2016) fizeram uma análise quantitativa do impacto da escassez hídrica sobre o crescimento econômico global.

De acordo com os autores parece haver pouca evidência de redução significativa do crescimento econômico de longo prazo devido à escassez hídrica em nível nacional. Eles apontam que como a escassez acontece em nível local, seus efeitos desaparecem quando diversas regiões são agregadas, assim como observado por (Barbier, 2004). Já em nível regional os efeitos da escassez podem ser graves, principalmente no curto prazo, causando quedas de energia, redução da área irrigada e desemprego. Portanto, implementar um MEGC com oferta e demanda de água em níveis regionais e locais, assim como em nível de bacias hidrográficas, deve auxiliar na tomada de decisão, sendo apontado como uma contribuição significativa.

Utilizando um MEGC com três setores (agricultura, manufatura e governo) e três regiões representando a economia do Paquistão, (Yokomatsu *et al*, 2020) avaliaram o impacto da seca sobre o PIB do país e calcularam o valor econômico da água em situações de escassez. Considerando inicialmente a economia fechada, os autores encontraram que em períodos de escassez há elevação de preços dos bens agrícolas, gerando incentivo para o crescimento da produção no setor. Nesse caso observou-se uma elevação da demanda por capital e trabalho, que substituíram o recurso hídrico como fator de produção ainda que parcialmente.

Em uma simulação considerando a economia aberta, o capital e o trabalho migraram para o setor de manufatura e a produção excedente desse setor foi exportada para aquisição de produtos agrícolas do exterior. Os autores ainda encontraram que a produtividade da água em períodos de escassez é o dobro daquela em períodos com abundância de chuvas.

Em escala global a agricultura é o setor mais intensivo em água, sendo responsável por 70% das retiradas (Molden, 2007). No Brasil, 49,8% da água usada é destinada para irrigação (ANA, 2021). Existe ainda uma perspectiva de crescimento na demanda por água no setor agrícola já que a área irrigada no país vem crescendo continuamente: entre 2006 e 2017 houve uma expansão de 48% na área irrigada (IBGE, 2019).

Na Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco (BHSF), que contém diversas regiões escassas em água, a representatividade do uso agrícola é ainda maior do que aquela observada internacionalmente, chegando a 90%. Além disso, o método de irrigação menos eficiente, do pivô central, é o mais prevalente na região (IBGE, 2019). Além do uso agrícola, os recursos hídricos na BHSF são distribuídos da seguinte forma: 4% são destinados para criação animal, 3% para abastecimento urbano, 2% para uso industrial e

1% para abastecimento rural (ANA, 2016). Em estudo realizado na BHSF, (Ferrarini *et al.*, 2020) utilizaram um MEGC dinâmico detalhado (TERM BR) com 15 regiões, 38 setores produtivos, 10 tipos de domicílios, 10 graus de trabalho e um módulo de uso de água, para simular cenários de expansão da área irrigada e maiores alocações para o setor para 2025 (médio prazo) e 2035 (longo prazo) de acordo com o Plano de Recursos Hídricos do São Francisco. As simulações foram feitas para regiões consideradas adequadas para irrigação com base em dados em nível municipal.

Os resultados sugeriram que as regiões do Alto e Médio São Francisco apresentaram maior potencial para irrigação devido à maior disponibilidade de água e proximidade a grandes projetos de irrigação, mas o volume de água demandado cresceria em toda a bacia, especialmente no médio e sub-médio do São Francisco. Disso decorreriam potenciais conflitos para os estados de Alagoas e Pernambuco, particularmente em cidades localizadas na região do baixo São Francisco.

Os autores concluem que a expansão contínua das áreas irrigadas no Alto e Médio São Francisco pode prejudicar municípios mais a jusante devido a alterações nos fluxos de água. Assim, a gestão dos recursos hídricos nos municípios do alto e médio São Francisco deve considerar os impactos da redução na disponibilidade hídrica para os municípios localizadas no sub-médio e baixo São Francisco, especialmente por serem regiões com baixa incidência de chuvas e altas temperaturas (semi-árido). Os resultados mostram a redução na alocação de água nessas regiões devido à expansão da agricultura irrigada em municípios a montante.

Utilizando um MEGC, (Zhang *et al.*, 2020) analisaram os impactos sobre a economia e demanda por recursos hídricos na Bacia do Rio Heihe, no noroeste da China, em dois cenários distintos. No primeiro, cenário de prioridade econômica, é avaliado o impacto de uma menor alocação de água na irrigação, e conseqüente aumento na disponibilidade de água para outros setores. No segundo, cenário de prioridade para a sustentabilidade ambiental, é avaliado o impacto sobre o crescimento da área de preservação, quando mais água é mantida nos mananciais para atender à demanda ecológica. Os resultados mostraram que no cenário 1, houve uma redução no PIB de 1,04 yuan por m<sup>3</sup> de água retirada da irrigação, enquanto no cenário 2 houve uma expansão na área de preservação de 9,43 m<sup>2</sup> por m<sup>3</sup> de água mantida para a demanda ecológica.

Em geral, a Matriz de Insumo-Produto (MIP) é usada para representar o equilíbrio inicial de uma economia, a partir da qual se calibra um MEGC. No entanto, também é possível utilizar uma Matriz de Contabilidade Social<sup>3</sup> (MCS) como base de um MEGC. O uso da MCS permite que se avalie separadamente os impactos de choques na economia sobre diferentes estratos sociais, como famílias de diferentes faixas de renda.

Utilizando um MEGC construído a partir de uma MCS para a África do Sul, (Juana, Strzepek e Kirsten, 2011) avaliaram o impacto da realocação de água da agricultura para outros 12 setores econômicos sobre a produção, valor adicionado a preços de fatores e bem-estar das famílias, que foram divididas em 5 faixas de renda. Uma das suposições do modelo é que o mercado dos fatores de produção, água, capital e trabalho, que é dividido em três categorias de qualificação, é fechado, o que implica na utilização total destes fatores.

O estudo analisou dois cenários: i) um cenário de referência, que seria o de alocação de mercado em que a água é alocada no nível eficiente, ou seja, a alocação econômica ótima e ii) um cenário em que quantidades adicionais de água – 30%, 20%, 10% e 5% – em relação à alocação de mercado são transferidas do setor agrícola para os demais setores econômicos. Os resultados mostraram que a alocação de mercado gera um crescimento de 6,8% na produção total da economia, embora cause uma redução significativa na produção do setor agrícola. Já as transferências para além da alocação de mercado levam a quedas na produção total em todos os quatro casos considerados.

Os impactos nas demais variáveis macroeconômicas analisadas no cenário de alocação de mercado são: crescimento de 11% sobre o valor adicionado, 15% de aumento na tarifa da água, 5% de crescimento nos juros sobre capital e aumento nos salários de 9% para trabalhadores pouco qualificados, 10% para trabalhadores razoavelmente qualificados e 12% para trabalhadores altamente qualificados, variações em relação ao caso base, de calibração do modelo. No entanto, ao mesmo tempo que as transferências adicionais do segundo cenário, de 5% até 30% além do nível economicamente ótimo, levaram a

---

<sup>3</sup> A Matriz de Contabilidade Social (MCS) é uma representação estilizada da totalidade dos fluxos de recursos de uma economia em um certo ano. As características da MCS e a definição dos agentes que a compõem dependem dos aspectos que se pretende enfatizar. A finalidade da MCS é informar sobre um modelo de análise da inter-relação entre crescimento econômico, composição do produto e do emprego e desigualdade da distribuição da renda. A MCS é uma extensão da Matriz Insumo Produto (MIP) que descreve mais detalhadamente o encaminhamento do fluxo de recursos gerados nos setores produtivos e destinados ao consumo e ao investimento (IPEA 1994).

aumentos no valor adicionado, na tarifa paga pela água e nos salários dos dois grupos mais qualificados, elas também reduziram a taxa de juros sobre capital e os salários dos menos qualificados.

Quanto ao bem-estar das famílias, a alocação econômica ótima levou a uma melhora de 4,39% para todas as faixas de renda, em relação ao caso base de calibração do modelo. No segundo cenário, com as transferências adicionais de 5% até 30% além do nível economicamente ótimo, o bem-estar das duas faixas inferiores de renda é reduzido, embora na análise agregada observa-se que elas geram uma melhora no bem-estar da sociedade como um todo.

Utilizando um MEGC multisetorial e com várias regiões chamado *Global Trade and Analysis – Water* (GTAP–W), (Berrittella *et al.*, 2007) propuseram um método para avaliar a influência da alocação de recursos hídricos e da disponibilidade decorrente da estratégia alocativa sobre o comércio internacional. Nesta análise são propostos cinco cenários, sendo quatro simulando a utilização de instrumentos baseados em mercado e outro utilizando instrumento de comando e controle para a alocação de água. Os autores encontraram que maiores restrições na disponibilidade hídrica nas regiões impactaram os padrões de comércio agrícola e de água virtual, e tais impactos são maiores quanto maiores as restrições ao uso dos recursos hídricos através de instrumentos de comando-e-controle (regulatórios) e quando a possibilidade de substituição da água na produção dos setores da economia é menor.

As perdas de bem-estar são substancialmente maiores no cenário que utiliza instrumentos de comando e controle, que são menos flexíveis. Mas, de maneira geral, devido às falhas de mercado nos mercados agrícolas, as restrições na disponibilidade podem elevar a eficiência no uso da água, gerando um ganho de bem-estar que compensa a perda causada pelo uso restrito do recurso.

Utilizando o mesmo MEGC multisetorial (GTAP–W), os mesmos autores (Berrittella, Rehdanz e Tol, 2006) avaliaram o impacto da cobrança pelo uso dos recursos hídricos utilizada como instrumento para promover a alocação eficiente do recurso, principalmente em cenários de escassez em nível global. Os resultados apontaram que a cobrança induz redução no uso da água e crescimento na produção, consumo e padrões de comércio internacional. Os autores destacaram ainda que os resultados são sensíveis ao nível de substitutibilidade da água por outros fatores de produção.

Mais recentemente os mesmos autores (Calzadilla, Rehdanz e Tol, 2011) analisaram os impactos do aumento de eficiência na irrigação, reduzindo o uso de água na agricultura, e os efeitos sobre o bem-estar em escala global. Os resultados sugerem que os esforços para aumentar a eficiência na irrigação geraram redução no uso dos recursos hídricos tanto em escala regional quanto global, embora não tenha gerado benefícios em todas as regiões. As regiões que enfrentam escassez hídrica foram majoritariamente beneficiadas, enquanto os impactos sobre áreas em que há abundância do recurso os efeitos foram variados, mas principalmente negativos.

Os autores encontraram que as trocas (comercialização de direitos de uso de recursos hídricos entre usuários) gerava um aumento de 23% no preço da água em anos típicos (disponibilidade de água dentro da média) e incentivava a realocação de água entre culturas, trazendo ganho de eficiência, ao passo que a produção agrícola sofria uma queda de apenas 1,3%. Além disso, observou-se um crescimento no consumo na região da bacia, o que aconteceu devido à permissão da venda ocorrer apenas quando seu preço era superior ao que o produtor lhe atribuía, o que fazia a venda ocorrer apenas quando havia benefício para o produtor. Já em escala nacional o PIB permaneceu praticamente inalterado (-0,006%).

Os resultados deste artigo sugerem ainda que os custos da política, que causa redução no uso dos recursos hídricos, são menores quando se utiliza um modelo de equilíbrio geral do que quando se utiliza um modelo de equilíbrio parcial, sugerindo que os efeitos indiretos e rearranjo de preços em toda a economia favorecem a implementação da política de precificação da água.

## **2.2. INTEGRAÇÃO DOS MEGC COM OUTROS “WATER-ECONOMY MODELS” PARA APOIAR A DEFINIÇÃO DOS INSTRUMENTOS DE GESTÃO, EM ESPECIAL DE VALORES DE COBRANÇA**

Conforme visto na seção anterior, os MEGC, de forma isolada vêm sendo utilizados para apoiar decisões na alocação de recursos hídricos e o uso dos instrumentos de gestão, através da mensuração dos efeitos socioeconômicos em escala ampliada. Devido a essa capacidade de integrar componentes hidrológicos e econômicos, o MEGC, quando considera a água como um dos fatores primários de produção, é categorizado como um *water-economy model* (WEM).

Os WEM são ferramentas poderosas para examinar potenciais mudanças futuras em sistemas de recursos hídricos, incluindo os efeitos de mudanças climáticas, impactos socioeconômicos e alterações em políticas de alocação e infraestrutura frente a desafios de gestão de recursos hídricos. Eles são aptos a integrar as complexas relações entre sistemas hidrológicos e econômicos e constituem ferramentas efetivas para propor soluções apropriadas em diversas escalas espaciais e temporais (Bekchanov *et al.*, 2017).

As duas principais categorias de WEM são os modelos baseados em rede, que são modelos de simulação/otimização integrando componentes hidrológicos e econômicos, e os modelos *economywide*, dos quais fazem parte os Modelos de Insumo Produto e os MEGC. Os modelos baseados em rede conseguem representar bem os usuários (valores de demanda hídrica e o uso econômico) e as fontes de água tanto espacial quanto temporalmente, através de nós e links, o que os torna capazes de apoiar decisões operacionais relativas a volumes e liberações de reservatórios, bem como fluxos e disponibilidades hídricas baseado em impactos hidrológicos e econômicos locais. No entanto, eles não são capazes de prover informações sobre os efeitos de tais políticas de alocação do recurso hídrico em indicadores macroeconômicos e sociais regionais, como renda, emprego e a distribuição de renda. Para tratar destas questões, modelos *economywide* são mais adequados, mas costumam considerar a representação dos sistemas hídricos de forma demasiadamente simplificada.

A necessidade de uma melhor representação espacial e temporal dos sistemas hídricos e seus componentes nos MEGC já foi identificada. Espera-se que estes modelos possam ser aplicados com maior regularidade para subsidiar o desenho de instrumentos de gestão, que atualmente são apoiados e avaliados quase que exclusivamente por modelos em rede (Bekchanov *et al.*, 2017). Em especial, a integração dos modelos *economywide* com os modelos baseados em rede é promissora, pois pretende agregar as capacidades das duas categorias de modelos WEMs, o que deve aperfeiçoar o apoio a decisão na definição de instrumentos de gestão, em especial os econômicos.

Usando uma plataforma que integra um modelo baseado em redes com componente econômica com um MEGC, THERM – H<sub>2</sub>O, (Dixon, Rimmer e Wittwer, 2011) analisaram o efeito de um sistema de recompra de recursos hídricos disponibilizados para irrigação por parte do governo na Bacia do Murray Darling na Austrália entre os anos de 2009 e 2016. A recompra considerada simulou uma redução de 22,8% nas retiradas ao longo dos 8 anos estudados e foi calculada de forma a garantir demandas ecológicas. Esta

redução na disponibilidade causou aumento no preço da água para irrigação (+23%), gerando redução de apenas 1,3% na produção agrícola. Percebeu-se ainda uma realocação de recursos entre atividades agrícolas, como o crescimento do uso de terra de sequeiro e consequente redução do uso da terra irrigada, crescimento de culturas menos intensivas em água, em detrimento de culturas mais intensivas em água. Em âmbito nacional o PIB se manteve praticamente estável (-0,0059%).

Um *Positive Multi-Attribute Utility Programming (PMAUP) Model*, um modelo de otimização multi-objetivo e uma versão regionalizada do MEGC GTAP chamada NUTS2 foram integrados por (Parrado *et al.*, 2019) para avaliar as interligações micro e macroeconômicas decorrentes de uma política de cobrança pela água bruta na região de Murcia na Espanha. O objetivo da integração é explorar o detalhamento do modelo microeconômico, que avalia a tomada de decisão dos produtores e o mecanismo de propagação de impactos do MEGC, que determina o impacto que essas decisões terão sobre o restante da economia. Os novos preços alimentam o modelo PMAUP e o processo é repetido até ser atingido o ótimo.

Uma plataforma composta por cinco modelos, , dois de programação matemática positiva, dois de programação de utilidade multi-atributo e um de programação por metas ponderadas, foi utilizada por (Sapino *et al.*, 2020) para investigar o impacto da cobrança na região do Piemonte na Itália. Os modelos são utilizados para simular o comportamento dos agentes socioeconômicos.

O artigo mostra que um ponto chave é a gestão das culturas de arroz, grande consumidora de recursos hídricos e que possui pouco valor adicionado. Preços entre 0,012 e 0,074 EUR/m<sup>3</sup> (R\$ 0,074 – 0,46/m<sup>3</sup>) são suficientes para inviabilizar a rizicultura a depender do modelo utilizado, mas se o preço for bem ajustado é possível reduzir as retiradas de água entre 1,7 – 9,5%, enquanto os lucros são reduzidos entre 4,9 – 5,6% e a receita decorrente da cobrança cresce até 65 vezes.

Um modelo integrado foi utilizado por (Portoghese *et al.*, 2021) para avaliar políticas de precificação de água superficial e água subterrânea. O primeiro modelo, chamado de *Water Source Selection (WSS) Model* simula a tomada de decisão dos produtores quanto a fonte de água a ser utilizada, que percentual de água superficial e que percentual de água subterrânea usar, levando em consideração a tarifa cobrada e a fonte escolhida para diferentes restrições hidrológicas, econômicas e agrícolas. Ademais, mensuram o impacto

do uso coletivo de fontes subterrâneas para suprir as necessidades de irrigação sobre os aquíferos, notadamente em períodos mais secos.

Esses resultados são então levados a um *Aquifer Water Balance Conceptual Model*, através de uma integração do tipo *soft*, para avaliar o balanço hídrico e estabelecer três cenários para mostrar possíveis impactos que a aplicação de políticas de precificação restritivas sobre a água superficial podem ter sobre os aquíferos e sobre as culturas agrícolas sob diferentes condições hidrológicas em períodos de seca. O cenário 1 considera o incremento de 50% no preço da água superficial usada para irrigação, o cenário 2 considera uma redução de 10% nas precipitações, enquanto o cenário 3 considera as duas situações simultaneamente. Nos dois primeiros cenários foi observada uma redução de aproximadamente 25% na quantidade de água subterrânea disponível, enquanto no cenário 3 a redução foi de 67%.

A revisão elaborada nesta seção não encontrou resultados de integração de modelos no contexto específico dos *water economy models*, ou seja, a integração dos modelos baseados em rede - que possuem boa representação espacial e temporal e conseguem integrar informações hidrológicas e econômicas dos usuários da água, estando aptos a mensurar apenas os impactos diretos de uma dada estratégia de alocação - com um MEGC, que conseguem medir os impactos de uma dada estratégia de alocação sobre toda a economia, visando oferecer aos tomadores de decisão uma modelagem robusta que agregue os pontos positivos dessas duas abordagens.

Para tanto, é necessário trabalhar a compatibilidade entre esses modelos, p.e. incluir a água bruta como fator de produção na matriz de insumo-produto usada para calibrar o MEGC, usar a mesma agregação setorial em ambos os modelos, de forma a permitir que a saída do modelo em rede seja compatível com a entrada do MEGC etc.

O desenvolvimento e a integração do MEGC, proposto nesta tese, com um modelo de otimização baseado em redes já existente para o nosso estudo de caso, e disponível em uma plataforma de SADE é promissora, pois pretende agregar aos resultados já obtidos, outros que possam apoiar o uso de instrumentos econômicos, como a cobrança, numa região com escassez de água e com necessidade de transferências crescentes. Esta integração é uma necessidade do campo de pesquisa, já apontada por (Bekchanov *et al.*, 2017), pois pode agregar às decisões de alocação associadas à rede de nós e links, através de instrumentos de gestão a ser definidos, a impactos socioeconômicos regionais,

incluindo alteração dos preços em toda a economia. Ademais poderá identificar uma alocação econômica ótima no MEGC, que deve apoiar a decisão em atuais e potenciais estratégias de alocação da água bruta na região.

Espera-se que os resultados da modelagem integrada proposta nesta tese possam ser mais um elemento no apoio à decisão para alocação de recursos hídricos e para aplicação de instrumentos de gestão mais eficientes e efetivos na área de estudo e em todo o estado de Pernambuco.

### 3. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

#### 3.1.ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo se constitui nas quatro importantes bacias hidrográficas, dos rios: Capibaribe, Ipojuca, Sirinhaém e Una (ver Figura 3) localizadas no Agreste do estado de Pernambuco. O estado é um dos mais áridos do Brasil, com uma disponibilidade hídrica *per capita* média de 1.320m<sup>3</sup>/ano, abaixo do limiar, que é classificado como estresse hídrico (1.500 m<sup>3</sup> *per capita*/ano). O estado alcançou PIB da ordem de R\$ 97 bilhões em 2010, com forte concentração nos serviços (73,2%), seguido pela indústria (22,0%). Nele, há forte concentração populacional e econômica na Região Metropolitana do Recife (RMR), esta composta por 15 municípios. A RMR concentra 42% da população e 62,7% do PIB do estado, sendo o setor de serviços o mais representativo. A segunda Região de Desenvolvimento<sup>4</sup> (RD) com maior concentração populacional é o Agreste Central, com 11,9% da população do estado, responsável por 8,1% do PIB e com o setor de serviços também sendo o mais representativo (Tabela 1).

*Tabela 1 - Distribuição da população e da produção do estado de Pernambuco por Região de Desenvolvimento (RD)*

<b>Região de desenvolvimento</b>	<b>População (%)</b>	<b>PIB 2010 (mil reais)</b>	<b>PIB 2010 (%)</b>	<b>% VAB Agropecuária</b>	<b>% VAB Indústria</b>	<b>% VAB Serviços</b>
Agreste Central	11,9	7.883.083	8,1	8,2	13,2	78,6
Agreste Meridional	7,3	3.547.333	3,7	12,7	7,8	79,5
Agreste Setentrional	5,9	3.127.048	3,2	9,0	12,8	78,2
Mata Norte	6,6	4.486.616	4,6	16,1	19,3	64,6
Mata Sul	8,3	5.409.673	5,6	12,7	16,4	70,8
Metropolitana	42,0	60.927.722	62,7	0,4	25,5	74,1
Pajeú	3,6	1.783.461	1,8	6,2	9,4	84,4
Sertão Central	2,0	1.364.286	1,4	4,4	36,1	59,4
Sertão de Itaparica	1,5	1.500.805	1,5	5,1	50,6	44,2
Sertão do Araripe	3,5	1.526.607	1,6	8,7	13,6	77,6
Sertão do Moxotó	2,4	1.233.109	1,3	10,8	10,1	79,0

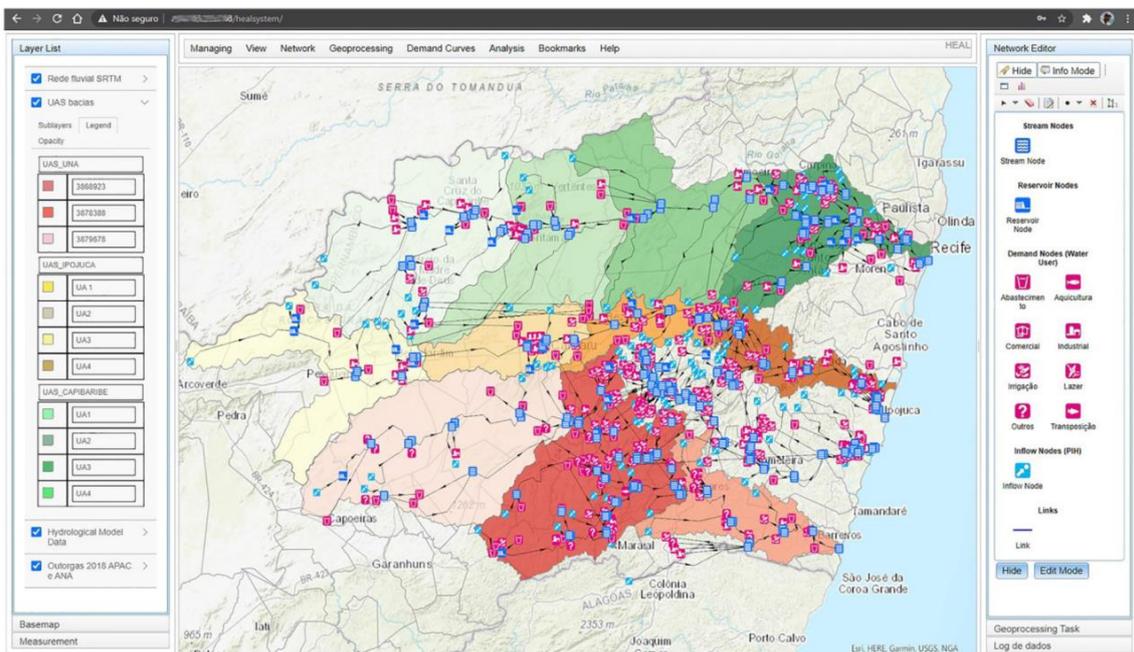
<sup>4</sup> As Regiões de Desenvolvimento foram propostas pela Lei Estadual Nº 12.427 de 25 de Setembro de 2003 que estabeleceu, para os anos de 2004-2007, de forma regionalizada, as diretrizes, programas, ações e objetivos da Administração Pública Estadual para as despesas de capital e outras delas decorrentes e para aquelas relativas aos programas de duração continuada. O Estado de Pernambuco foi dividido em 12 RDs de acordo com a referida lei.

Sertão S. Francisco	5,0	4.400.016	4,5	18,6	17,4	64,0
<b>Pernambuco</b>	<b>100</b>	<b>97.189.760</b>	<b>100</b>	<b>4,8</b>	<b>22,0</b>	<b>73,2</b>

Fonte: Lima (2022).

Apesar da região Agreste não ser a região mais seca do estado em termos de disponibilidade hídrica, é a que apresenta o pior balanço hídrico, devido à alta demanda, e necessidades urgentes de maiores ofertas de água. A região Agreste engloba as RDs Agreste Central, Agreste Meridional e Agreste Setentrional e se localiza entre a Zona da Mata e o Sertão, esta é a região mais seca do estado. O Agreste de Pernambuco mesmo tendo índices pluviométricos superiores ao Sertão, vem sendo chamado de “Novo Sertão” por ter sido mais impactado que o próprio Sertão, na seca ocorrida entre 2012-2018, devido às altas demandas associadas às limitadas fontes de oferta. (Alcoforado de Moraes *et al* 2021) A região é mais densamente povoada que o Sertão e possui baixa capacidade de armazenamento hídrico (RTI INTERNATIONAL, 2016).

*Figura 3 - Mapa da área de estudo com a rede de nós e links desenvolvida para representar a área de estudo no âmbito do projeto ANA-CAPES.*



Fonte: Alcoforado de Moraes et al (2021).

A Tabela 2 mostra os valores absolutos e percentuais dos principais usos de água bruta superficial identificados na área de estudo em 2011<sup>5</sup>, sendo os mais significativos água e

<sup>5</sup> Os valores de uso desse ano de 2011, que foi um ano úmido, foram estimados a partir do cadastro dos usuários à época e seus valores de outorga válidos, bem como dos volumes dos principais reservatórios da área de estudo. Sendo

esgoto (33%), a produção e o refino do açúcar (29%) e o cultivo de cana-de-açúcar irrigada (25%). Vale destacar que apesar de ser grande consumidora de água bruta da área de estudo (28%), a agricultura irrigada é responsável por uma contribuição mínima para o PIB da região (0,1%).

*Tabela 2 - Uso de água bruta pelos diferentes usos na área de estudo - 2011*

<b>Setores</b>	<b>Uso de água bruta (milhões m<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Demanda por água bruta (%)</b>	<b>PIB (%)</b>
Agricultura	142,06	28	0,1
Cultivo de cana-de-açúcar	12,70	25	0,1
Pesca e aquicultura	6,94	1,3	0,002
Cultivo de frutas	4,09	0,8	0,01
Outras lavouras	4,00	0,78	0,01
Indústria	201,51	39	16
Produção e refino do açúcar	148,35	29	0,7
Produção de etanol	39,16	8	0,1
Produção de bebidas alcoólicas	8,31	2	0,9
Construção civil	3,57	1	11
Outros setores industriais	2,10	0,4	3
Serviços	170,58	33	83,8
Água e esgoto	169,29	32,9	0,8
Pecuária	0,82	0,2	1,2
Outras atividades profissionais científicas e técnicas; atividades administrativas; serviços compl.	0,26	0,1	18
Alojamento	0,11	0,02	0,5
Outros serviços	0,09	0,02	64
<b>Total</b>	<b>514,16</b>	<b>100</b>	<b>100 -</b>

Fonte: Alcoforado de Moraes et al (2021).

A Bacia do Rio Capibaribe possui aproximadamente 7.502 km<sup>2</sup> de área, compreendendo 42 municípios do estado. O uso da água bruta nessa bacia em 2011 representou 41% do total usado na área de estudo. Segundo dados da APAC, ANA e FUNARBE, a principal cultura da bacia é a cana de açúcar. A atividade industrial é observada em oito municípios,

---

um ano úmido, os valores entregues para os usuários na simulação, que atendiam às outorgas e levavam aos níveis observados nos reservatórios foram considerados valores de uso. Foram esses valores que constituíram os valores da linha de água bruta na MIP de 2011.

nas atividades de fabricação de produtos têxteis; confecção de artigos do vestuário e acessórios; e fabricação e refino de açúcar (Santos, 2020).

A bacia do Ipojuca possui aproximadamente 3.508 km<sup>2</sup> de área, compreendendo 25 municípios do estado. O setor que mais usa água bruta na bacia é a agricultura, seguida pela indústria e o setor de água e esgoto. Há atividade industrial na bacia em seis municípios, sendo a atividade com maior demanda de água, a fabricação de produtos alimentícios. Nesta bacia a principal cultura é a cana de açúcar, de acordo com dados da MIP regionalizada (Alcoforado de Moraes et al, 2021).

A bacia do Sirinhaém possui aproximadamente 2.070 km<sup>2</sup> de área, passando por 19 municípios do estado. A atividade que usa maior volume de água bruta é a fabricação de produtos alimentícios. Outras atividades industriais que demandam água bruta na bacia são: fabricação de álcool, fabricação de bebidas alcoólicas e fabricação de produtos cerâmicos. Nesta bacia a principal cultura é a cana de açúcar, de acordo com dados da MIP regionalizada (Alcoforado de Moraes et al, 2021).

A bacia do Una possui aproximadamente 5.872 km<sup>2</sup> de área, passando por 42 municípios do estado. O setor industrial se concentra nas atividades extração de pedra, areia e argila, fabricação de açúcar em bruto e fabricação de álcool. Também nesta bacia a principal cultura é a cana de açúcar, de acordo com dados da MIP regionalizada (Alcoforado de Moraes et al, 2021).

Por ser um dos estados mais áridos do país, Pernambuco vem recebendo muitos investimentos em infraestrutura hídrica para amenizar impactos trazidos pela escassez hídrica, notadamente no Agreste Pernambucano, região que apresenta o pior balanço hídrico do país e PIB per capita abaixo da média estadual, mas que concentra uma parcela expressiva da população e renda do estado – Tabela 2 (Lima, 2022).

Apesar de ter sido fortemente afetada pela seca de 2012-2018, a região Agreste teve desempenho econômico surpreendente na década encerrada em 2014 (Alcoforado de Moraes, 2017). Segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) coletados no Censo: sem investimentos estruturadores de peso e com infraestrutura precária, essa foi dentre as três macrorregiões de Pernambuco (Sertão, Agreste e Zona da Mata), a que teve maior aumento no PIB estadual (5,2% ao ano), acima do aumento médio do estado (4,1%), superando inclusive o crescimento da Região Metropolitana do Recife (3,9%). Segundo a autora, diante da escassez, o Agreste reduziu perdas e tornou o uso da

água mais eficiente ao transferi-la para setores econômicos que usaram a água de forma mais eficiente (Alcoforado de Moraes, 2017).

A plataforma de integração, já disponibilizada anteriormente, na qual já foram desenvolvidas integrações (modelos de otimização + MIP) em (Alcoforado de Moraes *et al*, 2021) e (MEGC + MIP) em (Souza, 2022) já mostraram a diferença na eficiência entre as bacias e as regiões seca e úmida que compõem a área de estudo e também as maiores perdas que o uso de critérios hidrológicos apenas, impôs a setores mais eficientes e industrializados da região semiárida. Desta forma, nesta tese mantém-se o objetivo de propor uma modelagem integrada que auxilie a tomada de decisão para uma gestão da demanda de água mais eficiente.

Para a obtenção de alocações de água eficientes para a área de estudo é essencial que sejam estabelecidos instrumentos de gestão bem desenhados para a região, em especial instrumentos econômicos. Mesmo em um contexto de incremento na oferta do recurso na região no futuro próximo, através dos investimentos em infraestrutura hídrica, como por exemplo, a Adutora do Agreste, é urgente que essa água incremental seja alocada de forma eficiente do ponto de vista econômico, para que não sejam gerados incentivos para o desenvolvimento de setores econômicos intensivos em água e pouco eficientes que comprometam o desenvolvimento econômico sustentável na região.

### **3.2.METODOLOGIA**

A metodologia proposta visou integrar um novo modelo, um MEGC, à plataforma de integração de modelos, segundo (Alcoforado de Moraes *et al*, 2024). O MEGC conectado ao modelo baseado em redes foi desenvolvido em parceria com a UNICAMP, a partir da MIP regionalizada para a área de estudo com 76 setores econômicos e 75 regiões. Para o MEGC, essas 75 regiões foram agregadas em 4 (região úmida da área de estudo, região seca da área de estudo, resto de Pernambuco e resto do Brasil) e mantidos os 76 setores econômicos em cada região. As 75 regiões da MIP regionalizada foram agregadas por se ter observado que a área de estudo poderia ser dividida nas duas regiões bem definidas, com indicadores semelhantes de eficiência (WUE) e estresse hídrico (WS) entre os municípios de cada uma das regiões (Alcoforado de Moraes *et al*, 2021), citadas anteriormente, e também por uma questão computacional, já que o MEGC apresenta diversas não linearidades que não permitem que ele considere muitas regiões como o Modelo de Insumo-Produto, por exemplo, que é linear. A plataforma utilizada, que

viabilizou a integração dos modelos, conforme também já mencionado, foi o Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE) HEAL *System* (Souza Da Silva, Alcoforado de Moraes, 2021).

A integração entre os modelos de otimização e o MEGC desenvolvida foi do mesmo tipo da utilizada com a MIP, ou seja, a do tipo *soft (weak coupling)*: uma integração sem compartilhamento da base de dados, mas com completa correspondência dos dados econômicos e hidrológicos usados pelos dois modelos. Assim, as saídas do modelo baseado em redes foram agregadas nas regiões e setores considerados pelo MEGC e usadas como entrada deste último, possibilitando a mensuração de impactos econômicos diretos, indiretos.

A partir desta integração, foi possível obter através do MEGC também uma alocação econômica ótima, e os impactos associados. Esta foi obtida usando o valor total da redução dada pelo critério hidrológico, ao invés das reduções setoriais e regionais, e endogenamente obter usando o MEGC, a distribuição da redução total, ou seja, a nova alocação entre os setores e regiões. Assim, a partir da redução total na disponibilidade hídrica, o MEGC realoca de forma ótima, usando o ponto de vista econômico. É importante ressaltar que, na integração atual, como não ocorre o retorno da alocação obtida no MEGC para o modelo em redes, esta alocação econômica ótima entre setores e regiões diante da nova disponibilidade, pode não ser viável fisicamente. Na verdade, na integração atual, não é possível verificar a viabilidade espacial e temporal da alocação econômica ótima obtida pelo MEGC. Este será um objetivo futuro da integração na continuidade dessa pesquisa.

### **3.2.1. OS MODELOS DE OTIMIZAÇÃO BASEADOS EM REDES E O SISTEMA DE APOIO A DECISÃO ESPACIAL HEAL SYSTEM<sup>6</sup>**

Modelos de otimização baseados em redes podem representar aspectos hidrológicos, ambientais, econômicos e de engenharia de sistemas de recursos hídricos em escala de bacias hidrográficas (Harou *et al*, 2009) ou em um conjunto delas. O objetivo principal de tais modelos é simular e avaliar estratégias de alocação, promovendo transparência nas

---

<sup>6</sup> Todas as informações sobre o HEAL System foram retiradas de (Alcoforado de Moraes et al., Relatório Técnico, 2019).

discussões e decisões, pois podem mensurar os seus impactos socioeconômicos e ambientais em escala de bacias.

Como são baseados em uma rede de nós e links, todos os principais componentes de um sistema hídrico são representados, através de nós fonte e nós de demanda, bem como a ligação entre eles. Os nós fonte representam as ofertas de água, tais como: rios e afluentes. Os usuários são representados através dos chamados nós de demanda. A infraestrutura hídrica também é representada através de nós fonte tais como: reservatórios, canais, estações de tratamento etc. A ligação entre os nós da rede (links) resulta numa estrutura que permite que a oferta e a demanda pelos recursos hídricos numa bacia hidrográfica ou conjunto delas sejam representadas espacial e temporalmente, possibilitando o cálculo de valores de quantidade e qualidade de águas, como – retiradas, aportes, volumes e liberações de reservatórios, fluxo dos rios, evaporação de águas superficiais, fluxos de retorno etc., diante de diversas estratégias de alocação e de operação de reservatórios.

Dependendo da função-objetivo considerada, esses modelos de otimização podem simular e calcular os efeitos de instrumentos de gestão regulatórios e econômicos e dessa forma auxiliar o desenho e avaliação de tais políticas públicas. De forma sucinta, o modelo é baseado nessa rede de nós de oferta e demanda de recursos hídricos, especialmente identificados conectados de maneira lógica pelos diversos links, cujos valores de alocação de águas aos usuários, fluxos dos rios, aportes, volumes, liberações dos reservatórios e demandas ecológicas são as variáveis de decisão. A função-objetivo pode representar diversos critérios, tanto hidrológicos como econômicos, e as restrições podem ser físicas, institucionais e ambientais (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021).

O HEAL é um Sistema de Apoio a Decisão Espacial (SADE) que está sendo desenvolvido para apoio à definição de políticas de alocação de recursos hídricos através da disponibilização de modelos econômico-integrados, ou os WEM (*watereconomy models*). Ele teve sua arquitetura e primeiras funcionalidades desenvolvidas com recursos de dois projetos de pesquisa CNPq/ CT-HIDRO (2007-2011/ 2012-2018). Está em sua terceira versão no contexto do projeto de pesquisa do Programa Pró-Recursos Hídricos financiado com recursos da Agência Nacional de Águas (ANA) e gerenciado pela CAPES (2018-2023). Os principais módulos e funcionalidades já existentes são: (1) a aquisição/conformação de dados geográficos; (2) a geração/modificação da rede de nós e links e da base de dados associada e (3) a geração de modelos de otimização. Como ainda se encontra em desenvolvimento, algumas funcionalidades devem ser incorporadas ao

sistema no futuro, dentre elas: (1) aperfeiçoamento da interface com o usuário e (2) o gerenciamento do código fonte.

O sistema foi desenvolvido na sua versão atual usando a ArcGIS19 JavaScript API e ArcGIS for Server (ESRI, 2015). O ArcGISJavaScript API permite criar aplicativos de mapeamento e visualização de dados em ambiente *web*, enquanto o ArcGIS Server permite o compartilhamento de mapas e ferramentas de geoprocessamento entre diferentes usuários, além da utilização do sistema em qualquer computador com acesso à internet.

O sistema HEAL é compatível com o Sistema Nacional de Informações de Recursos Hídricos (SNIRH), que pode assim obter os dados geográficos oficiais da área de estudo necessários para gerar a rede de nós e links representativa da região. Os dados geográficos são disponibilizados através de camadas de informação tais como: delimitação de rios e afluentes, bacias, reservatórios, lagos, regiões urbana e rural, estações fluviométricas e pluviométricas, pontos de retirada e retorno de águas.

Dentro da rede de nós e links os usuários, representados através dos nós de demanda, são obtidos ao se agregar as outorgas consolidadas que atendam aos seguintes critérios: estejam no mesmo município, sejam do mesmo setor econômico (CNAE) e retirem água que afete o balanço hídrico do mesmo nó de oferta. O modelo de otimização calcula então os valores alocados a cada usuário, fluxos e níveis de reservatórios diante de uma estratégia de alocação (dada pelo critério de otimização) em um determinado cenário de disponibilidade hídrica. Esses resultados, agregados por município e setor econômico, são integrados à MIP e ao MEGC, ou seja, a modelos WEM do tipo *economywide*.

Esses modelos de otimização, em escala de bacia ou conjunto delas, são importantes para simular e mensurar os efeitos locais de uma decisão de alocação relacionada à disponibilidade e à necessidade dos recursos hídricos em uma determinada bacia ou numa interligação delas, mas não conseguem captar os efeitos indiretos e a abrangência regional de tal decisão na economia, ou seja, não conseguem captar de que forma as diferentes estratégias de alocação vão impactar os demais setores econômicos, nem alcançar uma escala espacial mais abrangente, que supere os limites da região em que se localizam as bacias hidrográficas analisadas. Para isso a integração com modelos *economywide* é a solução, conforme proposto nesta tese.

### **3.2.2. O MODELO DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL (MEGC)**

Os MEGC baseiam-se na teoria de equilíbrio geral, que está ancorada na ideia de que através de decisões individuais dos agentes pode ser alcançada uma alocação dos recursos eficiente do ponto de vista econômico (Pareto-eficiente). Uma instituição central nesta teoria são os mercados, onde a interação entre produtores e consumidores dos bens e serviços acontece. As firmas são responsáveis pela oferta de bens e serviços e, para produzi-los, demandam fatores primários de produção e produtos intermediários (produzidos pelas outras firmas). Elas determinam o quanto produzir dos bens e serviços, e ao mesmo tempo, o quanto usarão dos fatores de produção (primários e intermediários), seguindo o critério de maximização do lucro.

Já as famílias demandam esses bens e serviços (produzidos pelas firmas) para suprir suas necessidades e ofertam os fatores primários de produção, de que são detentoras, às firmas. Elas escolhem o que e quanto consumir de acordo com seu objetivo de maximizar a utilidade respeitando a renda disponível (restrição orçamentária). As interações entre famílias e firmas fazem com que os preços dos produtos e fatores sejam ajustados continuamente e a economia caminhe em direção a um equilíbrio em todos os mercados, em cada um dos quais, a quantidade ofertada iguala a quantidade demandada. Os preços que viabilizam essa igualdade são os chamados preços de equilíbrio.

Os MEGCs são modelos que combinam o conceito abstrato e teórico de equilíbrio de mercado e os implementa computacionalmente, usando dados econômicos empíricos. Os MEGCs são resolvidos numericamente de forma a determinar o arranjo de preços que equilibra oferta e demanda em todos os mercados simultaneamente. A principal fonte de dados dos MEGC é a Matriz de Insumo-Produto, que representa uma situação de equilíbrio inicial da economia, e a partir da qual os parâmetros das equações do MEGC são obtidos (Machado, 2017).

No equilíbrio, três condições devem ser satisfeitas: (1) esgotamento dos mercados de bens e serviços: implica que tudo que é produzido é consumido; (2) esgotamento dos mercados de fatores: todos os fatores primários de produção disponíveis na economia são utilizados; e, (3) condição de lucro econômico zero: a receita total iguala o gasto total.

Nos modelos de equilíbrio geral todos os setores que compõem a economia são analisados em conjunto, diferentemente dos modelos de equilíbrio parcial em que um mercado de

interesse é estudado isoladamente utilizando-se a premissa de *coeteris paribus*, que considera que o mercado em análise não interfere nos demais. Essa análise conjunta permite que os efeitos de uma perturbação em um mercado sejam analisados tanto dentro dele (impactos diretos) como sobre toda a economia (impactos indiretos), sendo essa uma das principais características dessa categoria de modelos.

O MEGC desenvolvido nesta tese, integrado com os modelos de otimização em redes e partindo das informações dadas pela MIP para a região, terá sua estrutura básica baseada em Machado (2017). Foram representados três tipos de agentes: i) as firmas, que maximizam lucro, ofertam produtos e serviços e demandam fatores de produção, que são produtos de outras firmas (intermediários) e os primários (capital 1, capital 2, trabalho, água<sup>7</sup>, terra irrigável e terra de sequeiro); ii) as famílias que maximizam utilidade, demandam produtos e ofertam os fatores de produção primários e iii) o governo, que é responsável por serviços e investimentos públicos. Por se tratar de uma economia aberta há também interações com o mercado externo, através de exportações e importações.

Todas as interações no modelo são descritas através de equações, que estão detalhadas na seção 3.2.4 Equações do MEGC. A Figura 4 a seguir apresenta uma visão geral do MEGC desenvolvido e disponibilizado na plataforma integrada. De maneira geral, a produção é obtida pela combinação de até seis fatores primários de produção a depender do setor em questão, através de uma função com elasticidade de substituição constante (CES). Essa função considera que cada um dos fatores pode ser substituído pelos demais a taxas constantes.

Essa produção pode ser destinada ao mercado doméstico ou ao mercado internacional (exportações). O quanto vai ser destinado para consumo doméstico e o quanto vai ser destinado para consumo no exterior é definido por uma função com elasticidade de transformação constante (CET). Ela é semelhante a uma CES, mas ao invés de combinar vários fatores para obter um produto, desagrega a produção para determinar quanto será destinado ao mercado doméstico e ao internacional.

A produção doméstica que é destinada ao mercado doméstico é então combinada com as importações através de uma função de Armington, que se baseia na premissa de que esses

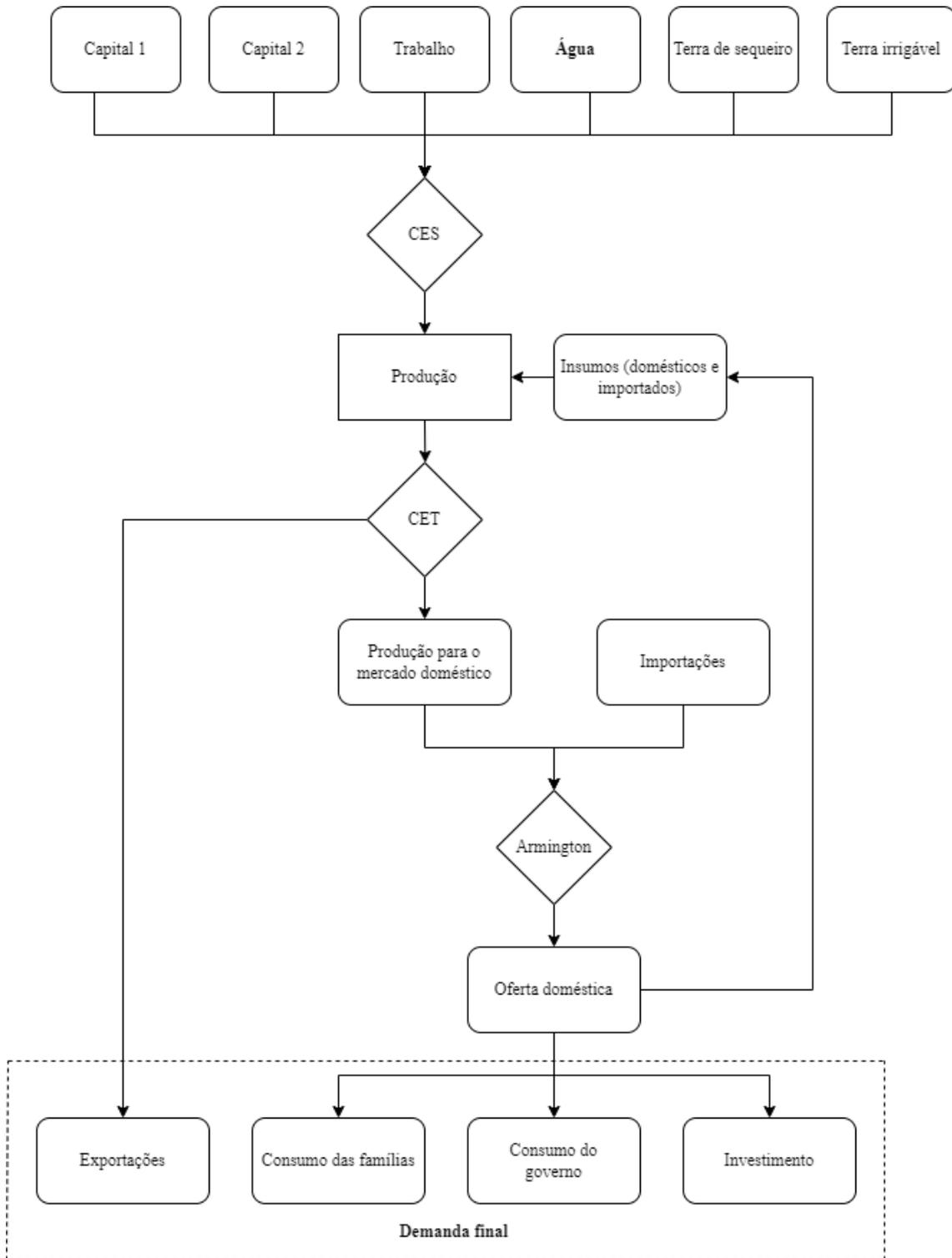
---

<sup>7</sup> No modelo foi considerada somente a água bruta (água azul retirada dos mananciais), mas por simplicidade nos referimos a ela somente como água ou recurso hídrico ao longo do texto.

produtos não são substitutos perfeitos, ou seja, há certa diferenciação entre os produtos domésticos e os importados, para obtenção da oferta doméstica que representa todos os produtos disponíveis para consumo doméstico.

A oferta doméstica é então dividida entre demanda intermediária (fatores de produção dados pelas demais firmas ou insumos) e o consumo das famílias, consumo do governo e investimento, que juntamente com as exportações compõem a demanda final.

Figura 4 - Visão geral do Modelo de Equilíbrio Geral Computável



Fonte: Esta pesquisa (2023).

### **3.2.3. A INTEGRAÇÃO DO MEGC NA PLATAFORMA INTEGRADORA DE MODELOS PARA SUBSIDIAR ESTRATÉGIAS DE ALOCAÇÃO DE ÁGUA BRUTA**

O MEGC desenvolvido nesta tese foi integrado ao modelo de otimização baseado em rede de nós e links descrito na seção 3.2.1, já ligado a uma MIP. Esta a integração foi disponibilizada usando a plataforma de SADE do HEAL *System*. A metodologia de integração utilizada foi a proposta em (Santos, 2020), que relaciona a variação na entrega de água bruta (agregada por setor econômico e município) dada pelo modelo de alocação como um choque exógeno ao MEGC para se obter a variação na produção de cada setor e na demanda final dos consumidores. Essa foi a mesma metodologia que possibilitou a conexão dos modelos em rede com o Modelo de Insumo-Produto (Santos, 2020), (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021). Isto porque o MEGC é formulado a partir de uma MIP. Esta ideia também foi usada por (Souza, 2022).

A integração foi capaz de mensurar os impactos econômicos indiretos e a alteração nos preços relativos em toda a economia, além dos impactos diretos decorrentes de reduções nas alocações de água bruta entre os usuários/ usos, agregadas por setor econômico/região, obtidas pelo modelo baseado em redes. Tais reduções representaram a aplicação de um critério hidrológico para armazenar mais água nos reservatórios das bacias interligadas, em um período de escassez (2011-2013). O desenvolvimento e a integração deste novo modelo (MEGC) foi possível por fazer parte de um esforço de pesquisa que vem sendo desenvolvido no âmbito de um Projeto financiado pela ANA e gerenciado pela CAPES, selecionado em edital 16/2017 e ao Projeto de Apoio à Formação de Doutores em Áreas Estratégicas, chamada pública nº 01/2019, financiado pelo CNPq. Os modelos de otimização baseados em rede para a área de estudo e a MIP regionalizada para a mesma região já estavam disponíveis como resultado do projeto ANA/ CAPES e o desenvolvimento do MEGC, com orientação do Prof. Dr. Marcelo Cunha da UNICAMP, teve apoio do Projeto de Apoio à Formação de Doutores em Áreas Estratégicas do CNPq.

Os modelos de otimização baseados na rede de nós e links, representativos da oferta e demanda por água bruta das 4 bacias interligadas com mais de 700 nós, foram desenvolvidos e disponibilizados usando a plataforma HEAL. Os modelos conseguiram identificar reduções ótimas no atendimento aos usuários em períodos mensais, segundo critérios hidrológicos num período de três anos (2011-2013), período inicial de uma seca que se estendeu até 2018 no Agreste de Pernambuco (Alcoforado de Moraes 2021). A

modelagem de otimização foi realizada de forma concomitante com a regionalização de uma MIP do ano de 2011 para os municípios que fazem parte das 4 bacias integradas. A MIP não compartilha a mesma base de dados do modelo em redes, mas há uma correspondência exata entre as informações dos usuários da rede e os setores econômicos e regiões da MIP. Assim, as alocações de água bruta de cada nó de demanda (representativos dos usuários) da rede podem ser agregadas e associadas aos setores econômicos/municípios da MIP de forma unívoca.

Essa primeira integração (Modelo de otimização + Modelo de Insumo-Produto) mensurou impactos da alocação ótima entre usuários de acordo com dois critérios hidrológicos: um maximizando o atendimento de todos os usuários e outro otimizando a segurança hídrica (o volume armazenado nos reservatórios no período). Os *trade-offs* e impactos setoriais e regionais das estratégias de alocação decorrentes desses dois objetivos puderam ser analisados através da construção de uma Fronteira de Pareto. (ver Alcoforado de Moraes et al, 2021)

Os resultados mostraram que o *trade-off* para que se pudesse maximizar a segurança hídrica nos 3 anos estudados seria reduzir o atendimento à demanda dos usuários de forma significativa. Ao se fazer tais cortes usando tais critérios hidrológicos apenas, simulou-se a ação de instrumentos regulatórios (comando-e-controle) de alocação de águas. Tais reduções, especialmente na região mais crítica do ponto de vista da gestão (baixa eficiência no uso e alto índice de estresse – região úmida), ao não diferenciar os usuários, pela sua eficiência no uso da água, nem pela perda de benefícios econômicos resultantes, levaram a maiores perdas econômicas e sociais, em regiões mais industrializadas, com os maiores PIBs da região seca e mais eficientes no uso da água, se mostrando assim, promotoras de incentivos inadequados.

Os autores posteriormente incluíram, na otimização, critérios de eficiência e produtividade, obtidos para cada nó de demanda, através da integração com o Modelo de Insumo-Produto no ano base (2011) e obtiveram uma nova alocação ótima baseada nesses indicadores. Os resultados mostraram que a inclusão de prioridades no atendimento dos usuários baseadas na eficiência e produtividade reduzem alocações para irrigação de cana-de-açúcar e indústria sucroalcooleira e evitam que o armazenamento em regiões mais secas sirvam, em períodos de escassez, para atender a regiões mais úmidas e a setores mais intensivos em água (Souza da Silva et al, 2023).

A partir da análise dos resultados da primeira integração disponibilizada na plataforma integradora e seus resultados (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021) decidiu-se que o MEGC desenvolvido nesta tese teria a seguinte configuração:

Os municípios/regiões que compõem a área de estudo considerados na primeira integração (modelos de otimização baseado em redes + Modelo de Insumo-Produto) foram agregados em duas regiões no MEGC: uma seca e uma úmida. Este é um avanço em relação à modelagem desenvolvida em (Souza, 2022), que também desenvolveu dentro do escopo do projeto um MEGC para a área de estudo, mas a considerou como uma região única. A agregação utilizada foi escolhida por duas razões, uma computacional<sup>8</sup> e por terem sido observados indicadores semelhantes de eficiência (WUE) e estresse hídrico (WS) entre os municípios de cada uma das regiões em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021).

As duas regiões que compõem a área de estudo ficaram bem definidas de acordo com os resultados encontrados por (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021). Os autores encontraram que a chamada região úmida, usava maiores quantidades de água, destinando o recurso para atividades econômicas pouco eficientes, tais como agricultura irrigada, notadamente cultivo de cana-de-açúcar, e produção de açúcar e álcool, atividade industrial que se mostrou quase 30 vezes menos eficiente que a média de eficiência calculada para o setor industrial.

Já o que classificamos como região seca, usava menores quantidades, mas concentrava o uso do recurso em atividades econômicas mais eficientes, primeiramente os serviços, seguidos pelo setor industrial. Nesta região estavam as indústrias mais eficientes de toda a área de estudo. A região seca é formada por alguns municípios das Bacias do Capibaribe, Ipojuca e Una, com essas características, e a região úmida, formada pelos demais municípios das Bacias do Capibaribe, Ipojuca e Una com maiores quantidades de uso, atividades econômicas menos eficientes e pelos municípios da Bacia do Sirinhaém.

---

<sup>8</sup> A agregação, em relação à MIP (75 regiões) foi necessária por uma questão computacional, já que por apresentar muitos setores econômicos (304) sendo 76 em cada uma das quatro regiões, além de 100.346 variáveis e equações não-lineares, o modelo deve ter um número reduzido de regiões para que possa ser resolvido numericamente.

Os municípios ou agregados de municípios da MIP que consideramos no MEGC como compondo as regiões Seca e Úmida estão especificados no Quadro 1 e no Quadro 2 respectivamente.

*Quadro 1 - Municípios e agregados que compõem a Região Seca*

#	Município / Agregado	Bacia
1	Agregado Jucazinho <sup>9</sup>	Capibaribe
2	Brejo da Madre de Deus	
3	Jataúba	
4	Limoeiro	
5	Santa Cruz do Capibaribe	
6	Bom Jardim	
7	Taquaritinga do Norte	
8	Toritama	
9	Arcoverde	
10	Belo Jardim	
11	Bezerros	
12	Caruaru	
13	Gravatá	
14	Poção	
15	São Caitano	
16	Venturosa	
17	Agregado Bitury <sup>10</sup>	Una
18	Agregado Caetés/Capoeiras <sup>11</sup>	
19	Agrestina	
20	Altinho	
21	Bonito	
22	Calçado	
23	Canhotinho	
24	Cupira	
25	Jucati	
26	Jupi	
27	Jurema	
28	Lagoa dos Gatos	
29	Lajedo	
30	Panelas	
31	São Joaquim do Monte	
32	Ibirajuba	

Fonte: Esta pesquisa (2023).

<sup>9</sup> Formado pelos municípios: Casinhas, Cumaru, Frei Miguelinho, Passira, Riacho das Almas, Salgadinho, Santa Maria do Cambucá, Surubim, Vertente do Lério e Vertentes.

<sup>10</sup> Formado pelos municípios: Cachoeirinha, Pesqueira, Sanharó, São Bento do Una e Tacaimbó.

<sup>11</sup> Formado pelos municípios: Caetés e Capoeiras.

*Quadro 2 - Municípios que compõem a Região Úmida*

#	Município	Bacia
1	Camaragibe	Capibaribe
2	Carpina	
3	Chã de Alegria	
4	Feira Nova	
5	Glória do Goitá	
6	Lagoa do Carro	
7	Lagoa de Itaenga	
8	Moreno	
9	Paudalho	
10	Recife	
11	São Lourenço da Mata	
12	Tracunhaém	
13	Chã Grande	Ipojuca
14	Escada	
15	Ipojuca	
16	Pombos	
17	Primavera	
18	Vitória de Santo Antão	
19	Água Preta	Una
20	Barreiros	
21	Belém de Maria	
22	Catende	
23	Jaqueira	
24	Joaquim Nabuco	
25	Maraial	
26	Palmares	
27	Quipapá	
28	São Benedito do Sul	
29	São José da Coroa Grande	
30	Tamandaré	
31	Xexéu	
32	Amaraji	Sirinhaém
33	Cortês	
34	Gameleira	
35	Ribeirão	
36	Rio Formoso	
37	Sirinhaém	
38	Barra de Guabiraba	
39	Camocim de São Félix	
40	Sairé	

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Com relação aos setores econômicos, foram mantidos os 76 setores econômicos usados na MIP inter-regional, mas como agora consideraram-se apenas 4 regiões ao invés das 75 regiões originais, passou-se a modelar 304 setores econômicos, 76 em cada uma das quatro regiões. Os setores econômicos/ regiões foram divididos em três grupos, de acordo com os fatores de produção primários utilizados na modelagem, a saber: o Grupo 1 utiliza dois fatores de produção (capital 1 e trabalho), o Grupo 2 utiliza quatro fatores de produção (capital 1, capital 2, trabalho, e água) e o Grupo 3 utiliza seis fatores de produção (capital 1, capital 2, trabalho, água, terra de sequeiro e terra irrigável).

Como não temos dados sobre o uso dos fatores água, terra de sequeiro e terra irrigável para as regiões resto de Pernambuco e resto do Brasil, todos os setores dessas regiões foram enquadrados no grupo 1. Já os setores que fazem parte da área de estudo, dividida em região seca (RS) e região úmida (RU), foram agrupados de acordo com o Quadro 3 a seguir.

*Quadro 3 - Divisão dos setores<sup>12</sup> da área de estudo em grupos de acordo com os fatores primários utilizados*

Grupo 1	Extração de petróleo e gás natural, Abate de animais exceto pescado (RU), Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado, Laticínios e Outros produtos alimentares, Fabricação e refino do açúcar (RS), Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais, Fabricação de alimentos para animais, Beneficiamento de produtos vegetais, Fabricação de bebidas alcoólicas (RS), Fabricação de bebidas não alcoólicas, Confecção de artefatos do vestuário e acessórios (RS), Confecção de artefatos do vestuário e acessórios (RU), Fabricação de calçados e de artefatos de couro, Fabricação de produtos da madeira, Fabricação de celulose, fabricação de papel e artefatos de papel (RS), Impressão e reprodução de gravações, Refino de petróleo e coquerias, Fabricação de álcool (RS), Fabricação de biocombustíveis, exceto álcool, Fabricação de adubos e fertilizantes, Fabricação de produtos petroquímicos básicos, Fabricação de produtos químicos, resinas e elastômeros, Fabricação de defensivos agrícolas e desinfetantes domissanitários, Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e de produtos e preparados químicos diversos, Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal,
---------	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<sup>12</sup> Em cada região os setores podem utilizar fatores de produção distintos. Quando o setor está seguido da sigla RU (Região Úmida), somente o setor desta região pertence àquele grupo. Quando o setor está seguido da sigla RS (Região Seca), somente o setor desta região pertence àquele grupo. Quando não há indicação de RU ou RS, o setor das duas regiões está enquadrado naquele grupo.

	<p>Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos, Fabricação de produtos de borracha e de material plástico (RS), Fabricação de cimento, Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura, Metalurgia de metais não ferrosos, Fundição e Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos, Fabricação de produtos eletrônicos, equipamentos de comunicação e equipamentos de informática e periféricos, Fabricação de equipamentos de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos, Fabricação de eletrodomésticos, Fabricação de outras máquinas e equipamentos elétricos (RS), Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos (RS), Fabricação de automóveis, camionetas, utilitários e caminhões e ônibus, Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores, Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores, Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas, Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos, Geração de energia elétrica (RS), Transmissão de energia elétrica, Distribuição de energia elétrica, Produção e distribuição de gás natural e outras utilidades, Resíduos, Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas, Comércio varejista (RS), Transporte terrestre (RS), Transporte dutoviário de carga, Transporte aquaviário, Transporte aéreo, Armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e correios, Alojamento (RS), Alimentação, Edição e edição integrada à impressão, Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/ edição de som e imagem, Telecomunicações e Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação, Intermediação financeira, seguros e previdência complementar, Outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (RS), Atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, Defesa e Outros da administração pública e seguridade social, Educação, Saúde, Atividades artísticas, criativas e de espetáculos, organizações associativas e outros serviços pessoais, serviços domésticos (RS)</p>
Grupo 2	<p>Pesca e Aquicultura, Extração de minerais, exceto petróleo e gás natural, Abate de animais exceto pescado (RS), Fabricação de produtos têxteis, Confeção de artefatos do vestuário e acessórios (RS), Fabricação e refino do açúcar (RU), Fabricação de celulose, fabricação de papel e artefatos de papel (RU), Fabricação de bebidas alcoólicas (RU), Fabricação de álcool (RU), Fabricação de produtos de borracha e de material plástico (RU), Fabricação de vidro e de produtos do vidro e outros produtos de minerais não-metálicos, Fabricação de outras máquinas e equipamentos elétricos (RU), Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos (RU), Geração de energia elétrica (RU), Água e esgoto, Construção, Comércio atacadista, Comércio varejista (RU), Transporte Terrestre (RU), Alojamento (RU), Outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares (RU) e Atividades artísticas, criativas e de espetáculos organizações associativas e outros serviços pessoais e serviços domésticos (RU)</p>

Grupo 3	Cultivo de milho, Cultivo de algodão herbáceo e de outras fibras de lavoura temporária, Cultivo de cana-de-açúcar, Outros da fruticultura, Cultivo de plantas de lavoura não especificadas anteriormente, Pecuária e Produção florestal
---------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Como os setores que fazem parte do grupo 1 não utilizam quantidades significativas dos fatores água, terra de sequeiro e terra irrigável, em sua árvore, no primeiro nível, serão combinados apenas os fatores capital 1 e trabalho, através da função CES 1.1<sup>13</sup>, para se obter o composto capital-trabalho (Figura 5). Nesse mesmo nível são ainda combinados os insumos do próprio setor com os insumos dos demais setores por uma Função Leontief, para obtenção do consumo intermediário.

No segundo nível da árvore do grupo 1, consumo intermediário e valor adicionado capital-trabalho são combinados por uma Função Leontief para formar a produção doméstica. Em seguida, uma função CET determina quanto dessa produção será exportada e quanto será destinada ao mercado interno. A produção doméstica voltada ao mercado interno é então combinada com as importações através de uma Função de Armington para compor a oferta interna do setor. Por fim, a oferta interna é dividida em demanda intermediária, decomposta em insumos para o próprio setor e para os demais setores da economia, e demanda final, decomposta em demanda das famílias, demanda do governo e investimento (Figura 5).

---

<sup>13</sup> A numeração da CES 1.1 deve ser entendida da seguinte forma: O primeiro número identifica o grupo, o segundo a localização da função na árvore.

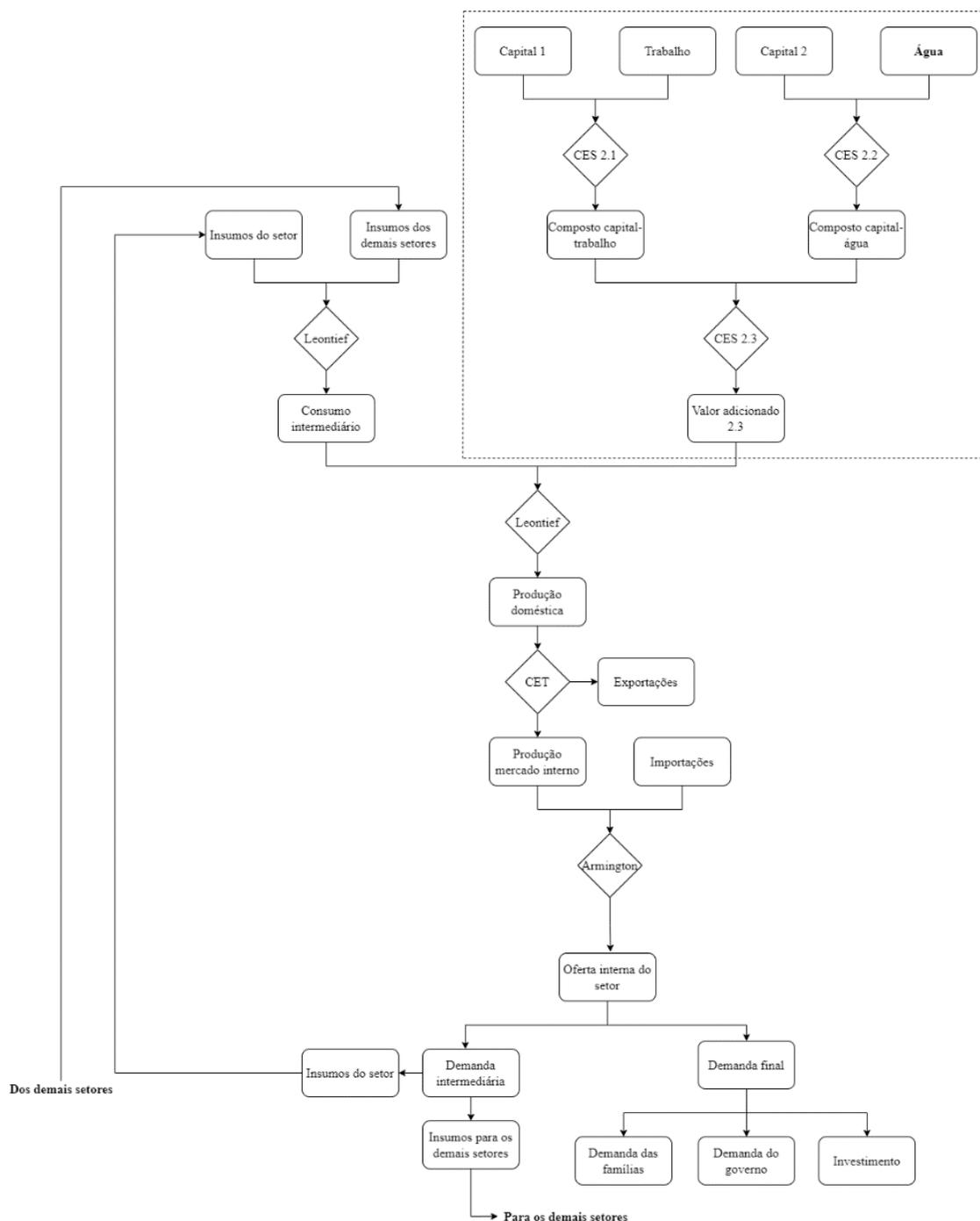


capital 1 e trabalho, assim como capital 2 e água, são combinados pelas funções CES 2.1<sup>14</sup> e CES 2.2 respectivamente, para formar os compostos capital–trabalho e capital–água. Nesses setores não se considera, portanto, que a água possa substituir o trabalho, ela é apenas uma possível substituta ao capital, uma vez que como existem diferentes tecnologias para o uso da água, que podem ser mais ou menos eficientes, elas permitem combinações dos fatores capital e água em proporções diferentes. Os dois compostos são então combinados pela função CES 2.3 para obter o valor adicionado 2.3. Nossa proposta de estrutura foi baseada em (Gómez, Tirado e Rey-Maqueira, 2004).

---

<sup>14</sup> A numeração das CES 2.1, 2.2 e 2.3 deve ser entendida da seguinte forma: O primeiro número identifica o grupo, o segundo a localização da função na árvore.

Figura 6 - Árvore dos setores do Grupo 2



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Os setores do grupo 3 são aqueles que utilizam pelo menos um dos tipos de terra, podendo utilizar os seis fatores de produção considerados: capital 1, capital 2, trabalho, água, terra de sequeiro e terra irrigável. Nele, capital e água são combinados no primeiro nível pela

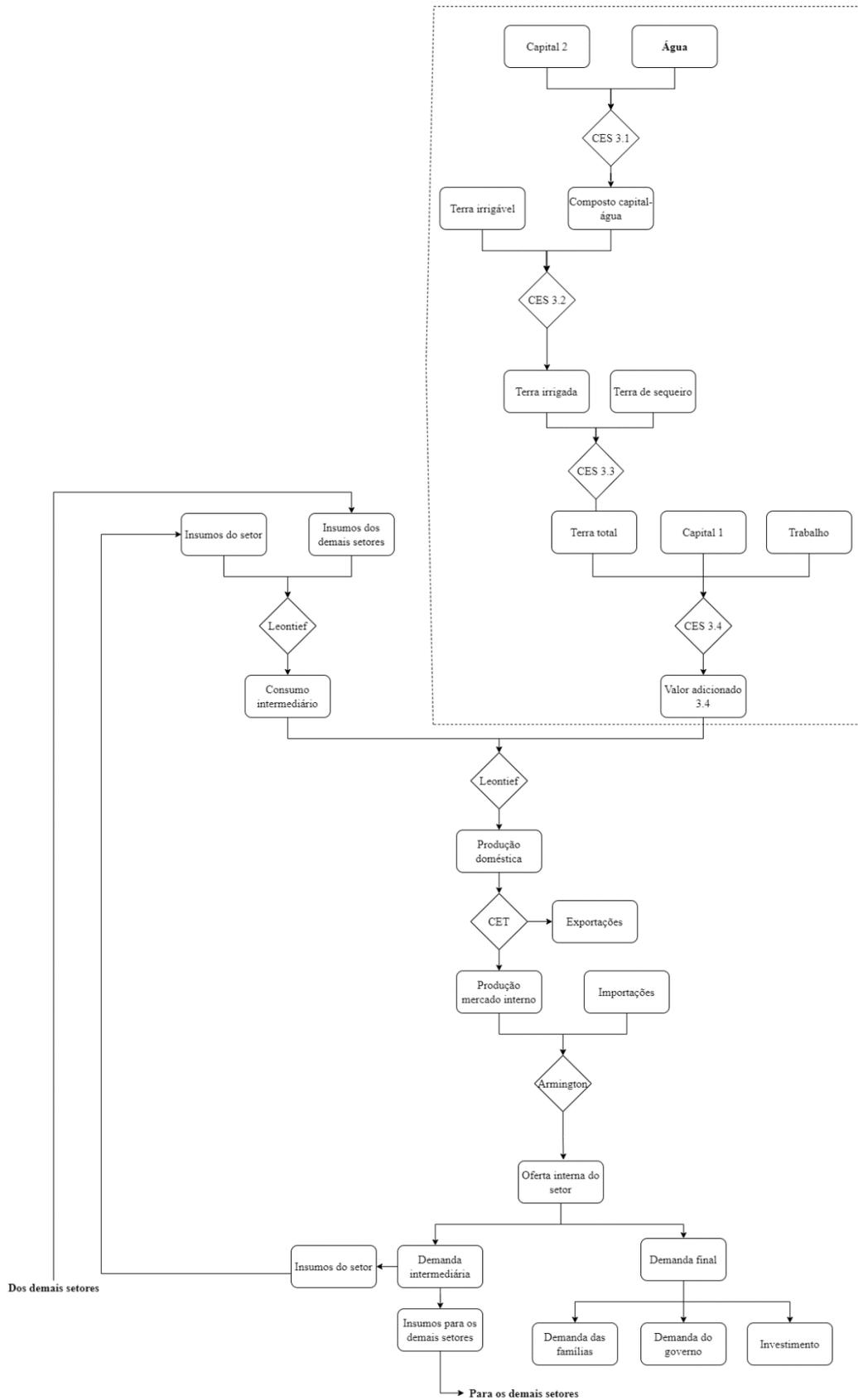
função CES 3.1<sup>15</sup> para formar o composto capital-água. Aqui decidiu-se considerar que para retirar e distribuir água é preciso que haja alguma infraestrutura, semelhante ao que é proposto por (Gómez, Tirado e Rey-Maqueira, 2004).

Em seguida esse composto é combinado com a terra irrigável pela função CES 3.2 para formar a terra irrigada. No nível seguinte a terra irrigada e a terra de sequeiro (que não possui infraestrutura de irrigação) são combinadas pela função CES 3.3 para formar a terra total. A divisão do fator terra em várias categorias foi também utilizada tanto no Modelo TERM – H2O (Dixon, Rimmer e Wittwer, 2011) quanto na versão 2 do Modelo GTAP – W (Calzadilla, Rehdanz e Tol, 2011). No nível seguinte a terra total é combinada com capital 1 e trabalho pela função CES 3.4 para formar o valor adicionado 3.4 – ver Figura 7.

---

<sup>15</sup> A numeração das CES 3.1, 3.2, 3.3 e 3.4 deve ser entendida da seguinte forma: O primeiro número identifica o grupo, o segundo a localização da função na árvore.

Figura 7 - Árvore dos setores do Grupo 3



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Os resultados a ser obtidos usando o MEGC integrado à atual plataforma podem mensurar os impactos econômicos de forma mais ampla, não só acrescentando os impactos na economia regional de determinadas decisões de alocações de água, ou seja, extrapolando os seus efeitos além dos limites de bacias como também, expandindo os resultados regionais que já tinham sido obtidos com a integração com o Modelo de Insumo-Produto (Alcoforado de Moraes et al, 2021). Ao desenvolvermos um MEGC com diferentes funções de produção, considerando governo, setor externo e principalmente respondendo a preços, agregamos à plataforma a capacidade de mensurar impactos de determinado regime de alocação sobre todos os preços da economia. Tais resultados podem apoiar o design e a avaliação de instrumentos econômicos e implementar políticas de alocação de recursos hídricos, que possam ser avaliadas de forma mais ampla, no sentido de sua efetividade a induzir um uso racional e eficiente. (Alcoforado de Moraes *et al* 2021). Para fazer a avaliação de estratégias de alocação diferentes, foram idealizados e construídos dois cenários descritos nos itens 3.2.5 e 3.2.6.

### 3.2.4. EQUAÇÕES DO MEGC

Esta seção descreve as equações que determinam a interação entre os agentes nos diversos mercados. A demanda pelos fatores de produção primários: capital 1 ( $K_{1,j}$ ), trabalho ( $L_j$ ), capital 2 ( $K_{2,j}$ ), água ( $A_j$ ), terra de sequeiro ( $TS_j$ ) e terra irrigável ( $TI_j$ ) em cada setor econômico  $j$  é modelado por Funções CES (elasticidade de substituição constante) representadas pelas equações (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) e (8).

$$K_{1,j} = \frac{VA_{KL,j}}{tVA_{KL,j} \gamma_{K1,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_{K1}) p_{K1}^{-\sigma_{KL,j}} \left[ \gamma_{K1,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_{K1}) p_{K1}^{1-\sigma_{KL,j}} + \gamma_{KL,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_L) p_L^{1-\sigma_{KL,j}} \right]^{\sigma_{KL,j}/(1-\sigma_{KL,j})}} \quad (1)$$

$$\forall j \in \{G_1, G_2\}$$

$$K_{2,j} = \frac{VA_{3.4,j}}{tVA_{3.4,j} \gamma_{3.4K1,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_{K1}) p_{K1}^{-\sigma_{3.4,j}} \left[ \gamma_{3.4K1,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_{K1}) p_{K1}^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4L,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_L) p_L^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4TT,j}^{\sigma_{3.4,j}} p_{TT}^{1-\sigma_{3.4,j}} \right]^{\sigma_{3.4,j}/(1-\sigma_{3.4,j})}} \quad (2)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

$$L_j = \frac{VA_{KL,j}}{tVA_{KL,j} \gamma_{KL,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_L) p_L^{-\sigma_{KL,j}} \left[ \gamma_{KL,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_{K1}) p_{K1}^{1-\sigma_{KL,j}} + \gamma_{KL,j}^{\sigma_{KL,j}} (1+\omega_L) p_L^{1-\sigma_{KL,j}} \right]^{\sigma_{KL,j}/(1-\sigma_{KL,j})}} \quad (3)$$

$$\forall j \in \{G_1, G_2\}$$

$$L_j = \frac{VA_{3.4,j}}{t_{VA_{3.4,j}} \gamma_{3.4L,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_L) p_L^{-\sigma_{3.4,j}} \left[ \gamma_{3.4L,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_L) p_L^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4K_1,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1+\omega_{K_1}) p_{K_1}^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4TT,j}^{\sigma_{3.4,j}} p_{TT}^{1-\sigma_{3.4,j}} \right]^{\sigma_{3.4,j}/1-\sigma_{3.4,j}}} \quad (4)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

$$K_{2,j} = \frac{VA_{KA,j}}{t_{VA_{KA,j}} \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_{K_2}) p_{K_2}^{-\sigma_{KA,j}} \left[ \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_{K_2}) p_{K_2}^{1-\sigma_{KA,j}} + \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_A) p_A^{1-\sigma_{KA,j}} \right]^{\sigma_{KA,j}/1-\sigma_{KA,j}}} \quad (5)$$

$$\forall j \in \{G_2, G_3\}$$

$$A_j = \frac{VA_{KA,j}}{t_{VA_{KA,j}} \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_A) p_A^{-\sigma_{KA,j}} \left[ \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_A) p_A^{1-\sigma_{KA,j}} + \gamma_{KAA,j}^{\sigma_{KA,j}} (1+\omega_{K_2}) p_{K_2}^{1-\sigma_{KA,j}} \right]^{\sigma_{KA,j}/1-\sigma_{KA,j}}} \quad (6)$$

$$\forall j \in \{G_2, G_3\}$$

$$TI_j = \frac{Tirr_j}{t_{Tirr_j} \gamma_{3.2TI,j}^{\sigma_{3.2,j}} (1+\omega_{TI}) p_{TI}^{-\sigma_{3.2,j}} \left[ \gamma_{3.2TI,j}^{\sigma_{3.2,j}} (1+\omega_{TI}) p_{TI}^{1-\sigma_{3.2,j}} + \gamma_{3.2VA_{KA,j}}^{\sigma_{3.2,j}} p_{VA_{KA,j}}^{1-\sigma_{3.2,j}} \right]^{\sigma_{3.2,j}/1-\sigma_{3.2,j}}} \quad (7)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

$$TS_j = \frac{TT_j}{t_{TT_j} \gamma_{3.2TS,j}^{\sigma_{3.3,j}} (1+\omega_{TS}) p_{TS}^{-\sigma_{3.3,j}} \left[ \gamma_{3.2TS,j}^{\sigma_{3.3,j}} (1+\omega_{TS}) p_{TS}^{1-\sigma_{3.3,j}} + \gamma_{3.2Tirr_j}^{\sigma_{3.3,j}} p_{Tirr_j}^{1-\sigma_{3.3,j}} \right]^{\sigma_{3.3,j}/1-\sigma_{3.3,j}}} \quad (8)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

Em que  $\gamma_{ij}$  é o parâmetro de distribuição para cada fator de produção,  $\sigma_j$  é a elasticidade de substituição entre fatores de produção,  $p_i$  é o preço e  $\omega_i$  é a alíquota de imposto de cada fator, e  $t_j$  é o parâmetro de eficiência tecnológica de cada setor e  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  representam os grupos de setores especificados no Quadro 3.

As Demandas pelos valores-adicionados capital-trabalho ( $VA_{KL,j}$ ) e capital-água ( $VA_{KA,j}$ ) e compostos, terra irrigada ( $Tirr_j$ ) e terra total ( $TT_j$ ) em cada um dos  $j$  setores são representadas pelas equações (9), (10), (11), (12) e (13).

$$VA_{KL,j} = \frac{VA_{2.3,j}}{t_{VA_{2.3,j}} \gamma_{2.3VA_{KL,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KL,j}}^{-\sigma_{2.3,j}} \left[ \gamma_{2.3VA_{KL,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KL,j}}^{1-\sigma_{2.3,j}} + \gamma_{2.3VA_{KA,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KA,j}}^{1-\sigma_{2.3,j}} \right]^{\sigma_{2.3,j}/1-\sigma_{2.3,j}}} \quad (9)$$

$$\forall j \in \{G_2\}$$

$$VA_{KA,j} = \frac{VA_{2.3}}{t_{VA_{2.3,j}} \gamma_{2.3VA_{KA,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KA,j}}^{-\sigma_{2.3,j}} \left[ \gamma_{2.3VA_{KA,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KA,j}}^{1-\sigma_{2.3,j}} + \gamma_{2.3VA_{KL,j}}^{\sigma_{2.3,j}} p_{VA_{KL,j}}^{1-\sigma_{2.3,j}} \right]^{\sigma_{2.3,j}/1-\sigma_{2.3,j}}} \quad (10)$$

$$\forall j \in \{G_2\}$$

$$VA_{KA,j} = \frac{TIrr_j}{t_{TIrr_j} \gamma_{3.2VA_{KA,j}}^{\sigma_{3.2,j}} p_{VA_{KA,j}}^{-\sigma_{3.2,j}} \left[ \gamma_{3.2VA_{KA,j}}^{\sigma_{3.2,j}} p_{VA_{KA,j}}^{1-\sigma_{3.2,j}} + \gamma_{3.2TI_j}^{\sigma_{3.2,j}} (1 + \omega_{TI}) p_{TI}^{1-\sigma_{3.2,j}} \right]^{\sigma_{3.2,j}/1-\sigma_{3.2,j}}} \quad (11)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

$$TIrr_j = \frac{TT_j}{t_{TT_j} \gamma_{3.3TIrr_j}^{\sigma_{3.3,j}} p_{TT_j}^{-\sigma_{3.3,j}} \left[ \gamma_{3.3TIrr_j}^{\sigma_{3.3,j}} p_{TT_j}^{1-\sigma_{3.3,j}} + \gamma_{3.3TS_j}^{\sigma_{3.3,j}} (1 + \omega_{TS}) p_{TS}^{1-\sigma_{3.3,j}} \right]^{\sigma_{3.3,j}/1-\sigma_{3.3,j}}} \quad (12)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

$$TT_j = \frac{VA_{3.4,j}}{t_{VA_{3.4,j}} \gamma_{3.4TT_j}^{\sigma_{3.4,j}} p_{TT_j}^{-\sigma_{3.4,j}} \left[ \gamma_{3.4TT_j}^{\sigma_{3.4,j}} p_{TT_j}^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4K_1,j}^{\sigma_{3.4,j}} (1 + \omega_{K_1}) p_{K_1}^{1-\sigma_{3.4,j}} + \gamma_{3.4L_j}^{\sigma_{3.4,j}} (1 + \omega_L) p_L^{1-\sigma_{3.4,j}} \right]^{\sigma_{3.4,j}/1-\sigma_{3.4,j}}} \quad (13)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

Em que  $\gamma_{ij}$  é o parâmetro de distribuição para cada fator de produção,  $\sigma_j$  é a elasticidade de substituição entre fatores de produção,  $p_i$  é o preço e  $\omega_i$  é a alíquota de imposto de cada fator, e  $t_j$  é o parâmetro de eficiência tecnológica de cada setor e  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  representam os grupos de setores especificados no Quadro 3.

Uma função Leontief é responsável por combinar os fatores de produção com o consumo intermediário para determinar a produção de cada setor ( $XD_j$ ). Esta produção pode então ser destinada ao mercado interno ( $XDD_j$ ) ou pode ser exportada ( $E_j$ ). O quanto ficará disponível para o mercado doméstico e o quanto será destinado ao mercado internacional é definido por uma Função CET (elasticidade de transformação constante), representada pelas equações (14) e (15).

$$\frac{XDD_j a_{T,j}}{XD_j} = \left( \frac{1-\gamma_{T,j}}{p_{DD,j}} \right)^{\sigma_{T,j}} \left( \gamma_{T,j}^{\sigma_{T,j}} p_{E_j}^{1-\sigma_{T,j}} + \gamma_{T,j}^{\sigma_{T,j}} p_{DD_j}^{1-\sigma_{T,j}} \right)^{\sigma_{T,j}/1-\sigma_{T,j}} \quad (14)$$

$$\frac{E_j a_{T,j}}{XD_j} = \left( \frac{\gamma_{T,j}}{p_{E,j}} \right)^{\sigma_{T,j}} \left( \gamma_{T,j}^{\sigma_{T,j}} p_{E_j}^{1-\sigma_{T,j}} + \gamma_{T,j}^{\sigma_{T,j}} p_{DD_j}^{1-\sigma_{T,j}} \right)^{\sigma_{T,j}/1-\sigma_{T,j}} \quad (15)$$

Em que  $\gamma_{Tj}$  é o parâmetro de distribuição da oferta de produção,  $p_{DD_j}$  é o preço do produto vendido internamente,  $p_{E_j}$  é o preço do produto exportado,  $\sigma_{Tj}$  é elasticidade de substituição entre os possíveis destinos da produção e  $a_{Tj}$  é um parâmetro de eficiência.

A oferta doméstica é composta por dois tipos de produtos, a produção doméstica que não é exportada ( $XDD_j$ ) e os produtos importados ( $M_j$ ). A competição entre a produção doméstica e os produtos importados é modelada por uma Função de Armington, conforme as equações (16) e (17).

$$\frac{XDD_j a_j}{X_j} = \left( \frac{1-\gamma_{a,j}}{p_{DD,j}} \right)^{\sigma_{aj}} \left( \gamma_{a,j}^{\sigma_{aj}} p_{M_j}^{1-\sigma_{aj}} + (1-\gamma_{a,j})^{\sigma_{aj}} p_{DD,j}^{1-\sigma_{aj}} \right)^{\sigma_{aj}/1-\sigma_{aj}} \quad (16)$$

$$\frac{M_j a_j}{X_j} = \left( \frac{\gamma_{a,j}}{p_M} \right)^{\sigma_{aj}} \left( \gamma_{a,j}^{\sigma_{aj}} p_{M_j}^{1-\sigma_{aj}} + (1-\gamma_{a,j})^{\sigma_{aj}} p_{DD,j}^{1-\sigma_{aj}} \right)^{\sigma_{aj}/1-\sigma_{aj}} \quad (17)$$

Em que  $p_{M_j}$  representa o preço dos produtos importados. Todos os demais parâmetros são semelhantes aos da função CET, identificados com o subscrito  $A$ , embora tenham valores distintos.

A demanda das famílias por bens e serviços ( $C_j$ ) é modelada por uma função LES (sistema de dispêndio linear) ou Stone–Geary, representada pela equação (18).

$$C_j = \mu_j + \frac{\alpha_{F_j}}{(1+\omega_{c,j})p_j} (R_{F_{cons}} - \sum_{j=1}^n (1 + \omega_{c,j})p_j \mu_j) \quad (18)$$

Em que  $\mu_j$  representa o consumo de subsistência do produto do setor  $j$ ,  $\alpha_{F_j}$  é o parâmetro de distribuição das famílias,  $p_j$  é o preço do produto  $j$ ,  $\omega_{c,j}$  é a alíquota de imposto sobre o consumo do produto  $j$  e  $R_{F_{cons}}$  é a parcela de renda destinada a consumo pelas famílias, que é representada pela equação (19).

$$R_{F_{cons}} = R_F - S_F - imp_R \quad (19)$$

Em que  $R_F$  é a renda das famílias,  $S_F$  é a poupança das famílias e  $imp_R$  é o imposto de renda.

A demanda do governo pelo produto do setor  $j$  ( $G_j$ ) também é modelada por uma Função LES ou Stone–Geary, de acordo com a equação (20).

$$G_j = \mu_{G_j} + \frac{\alpha_{G_j}}{p_j} \left( R_{G_{cons}} - \sum_{j=1}^n p_j \mu_{G_j} \right) \quad (20)$$

Em que  $\mu_{G_j}$  representa o consumo de subsistência do governo para o produto  $j$ ,  $\alpha_{G_j}$  é o parâmetro de distribuição do governo,  $p_j$  é o preço do produto  $j$  e  $R_{G_{cons}}$  é a renda do governo destinada ao consumo.

A Receita do Governo ( $R_G$ ) e a renda do governo destinada ao consumo ( $R_{G_{cons}}$ ) são descritas pelas equações (21) e (22) respectivamente.

$$R_G = \sum_{j=1}^n (imp_{C,j} + imp_{K_1,j} + imp_{K_2,j} + imp_{L,j} + imp_{A,j} + imp_{M,j} + imp_{T_S,j} + imp_{T_L,j}) + imp_R \quad (21)$$

$$R_{G_{cons}} = R_G - Transf_G - S_G IPC \quad (22)$$

Em que  $imp_{i,j}$  representa as arrecadações com os diversos impostos cobrados sobre o uso dos  $i$  fatores de produção nos setores  $j$ ,  $imp_{C,j}$  a arrecadação com imposto sobre consumo nos  $j$  setores e  $imp_R$  a arrecadação com imposto de renda.

As transferências do governo ( $Transf_G$ ), o auxílio desemprego ( $Transf_u$ ) e as outras transferências do governo ( $Outr.transf_{nom}$ ) são modeladas de acordo com as equações (23), (24) e (25) respectivamente.

$$Transf_G = transf_u + Outr.transf \quad (23)$$

$$Transf_u = fator_{p_L} + p_L * u \quad (24)$$

$$Outr.transf_{nom} = outr.transf * IPC \quad (25)$$

Em que  $fator_{p_L}$  representa um fator de ajuste ao preço do fator trabalho,  $p_L$  é o preço do fator trabalho,  $u$  é o número de desempregados na economia e  $IPC$  é o índice de preços ao consumidor.

As poupanças são representadas pelas equações a seguir, poupança das famílias  $S_F$  (26), poupança nominal do governo  $S_{G_{nom}}$  (27) e poupança total  $S$  (28).

$$S_F = pmp(R_F - imp_R) \quad (26)$$

$$S_{G_{nom}} = S_G * IPC \quad (27)$$

$$S = S_F + S_G * IPC + S_E * E_R \quad (28)$$

Em que  $pmp$  é a propensão marginal a consumir,  $R_F$  é a renda das famílias e  $imp_R$  é o imposto de renda,  $S_G$  é a poupança do governo e  $IPC$  o índice de preços ao consumidor,  $S_E$  é a poupança externa e  $E_R$  a taxa de câmbio.

Os preços importação ( $p_{M,j}$ ) e de exportação ( $p_{E,j}$ ) são modelados pelas equações (29) e (30) respectivamente.

$$p_{M,j} = (1 + \omega_M)E_R p_{\omega M,j} \quad (29)$$

$$p_{E,j} = E_R p_{\omega E,j} \quad (30)$$

Em que  $\omega_M$  é a alíquota de imposto de importação,  $E_R$  é a taxa de câmbio e  $p_{\omega,j}$  é o preço internacional do produto  $j$ .

Os impostos são descritos pelas equações (31) a (39), na seguinte ordem: imposto de importação ( $Imp_{M,j}$ ), imposto sobre consumo ( $Imp_{C,j}$ ), imposto de renda ( $Imp_R$ ), imposto sobre capital 1 ( $Imp_{K_1,j}$ ), imposto sobre capital 2 ( $Imp_{K_2,j}$ ), imposto sobre trabalho ( $Imp_{L,j}$ ), imposto sobre recurso hídrico ( $Imp_{A,j}$ ), imposto sobre terra de sequeiro ( $Imp_{T_S,j}$ ) e imposto sobre terra irrigável ( $Imp_{T_I,j}$ ).

$$Imp_{M,j} = \omega_{M,j}E_R p_{\omega M,j}M_j \quad (31)$$

$$Imp_{C,j} = \omega_{C,j}C_j p_j \quad (32)$$

$$Imp_R = \omega_R R_F \quad (33)$$

$$Imp_{K_1,j} = \omega_{K_1,j} C_{K_1,j} p_{K_1} \quad (34)$$

$$Imp_{K_2,j} = \omega_{K_2,j} C_{K_2,j} p_{K_2} \quad (35)$$

$$Imp_{L,j} = \omega_{L,j} C_{L,j} p_L \quad (36)$$

$$Imp_{A,j} = \omega_{A,j} C_{A,j} p_A \quad (37)$$

$$Imp_{T_S,j} = \omega_{T_S,j} C_{T_S,j} p_{T_S} \quad (38)$$

$$Imp_{T_I,j} = \omega_{T_I,j} C_{T_I,j} p_{T_I} \quad (39)$$

Em que  $\omega_{i,j}$  representa as alíquotas de imposto para os  $j$  setores,  $E_R$  é a taxa de câmbio,  $p_{\omega,j}$  é o preço internacional do produto  $j$ , e  $M_j$  é a quantidade importada do produto  $j$ ,  $C_j$  é a quantidade consumida do produto  $j$  pelas famílias, e  $p_j$  é o preço de mercado do produto  $j$ ,  $R_F$  é a renda das famílias,  $C_{ij}$  é a quantidade do fator  $i$  utilizada pelo setor  $j$  e  $p_i$  é o preço do fator de produção  $i$ .

O índice de preços (*IPC*) é calculado de acordo com a equação (40).

$$IPC = \frac{\sum_{j=1}^n (1 + \omega_{C,j}) p_j C_{0,j}}{\sum_{j=1}^n (1 + \omega_{C_0,j}) p_{0,j} C_{0,j}} \quad (40)$$

Em que  $\omega_{C,j}$  e  $\omega_{C_0,j}$  são a alíquota de imposto e a alíquota de imposto inicial sobre o consumo do produto  $j$ ,  $p_j$  e  $p_{0,j}$  são o preço e o preço inicial do produto  $j$  e  $C_{0,j}$  é o consumo inicial do produto  $j$ .

O investimento ( $I_j$ ) é representado por uma relação entre a poupança ( $s$ ) e os preços dos produtos ( $p_j$ ), conforme a equação (41).

$$I_j = \alpha_{I_j} \frac{s}{p_j} \quad (41)$$

Em que  $\alpha_{I_j}$  representa o parâmetro de distribuição dos investimentos.

O consumo intermediário ( $C_{int_{j,k}}$ ) é representado pela equação (42), uma relação entre o coeficiente técnico de produção ( $a_{j,k}$ ) e a produção doméstica do produto  $j$  ( $X_{d,j}$ ).

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n C_{int_{j,k}} = a_{j,k} X_{d,j} \quad (42)$$

Os consumos dos diversos valores adicionados são modelados pelas equações de Leontief (43) a (45), nesta ordem: valor adicionado capital-trabalho ( $VA_{KL,j}$ ), valor adicionado formado na CES 3 dos setores do grupo 2 ( $VA_{23,j}$ ) e valor adicionado formado na CES 4 dos setores do grupo 3 ( $VA_{34,j}$ ), compostos por relações entre os parâmetros de eficiência ( $a_{VA_{j,i}}$ ) e a produção composta do bem  $j$  ( $X_j$ ) e  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  representam os grupos de setores especificados no Quadro 3.

$$VA_{KL,j} = a_{VA_{KL,j}} X_j \quad (43)$$

$$\forall j \in \{G_1\}$$

$$VA_{23,j} = a_{VA_{23,j}} X_j \quad (44)$$

$$\forall j \in \{G_2\}$$

$$VA_{34,j} = a_{VA_{34,j}} X_j \quad (45)$$

$$\forall j \in \{G_3\}$$

Além das equações apresentadas acima, e conforme mencionado anteriormente, para garantir o equilíbrio é preciso que algumas condições sejam satisfeitas (46) a (60), as equações de lucro zero: do mercado interno (46), do setor composto (47), dos setores (48), do valor adicionado capital-trabalho (49), do valor adicionado/composto capital-água (50), do valor adicionado/composto terra irrigada (51) e do valor adicionado/composto terra total (52).

$$p_{D,j}X_{D,j} = p_{E,j}E_j + p_{DD,j}X_{DD,j} \quad (46)$$

$$p_jX_j = p_{M,j}M_j + p_{DD,j}X_{DD,j} \quad (47)$$

$$p_{D,j}X_{D,j} = (1 + \omega_{K_1})p_{K_1}C_{K_1} + (1 + \omega_{K_2})p_{K_2}C_{K_2} + (1 + \omega_L)p_L C_L + (1 + \omega_A)p_A C_A + (1 + \omega_{T_S})p_{T_S}C_{T_S} + (1 + \omega_{T_I})p_{T_I}C_{T_I} + \sum_{k=1}^n p_j C_{int,k,j} \quad (48)$$

$$C_{K_1,j}p_{K_1}C_{L,j}p_L = VA_{KL,j}p_{VA_{KL,j}} \quad (49)$$

$\forall j \in \{G_1, G_2\}$

$$C_{K_2,j}p_{K_2}C_{A,j}p_A = VA_{KA,j}p_{VA_{KA,j}} \quad (50)$$

$\forall j \in \{G_2, G_3\}$

$$C_{T_I}p_{T_I} + VA_{KA,j}p_{VA_{KA,j}} = T_{Irr,j}p_{T_{Irr,j}} \quad (51)$$

$\forall j \in \{G_3\}$

$$C_{T_S}p_{T_S} + T_{Irr,j}p_{T_{Irr,j}} = T_{T,j}p_{T_{T,j}} \quad (52)$$

$\forall j \in \{G_3\}$

Em que  $p_{D,j}$  é o preço doméstico do produto  $j$ ,  $X_{D,j}$  é a produção doméstica do produto  $j$ ,  $p_{E,j}$  é o preço de exportação do produto  $j$ ,  $E_j$  é a quantidade exportada do produto  $j$ ,  $p_{DD,j}$  é o preço do produto  $j$  que é destinado o mercado doméstico,  $X_{DD,j}$  é produção doméstica do setor  $j$  que é destinada ao mercado doméstico,  $p_j$  é preço do bem composto  $j$ ,  $X_j$  é a oferta do produto  $j$ ,  $p_{M,j}$  é o preço de importação do produto  $j$ ,  $M_j$  é a quantidade importada do produto  $j$ ,  $\omega_i$  é a alíquota de imposto,  $C_i$  é o consumo e  $p_i$  é o preço do fator  $i$ ,  $C_{int,k,j}$  é o consumo intermediário do produto  $k$  pelo setor  $j$ ,  $VA_{i,j}$  é o valor-adicionado e  $p_{VA_{i,j}}$  é o preço do valor adicionado  $i$  do setor  $j$ ,  $T_{Irr,j}$  é a terra irrigada e  $T_{T,j}$  é a terra

total do setor  $j$  e  $G_1$ ,  $G_2$  e  $G_3$  representam os grupos de setores especificados no Quadro 3.

A equação de esgotamento dos mercados de bens,  $X_j$  (53) e as equações de esgotamento dos mercados de fatores: capital 1 –  $K_1$  (54), capital 2 –  $K_2$  (55), trabalho –  $L$  (56), recurso hídrico –  $A$  (57), terra de sequeiro –  $T_S$  (58) e terra irrigável –  $T_I$  (59).

$$X_j = C_j + I_j + G_j + \sum_{k=1}^n C_{int,j,k} \quad (53)$$

$$K_1 = \sum_{j=1}^n K_{1,j} \quad (54)$$

$$K_2 = \sum_{j=1}^n K_{2,j} \quad (55)$$

$$L = \sum_{j=1}^n L_j \quad (56)$$

$$A = \sum_{j=1}^n A_j \quad (57)$$

$$T_S = \sum_{j=1}^n T_{Sj} \quad (58)$$

$$T_I = \sum_{j=1}^n T_{Ij} \quad (59)$$

Em que  $C_j$  é o consumo do produto  $j$ ,  $I_j$  é o investimento no setor  $j$ ,  $G_j$  é o gasto do governo no setor  $j$  e  $C_{int,j,k}$  é o consumo intermediário do produto  $k$  no setor  $j$ , e o lado direito das equações (54) a (59) é o somatório de cada um dos respectivos fatores de produção por cada setor  $j$ .

O balanceamento da renda é garantido pela equação (60).

$$S_F + \sum_{j=1}^n p_{wE,j} E_j = \sum_{i=j}^n p_{wM,j} M_j \quad (60)$$

Em que  $S_F$  é a poupança das famílias,  $p_{wE,j}$  é o preço internacional de exportação,  $p_{wM,j}$  é o preço internacional de importação, e  $E_j$  e  $M_j$  são respectivamente as quantidades exportada e importada para cada setor  $j$ .

O modelo estático com quatro regiões e 76 setores por região foi calibrado utilizando o (Guilhoto et al, 2010), enquanto o sistema de equações em níveis foi resolvido através do Método de Newton utilizando o software GEMPACK. As elasticidades utilizadas nas funções CES, CET e Armington foram obtidas em (Tourinho, Alves e Silva, 2010), enquanto as elasticidades preço e renda e o Parâmetro de Frisch<sup>16</sup> de (Almeida, 2008).

O desemprego na economia é modelado através da Curva de Phillips, que representa um *tradeoff* de curto prazo entre inflação e desemprego, conforme a equação (61).

$$\frac{p_L}{IPC} \frac{IPC_0}{p_{L_0}} - 1 = \varphi \left( \frac{u}{L} \frac{L_0}{u_0} - 1 \right) \quad (61)$$

Em que  $p_L$  é o preço do fator trabalho,  $IPC$  é o índice de preços ao consumidor,  $\varphi$  é o coeficiente da Curva de Phillips,  $L$  é a dotação de trabalho disponível na economia e  $u$  é o número de desempregados. As variáveis  $p_{L_0}$ ,  $IPC_0$ ,  $L_0$  e  $u_0$  representam os valores iniciais das variáveis correspondentes.

A taxa de desemprego ( $u'$ ) é dada pela relação entre o número de desempregados ( $u$ ) e a dotação de trabalho disponível na economia ( $L$ ) (62).

$$u' = \frac{u}{L} \quad (62)$$

Por fim, o PIB real e o PIB nominal são calculados de acordo com as equações (63) e (64) respectivamente.

$$Y_R = \frac{\sum_{j=1}^n (C_j + G_j + I_j + E_j - M_j + Imp_{C,j})}{p_j} \quad (63)$$

---

<sup>16</sup> O Parâmetro de Frisch representa a propensão dos consumidores a substituir um bem essencial por um bem de luxo. Ele é amplamente utilizado em MEGC porque evita que as elasticidades – preço da demanda tenham valor positivo, o que significaria que um aumento de preços levaria a um maior consumo do bem e poderia gerar problemas para a resolução do modelo.

$$Y_N = \sum_{j=1}^f Fator_i + \sum_{j=1}^n (Imp_{C,j} + Imp_{M,j}) \quad (64)$$

Em que  $C_j$ , é o consumo das famílias,  $G_j$  é o consumo do governo,  $I_j$  é o investimento,  $E_j$  é a exportação e  $M_j$  é a importação do setor  $j$ ,  $p_j$  é o preço do produto  $j$ ,  $Fator_j$  é o consumo dos fatores pelo setor  $j$ , e  $Imp_{C,j}$  e  $Imp_{M,j}$  são os impostos sobre consumo e importação do produto  $j$ .

### **3.2.5. A CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO REPRESENTATIVO DE INSTRUMENTO DE GESTÃO REGULATÓRIO ( CRITÉRIO HIDROLÓGICO – CENÁRIO 1)**

O cenário 1 representará a redução média nas alocações, ou seja, a diminuição no atendimento das demandas, obtidas pelo modelo em redes em troca de um aumento no volume dos reservatórios (aumento da segurança hídrica), no período de escassez (2011-2013) nas bacias interligadas. O critério de redução é, portanto, hidrológico, e dessa forma, representa a ação de um instrumento regulatório usando tal critério para os cortes. Através da integração com o MEGC, torna-se possível avaliar os impactos de tais reduções segundo esse critério e, portanto, pode-se avaliar também a ação de instrumentos regulatórios.

A redução encontrada para os três anos, segundo tal critério, para todos os usuários, foi -28,2% do valor de uso em 2011 que consta na MIP<sup>17</sup>. Anualmente isso representou, em média, uma redução de (-9,4%) em todos os setores. Neste cenário 1 as reduções médias anuais, setor a setor, foram inseridas exogenamente no MEGC simulando assim, o choque anual de atendimento, durante o período de escassez, segundo o critério hidrológico. Assim, o percentual de redução do fator primário água, em cada um dos setores usuários de água bruta será exógeno neste cenário.

Desta forma, neste primeiro cenário, o choque ao MEGC é feito de forma semelhante ao que foi feito no Modelo de Insumo-Produto (Alcoforado de Moraes et al, 2021). Contudo haverá três diferenças principais: 1) na integração com o MIP foram feitos três choques anuais, um para cada ano: 2011, 2012 e 2013, setor a setor, exatamente como dados pela

---

<sup>17</sup> Os valores de uso da MIP foram os efetivamente usados pelos usuários em 2011. Como 2011 foi um ano úmido, considerou-se que os usuários foram totalmente atendidos e a partir das medições nos reservatórios e das outorgas, estimaram-se os valores de uso.

saída do modelo em redes. Nesta tese foi aplicado um choque médio anual para cada setor, representando na média o que iria acontecer em um ano; 2) a segunda diferença decorre do fato de que, na integração com o MIP, os efeitos obtidos nos indicadores socioeconômicos são resultantes das reduções nos percentuais de água bruta, que impactam nas mesmas proporções na produção e distribuição da água tratada (a original existente na MIP) entre os setores. Portanto, os resultados podem ser considerados como resultantes de choques exógenos de água bruta e tratada. Nesta tese, o choque exógeno é realizado somente na alocação de água bruta. O efeito sobre a água tratada é determinado pelo modelo MEGC endogenamente, pois se constitui em um resultado do choque exógeno de água bruta sobre o valor da produção de água tratada pelo setor de água e esgoto. No caso desta tese então, ao contrário da integração com o MIP, os resultados socioeconômicos são resultantes do choque exógeno de água bruta e endógeno da água tratada; 3) a terceira diferença advém de outras premissas que distinguem o Modelo de Insumo-Produto e o MEGC, as principais sendo que o primeiro não responde a preços e não permite a substituição entre fatores de produção, limitações que são superadas pelos MEGC.

Com tudo isso em mente, nesse primeiro cenário será feita uma análise semelhante a que foi feita com o MIP, - das reduções impostas pelo critério hidrológico e os seus impactos sobre a economia da região - agora usando o novo modelo integrado (MEGC), para que novos resultados sejam então agregados aos já obtidos (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021). Para fins de análise e comparação, é importante além de ficar atento as diferentes premissas dos dois modelos, que já foram ressaltadas, observar que o choque exógeno deste cenário 1, representa o percentual de redução médio de um ano e não as reduções ano a ano. Assim, os percentuais de impacto sobre o PIB e outras variáveis macroeconômicas obtidas na primeira integração em todo o período de escassez (com o MIP), para ser comparadas com os resultados dessa tese, precisam ser tratados para representar um percentual médio de variação.

### **3.2.6. A CONSTRUÇÃO DO CENÁRIO REPRESENTATIVO DE INSTRUMENTO DE GESTÃO ECONÔMICO (CRITÉRIO ECONÔMICO – CENÁRIO 2)**

O 2º. Cenário a ser avaliado pela integração proposta nesta tese, é o que simulará a ação de um instrumento econômico, e será obtido a partir da alocação econômica ótima dada endogenamente pelo MEGC. Neste cenário, exogenamente é utilizada a redução global

(para todos os setores) da oferta de água bruta na área de estudo. O valor utilizado será o de 9,4%, já descrito, que representa a redução de um “ano médio”, calculado a partir dos três choques anuais, para 2011, 2012 e 2013, que de forma agregada representaram a redução de 28,2% na água bruta distribuída usando o critério hidrológico (Alcoforado de Moraes *et al*, 2021). A partir de tal choque exógeno, neste cenário, o MEGC identificará uma realocação (endógena) entre os setores, que será ótima do ponto de vista econômico pois é a que maximiza a utilidade das famílias e o lucro das firmas. Em outras palavras, é alcançada pelos próprios agentes econômicos diante dos sinais de escassez, ou seja, menores disponibilidades do recurso hídrico.

É importante salientar que, nesta alocação resultante do MEGC, as limitações geográficas não são consideradas, ou seja, a viabilidade da realocação entre setores que deverá ser resultado deste cenário não retorna para o modelo em redes, ou seja, não é verificada se tal realocação é factível ou viável, temporal e espacialmente. Nesse cenário será feita então a mesma análise de impactos sobre a economia da região para que sejam então comparados com aqueles obtidos no cenário 1, que simula a ação de instrumentos regulatórios, ou seja dada pelo critério hidrológico, usando as premissas do MEGC.

### 3.2.7. FECHAMENTO DO MODELO

O fechamento do MEGC, escolha das variáveis exógenas e endógenas, depende dos objetivos da pesquisa. Para esta pesquisa, diante do estabelecimento dos dois cenários, representativos dos dois tipos de instrumentos de gestão, há dois arranjos distintos de variáveis exógenas, (as que vão ser assumidas como constantes), e endógenas, que serão determinadas pelo modelo após o choque. As variáveis exógenas e endógenas que têm a mesma classificação em ambos os cenários estão especificadas no Quadro 4.

*Quadro 4 - Variáveis endógenas e exógenas nos Cenários 1 e 2*

#	Variável	Símbolo	Tipo
1	Fator para reduzir o preço do trabalho para os desempregados	$fator_{pL}$	Exógena
2	Taxa de câmbio	$E_R$	Exógena
3	Poupança do governo	$S_G$	Exógena
4	Outras transferências	$outr.transf$	Exógena
5	Alíquotas de imposto sobre os fatores	$\omega_{K1}, \omega_{K2}, \omega_L,$ $\omega_{TS}, \omega_{TI}$	Exógena
6	Alíquota de imposto sobre o consumo	$\omega_C$	Exógena
7	Alíquota de imposto de renda	$\omega_R$	Exógena
8	Alíquota de imposto sobre importações	$\omega_M$	Exógena
9	Preço internacional de importações	$p_{wM}$	Exógena
10	Preço internacional de exportações	$p_{wE}$	Exógena
11	Expoentes Cobb-Douglas do investimento	$\alpha_I$	Exógena
12	Propensão marginal a poupar (famílias)	$pmp$	Exógena
13	Dotação total dos fatores de produção	$K_1, K_2, L, A, T_S, T_I$	Exógena
14	Preço do fator trabalho (numerário)	$p_L$	Exógena
15	Expoentes Stone-Geary do consumo das famílias por setor $j$	$\alpha_{F,j}$	Exógena
16	Coeficientes técnicos de produção	$a_{ij}$	Exógena
17	Coeficientes técnicos dos valores-adicionados	$a_{VA_{KL}}, a_{VA_{23}},$ $a_{VA_{34}}$	Exógena
18	Consumo do governo dos $j^{18}$ em que esta variável foi mantida fixa	$G_j$	Exógena

<sup>18</sup> Setores que tiveram o consumo do governo considerado exógeno: s3, s4 s5, s6, s8, s11, s13, s15, s16, s17, s24, s31, s33, s34, s35, s37, s50, s60, s61, s62, s71, s73, s74, s75, s111, s136, s137, s147, s149, s150, s151, s187, s223, s225, s226, s227, s263, s288, s289, s299, s301, s302 e s303. Estes setores foram escolhidos por serem aqueles que apresentavam inicialmente maiores consumos do governo, e que,

19	Parâmetros de tecnologia dos valores-adicionados	$t_{VA_{KL}}, t_{VA_{KA}}, t_{VA_{23}},$ $t_{VA_{34}}, t_{T_{Irr}}, t_{TT}$	Exógena
20	Elasticidades de substituição entre fatores e valores-adicionados para o setor $j$	$\sigma_{KL,j}, \sigma_{KA,j}, \sigma_{23,j},$ $\sigma_{32,j}, \sigma_{33,j}, \sigma_{34,j}$	Exógena
21	Elasticidade de substituição do bem $j$ – Função de Armington	$\sigma_{A,j}$	Exógena
22	Parâmetro de distribuição da importação do bem $j$ – Função de Armington	$\gamma_{A,j}$	Exógena
23	Coefficiente técnico de “produção” do bem $j$ – Função de Armington	$a_{A,j}$	Exógena
24	Parâmetro de substituição – Função de Armington	$\rho_{A,j}$	Exógena
25	Parâmetro de distribuição da exportação do bem $j$ – Função CET	$\gamma_{T,j}$	Exógena
26	Elasticidade de substituição do bem $j$ – Função CET	$\sigma_{T,j}$	Exógena
27	Coefficiente técnico de “produção” do bem $j$ – Função CET	$a_{T,j}$	Exógena
28	Parâmetro de substituição – Função CET	$\rho_{T,j}$	Exógena
29	Consumo de subsistência do bem $j$ pelas famílias	$\mu_j$	Exógena
30	Alíquotas iniciais do imposto sobre o consumo das famílias	$\omega_{CO,j}$	Exógena
31	Expoentes Stone-Geary do consumo do governo por produto $j$	$\alpha_{G,j}$	Exógena
32	Preço inicial do bem $j$	$p_{0,j}$	Exógena
33	Consumo inicial do bem $j$ pelas famílias	$C_{0,j}$	Exógena
34	Índice de Preços de Laspeyres (inicial)	$IPC_0$	Exógena
35	Parâmetro de Phillips (inicial)	$\varphi$	Exógena
36	Número de desempregados (inicial)	$u_0$	Exógena
37	Oferta de trabalho (inicial)	$L_0$	Exógena
38	Parâmetros de distribuição entre fatores de produção e valores-adicionados	$\gamma_{K_{LK1}}, \gamma_{K_{LL}}, \gamma_{K_{AK2}},$ $\gamma_{K_{AA}}, \gamma_{23VA_{KL}}, \gamma_{23VA_{KA}},$ $\gamma_{32VA_{KA}}, \gamma_{32TI}, \gamma_{33TIrr}$ $\gamma_{33TS}, \gamma_{34TT}, \gamma_{34K1},$ $\gamma_{34L}$	Exógena

portanto, estariam menos suscetíveis a alterações após o choque, de forma que mantê-los fixos (exógenos) traria pouco impacto.

39	PIB nominal	$Y_N$	Endógena
40	PIB real	$Y_R$	Endógena
41	Preços dos valores adicionados	$p_{VA_{KL,j}}, p_{VA_{KA,j}}, p_{T_{ITR,j}}, p_{T_{T,j}}$	Endógena
42	Preço composto do bem $j$ no mercado doméstico	$p_j$	Endógena
43	Preços dos setores $j$	$p_{D,j}$	Endógena
44	Preço doméstico do bem $j$ no mercado doméstico	$p_{DD,j}$	Endógena
45	Preços dos fatores primários de produção (exceto trabalho)	$p_{K1}, p_{K2}, p_A, p_{TS}, p_{TI}$	Endógena
46	Preço de exportação do bem $j$ em moeda local	$p_{E_j}$	Endógena
47	Exportação do bem $j$	$E_j$	Endógena
48	Preço de importação do bem $j$ em moeda local	$p_{M_j}$	Endógena
49	Importação do bem $j$	$M_j$	Endógena
50	Índice de Preços ao Consumidor de Laspeyres	$IPC$	Endógena
51	Poupança externa	$S_F$	Endógena
52	Produção composta do bem $j$ – doméstica e importada	$X_j$	Endógena
53	Produção do bem $j$	$X_{D,j}$	Endógena
54	Parcela da produção doméstica do bem $j$ ofertada no mercado doméstico	$X_{DD,j}$	Endógena
55	Receita do governo	$R_G$	Endógena
56	Alíquota de imposto sobre a água para os $j$ setores que a utilizam	$\omega_{A,j}$	Endógena
57	Impostos	$imp_{C,j}, imp_{K1,j}, imp_{K2,j},$ $imp_{L,j}, imp_{A,j}, imp_{M,j}, imp_{TS,j},$ $imp_{TI,j}, imp_R$	Endógena
58	Transferências totais do governo	$Transf_G$	Endógena
59	Outras transferências nominais do governo	$Outr. transf_{nom}$	Endógena
60	Transferências do governo para os desempregados	$Transf_u$	Endógena
61	Taxa de desemprego	$u'$	Endógena
62	Número de desempregados	$u$	Endógena
63	Consumo total das famílias por setor $j$	$C_j$	Endógena
64	Renda das famílias	$R_F$	Endógena
65	Renda das famílias para consumo	$R_{Fcons}$	Endógena
66	Poupança das famílias	$S_F$	Endógena
67	Renda do governo para consumo	$R_{Gcons}$	Endógena

68	Consumo do governo dos $j$ setores <sup>19</sup> em que essa variável não foi mantida fixa	$G_j$	Endógena
69	Poupança do governo nominal	$S_{Gnom}$	Endógena
70	Poupança	$S$	Endógena
71	Investimento do setor $j$	$I_j$	Endógena
72	Consumo intermediário	$C_{int,jk}$	Endógena
73	Demanda do setor $i$ pelos fatores de produção capital 1, capital 2, trabalho, água terra de sequeiro e terra irrigável	$K_{1,i}, K_{2,i}, L_i, A_i, T_{S,i}, T_{I,i}$	Endógena
74	Valores adicionados	$VA_{KL}, VA_{KA}, VA_{23},$ $VA_{34}, T_{IRR}, T_T$	Endógena

Fonte: Esta pesquisa (2023).

As variáveis chave que diferenciam os dois fechamentos são as alocações do fator de produção água dos setores pertencentes aos Grupos 2 e 3. No cenário 1 essas alocações são variáveis exógenas, inseridas no MEGC de forma exógena, a partir do resultado do modelo baseado em redes vindos de cada setor, enquanto no cenário 2 essas alocações são consideradas variáveis endógenas, ou seja, são calculadas pelo MEGC a partir da disponibilidade hídrica total da área de estudo dada pelo modelo em redes.

A MIP é a principal fonte de dados para a calibração do MEGC. Como a MIP representa um equilíbrio inicial da economia da região, dela são extraídos os valores das variáveis exógenas para o consumo intermediário de todos os setores, demanda final (consumo das famílias, do governo, investimento e exportações), importações, valores para os fatores de produção e seus impostos (ver itens 72, 63, 18, 71, 47, 49, 13 e 57 do Quadro 4). Através da divisão da linha do excedente operacional bruto<sup>20</sup> (EOB) da MIP, obtiveram-se os valores de capital 1, capital 2, água, terra irrigável e terra de sequeiro, e dos salários e contribuições sociais efetivas que compuseram o trabalho e o imposto sobre o trabalho. (ver item 73 do Quadro 4).

A água utilizada para calibração do modelo (valores iniciais) veio da Matriz de Insumo-Produto e foi feito o seguinte procedimento: a água foi dividida entre os setores de acordo com o volume utilizado por cada um deles, de acordo com levantamento feito no âmbito

<sup>19</sup> Todos os setores diferentes dos 43 setores destacados na nota de rodapé 10 do Quadro 4.

<sup>20</sup> O excedente operacional bruto (EOB) é o saldo resultante do valor adicionado deduzido das remunerações pagas aos empregados, do rendimento misto e dos impostos líquidos de subsídios incidentes sobre a produção.

do projeto CAPES/ANA – Pró-Recursos Hídricos nº16/2017 e considerando o preço por m<sup>3</sup> bem próximo a zero<sup>21</sup>, o percentual de terras<sup>22</sup> foi definido com base em (Ferreira Filho e Horridge, 2012), com os percentuais de terra de sequeiro e terra irrigável<sup>23</sup> definidos com base nos dados das tabelas SIDRA do IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>): tabela 1612<sup>24</sup> e tabela 3640<sup>25</sup>. O percentual de capital 2 foi calculado de acordo com os balanços patrimoniais da COMPESA de 2021, para o setor de água e esgoto<sup>26</sup>, da CHESF de 2011 para o setor de geração de energia elétrica<sup>27</sup> e em (Geisenhoff, 2010) para o setor agrícola<sup>28</sup>. As elasticidades do modelo foram retiradas de (Tourinho, Alves e Silva, 2010) e (Almeida, 2008).

---

<sup>21</sup> R\$ 0,0000014/m<sup>3</sup>.

<sup>22</sup> Percentual de terras: 20% do EOB do setor.

<sup>23</sup> Percentuais variaram de 1,10% a 8,46% da terra a depender da cultura. O complemento corresponde ao percentual de terra de sequeiro.

<sup>24</sup> Tabela 1612 - Área plantada, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias

<sup>25</sup> Tabela 3640 - Número de estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação e Área irrigada dos estabelecimentos, por método utilizado para irrigação, segundo indicadores da agricultura familiar e não familiar - FAO

<sup>26</sup> Percentual de K2 para o setor de saneamento: 9,53% do EOB do setor.

<sup>27</sup> Percentual de K2 para o setor de geração de energia elétrica: 33,98% do EOB do setor.

<sup>28</sup> Percentual de K2 para o setor agrícola: 4,11% do EOB do setor.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos através das simulações realizadas com a redução na oferta hídrica, diante da escassez, de acordo com o cenário de critério hidrológico (instrumento regulatório - cenário 1) e de critério econômico (instrumento econômico - cenário 2) detalhados acima.

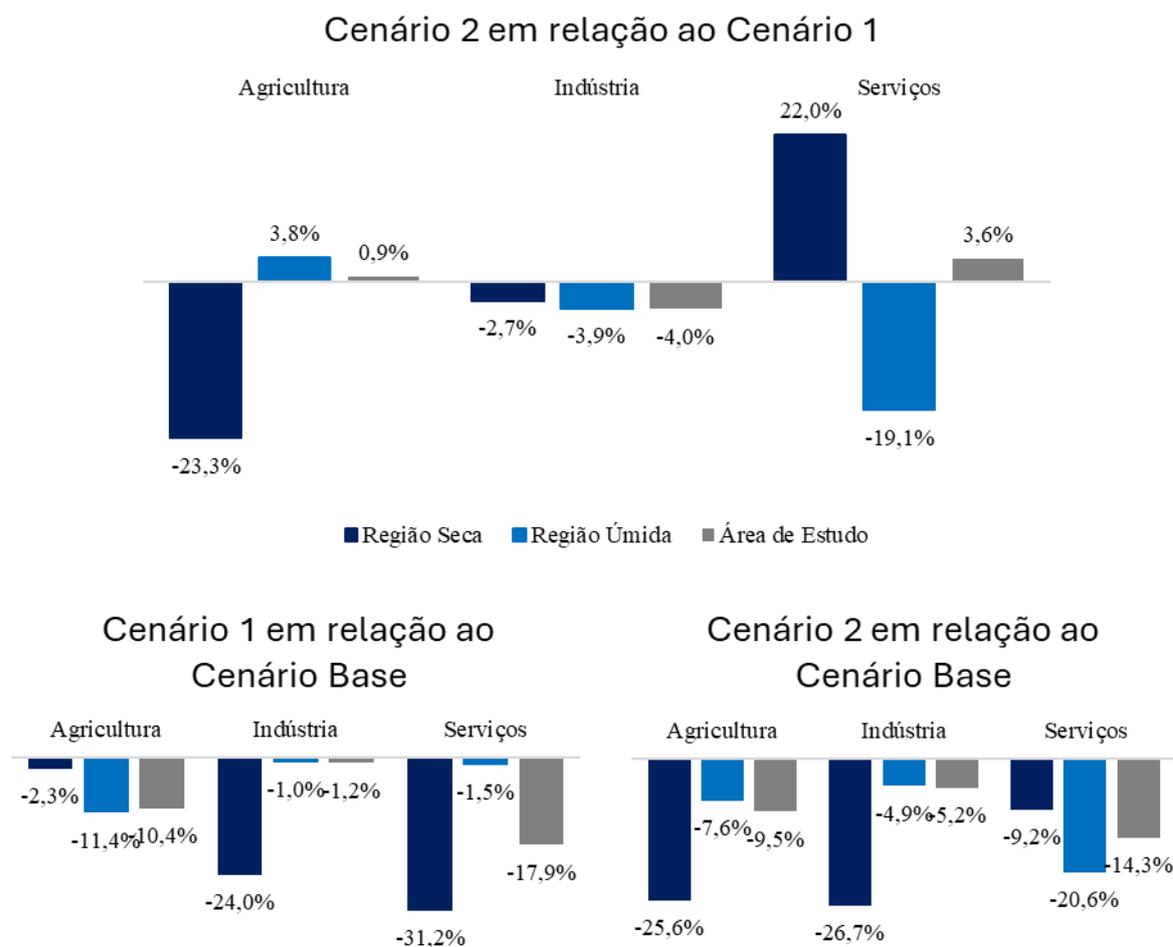
### **4.1.MPACTOS SETORIAIS E REGIONAIS DAS REALOCAÇÕES SEGUNDO OS CRITÉRIOS ECONÔMICO E HIDROLÓGICO**

Nesta subseção vamos analisar os resultados decorrentes da redução na disponibilidade hídrica pelo critério regulatório (cenário 1) e pelo econômico (cenário 2). Neste último, a realocação entre os setores e regiões é determinada endogenamente pelo MEGC. Tais resultados representarão, no caso do cenário 2, uma decisão dos agentes de quanto eles irão usar deste fator (o recurso hídrico), diante da redução do aporte hídrico total e por conseguinte da elevação dos custos de escassez, ao invés de ser a quantidade alocada especificada pela regulação (critério 1). Mesmo assim, manteremos o uso do termo alocação, para efeitos de comparação entre os dois critérios. O total da redução hídrica utilizada nesse cenário 2 é a mesma usada no cenário 1, mas a distribuição entre os setores e regiões será diferente. Por isso, é importante a comparação deste cenário 2 com o cenário 1, este último o que representa a decisão da alocação entre setores e regiões dada por critérios hidrológicos, simulando assim os efeitos de instrumento regulatórios. Assim, ao contrário do cenário base (referência) estes dois cenários já incorporam a questão da escassez e refletem formas diferentes de distribuição (efeitos de instrumentos de gestão diferentes) da água sob escassez hídrica. Por isso serão sempre comparados entre si. Para apresentar esses resultados organizou-se esta seção para comparar os efeitos dos dois tipos de instrumentos da seguinte forma: no primeiro subtópico é feita a análise das mudanças na alocação por setor agregado e região, diante da escassez; no segundo são analisados os impactos socioeconômicos das reduções nas alocações na área de estudo por região, e no terceiro os impactos socioeconômicos das reduções das alocações na área de estudo por setor agregado. Em seguida, a análise será feita por setor agregado em cada uma das regiões: seca e úmida. Finalmente, os impactos socioeconômicos serão discutidos nos principais setores usuários de água da área de estudo nas duas regiões.

#### **4.1.1. ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA ALOCAÇÃO POR SETOR AGREGADO E REGIÃO DIANTE DA ESCASSEZ**

Inicialmente foram avaliadas as magnitudes das reduções no uso de água na área de estudo como um todo e nas regiões seca e úmida que a compõem, dadas pelo instrumento regulatório (critério hidrológico). Pela Figura 8 se observa que na área de estudo o setor que teve a maior redução no uso de água, sob este critério (hidrológico) em relação ao cenário base foram os serviços, seguido pela agricultura. Na região úmida, a maior redução se deu na agricultura, enquanto serviços e indústria sofreram cortes pequenos. Já na região seca, a maior redução se deu nos serviços, seguido pela indústria. Como dito anteriormente, estes percentuais foram obtidos a partir de um valor médio das reduções dadas pelo modelo baseado em redes para 2011, 2012 e 2013 (Alcoforado de Moraes et al, 2021) em relação aos valores de uso da MIP (cenário base) e considerando as reduções de água bruta dadas de forma exógena.

Figura 8 - Variação na alocação da água por setor agregado



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Comparando as reduções obtidas com os dois critérios nos cenários de escassez (cenários 1 e 2) na área de estudo, observa-se que o critério econômico (cenário 2) faria com que

fossem menores as reduções dos setores de agricultura e serviços (as reduções no uso pelos agentes (cenário 2) foram proporcionalmente menores), em relação às reduções impostas pela regulação usando o critério hidrológico (cenário 1) – diferença entre as reduções proporcionais do cenário 2 menos o cenário 1 positiva). Já na indústria as reduções seriam maiores sob o critério econômico (diferença das proporções entre o cenário 2 e o cenário 1 é negativa).

Observando as regiões vê-se que o setor industrial consegue aumentar as suas reduções, sob o critério econômico nas duas regiões, mas na região úmida (setor sucroalcooleiro) essa redução proporcional é um pouco maior. Dado que o setor sucroalcooleiro na região úmida é um dos principais usuários da água da área de estudo, essa diferença proporcional deve representar valores absolutos significativos de água, poupados sob o critério econômico.

Já no caso de Serviços, pode-se ver que os menores cortes proporcionais do critério econômico na área de estudo nesse setor, em relação aos cortes que a regulação (critério hidrológico) impõe, são obtidos na região seca. No caso da região úmida, o contrário acontece. O critério econômico levaria a maiores reduções proporcionais nos Serviços desta região do que o critério hidrológico impôs, levando a uma menor redução proporcional em serviços na área de estudo como um todo sob o critério econômico.

Finalmente na agricultura, é a região seca que, sob o critério econômico, consegue aumentar bastante suas reduções, muito maiores proporcionalmente do que é exigido pelo instrumento regulatório. Já na região úmida, a agricultura decide por reduções menores, levando a um total de reduções proporcionais menores no cenário 2 no setor de agricultura em toda a área de estudo em relação ao cenário 1.

De forma geral, em termos relativos, diante da escassez, o critério econômico induziria a maiores reduções, em relação ao critério hidrológico, no setor de Serviços da região úmida, no setor de agricultura na região seca, e na indústria tanto na área de estudo como nas duas regiões: úmida e seca. Já o alívio nas reduções seria sentido nos demais setores (agricultura na região úmida, serviços na região seca, bem como agricultura e serviços na área de estudo como um todo). Essas diferenças na ação dos dois critérios são representativas dos efeitos dos dois tipos de instrumentos de gestão: regulatórios e econômicos diante da escassez. Os setores/ regiões que conseguem reduzir mais o seu uso na escassez, sob a ação de instrumentos econômicos, atestam uma capacidade maior para

reduzir o uso mantendo o valor da produção (aumentando assim a eficiência), através da substituição de seus fatores.

É importante lembrar que essa realocação não incorpora as condições físicas e de infraestrutura que são necessárias para uma real redistribuição, o que significa que a viabilidade da distribuição incentivada pelo instrumento econômico não é considerada aqui. Como resultado dos critérios de alocação utilizados para os cortes, diante da escassez, teríamos distribuições de água proporcionais diferentes, entre si e em relação ao cenário base, que serão apresentadas e discutidas a seguir.

O quadro abaixo mostra a distribuição percentual resultante da alocação da água entre os setores nos cenários estudados. Deve-se ressaltar que tanto o cenário 1 como o cenário 2 são cenários de escassez, ou seja, contam com uma menor disponibilidade hídrica total em relação ao cenário base. A Tabela 3 mostra a distribuição proporcional do uso da água na área de estudo e regiões que a compõem nos cenários estudados, na referência (cenário base com os valores de uso na MIP em 2011) e nos cenários de escassez (cenários 1 e 2), após o choque do “ano médio”.

Analisando inicialmente a referência (base), percebe-se que, na área de estudo, a indústria e os serviços são os setores que mais recebem água. Quando se observam as regiões, no cenário base, vemos que a região seca concentra o seu uso dos recursos hídricos nos serviços e utiliza apenas 21,8% da água da área de estudo, enquanto a região úmida tem os maiores usos percentuais na indústria e na agricultura e utiliza 78,2% de toda a água da área de estudo.

Analisando agora toda a área de estudo em ambos os cenários de distribuição na escassez (cenários 1 e 2), observa-se que, entre os setores, apenas a indústria resultaria com usos proporcionais maiores em relação ao cenário base (sem escassez). Pode-se concluir que essa realocação na escassez, em ambos os casos, transfere uso proporcional de água da agricultura e serviços para a Indústria, sendo que usando o instrumento econômico (cenário 2) as reduções proporcionais na agricultura e nos serviços são menores (e portanto, o aumento na Indústria é menor), ou seja, as transferências são menores em relação ao instrumento regulatório (cenário 1).

*Tabela 3 - Distribuição da água por setor agregado e regiões nos dois cenários de escassez e no cenário base (%)*

Região	Cenário Base			Cenário 1			Cenário 2		
	Agric.	Ind.	Serv.	Agric.	Ind.	Serv.	Agric.	Ind.	Serv.
Área de estudo	28,1	38,8	33,1	27,7	42,2	30,0	28,0	40,6	31,4
<i>Varição</i>	-	-	-	-0,4	+3,4	-3,1	-0,1	+1,8	-1,7
Região Seca	11,0	1,0	55,0	11,9	0,7	45,6	8,9	0,9	58,2
<i>Varição</i>	-	-	-	+0,9	-0,3	-9,4	-2,1	-0,1	+3,2
Região Úmida	89,0	99,0	45,0	88,1	99,3	54,4	91,1	99,1	41,8
<i>Varição</i>	-	-	-	-0,9	+0,3	+9,4	+2,1	+0,1	-3,2

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Quando observamos os setores agregados junto com as regiões podemos ver que os efeitos dos dois critérios se diferenciam mais entre si quando comparados com o cenário base. Sob o instrumento regulatório o percentual de uso da água na indústria da região seca, que já era muito baixo, torna-se menor ainda (de 1% na referência para 0,7% no cenário 1) mostrando que o aumento proporcional de uso da água pela indústria de uma forma agregada (+3,4%) foi direcionado à indústria da região úmida. No caso do instrumento econômico, essas proporções diante da escassez ficam muito próximas ao cenário base, mantendo ainda uma transferência, embora um pouco menor, para o setor industrial da região úmida. Assim, o aumento proporcional de uso industrial no cenário 2 (+1,8%) também serve para manter a significativa maior proporção de uso industrial da água na região úmida, que é basicamente representada na nossa área de estudo pelo setor sucroalcooleiro.

No caso do setor de serviços, que de forma agregada caiu proporcionalmente nos dois cenários (-3,1% no cenário 1 e -1,7% no cenário 2 em relação ao cenário base), enquanto o instrumento regulatório diminui sua proporção transferindo uso da água em serviços da região seca para a úmida, o instrumento econômico faz o contrário.

Na agricultura, que, como em serviços, também caem de forma agregada as proporções de uso nos dois cenários (-0,4% no cenário 1 e -0,1% no cenário 2 em relação à referência), em relação à transferência entre as regiões os diferentes instrumentos tem efeitos opostos ao que ocorre em Serviços: sob o instrumento regulatório, há transferência de uso proporcional de água para a agricultura da região úmida para a seca, enquanto sob o critério econômico a transferência se dá da região seca para a úmida.

Finalmente, é importante observar a diferença na distribuição da água agregando apenas as regiões Seca e a Úmida nos dois cenários em relação ao cenário base. Pela Tabela 4 se observa que diante da escassez (cenários 1 e 2) a proporção de uso da região seca se reduz em relação ao cenário base, enquanto a região úmida fica com percentual maior.

*Tabela 4 - Distribuição da água bruta entre as regiões seca e úmida nos cenários base, 1 e 2 (%)*

<b>Região</b>	<b>Cenário Base</b>	<b>Cenário 1</b>	<b>Cenário 2</b>
Seca	21,8	17,3	21,2
Úmida	78,2	82,7	78,8

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Ao compararmos os percentuais dos dois cenários de escassez, vê-se que sob o instrumento econômico a região seca recebe proporcionalmente mais água do que sob o instrumento regulatório. Como o aporte hídrico é o mesmo nos dois cenários de escassez, pode-se entender que uma parte da água que havia sido alocada para a região úmida no cenário 1 é transferida para a região seca no cenário 2.

#### **4.1.2. OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO POR REGIÃO**

Nesta seção, os impactos no PIB decorrentes das reduções das alocações analisadas na seção anterior em cada critério, sob escassez, em relação ao cenário base e entre si, serão apresentadas e discutidas inicialmente por região em toda a área de estudo.

Os impactos serão mensurados a partir de variações no PIB real, que mesmo tendo sido pequenos, devido a ter sido utilizado apenas um choque de um “ano médio”, mostram a tendência dos efeitos do uso dos dois tipos de instrumento de alocação.

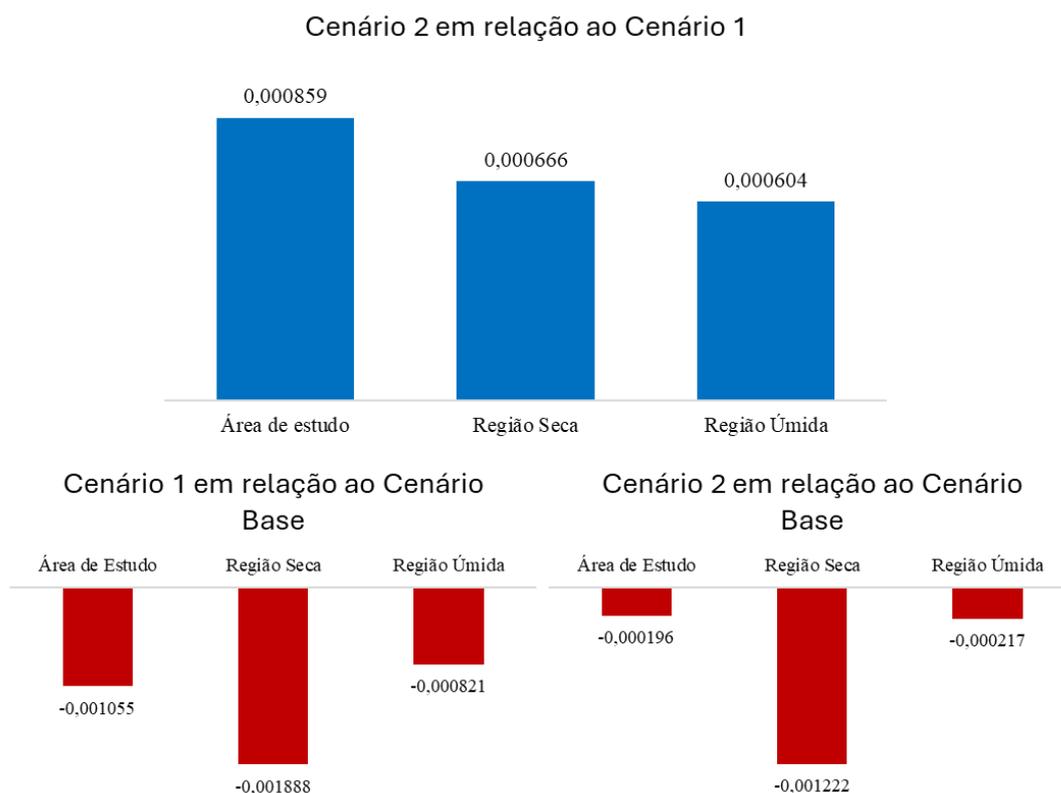
A Tabela 5 mostra o percentual de participação percentual da região seca e da região úmida no PIB da área de estudo (no cenário base, ou seja, obtida através da MIP de 2011). Por ela se observa que há forte concentração na região úmida, que é responsável por quase 80% do PIB da região.

*Tabela 5 - Distribuição do PIB por setor agregado e por região da área de estudo (%)*

<b>Região</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Indústria</b>	<b>Serviços</b>	<b>Total</b>
Região Seca	0,4	4,1	17,4	21,9
Região Úmida	0,9	14,1	63,2	78,1
Área de Estudo	1,2	18,2	80,6	100,0

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Figura 9 - Variação no PIB real na Área de Estudo, região seca e região úmida (%)



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Sob o critério hidrológico (cenário 1), a redução mais significativa no PIB ocorre na região seca, enquanto na região úmida e na área de estudo os efeitos se mostram menores (Figura 9). Pode-se ver pelo rearranjo dos fatores de produção sob este critério, hidrológico, (ver Tabela 6), que é a região seca que recebe proporcionalmente a maior redução (-27%), mesmo sendo a que no cenário base recebe menos água (21,8%). Já a região úmida usando aproximadamente 78% de toda a alocação de água das 4 bacias no cenário base, tem reduções hídricas de apenas 4,4%.

Essa redução maior de água na região seca vem acompanhada de discretos aumentos no capital 2 e capital1-trabalho, que funcionam em geral como substitutos da água, e na redução de terra irrigável e de sequeiro. Esse rearranjo dos fatores, no entanto, não evita as perdas no PIB nesta região, diante do critério hidrológico em relação ao cenário base (Figura 9).

Esse impacto significativo sobre o PIB da região seca, devido aos cortes no critério hidrológico, pode ser explicado a princípio pelo fato de a Região Seca ter sofrido reduções

percentuais significativas na indústria e nos serviços em relação ao cenário base (bem maiores do que os impostos a esses setores na Região Úmida e na área de estudo como um todo) – Ver Figura 8 seção anterior. Estes dois setores representam os percentuais mais significativos do PIB da região seca, 4,1% e 17,4% do PIB da área de estudo respectivamente – Tabela 5.

Ao mesmo tempo, o único setor em que as reduções na alocação na Região seca são menos expressivas sob esse critério (cinco vezes menores em relação ao cenário base (-2,3%) do que na Região úmida (-11,4%) (ver figura 8), é a agricultura, que na região seca representa um percentual pequeno no PIB, 0,4% - Tabela 5.

*Tabela 6 - Variação no uso de fatores de produção por região na Área de Estudo - Cenário 1 em relação ao Cenário Base (%)*

Fatores de Produção	Região Seca		Região Úmida		Área de Estudo
	Inicial (%)	Var. (%)	Inicial (%)	Var. (%)	Var (%)
Capital 1 - K1	13,4	0,0010	86,6	0,0001	0,00026
Capital 2 - K2	16,6	0,0185	83,4	-0,0033	0,00029
Trabalho - L	17,9	0,0014	82,1	0,0000	0,00022
Água - A	21,8	-27,0480	78,2	-4,4068	-9,42333
T. Irrigável - TI	52,5	-0,0192	47,5	0,0209	-0,00016
T. Sequeiro - TS	39,3	-0,0220	60,7	0,0143	0,00000

Fonte: Esta pesquisa (2023).

*Tabela 7 - Variação no uso de fatores de produção na Área de Estudo - Cenário 2 em relação ao cenário Base (%)*

Fatores de Produção	Região Seca		Região Úmida		Área de Estudo
	Inicial (%)	Var. (%)	Inicial (%)	Var. (%)	Var (%)
Capital 1 - K1	13,4	-0,0001	86,6	0,0004	0,00035
Capital 2 - K2	16,6	0,0030	83,4	-0,0006	0,00000
Trabalho - L	17,9	-0,0005	82,1	0,0004	0,00025
Água - A	21,8	-11,8546	78,2	-8,7465	-9,42333
T. Irrigável - TI	52,5	-0,2709	47,5	0,2991	0,00000
T. Sequeiro - TS	39,3	-0,0069	60,7	0,0045	0,00000

Fonte: Esta pesquisa (2023).

*Tabela 8 - Variação no uso de fatores de produção na Área de Estudo - Cenário 2 em relação ao Cenário 1 (%)*

Região Seca	Região Úmida	Área de Estudo
-------------	--------------	----------------

<b>Fatores de Produção</b>	Inicial (%)	Var. (%)	Inicial (%)	Var. (%)	Var (%)
Capital 1 - K1	13,4	-0,0011	86,6	0,0003	0,00009
Capital 2 - K2	16,6	-0,0155	83,4	0,0027	-0,00029
Trabalho - L	17,9	-0,0019	82,1	0,0004	0,00003
Água - A	21,8	15,1934	78,2	-4,3397	0
T. Irrigável - TI	52,5	-0,2517	47,5	0,2782	0,00016
T. Sequeiro - TS	39,3	0,0151	60,7	-0,0098	0

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Já a alocação econômica (cenário 2) gera um impacto positivo (reduções menores no PIB) em relação à alocação dada pela regulação (cenário 1) nas duas regiões e como consequência na área de estudo como um todo – Figura 9. O corte hídrico imposto à área de estudo (-9,423% igual para os dois critérios em relação ao cenário base) é distribuído de forma diferente entre as regiões sob o critério econômico: Na região seca, os cortes são bem menores que os impostos pelo critério hidrológico (passam de -27% (cenário 1) para -11,85% (cenário 2)) na região úmida são bem maiores (passam de -4,4% (cenário 1) para -8,7% ) em relação ao cenário base (ver Tabelas 6 e 7). O interessante é que mesmo com maiores cortes hídricos, sob o critério econômico, a região úmida também consegue reduzir suas perdas e faz com que também nela (região úmida), este instrumento econômico tenha impacto positivo sobre o PIB.

No caso da região seca, sob este instrumento econômico, há menores reduções em Serviços, que tem uma importância grande no PIB desta região (ver Tabela 5), (diferença positiva de 22% em relação ao cenário 1), e maiores reduções na agricultura (diferença negativa de 23,3% em relação ao cenário 1) e na indústria (diferença negativa de 2,7% em relação ao cenário 1).

Na área úmida, as menores reduções são na agricultura diante do cenário 2 (diferença positiva de 3,8% em relação ao cenário 1), enquanto as maiores reduções são na indústria, que representa 14,1% do PIB da área de estudo (Tabela 5) (diferença negativa de 3,9% em relação ao cenário 1) e nos serviços, que representa 63,2% do PIB da área de estudo (Tabela 5) (diferença negativa de 19,1% em relação ao cenário 1).

Em termos dos fatores de produção, na região seca, sob o critério econômico, além de uma maior disponibilidade de água em relação ao hidrológico (+15% – ver Tabela 8), haveria menor uso de capital 1-trabalho e capital 2, substituto direto da água, bem como

menor uso de terra irrigável. O único fator que cresceria nestas condições, seria a terra de sequeiro. Com mais água e esse novo arranjo de fatores, o critério econômico comparado ao hidrológico impacta positivamente o PIB da região seca.

Na região úmida, ocorre o contrário, as menores disponibilidades de água do critério econômico em relação ao hidrológico (-4,439% – ver Tabela 8) são acompanhadas pelo aumento no substituto da água (capital 2) e no capital 1, trabalho e terra irrigável, bem como no menor uso da terra de sequeiro. Esse rearranjo dos demais fatores compensa as perdas de água sob o critério econômico em relação ao hidrológico na região úmida e impactam positivamente o seu PIB.

Os impactos positivos no PIB nas duas regiões, sob esse critério econômico, ao serem associados na área de estudo como um todo, levam a reduções ainda menores do PIB para a área de estudo em relação ao critério hidrológico. Isso será analisado com mais detalhes na próxima seção, avaliando o que ocorreu em cada setor agregado diante dos efeitos dos dois instrumentos.

Já pode-se apreender dessa primeira análise que o critério econômico, como era de se esperar, reduz perdas no PIB em toda a área de estudo, atuando de forma diferente nas regiões, o que é esperado, dado que as regiões possuem arranjos setoriais diferentes. A análise da próxima seção, considerando a área de estudo como um todo por setor agregado será seguida pela análise dos setores por região (seca e úmida), o que deve ampliar a discussão e ajudar a entender melhor os resultados.

#### **4.1.3. OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA ÁREA DE ESTUDO POR SETOR AGREGADO**

Analisando-se a variação no PIB por setor agregado diante dos cortes impostos pelo critério hidrológico, em relação ao cenário base, observa-se que houve queda em todos os setores, principalmente na agricultura, que sofreu o segundo maior corte proporcional (-10,4%) no aporte de água. Isto mostra a maior dependência do setor para este fator quando se observa a área de estudo como um todo.

No sentido contrário, o critério econômico (cenário 2) resulta num impacto positivo no PIB da Agricultura na área de Estudo – Figura 10. Sob este instrumento (econômico), são impostas reduções um pouco menores das alocações proporcionais na Agricultura em relação ao hidrológico. É interessante notar que, enquanto as reduções dadas pelo

instrumento econômico levam a aumentos do PIB, as do instrumento regulatório levam a reduções neste indicador. Isso faz com que a diferença dos efeitos sobre o PIB entre os dois critérios seja ainda maior. A análise do que ocorre nas diferentes regiões, a ser feita nas próximas seções, deve ajudar a entender melhor tais resultados.

Figura 10 - Variação no PIB da Área de Estudo por setor agregado (%)



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Outra análise importante a se fazer além dos impactos sobre o PIB causados pelas diferentes alocações de água bruta diz respeito aos ganhos de eficiência observados em cada um dos cenários de escassez em relação ao cenário base. Os valores de eficiência apresentados nas Tabelas 9 (por setor agregado) e 15 (pelos principais setores usuários de água bruta) foram mensurados através do indicador de Eficiência do Uso da Água (WUE) (FAO, 2018) para os dois cenários de escassez e a base (2011).

Apesar de o critério hidrológico e o econômico levarem a resultados opostos no PIB na agricultura, em ambos os casos houve ganho de eficiência neste setor na área de estudo em relação ao cenário base, com o ganho no cenário 1 sendo ainda um pouco maior (6,84 – Cenário Base, 7,66 – Cenário 1 e 7,58 R\$/m<sup>3</sup> – Cenário 2). Na indústria apesar da redução do PIB (Figura 10), em ambos os cenários de escassez, houve ganhos de eficiência em relação ao cenário base, mas desta vez o ganho observado no cenário 2 foi

superior àquele observado no cenário 1 (72,37 – Cenário Base, 73,44 – Cenário 1 e 76,34 R\$/m<sup>3</sup> – Cenário 2). O Cenário de critério econômico certamente priorizou o ganho de eficiência no setor industrial devido à maior representatividade deste no PIB da área de estudo (18,2%) mais de 15 vezes maior do que a participação da agricultura – ver Tabela 5. Nos serviços foram observados os maiores ganhos de eficiência nos cenários de escassez em relação ao cenário base, um ganho de 21% no cenário de critério hidrológico e de 16% no cenário de critério econômico (376,78 – Cenário Base, 458,85 – Cenário 1 e 438,39 R\$/m<sup>3</sup> – Cenário 2). Analisando o ganho de eficiência agregado para a área de estudo (total) vemos que em ambos os cenários houve um incremento de eficiência da ordem de 10%, atingindo aproximadamente 170 R\$/m<sup>3</sup> - ver Tabela 9.

*Tabela 9 - Eficiência do uso de água (WUE) por setor agregado/região e cenário no MEGC (R\$/m<sup>3</sup>)*

	<b>Cenário</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Indústria</b>	<b>Serviços</b>	<b>Total</b>
Região Seca	Base	18,30	1.261,96	148,23	155,30
	C1	18,97	2.321,49	215,76	214,75
	C2	25,04	1.741,12	162,71	176,26
Região Úmida	Base	5,42	56,84	655,96	154,56
	C1	6,11	57,21	665,92	161,31
	C2	5,87	59,77	823,50	169,30
Área de Estudo	Base	6,84	72,37	376,78	154,72
	C1	7,66	73,44	458,85	170,94
	C2	7,58	76,34	438,39	170,77

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Outro aspecto interessante a se analisar ainda olhando a área de estudo como um todo, é o comportamento dos fatores de produção. Ao analisarmos a variação nos fatores de produção, vê-se (Tabela 6) que na agricultura, sob o critério hidrológico, a redução na alocação de água causou redução no uso de capital 2, que é o que pode substituir a água de forma direta (ver Figura 7), ocorrendo um novo arranjo dos demais fatores, que elevou o uso de trabalho, terra irrigável, terra de sequeiro e principalmente capital 1, mas não evitou a queda na produção, que ocorreu neste setor.

*Tabela 10 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na área de estudo (%)*

<b>Cenários</b>	<b>Setor agregado</b>	<b>Capital 1 K1</b>	<b>Capital 2 K2</b>	<b>Trabalho L</b>	<b>Água A</b>	<b>T. Irrigável TI</b>	<b>T. Sequeiro TS</b>
Cen. 1/	Agricultura	0,0241	-0,6367	0,0150	-10,3935	0,0120	0,0157

Cen. Base	Indústria	-0,0016	0,0328	-0,0018	-1,1913	-	-
	Serviços	0,0002	0,1127	0,0004	-17,8619	-0,0209	-0,0254
Cen. 2/ Cen. Base	Agricultura	0,0139	0,3467	0,0112	-9,5	0,2029	0,0343
	Indústria	0,0037	-0,2101	0,0018	-5,2	-	-
Cen. 2/ Cen. 1	Serviços	-0,0005	0,2486	-0,0002	-14,3	-0,3446	-0,0557
	Agricultura	-0,0102	0,9834	-0,0038	0,8935	0,1909	0,0186
Cen. 2/ Cen. 1	Indústria	0,0053	-0,2429	0,0036	-4,0087	-	-
	Serviços	-0,0007	0,1359	-0,0006	3,5619	-0,3237	-0,0303

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Ao contrário do critério hidrológico, a redução da alocação de água no critério econômico na agricultura foi acompanhada de um aumento no uso de capital 2, que é o que pode substituir a água de forma direta (ver árvore do Grupo 3). Aqui também ocorre aumento do uso de trabalho e capital 1, mesmo que numa proporção um pouco menor que o instrumento regulatório. Isso representa uma diminuição desses investimentos em capital 1 e trabalho em relação ao critério hidrológico. Há também em relação a esse último, aumento na terra irrigável e de sequeiro. Isto sugere que o critério econômico, quando comparado ao hidrológico, induziu o setor a irrigar de forma mais eficiente (aumento no capital 2), usando mais terra irrigável e de sequeiro, resultando em mais terra total, mas investindo menos em capital1-trabalho, que pode ser visto como um substituto do capital2-água<sup>29</sup> e mais trabalho. Assim, ao contrário do critério hidrológico, sob o critério econômico a agricultura investiria mais em capital 2 se tornando mais eficiente. Ademais ainda usaria maiores áreas de terra irrigável e de sequeiro, e dessa forma conseguiria elevar o PIB.

Já a indústria foi o único setor que sofreu redução mais acentuada no PIB sob o critério econômico do que sob o instrumento hidrológico. Isso está alinhado com o que ocorreu nas alocações hídricas, mas não na mesma proporção. Sob o instrumento regulatório (hidrológico), o setor industrial sofreu redução em torno de 1% (-1,2%) no aporte hídrico, o que mesmo assim levou a perdas no PIB. Sob o instrumento econômico, há maiores reduções de água (-5,2% - mais de quatro vezes maiores) o que também levou a perdas de PIB, mas não tão maiores (1,33 vezes maior). Isso mostra que de uma forma geral, este setor na área de estudo tem dificuldades para substituir este fator (água bruta), mas que sob o critério econômico o setor pode reduzir mais a água, protegendo as perdas no PIB.

Observando o comportamento dos demais fatores de produção, sob os dois critérios pode-se observar melhor o que ocorreu neste setor industrial. Sob o critério hidrológico, na

<sup>29</sup> Capital1-trabalho representa investimentos em infraestrutura que não tem relação com a água bruta.

indústria, a redução no uso de água rearranjou os demais fatores reduzindo os usos de capital 1 e trabalho, e elevando o uso de capital 2. Já, sob o critério econômico, diante das reduções de água, mais acentuadas neste critério, ocorreu o oposto quanto ao uso de capital 2. Houve redução no mesmo (capital 2) e aumento nos usos de capital 1 e trabalho. Isso resulta, quando comparados o comportamento dos fatores de produção, sob os dois critérios (cenário 2 – cenário 1), em reduções no uso da água e no uso de capital 2, e aumentos moderados no uso de capital 1 e trabalho.

Deve ser observado que, na área de estudo, este setor agregado (indústria) é constituído tanto por setores do Grupo 1 como do Grupo 2 (ver Figuras 5 e 6). Nos primeiros, a água não entra como fator de produção, e nos do grupo 2, capital 2 é o substituto direto da água, enquanto o composto capital 1-trabalho substitui o composto capital 2- água. Assim, parece que as estratégias utilizadas pelo setor industrial, induzidas pelos dois instrumentos substituíram a água de formas diferentes. O investimento em capital 2 pode ser representado por investimentos em redução de perdas e tecnologias de aumento de eficiência no uso da água, enquanto os investimentos em capital 1-trabalho, no caso do setor industrial, representa investimentos não relacionados a água, o que implica em processos produtivos mais independentes da água, como o setor de fabricação e refino do açúcar na região seca e de abate de animais na região úmida. Investimentos maiores nestes últimos na indústria na área de estudo foram os efeitos do critério econômico, que conseguiu dessa forma cortar mais significativamente a alocação para o setor industrial da área de estudo, (transferindo para os demais setores), sem ampliar muito as perdas no seu PIB (indústria). Deve ser ressaltado também que mesmo diante de tais transferências de água da indústria para os demais setores, este é o setor (Indústria) que proporcionalmente mais aumentou sua participação de água diante da escassez.

No caso de Serviços, sob o critério hidrológico, apesar de o setor sofrer a maior redução de água entre os setores, conseguiu manter a produção quase constante. Isto foi conseguido através de leves aumentos no capital 1, trabalho e mais significativos em capital 2, além de redução de terras<sup>30</sup> irrigável e de sequeiro, em relação ao cenário base. (ver Tabela 6).

---

<sup>30</sup> O setor de serviços utiliza terra irrigável e terra de sequeiro porque, de acordo com recomendações da International Standard Industrial Classification of Economic Activities (ISIC) da Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), para agregar setores que tivessem eficiência no uso da água semelhantes, a pecuária foi inserida no setor de serviços.

Já sob o critério econômico, as reduções de água passam a ser menores em relação ao hidrológico (mais água para o setor), o que reduziu ainda mais as poucas perdas no PIB, (em relação as perdas no hidrológico), fazendo com que a diferença entre os dois critérios nos impactos sobre o PIB fossem positivas. Isso é conseguido pelo critério econômico, não só com diminuição das reduções em água, mas com maiores investimentos em capital 2 (tecnologias de aumento de eficiência), reduções em capital1-trabalho e reduções em terra irrigável e de sequeiro em relação ao cenário base (ver Tabela 7). O critério econômico assim induziu maiores quantidades de água e maiores investimentos em capital 2, bem como menores investimentos em todos os demais fatores quando comparado ao regulatório, levando assim à diminuição das perdas no PIB em relação às impostas por este último. Neste setor (Serviços), em que encontram-se setores do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3 (pecuária), há tanto arranjos de fatores de produção em que o capital 2 é substituto direto da água (e o composto água-capital 2 substituto do capital 1-trabalho) (Grupo 2), como setores em que o composto capital2-água é substituto direto da terra irrigável (Grupo 3) e ainda outros em que nem água nem capital2 entram explicitamente como fatores de produção (Grupo 1). Isto sugere que na área de estudo como um todo, esse setor agregado deve ter o seu PIB representado principalmente por setores do Grupo 2 e Grupo 3.

É interessante notar que, o setor de serviços na área de estudo como um todo, sob ambos os critérios, foi onde se observou as menores reduções no PIB setorial, apesar de ser o setor que recebeu (nos dois critérios) as maiores reduções percentuais na alocação hídrica em relação ao cenário base. Isso mostra que, na área de estudo como um todo, este é o setor mais resiliente em relação à escassez, entre os demais setores agregados, e que a melhor estratégia para torná-lo ainda mais resiliente é poupá-lo de elevadas reduções de água, aumentar os investimentos em capital 2 (tecnologias de eficiência no seu uso), ao invés de ampliar investimentos em infraestrutura e terras irrigáveis e terras de sequeiro (pecuária).

#### **4.1.3.1.IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA REGIÃO SECA POR SETOR AGREGADO**

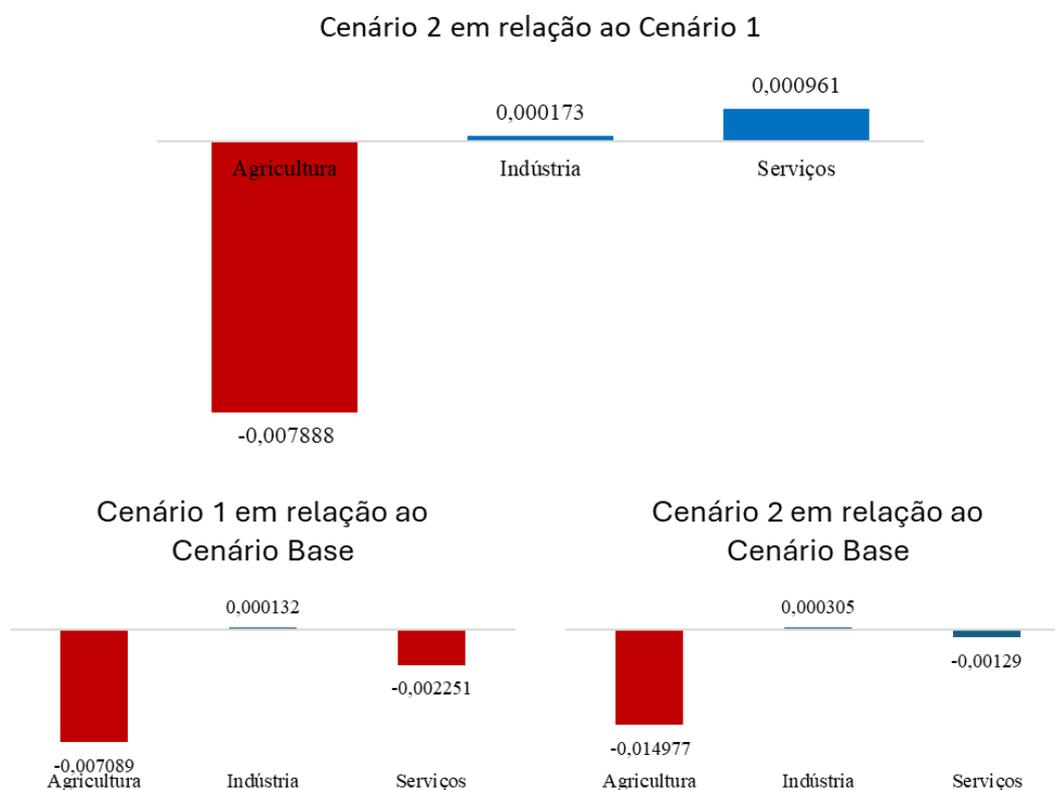
A análise dos impactos no PIB por setor agregado na região seca, mostraram que sob o critério hidrológico, em relação ao cenário base, houve reduções no PIB da agricultura e dos serviços, assim como em (García-León, Standardi e Staccione, 2021; Wittwer e

Griffith, 2012; Zhang *et al.*, 2020), enquanto na indústria houve um leve crescimento – ver Figura 11.

Isso também ocorreu sob o critério econômico, mas enquanto na Agricultura as reduções do PIB foram intensificadas, em Serviços foram aliviadas em relação às reduções obtidas sob o critério hidrológico. No caso da Indústria, os aumentos no PIB na região seca no critério econômico foram maiores. Isso resultou em impactos positivos no PIB sob critério econômico em Serviços e Indústria e negativos apenas na Agricultura na região seca (Figura 11).

Observar que na área de estudo como um todo, tinham sido diferentes: os impactos positivos no PIB sob o critério econômico ocorreram na Agricultura e em Serviços e foram negativos na Indústria – ver Figura 10. Vale lembrar que em termos de reduções hídricas (ver seção 4.1.1), nesta região há alívio nos cortes em Serviços sob este instrumento econômico (diferença positiva de 22% em relação ao cenário 1), e maiores cortes hídricos na indústria (diferença negativa de 2,7% em relação ao cenário 1), bem como na agricultura (diferença negativa de 23,3% em relação ao cenário 1).

*Figura 11 - Variação no PIB da Região Seca por setor agregado (%)*



Fonte: Esta pesquisa (2023).

No setor agrícola constituído por setores do Grupo 3 (ver Figura 7), as reduções hídricas impostas pelo critério hidrológico nesta região seca, foram compensadas pelo crescimento no uso de capital 2, substituto direto que neste caso pode ser entendido como a utilização de um sistema de irrigação mais eficiente, e no uso do capital 1. Este último, representado por todos os demais equipamentos que não são relacionados com o uso da água bruta, como tratores, ferramentas e equipamentos agrícolas, ocorre ao lado da redução no uso de trabalho, terra irrigável e terra de sequeiro (terra total), o que leva a reduções no PIB deste setor nesta região.

Já o critério econômico reduz proporcionalmente muito mais as alocações de água na Agricultura da região seca, em relação ao hidrológico, resultando em aumento nas reduções do PIB (impacto negativo) no setor/ região, sob este instrumento (econômico). Apesar das reduções no PIB que se observam em ambos os cenários de escassez, sendo esta maior no cenário 2 (ver Figura 11), houve ganhos de eficiência neste setor na região seca em ambos os casos, e bastante significativos sob o critério econômico (18,30 – Cenário Base, 18,97 – Cenário 1 e 25,04 R\$/m<sup>3</sup> - Cenário 2) – ver Tabela 9.

Esse é um comportamento que se distingue do que foi observado na agricultura na área de estudo como um todo (ver seção 4.1.3). Enquanto na área de estudo, o instrumento econômico não impõe cortes proporcionais muito diferentes nas alocações de água – embora sempre menores – dos cortes sob o instrumento hidrológico, na região seca esses cortes não apenas são maiores, como se ampliam significativamente (-2,3% sob o instrumento regulatório e -25,8% sob o econômico) (ver seção 4.1.1 e Figura 8). Isso faz com que na área de estudo como um todo, ao contrário da região seca, o critério econômico leve a um impacto positivo no PIB deste setor em relação ao critério hidrológico. Isso sugere que tal impacto positivo deva vir da Agricultura na região úmida, que será analisada na próxima seção.

*Tabela 11 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na Região Seca (%)*

Cenários	Setor agregado	Capital 1 K1	Capital 2 K2	Trabalho L	Água A	T. Irrigável TI	T. Sequeiro TS
Cen. 1/ Cen. Base	Agricultura	0,0042	0,1958	-0,0092	-2,3242	-0,0150	-0,0255
	Indústria	0,0011	0,0073	0,0007	-23,9975	-	-
	Serviços	0,0010	-0,0149	0,0017	-31,2210	-0,0217	-0,0200
Cen. 2/ Cen. Base	Agricultura	-0,0067	0,4107	-0,0288	-25,6	-0,0932	0,003
	Indústria	0,0017	-0,1772	0,0002	-26,6	-	-
	Serviços	-0,0002	0,0346	0,0001	-9,2	-0,3746	-0,0132
Cen. 2/ Cen. Base	Agricultura	-0,0109	0,2149	-0,0196	-23,2758	-0,0782	0,0285

Cen. 1	Indústria	0,0006	-0,1845	-0,0005	-2,6025	-	-
	Serviços	-0,0012	0,0495	-0,0016	22,021	-0,3529	0,0068

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Em termos de fatores de produção, pela Tabela 11 pode-se observar que as principais diferenças entre os efeitos induzidos pelos dois instrumentos, é que sob o instrumento econômico, a Agricultura na região seca, além de ter reduzidas maiores proporções de água, investe proporções significativamente maiores de capital 2 (substituto direto para da água para os setores do Grupo 3) e aumenta levemente ao invés de reduzir a terra de sequeiro (em relação ao critério hidrológico). Ademais, reduz o capital 1 ao invés de aumentar como seria feito diante do critério hidrológico. Sob os dois instrumentos, trabalho e terra irrigável seriam reduzidos sendo que no caso do instrumento econômico em proporções maiores.

Pode ser entendido desses resultados que na região seca, o instrumento econômico, comparado ao hidrológico, levou a maiores reduções de água pelos agentes do setor agrícola, menores investimentos em capital 1 e trabalho e maiores investimentos no uso de capital 2, que neste caso pode ser entendido como a utilização de um sistema de irrigação mais eficiente e está de acordo com o ganho de eficiência que ocorreu neste cenário – ver Tabela 9. Ademais reduziu o uso de terra irrigável e aumentou o uso de terra de sequeiro, que juntos resultam na terra total (ver árvore do Grupo 3), que ao lado de capital1-trabalho compõem a produção. Assim, sob o critério econômico o crescimento da eficiência na irrigação (capital 2) nessa região foi feita em menor área de terra irrigável do que sob o critério hidrológico. Ademais, uma maior área de terra de sequeiro foi utilizada, mas sem aumento no capital1-trabalho. As perdas na produção agrícola da região seca mais acentuadas, sob o critério econômico em relação ao hidrológico, sugerem que essa menor área de terra irrigável, mesmo sendo irrigada de uma forma mais eficiente, diante de uma menor disponibilidade hídrica, mesmo com uma maior área de terra de sequeiro sem investimentos maiores de capital1 -trabalho, não conseguem compensar e aprofundam assim as perdas nesse setor/ região.

Quando comparam-se os efeitos do instrumento econômico na agricultura da região seca sobre os fatores de produção (Tabela 11), com os efeitos já analisados na área de estudo, nesse mesmo setor (Tabela 10 - ver seção 4.1.3), vê-se que a diferença qualitativa dos efeitos do instrumento econômico em relação ao hidrológico é que, enquanto na região seca houve redução de terra irrigável, na área de estudo houve aumento dessas terras,

além de bem menores reduções de água. Estes resultados sugerem que os aumentos na terra irrigável e alívio nos cortes hídricos devem ter ocorrido na região úmida. A análise do que ocorreu na região úmida na próxima seção, deve acrescentar elementos a esta discussão.

O que já se pode concluir é que o instrumento econômico não dá incentivos à agricultura da região seca, que é mais dependente de água, e tem menos infraestrutura para irrigar já instalada. O instrumento econômico induz a maiores reduções hídricas bem como à diminuição de áreas irrigáveis neste setor e região. Isso pode estar ocorrendo em virtude de a agricultura na região seca ser majoritariamente de subsistência, em que pequenas extensões de terra são cultivadas, e que são cultivadas sob condições com menos estrutura, diferente das lavouras com foco comercial, normalmente irrigadas.

Passando agora para a indústria na região seca, observa-se que, sob o critério hidrológico, este setor sofre uma redução hídrica proporcional bem mais elevada que a Agricultura, quase 10 vezes maior (ver Figura 8), mas menor que a de Serviços na mesma região. No entanto, este foi o único setor da região seca que conseguiu aumentar sua produção, diante dos cortes, ou seja, conseguiu um crescimento significativo na eficiência de uso da água bruta, que é confirmado pelo incremento de 84% no WUE em relação ao cenário base, chegando a 2.321,49 R\$/m<sup>3</sup> – ver Tabela 9. Isso foi conseguido ao utilizar maiores quantidades de capital 2 e capital 1- trabalho. No caso da região seca, as indústrias se caracterizam por valores de eficiência altos e pouca intensidade de uso, como fabricação de produtos químicos e de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos sendo a maior parte categorizadas nos Grupos 1 e 2. No primeiro há independência do fator água e no segundo, a água tem como substituto direto o capital 2 e como substituto indireto o composto capital 1-trabalho. Isto explicaria a resiliência desse setor mesmo diante de reduções expressivas da alocação de água.

Já sob o critério econômico, os cortes hídricos se ampliam ainda mais na Indústria da região seca, em relação ao hidrológico, (não na mesma intensidade em que se ampliaram os cortes na Agricultura nas mesmas condições). É interessante notar que nessa região seca, a indústria mesmo sofrendo cortes nas alocações hídricas proporcionais significativas sob ambos os critérios, em nenhum dos dois reduz proporção de PIB. Na verdade, há aumentos no PIB mesmo que em proporções pequenas. No caso do critério econômico esses aumentos proporcionais de PIB são um pouco maiores, mesmo diante dos cortes de alocação de água maiores. Isto mostra que a indústria da região seca, além

de mais eficiente e menos intensiva é também resiliente à escassez e responde bem ao incentivo de instrumentos econômicos. Também sob o critério econômico houve um ganho considerável na eficiência do setor em relação ao cenário base, da ordem de 40%, chegando a 1.741,12 R\$/m<sup>3</sup> - ver Tabela 9. O ganho de eficiência menor sob o critério econômico do que sob o critério hidrológico provavelmente acontece pelo fato de o primeiro ter priorizado aumentar a eficiência do setor industrial na região úmida, já que nela a indústria representa 14,1% do PIB da Área de Estudo, enquanto este setor na Região Seca responde por apenas 4,1% do PIB – ver Tabela 5.

Quando comparamos com os resultados já obtidos na área de estudo (ver seção 4.1.3), esses resultados da Indústria na região seca vão na direção oposta. Na área de estudo, são também maiores as reduções hídricas sob o critério econômico em relação ao hidrológico, neste setor, mas na região como um todo, há perdas no PIB, que ocorrem nos dois critérios, sendo maiores sob o econômico. Isso sugere que a indústria da área de estudo não tem as mesmas características da indústria na região seca e o resultado agregado deve estar refletindo o que ocorre na região úmida. Para a distribuição da água por setor agregado na área de estudo ver Tabela 4 e para a distribuição do PIB ver Tabela 5.

Observando o comportamento dos fatores de produção, pode-se entender melhor as diferenças que os dois tipos de instrumento induziram na indústria da região seca (ver Tabela 11). Enquanto, como já analisado, o instrumento regulatório ao ter reduções significativas de suas alocações hídricas, aumentou o uso de capital 2, capital 1 e trabalho, mesmo que forma moderada, sob o instrumento econômico os agentes desse setor nessa região resolveram reduzir ainda mais as suas alocações e também significativamente seus investimentos em capital 2. Aumentaram, entretanto, o capital 1-trabalho, mas no caso do capital 1 mais do que sob o instrumento regulatório e no caso do trabalho um pouco menos. Isso resulta, quando comparadas ações dos dois instrumentos (cenário 2 – cenário1: econômico em relação ao hidrológico), na indústria da região seca, em uma diminuição significativa dos investimentos no capital 2, moderada da água e discreta no trabalho, e um aumento apenas, também discreto, nos investimentos no capital 1.

Ressalta-se que o setor industrial é constituído por setores econômicos do grupo 1 e 2, e que no primeiro nem a água nem o capital 2 entram como fatores de produção, que se constituem apenas de capital 1 e trabalho, enquanto no grupo 2 o capital1-trabalho são substitutos do composto capital2-água. Isto aliado ao fato de que houve aumento no PIB do setor sob os dois critérios, sendo maior o aumento sob critério econômico, mesmo

diante de cortes de alocação de água maiores, sugere que a região deve ter seu setor industrial com pouca dependência de água (grupo 1), como o setor de fabricação e refino do açúcar (Região Seca) e quando tem o recurso hídrico como fator, este é substituível por investimentos no capital1 (grupo 2), como o setor da construção.

Parece claro que o critério econômico, ao cortar mais significativamente a alocação para a indústria nessa região seca, induziu o setor a investir mais no composto capital1-trabalho (independente da água) e conseguiu dessa forma impactar positivamente no PIB, mesmo diante de reduções maiores de água (menos água), o que está de acordo com o ganho de eficiência observado no setor sob este critério – ver Tabela 9.

Na área de estudo como um todo (ver Tabela 10 - seção 4.1.3), em termos dos efeitos do instrumento econômico em relação ao hidrológico, nos fatores de produção há semelhanças qualitativas, com o que ocorre na região seca (Tabela 11). Em ambas as regiões, sob o critério econômico, há reduções significativas no uso da água e no uso de capital 2 e aumentos moderados no uso de capital 1. A diferença está apenas num aumento moderado de trabalho na área de estudo que não ocorre na região seca (ver Tabela 10 e 11 – linha da indústria). O mais interessante, no entanto, é notar que tal estratégia induzida pelo critério econômico (elevar o composto capital1-trabalho e reduzir capital2-água), enquanto na região seca eleva o PIB, na área de estudo o reduz. Na verdade, o setor industrial na área de estudo tem reduzido o seu PIB sob os dois critérios, ao contrário da região seca (que os tem elevados), sendo que no caso do critério econômico as reduções na área de estudo são maiores. Esse resultado sugere que o setor industrial da região seca deve ter características diferentes dos da região úmida, sendo esta última o que deve estar tornando os resultados da área de estudo diferentes. Os resultados do setor industrial da região úmida, a ser apresentados na próxima seção, bem como aqueles relativos aos principais setores industriais da região úmida (fabricação e refino de açúcar e fabricação de álcool) devem incorporar novos elementos à discussão dos resultados.

O setor de serviços na região seca, sob o critério hidrológico, é o setor mais penalizado com os cortes hídricos dentre os setores agregados, e é também o único, que não tem esses cortes intensificados sob o critério econômico. Isto resulta em reduções de PIB diante dos cortes, sob ambos os instrumentos, mas perdas menores diante do critério econômico, levando a um impacto positivo do critério econômico sobre o PIB desse setor na região seca.

Este também é o único setor em que os resultados dessa região seca vão na mesma direção dos resultados da área de estudo (ver seção 4.1.3), embora não na mesma intensidade. As reduções das alocações hídricas no critério econômico na área de estudo, também são menores em relação ao hidrológico, mesmo que a diferença seja mais discreta (-17,9% sob o instrumento regulatório e -14,3% sob o instrumento econômico na área de estudo; -31,2% sob o instrumento regulatório e -9,2% sob o econômico na região seca ) - Figura 8. Na área de estudo, como resultado desses cortes, também há perdas no PIB sob ambos os instrumentos, sendo que o impacto positivo do instrumento econômico é um pouco menor do que na região seca, o que pode ser explicado, a princípio, pelo menor alívio nos cortes desse setor olhando a área de estudo como um todo (o alívio dos cortes na região seca é bem mais expressivo).

É de se notar que esse menor alívio nos cortes hídricos da área de estudo pode ser explicado pelo que ocorre na região úmida, cujos impactos no PIB ainda iremos analisar. Nesta região úmida, os cortes nesse setor sob o critério econômico, ao invés de aliviados são intensificados em relação ao critério hidrológico (-20,6% sob o econômico e -1,5% sob o hidrológico) - ver Figura 8.

Quanto aos fatores de produção, o setor de serviços da região seca, diante dos cortes impostos pelo critério hidrológico, aumenta investimentos no uso de capital 1 e trabalho, reduzindo terra irrigável, terra de sequeiro e uso de capital 2, em relação ao cenário base (Tabela 11). Já o critério econômico em relação ao hidrológico, além de aumentar significativamente o uso da água (aliviar os cortes), também aumenta discretamente o capital 2 (uso da água com mais eficiência) e reduz também discretamente o capital 1 e o trabalho. Ademais, reduz mais significativamente a área de terra irrigável, que no setor da serviços (pecuária) representa o pasto irrigado, e aumenta discretamente a terra de sequeiro. Isso leva a perdas no PIB em ambos os critérios, mas a uma diminuição das perdas, sob o instrumento econômico em relação às perdas obtidas sob o instrumento regulatório. Analisando a eficiência observa-se mais uma vez que há ganhos em ambos os cenários de escassez quando comparada com a do cenário base, e que assim como na indústria, é maior sob o critério hidrológico do que sob o critério econômico (148,23 – Cenário Base, 215,76 – Cenário 1 e 162,71 R\$/m<sup>3</sup> - Cenário 2) – ver Tabela 9, isso provavelmente aconteceu porque o critério econômico priorizou aumentar a eficiência do setor de serviços da Região Úmida, que representa 63,2% do PIB da área de estudo, enquanto o da região Seca representa apenas 17,4% - ver Tabela 5.

Neste setor (serviços), que incluiu além dos serviços propriamente ditos - tendo o setor de Água e Esgoto (A&E) como um dos maiores usuários de água bruta - as indústrias localizadas nas áreas urbanas e até a pecuária encontram-se setores do Grupo 1, Grupo 2 e Grupo 3 (pecuária e produção florestal). O rearranjo dos fatores utilizando mais capital 2-água deve ter sido capaz de substituir a menor quantidade de capital 1-trabalho nos setores do Grupo 2. No caso do Grupo 3 (pecuária) como não há substituição entre capital 2-água e capital 1-trabalho, e sim entre este último e terra total, o aumento na terra de sequeiro mesmo com a redução da terra irrigável deve ter compensado a diminuição do capital 1-trabalho e melhorado, junto com o aumento do capital 2-água, a produção, gerando o impacto positivo. Apenas os setores do grupo 1, seriam imunes ao aumento de capital 2 e água.

Os resultados sugerem que o critério econômico, ao aliviar os cortes hídricos em serviços da região seca, que já são pouco intensivos em água, levou a impactos positivos no PIB da região e induziu maiores investimentos em capital 2 mesmo que pequenos (tecnologias mais eficientes no uso da água), além de cortes significativos na área de terras irrigáveis e um pequeno aumento de terra de sequeiro, que no caso da pecuária pode ser representado por pasto não irrigado.

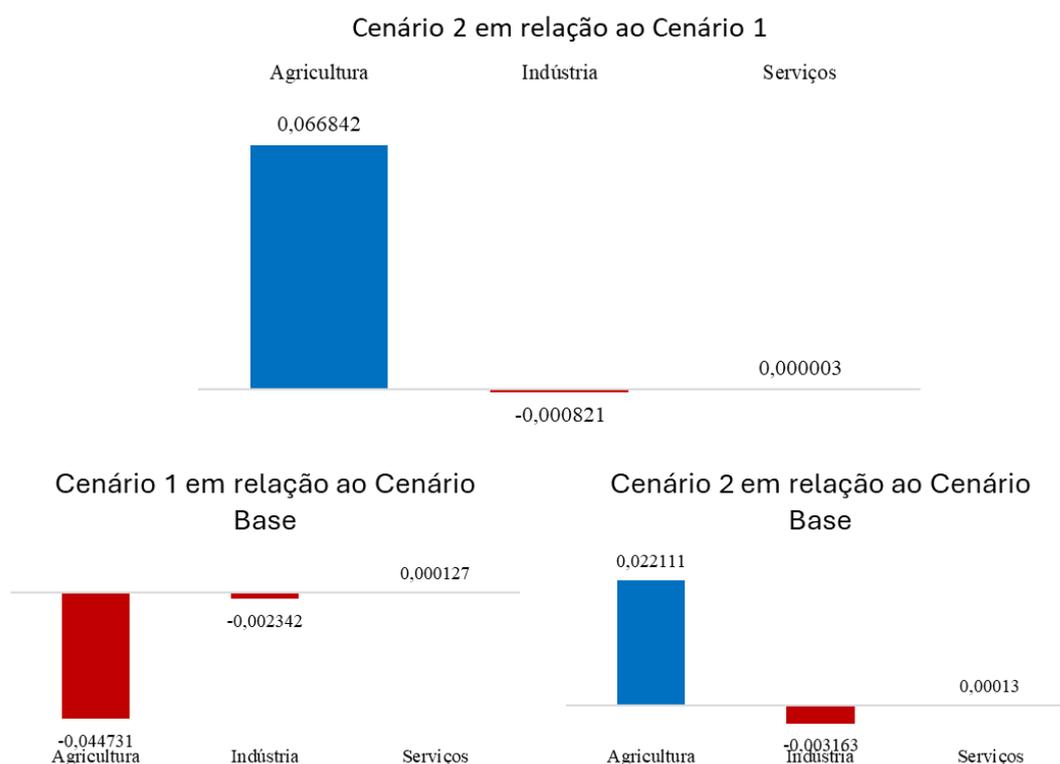
Quando se comparam os efeitos do instrumento econômico (em relação ao hidrológico) sobre os fatores de produção nos serviços da área de estudo como um todo (Tabela 10) em relação ao que ocorreu na região seca (Tabela 11), pode-se ver que, além de o aumento no uso da água (alívio nos cortes) ser menor, há um maior crescimento no capital 2. As reduções no capital 1-trabalho persistem, mas são mais moderadas, e a redução na terra irrigável também persiste na mesma magnitude. A principal diferença qualitativa na área de estudo está na redução da terra de sequeiro, que no caso da região seca aumenta. Esta diferença acontece devido aos impactos sobre o setor da pecuária, que apresenta redução mais significativa na Região Úmida e redução em menor magnitude na Região Seca.

Tudo isso resulta em um impacto positivo do instrumento econômico sobre o PIB de Serviços menor na área de estudo do que na região seca. Como já observado, o comportamento da área de estudo é influenciado pela região úmida, que de forma oposta à região seca, corta bem mais o setor de Serviços sob o critério econômico do que sob o hidrológico. A análise deste setor na região úmida na próxima seção, bem como dos principais setores usuários de água nas duas regiões, deve trazer mais elementos para essa discussão.

### 4.1.3.2.IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DAS REDUÇÕES DAS ALOCAÇÕES NA REGIÃO ÚMIDA POR SETOR AGREGADO

A análise dos impactos no PIB por setor agregado na região úmida, mostraram que sob o critério hidrológico, em relação ao cenário base, houve reduções significativas no PIB da agricultura e mais discretas reduções no PIB da indústria, enquanto em Serviços houve um discreto crescimento do PIB – ver Figura 12. Já sob o critério econômico há aumentos significativos do PIB da Agricultura, e mais discretos no PIB de Serviços, em relação ao cenário base, bem como reduções no PIB da Indústria (ver Figura 12).

Figura 12 - Variação no PIB real da Região Úmida por setor agregado (%)



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Isso resulta nesta região em impactos positivos significativos no PIB da Agricultura, do critério econômico em relação ao hidrológico, bem como sobre o de Serviços, bem como impactos negativos, de maneira mais discreta, sobre a Indústria. (Figura 12). Estas variações no PIB diante do instrumento econômico (cenário 2) e do regulatório (cenário 1) por setor agregado nessa região úmida, apresentam comportamento bastante similar ao

que ocorreu na área de estudo como um todo (ver Figura 10) e diferente do que ocorreu na região seca.(ver Figura 11).

Como na área de estudo (ver seção 4.1.3), nesta região úmida, os impactos positivos na alocação econômica (cenário 2) em relação à alocação dada pela regulação (cenário 1), ocorreram na Agricultura e em Serviços.<sup>31</sup> Na indústria, os impactos no PIB foram negativos nas mesmas condições. É interessante notar que, sob o critério econômico, nessa região úmida, enquanto há alívio nos cortes da agricultura (diferença positiva de 3,8% em relação ao cenário 1), intensificam-se os cortes em Serviços <sup>32</sup>(diferença negativa de 19,1% em relação ao cenário 1), mesmo assim ambos resultam em impactos positivos no PIB diante desse critério. No caso da indústria, como em Serviços, as reduções também se intensificam sob o critério econômico (diferença negativa de 3,9% em relação ao cenário 1), sendo que neste caso os impactos no PIB são negativos.

*Tabela 12 - Variação no uso dos fatores de produção por setor agregado na Região Úmida (%)*

<b>Cenários</b>	<b>Setor agregado</b>	<b>Capital 1 K1</b>	<b>Capital 2 K2</b>	<b>Trabalho L</b>	<b>Água A</b>	<b>T. Irrigável TI</b>	<b>T. Sequeiro TS</b>
Cen. 1/ Cen. Base	Agricultura	0,0296	-0,8735	0,0257	-11,3725	0,0240	0,0283
	Indústria	-0,0019	0,0358	-0,0021	-0,9925	-	-
	Serviços	0,0000	0,1542	0,0001	-1,5111	-0,0140	-0,0356
Cen. 2/ Cen. Base	Agricultura	0,0196	0,3285	0,0289	-7,5	0,3341	0,0437
	Indústria	0,0039	-0,2141	0,0020	-4,9	-	-
	Serviços	-0,0005	0,3182	-0,0002	-20,6	-0,0916	-0,1352
Cen. 2/ Cen. 1	Agricultura	-0,01	1,202	0,0032	3,8725	0,3101	0,0154
	Indústria	0,0058	-0,2499	0,0041	-3,9075	-	-
	Serviços	-0,0005	0,164	-0,0003	-19,0889	-0,0776	-0,0996

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Na Agricultura da região úmida, a redução de água de 11,4% imposta ao setor pelo critério hidrológico, causou um rearranjo do demais fatores de produção (Tabela 12). Houve, em relação ao cenário base, redução no uso de capital 2 (não se investiu em melhores tecnologias de irrigação nem em redução de perdas), crescimento de terra irrigável e terra de sequeiro e no uso de capital 1- trabalho, que resultou em queda na produção agrícola da região. Deve-se ressaltar que a região úmida tem percentuais maiores de áreas irrigadas do que a Região Seca, tendo como principal cultura a cana-de-açúcar, cultura muito intensiva em água. Sendo um setor do Grupo 3 (ver árvore – Figura 7), pode-se observar

<sup>31</sup> No caso da região seca os impactos positivos do instrumento econômico ocorreram na Indústria e em Serviços.

<sup>32</sup> Bem como na Indústria (diferença negativa de 3,9% em relação ao cenário 1)

que a redução de água dada pelo critério hidrológico neste setor/ região, ao contrário do que ocorreu nesse mesmo setor na região seca, não induziu os agentes a investir em tecnologias de irrigação mais eficientes e redução de perdas (queda no capital 2) e sim levou a aumentos no uso da terra (irrigável e de sequeiro), além de aumentos em investimentos de infraestrutura e equipamentos bem como na produtividade no trabalho agrícola (capital 1-trabalho).

Já o critério econômico impõe alívio nos cortes das alocações proporcionais, em relação ao hidrológico, (ver seção 4.1.1) na agricultura da região úmida. Enquanto as menores reduções dadas pelo instrumento econômico levaram a aumentos do PIB, os maiores cortes do instrumento regulatório levaram a reduções neste indicador. Isso fez com que a diferença (cenário 2 – cenário 1) dos efeitos sobre o PIB entre os dois critérios resultasse ainda mais positiva. Esse comportamento é bastante similar qualitativamente ao que ocorreu na área de estudo como um todo (ver seção 4.1.2) e diferente do que ocorreu na região seca (ver seção 4.1.3.1), o que comprova a hipótese de que, no caso da Agricultura, o impacto positivo no PIB da área de estudo do critério econômico em relação ao hidrológico, é resultado do que ocorre na região úmida. Na verdade, isso reflete a maior importância deste setor na região úmida, uma vez que o PIB da agricultura da Região Úmida representa 75% do PIB agrícola da Área de Estudo (ver Tabela 5).

Quanto às variações de eficiência na agricultura da Região Úmida observa-se melhora em ambos os cenários de escassez em relação ao cenário base, sendo a eficiência alcançada no cenário hidrológico um pouco maior (5,42 – Cenário Base, 6,11 – Cenário 1 e 5,87 Cenário 2) – ver Tabela 9. Isso certamente aconteceu porque a representatividade da agricultura no PIB da área de estudo, em relação aos demais setores agregados, é bastante reduzida: 0,4% na Região Seca e 0,9% na Região Úmida – ver Tabela 5. Assim, o critério econômico procura maiores ganhos de eficiência aos setores mais representativos do PIB, que no caso, como veremos, serão indústria e serviços nesta região.

Em termos de fatores de produção, pela Tabela 12 observa-se que no setor agrícola da região úmida, as principais diferenças entre o instrumento regulatório e o econômico, são que neste último, o setor reduz um pouco menos (alivia os cortes) as proporções de água; aumenta ao invés de diminuir os investimentos no capital 2 (substituto direto da água para os setores do Grupo 3) em relação ao critério hidrológico. Nos dois critérios há aumento

de todos os outros fatores de produção (capital 1, trabalho, terra irrigável e terra de sequeiro), sendo proporcionalmente maiores no critério econômico (à exceção de capital 1 cujo aumento é discretamente maior no critério hidrológico).

Pode-se concluir desses resultados que, o critério econômico (em relação ao hidrológico) na região úmida além de aliviar os cortes hídricos na agricultura, induziu a maiores investimentos em eficiência da irrigação (capital 2), bem como ao uso de maiores áreas de terra irrigável e de sequeiro (terra total), além do composto capital1-trabalho, que ao lado da terra compõem a produção (ver Figura 7). Dessa forma, com maiores áreas irrigadas com maior eficiência, maior área de terra de sequeiro e maiores investimentos em capital1-trabalho, o critério econômico levou a ganhos no PIB ao invés de perdas (critério hidrológico) diante das reduções das alocações de água neste setor/ região.

Para efeitos de comparação, este instrumento econômico na região seca levou a maiores perdas agrícolas, em relação ao hidrológico, conforme já analisado (ver seção 4.1.3.1). As principais diferenças qualitativas dos efeitos desse instrumento econômico (em relação ao hidrológico) nos fatores de produção nas duas regiões são (ver Tabelas 11 e 12): i) na região seca o instrumento econômico reduz a água, enquanto na região úmida aumenta; ii) na região seca há redução de terra irrigável e aumento deste mesmo fator na região úmida; iii) na região seca há redução de trabalho e na região úmida há aumento desse fator. Essas duas primeiras diferenças qualitativas também ocorreram quando foi feita a comparação entre a região seca e a área de estudo, o que comprova que o que ocorre nesta última é mais influenciado pelo que ocorreu na agricultura da região úmida diante dos critérios de distribuição de água.

A indústria da região úmida, sob o critério hidrológico, foi, dentre os setores, aquele que sofreu as menores reduções no uso de água, e mesmo assim foi o setor que apresentou a segunda maior queda na produção entre os setores agregados na região, em relação ao cenário base. Além disso, houve queda no uso de capital 1 e trabalho e aumento nos investimentos de capital 2. (Tabela 12) O setor industrial da região úmida não conseguiu reagir bem às reduções, ainda que estas tenham sido pequenas proporcionalmente, comportamento oposto ao mesmo setor da região seca (ver seção 4.1.3.1). Isto mostra impactos negativos do critério hidrológico sobre o setor que mais demanda água em toda a área de estudo 38,7% (ver Tabela 4), que nesta região úmida é majoritariamente composto pela indústria sucroalcooleira. A Fabricação de açúcar e etanol foi representada nesta modelagem como sendo do Grupo 2, o que significa que estes setores (ver Figura

6) apresentam substitutibilidade entre o composto capital 1-trabalho e o composto capital 2-água. No entanto, o que se observa é que diante das reduções de água impostas pelo critério hidrológico, o único fator que a indústria seria induzida a aumentar seria o capital 2, que pode ser representado por uma tecnologia mais eficiente e/ou redução de perdas no uso da água nesses setores produtivos. Já o aumento no composto capital 1-trabalho (melhoria da infraestrutura e aumento na produtividade do trabalho), não foram induzidos por esses cortes seguindo o critério hidrológico.

Sob o critério econômico, as reduções hídricas na Indústria da região úmida (ver seção 4.1.1) se intensificam, em relação ao critério hidrológico levando a perdas no PIB que ocorrem sob os dois critérios sendo mais acentuadas sob o instrumento econômico. Esse é um comportamento contrário ao ocorrido na indústria da região seca, que também sofre cortes nas alocações hídricas sob ambos os critérios, mas em nenhum dos dois reduz PIB, e sim aumenta, sendo os ganhos associados ao critério econômico maiores (mesmo diante de cortes de alocação de água maiores). Isto mostra claramente que a indústria da região úmida é bem menos resiliente à escassez do que a da região seca.

Em termos de eficiência, há ganhos nos dois critérios de escassez, em relação ao cenário base na indústria da região úmida. O setor/ região aumentou sua eficiência em 4,5%, sob o critério econômico, em relação ao critério hidrológico, ficando ambos com WUE mais elevado do que o observado no cenário base (56,84 – Cenário Base, 57,21 – Cenário 1 e 59,77 – Cenário 2) – ver Tabela 9. Como apontado anteriormente, esses maiores ganhos de eficiência, sob o critério econômico, no setor industrial da região úmida, em relação ao critério hidrológico, deve refletir a maior importância deste setor/ região para a área de estudo: indústria representa 18,2% do PIB da Área de Estudo sendo a indústria da Região Úmida responsável por 14,1% - ver Tabela 5.

Observando o comportamento dos fatores de produção, pode-se notar comportamentos opostos provocados pelos dois tipos de instrumento na indústria da região úmida em relação ao cenário base. (Tabela 12). Enquanto o instrumento regulatório ao ter reduções significativas de suas alocações hídricas, aumenta o uso de capital 2, e reduz capital 1-trabalho, mesmo que de forma moderada, sob o instrumento econômico os agentes desse setor/região reduzem ainda mais as suas alocações hídricas, e agora reduzem também o capital 2, mas aumentam o capital 1-trabalho. Esse aumento do capital 1-trabalho é moderado, mas a redução do capital 2 é bem mais significativa. Isso resulta, quando comparados os dois instrumentos (cenário 2 – cenário 1), que o instrumento econômico

em relação ao hidrológico, diminui significativamente as alocações de água, os investimentos em capital 2, e moderadamente eleva capital1-trabalho na indústria da região úmida.

Ressalta-se que o setor é constituído por setores econômicos do grupo 1 e 2, e que no primeiro nem a água nem o capital 2 entram como fatores de produção, que se constituem apenas de capital 1 e trabalho, enquanto no grupo 2 o capital1-trabalho são substitutos do composto capital 2-água. O critério econômico, ao cortar mais significativamente a alocação para a indústria nessa região úmida, em relação ao critério hidrológico, induziu o setor a investir um pouco mais no composto capital1-trabalho e a desinvestir em capital 2. Isso levou a maiores perdas no PIB sob o critério econômico.

É interessante observar a semelhança do que ocorre aqui e na área de estudo, cuja análise já foi feita na seção 4.1.3. São praticamente os mesmos os efeitos do instrumento econômico, em relação ao hidrológico, nos fatores de produção nas duas regiões (úmida e área de estudo) (Tabela 10 e Tabela 12). Há reduções significativas no uso da água e no uso de capital 2 e aumentos moderados no uso de capital1-trabalho. Qualitativamente, esses efeitos também se assemelham ao que ocorre na região seca. A diferença está apenas num aumento moderado de trabalho na área de estudo e região úmida que não ocorre na região seca. Como já tinha sido ressaltado na comparação anterior entre a região seca e a área de estudo, tais efeitos induzidos pelo critério econômico (elevação do composto capital1-trabalho e redução no capital2-água), enquanto na região seca eleva o PIB, na área de estudo e na região úmida o reduzem. Na verdade, o setor industrial na região úmida (e na área de estudo) tem reduzido o seu PIB sob os dois critérios, ao contrário da região seca (que os tem aumentados), sendo que no caso do critério econômico as reduções são ainda maiores. Esse resultado atesta novamente que o setor industrial da área de estudo sofre forte influência do setor industrial da região úmida e tem características bem diferentes dos da região seca.

Pode-se concluir que o setor industrial da região úmida - que tem como mais representativos setores do Grupo 2 (fabricação de açúcar e álcool) - diante de incentivos econômicos, tenta ficar mais independente da água (substituição de capital1-trabalho por capital 2-água), da mesma forma que as indústrias da região seca. No entanto, enquanto essas últimas conseguem elevar o PIB, as indústrias da região úmida têm reduções do mesmo, mostrando mais uma vez a diferença estrutural deste setor nas duas regiões.

No setor de serviços da região úmida, a redução no uso de água imposta pelo critério hidrológico foi de 1,5% (ver seção 4.1.1), o que elevou o PIB do setor/ região marginalmente. Nesta região úmida, o setor de serviços é representado por setores do grupo 1, grupo 2 e 3, mas diferentemente da região seca a pecuária é menos representativa, já que na região úmida a produção da pecuária é cerca de 2,3 vezes menor do que a produção deste setor na Região Seca. Sob o instrumento hidrológico, houve redução no uso de terra irrigável e terra de sequeiro e um leve crescimento no composto capital1-trabalho, mas aumento no capital 2, que é o substituto direto da água tanto para os setores do grupo 2 como do grupo 3. Este foi o setor, que de forma agregada, conseguiu se adaptar melhor aos cortes impostos pelo critério hidrológico na região úmida. Os cortes hidrológicos a esse setor nessa região induziram aumento de investimentos em infraestrutura e produtividade do trabalho (capital 1- trabalho) e em tecnologias de uso da água mais eficientes (capital 2), o que para os setores mais representativos que constituem os serviços na região úmida (grupo 2), leva a elevação mesmo que marginal, da produção.

Já sob o instrumento econômico, as reduções das alocações em Serviços da região úmida são proporcionalmente bem maiores em relação ao hidrológico, mas há aumentos no PIB mesmo que bem discretos em ambos os critérios, sendo que um pouco maiores no caso do instrumento econômico, o que faz com que a diferença entre os dois seja positiva, mesmo que bem pequena. Na verdade, o aumento no PIB de Serviços nessa região úmida é quase o mesmo sob ambos os critérios, mesmo havendo reduções proporcionais nas alocações significativamente maiores sob o instrumento econômico.

Quando comparamos esses efeitos acima com os induzidos pelo instrumento econômico na região seca, já analisados (ver seção 4.1.3.1), observam-se muitas diferenças, a saber: i) as proporções de reduções das alocações de água nesse setor na região seca são menores (em relação à úmida) do que as impostas pelo critério hidrológico; ii) há perdas de PIB ao invés de aumentos, como os ocorridos na região úmida. Isso também ocorre na área de estudo como um todo, mostrando que no caso de Serviços o que ocorre na região seca parece influenciar mais a área de estudo como um todo.

Na região úmida, o que ocorre nos demais fatores de produção de serviços, com as reduções proporcionais maiores de água do critério econômico em relação ao hidrológico, (ver Tabela 12) é que há aumento do capital 2 (uso da água com mais eficiência), mas redução de todos os demais fatores (capital1-trabalho, terra irrigável e terra de sequeiro). Mesmo assim, houve elevação, mesmo que discreta, do PIB. É interessante notar que

qualitativamente o que ocorreu com os fatores de produção na região seca foi bem semelhante, à exceção dos cortes na água e na terra de sequeiro, ambos menores no critério econômico em relação ao hidrológico. Como em Serviços encontram-se setores dos Grupos 1, 2 e 3 (pecuária), sendo a representatividade de cada um desses grupos nas duas regiões diferentes, os resultados sugerem que provavelmente na região úmida (em relação à seca) deve haver maior participação de setores independentes do fator água (grupo 1) e daqueles que podem substituir capital 2-água por capital 1-trabalho (Grupo2), e uma menor participação dos setores que substituem capital 1-trabalho por terra total (Grupo 3).

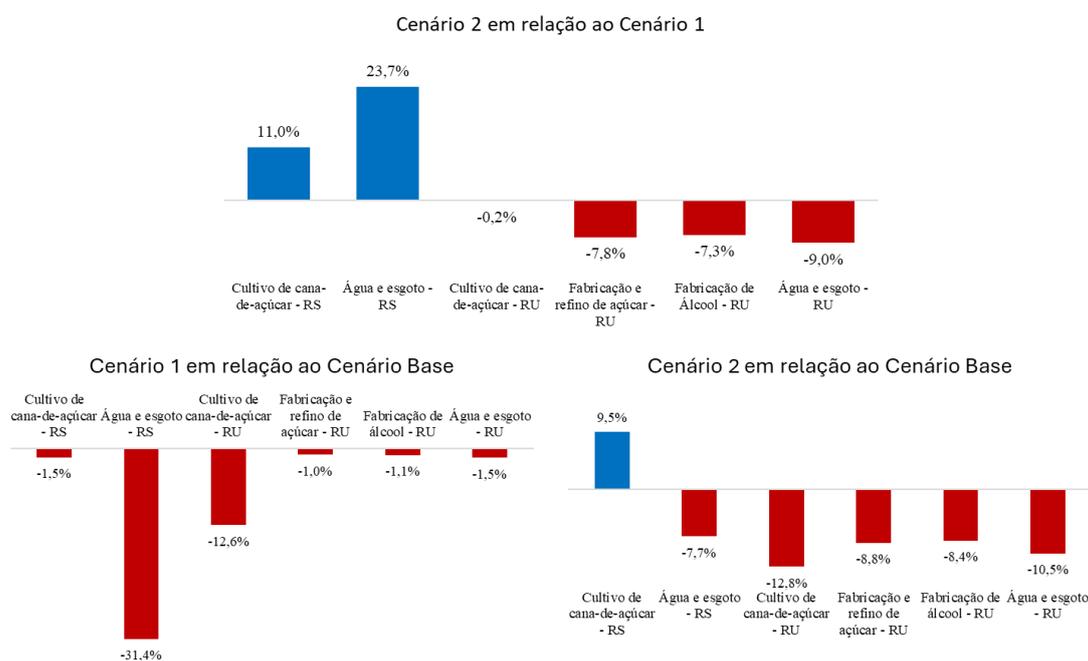
É interessante notar que o instrumento econômico em relação ao hidrológico leva a impactos positivos em Serviços tanto na região seca, como na região úmida e, portanto, também em toda a área de estudo. No entanto, enquanto na região seca o instrumento induz a menores cortes hídricos, na região úmida o incentivo é que os cortes se ampliem bastante. Em ambas as regiões o instrumento econômico tem impactos positivos sobre o PIB (na região seca reduz as perdas no PIB e na região úmida aumenta-o) e induz investimentos em tecnologias que melhorem o uso da água no processo produtivo.

Com relação à eficiência do setor/ região, observam-se os maiores ganhos de eficiência sob o critério econômico (823,50 R\$/m<sup>3</sup> diante dos 655,96 R\$/m<sup>3</sup> no cenário base – aumento de 25,5% ), e também sob o critério hidrológico (665,92 R\$/m<sup>3</sup> diante dos 655,96 R\$/m<sup>3</sup> no cenário base – aumento de 1,5% ) (ver Tabela 9). O ganho de eficiência induzido pelo critério econômico, em relação ao hidrológico, é o maior entre os três setores agregados, sendo de mais de 23%. Isto está de acordo com a busca pela eficiência global induzida pelo critério econômico, uma vez que este setor representa mais de 80% do PIB da Área de Estudo, sendo a Região Úmida responsável por 63,2% deste total. Observa-se que o critério econômico induz a uma redistribuição da água entre os setores/ regiões, que procura aumentar a eficiência, em relação ao critério hidrológico em especial, de setores que tem maior peso no PIB da região, diferentemente do que ocorreu na Região Seca.

#### **4.1.4. ANÁLISE DAS MUDANÇAS NA ALOCAÇÃO E NOS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS DO PONTO DE VISTA DOS MAIORES USUÁRIOS DE ÁGUA BRUTA DA ÁREA DE ESTUDO**

A Figura 13 exibe a variação no uso de água nos dois cenários, em relação ao cenário base, bem como a variação do cenário 2 (instrumento econômico) em relação ao hidrológico (cenário 1), para os setores que utilizam em conjunto 93% da água disponível (no cenário base) na área de estudo. Inicialmente faz-se uma análise do que ocorreu nestes setores diante do critério hidrológico (cenário 1). Em seguida analisa-se o que ocorreu sob o critério econômico, para então comparar com os efeitos do critério hidrológico.

*Figura 13 – Variação nas alocações de água bruta entre os principais setores usuários (%)*



Fonte: Esta pesquisa (2023).

Inicialmente, vale destacar alguns efeitos dos dois critérios sobre estes setores: i) os setores da região úmida<sup>33</sup> tem seus cortes na alocação bastante intensificados sob o critério econômico em relação aos cortes impostos pelo critério hidrológico; ii) O setor de cultivo de cana da região úmida sofre cortes proporcionais similares sob os dois critérios. Já os demais setores da região úmida sofrem cortes percentuais de 8 a 10 vezes maiores sob o critério econômico; iii) Nos setores da região seca ocorre o contrário: há mais água sob o critério econômico em relação ao hidrológico. No cultivo de cana da região seca, enquanto há cortes sob o critério hidrológico, sob o econômico não há cortes.

<sup>33</sup> Dado que a região úmida no cenário base concentra 78% do uso da água ; e estes setores representam um percentual significativo desse uso, os maiores cortes nos mesmos, sob o critério econômico, representam mais água para os demais setores tanto desta região, como da região seca.

Ao contrário, é alocada mais água em relação ao cenário base. No caso da A&E da região seca há cortes sob os dois critérios, mas o econômico alivia esses cortes percentuais em mais de 4 vezes.

Assim, ao compararmos os dois cenários, observa-se claramente que o instrumento econômico alocaria mais água nos setores da região seca, e reduziria o recurso nos setores da região úmida, em relação ao hidrológico.

Pela Tabela 13 pode-se observar o impacto que a variação da redução nos atendimentos gera sobre a produção de cada um dos setores, em cada cenário, assim como o rearranjo de todos os demais fatores de produção é mostrado na Tabela 14.

*Tabela 13 - Variação na produção dos principais setores usuários de água (%)*

Região	Grande setor	Setores	Cenário	Var Água (%)	Var. Produção (%)
Seca	Agricultura	Cultivo de cana-de-açúcar	C1	-1,5	0,027854
			C2	+9,5	-0,048078
			C2-C1	11,0	-0,075932
Seca	Serviços	Água e esgoto	C1	-31,4	6,849717
			C2	-7,7	+0,001919
			C2-C1	23,7	-6,847798
Úmida	Agricultura	Cultivo de cana-de-açúcar	C1	-12,6	0,071741
			C2	-12,8	+0,017999
			C2-C1	-0,2	-0,053742
Úmida	Indústria	Fabricação e refino de açúcar	C1	-1,0	0,062187
			C2	-8,8	-0,000254
			C2-C1	-7,8	-0,062441
Úmida	Indústria	Fabricação de álcool	C1	-1,1	0,078321
			C2	-8,4	+0,000443
			C2-C1	-7,3	-0,077878

			C1	-1,5	0,013229
Úmida	Serviços	Água e esgoto	C2	-10,5	+0,000047
			C2-C1	-9,0	-0,013182

Fonte: Esta pesquisa (2023).

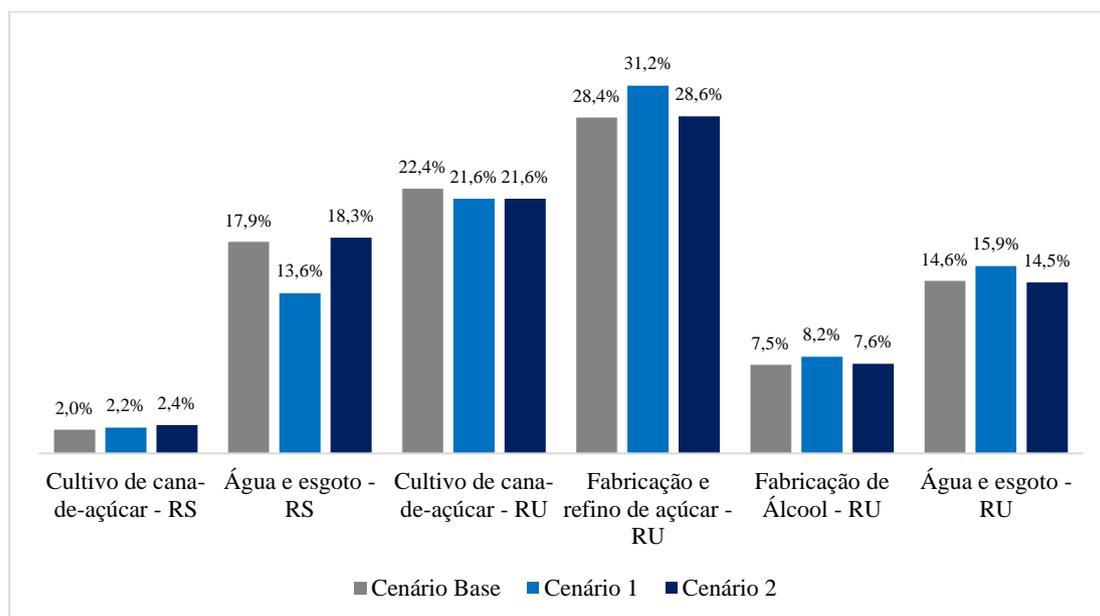
*Tabela 14 - Variação no uso dos fatores de produção entre os principais setores usuários de água (%)*

Fatores de produção	Cenário	Cultivo de cana-de-açúcar -RS	Água e esgoto - RS	Cultivo de cana-de-açúcar - RU	Fabricação e refino de açúcar - RU	Fabricação de álcool - RU	Água e esgoto - RU
Capital 1 - K1	C1	0,01	0,11	0,04	-0,03	-0,09	-0,02
	C2	-0,02	0,34	0,01	0,01	0,02	0,01
	C2-C1	-0,03	0,23	-0,03	0,04	0,11	0,03
Capital 2 - K2	C1	0,04	9,80	-0,96	0,00	0,86	0,27
	C2	-0,12	0,69	-0,20	-0,11	-0,23	-0,17
	C2-C1	-0,16	-9,11	0,76	-0,11	-1,09	-0,44
Trabalho - L	C1	0,01	0,11	0,04	-0,03	-0,09	-0,02
	C2	-0,02	0,34	0,01	0,01	0,02	0,01
	C2-C1	-0,03	0,23	-0,03	0,04	0,11	0,03
Água - A	C1	-1,5	-31,4	-12,6	-1,0	-1,1	-1,5
	C2	9,51	-7,74	-12,76	-8,79	-8,40	-10,51
	C2-C1	11,01	23,66	-0,16	-7,79	-7,3	-9,01
T. irrigável - TI	C1	0,01	-	0,07	-	-	-
	C2	-0,10	-	-0,04	-	-	-
	C2-C1	-0,11	-	-0,11	-	-	-
T. sequeiro - TS	C1	-0,003	-	0,04	-	-	-
	C2	0,01	-	0,04	-	-	-
	C2-C1	0,013	-	0,0	-	-	-

Fonte: Esta pesquisa (2023).

O primeiro setor, a ser analisado, será o setor de cultivo de cana-de-açúcar (Grupo 3), inicialmente na região seca e depois na região úmida. Na região seca, sob o critério hidrológico, o setor sofreu um corte de 1,5% no uso de água, mesmo assim a proporção de água do setor diante da escassez cresceu (de 2% para 2,2% - ver Figura 14). Houve aumento no uso do capital 2 (substituto direto da água), no uso da terra irrigável, bem como do composto capital 1-trabalho, tendo sido reduzida apenas a utilização de terra de sequeiro. Pode-se concluir que nesta região seca os cortes hidrológicos no cultivo de cana induziriam investimentos em melhorias nas tecnologias de uso da água, (capital 2), bem como aumento nas áreas irrigadas, com associados investimentos em infraestrutura de irrigação e aumentos na produtividade do trabalho (capital 1-trabalho). Esses investimentos, apesar da redução no uso de água, conseguiriam fazer com que o setor conseguisse aumentar sua produção em relação ao cenário base (ver Tabela 13).

Figura 14 - Alocação de água entre os principais setores usuários – Cenário Base, Cenário 1 e Cenário 2



Fonte: Esta pesquisa (2023).

É interessante relembrar que os efeitos deste critério hidrológico, quando se analisou o setor (agricultura) como um todo nessa região seca (ver seção 4.1.3.1), o rearranjo dos fatores de produção se deu de forma diferente<sup>34</sup>, diante de cortes hídricos maiores (-2,3%). Isto levou a perdas na produção da Agricultura na região seca (ao contrário dos ganhos no cultivo de cana-de-açúcar). Pode-se concluir que, sob o instrumento regulatório, os cortes ocorridos no cultivo de cana levaram ao crescimento nas terras irrigáveis desta cultura (bem como diminuição da sua terra de sequeiro), aumento de eficiência no uso da água (capital2) e melhoria na infraestrutura (capital1) e aumento no trabalho. No entanto, dados os resultados do setor como um todo, isto não deve ter ocorrido nas demais culturas da região (menos intensivas), que devem ter levado a uma diminuição de áreas irrigáveis no setor como um todo (mesmo significativamente mais eficientes no uso da água) e de suas terras de sequeiro, bem como no seu trabalho. Isto levou a ganhos na produção de cana, mas perdas no setor agrícola como um todo na região seca, sob o instrumento hidrológico.

Já sob o instrumento econômico (cenário 2), esse mesmo setor de cultivo de cana-de-açúcar na região seca, ganhou água em relação ao hidrológico, elevando percentualmente

<sup>34</sup> Também houve crescimento do capital 2 (bem mais expressivo do que no cultivo de cana) e do capital 1 (um pouco menor do que na cana), mas redução no trabalho, terra irrigável e terra de sequeiro (terra total)

seu uso (+11%), diante da escassez (Tabela 13). Mesmo assim houve perdas na produção desse setor/ região. Isso resultou numa queda na eficiência do setor no cenário 2, que passou de 6,73 R\$/m<sup>3</sup> no cenário base, para 6,19 R\$/m<sup>3</sup> sob o critério econômico. Já sob o critério hidrológico houve um discreto ganho de eficiência, que chegou a 6,75 R\$/m<sup>3</sup> - ver Tabela 15.

Proporcionalmente, o uso da água na cana da região seca cresceu ligeiramente sob o critério econômico não só em relação ao cenário 1, mas também em relação ao cenário base. ( 2% (cenário base) , 2,2% (cenário 1) e 2,4% (cenário 2) - ver Figura 14), mas ainda manteve-se baixo e quase constante.

*Tabela 15 - Eficiência do uso de água (WUE) para os principais setores usuários (R\$/m<sup>3</sup>)*

<b>Cenário</b>	<b>Cultivo de cana-de-açúcar - RS</b>	<b>Água e esgoto - RS</b>	<b>Cultivo de cana-de-açúcar - RU</b>	<b>Fabricação e refino de açúcar - RU</b>	<b>Fabricação de álcool - RU</b>	<b>Água e esgoto - RU</b>
Base	6,73	0,09	5,54	12,17	7,84	17,14
C1	6,75	0,15	6,35	12,32	7,92	17,38
C2	6,19	0,10	6,34	13,43	8,53	19,05

Fonte: Esta pesquisa (2023).

Quanto aos fatores de produção (Tabela 14), houve reduções proporcionais em todos os fatores, com exceção da terra de sequeiro, único fator que cresceu ligeiramente, além da água. A redução mais significativa ocorreu no capital 2 (substituto direto da água). Pode-se concluir que nesta região seca, a maior quantidade de água usada pelos agentes econômicos no cultivo de cana diante do critério econômico (em relação ao hidrológico), foi usada em menores extensões de áreas irrigadas (terra irrigável para cana caiu e sequeiro cresceu), bem como caíram investimentos em tecnologias de irrigação mais eficientes. Também caíram investimentos em infraestrutura e reduziu-se o trabalho (capital 1-trabalho). Isso levou a perdas na produção em relação ao instrumento regulatório (cenário1) (ver Tabela 13) assim como em relação ao cenário base, mesmo com proporções maiores de água. O instrumento econômico assim, ao contrário do regulatório, aloca mais água para o setor de cultivo de cana na região seca, mas não induz o aumento de áreas irrigadas para este cultivo, nem investe no aumento de sua eficiência nesta região. Isso faz com que o instrumento econômico tenha um impacto negativo sobre a produção da cana na região seca, mesmo alocando mais água para o setor/ região, o que

está de acordo com a queda na eficiência deste setor sob este cenário conforme foi observado anteriormente – ver Tabela 15.

Deve-se ressaltar que, sob o critério econômico, o aumento de alocações de água observado para a cana na região seca não ocorre na agricultura como um todo nesta região (ver seção 4.1.3.1). Quando foram analisadas as diferenças entre o instrumento econômico e hidrológico neste setor (Agricultura) como um todo nessa região seca, observou-se ao invés de aumento, redução das proporções de água (menos água) sob o instrumento econômico. Dado este aumento proporcional nas alocações para a cana, isto significa que as reduções nos outros cultivos desta região seca devem ter sido ainda mais intensas. Isso resultou em perdas maiores em produção com o critério econômico do que com o hidrológico, na agricultura da região seca.

Isto é compensado com o que vai ocorrer na região úmida (que ocorre também na área de estudo). Nestas duas regiões, sob o critério econômico, há alívio nos cortes das alocações de água no setor (Agricultura), em relação ao critério hidrológico, ou seja, mais água para a Agricultura resultando em ganhos no PIB da Agricultura como um todo na região úmida e na área de estudo, ao invés de perdas (critério hidrológico). (ver seções 4.1.3.2 e 4.1.3).

Com relação ao setor de cana, agora na região úmida, há discreto aumento nos cortes da região úmida sob o critério econômico, (menos água para a cana), em relação ao cenário hidrológico. (-0,2% - Tabela 14). Na verdade, os cortes nas alocações da água para o setor de cana da região úmida nos dois critérios são intensos e quase iguais, com uma pequena vantagem para o critério econômico. Sob o critério hidrológico, o setor de cultivo de cana (Grupo 3) da região úmida já tinha sofrido a maior redução nas alocações de água entre todos os setores desta região aqui destacados (-12,6% em relação ao cenário base). Mesmo assim, a redução da proporção da alocação resultante, após o choque foi discreta. (de 22,4% para 21,6%) (Figura 14) Ao ter suas alocações de água reduzidas, sob este critério hidrológico, o setor de cana da região úmida passou a utilizar menores quantidades de capital 2, mas passou a utilizar maiores quantidades de todos os demais fatores de produção. Isso significa que o instrumento regulatório levaria a maiores áreas de cana irrigada sem investimentos em tecnologias de eficiência na irrigação, maior área de sequeiro e maiores investimentos em capital1-trabalho, o que levaria, mesmo diante dos cortes hídricos, a um discreto aumento no PIB do setor/ região (ver Tabela 13).

No setor agregado (Agricultura) desta região úmida, para efeitos de comparação (ver seção 4.1.3.2), isto não ocorreu. Sob o critério hidrológico, ao contrário do cultivo de cana, a produção agrícola como um todo na região úmida sofreu perdas. Isso significa que a perda da produção ocorreu nas demais culturas agrícolas da região, que incluem frutas, plantas de lavoura e outras. O rearranjo dos fatores de produção neste setor agrícola como um todo/região, já analisado (ver seção 4.1.3.2), foi semelhante qualitativamente ao descrito acima, ocorrido no setor de cana ( cortes de água, redução de capital 2, aumento nos demais fatores incluindo áreas irrigadas (ver Figura 7), sugerindo que tais arranjos podem não ter ocorrido nas demais culturas, menos intensivas.

Sob o critério econômico, os cortes na água para o cultivo da cana da região úmida foram um pouco maiores (-12,8% em relação ao cenário base), o que também resultou em mudanças proporcionais pequenas no uso da água na cana desta região, em relação ao cenário base. ( 22,4% (cenário base) , 21,6% (cenário 1) e 21,6% (cenário 2) - ver Figura 14). Quanto aos demais fatores de produção, houve reduções proporcionais no capital 2, menos significativas que no critério hidrológico e na terra irrigável, em relação ao cenário base. Já o capital1-trabalho e a terra de sequeiro tiveram discretos aumentos. Isso levou também a discretos aumentos no PIB do setor/ região, um pouco menores que o que ocorreu sob o instrumento hidrológico.

Assim, ao compararmos os dois critérios, econômico em relação ao hidrológico, há variação positiva apenas no capital 2 e negativa em todos os demais fatores, incluindo a água, (a terra de sequeiro não varia sob os dois critérios). O instrumento econômico assim, em relação ao regulatório, intensifica os cortes de água no cultivo de cana na região úmida, induz maiores investimentos nas tecnologias de eficiência da irrigação (capital 2), mas reduz as áreas de terra irrigada e mantém as de sequeiro, resultando em ganhos de produção no setor de cana desta região um pouco menores que os obtidos com o critério hidrológico. (impacto negativo do critério econômico sobre o PIB da cana na região úmida setor/ região).

Relacionado à eficiência deste setor nesta região, observou-se que os dois instrumentos diante da escassez, levaram a ganhos de eficiência em relação ao cenário base praticamente iguais entre si, ou seja, resultaram em dois arranjos de fatores de produção distintos que obtiveram praticamente a mesma eficiência (5,54 – Cenário base, 6,35 – Cenário 1 e 6,34 R\$/m<sup>3</sup> – Cenário 2) – ver Tabela 15.

Como a cana-de-açúcar na região úmida, teve seus cortes nas alocações de água discretamente intensificados sob o critério econômico (comparado ao hidrológico), os alívios já comentados dos cortes na Agricultura como um todo nesta região úmida nas mesmas condições, só podem ter ocorrido sobre os outros cultivos desta mesma região. Observou-se, além disso, na Agricultura desta região úmida, o aumento de capital 2, trabalho, terra irrigável e de sequeiro sob o critério econômico em relação ao hidrológico (ver Tabela 12). Ao contrário da cana, que diminuiu sua terra irrigável, este efeito do critério econômico na Agricultura, em relação ao hidrológico, também só pode ter ocorrido nas outras culturas da região úmida.

Assim, pode-se deduzir que na região úmida, sob o instrumento econômico, em relação ao hidrológico, houve intensificação de cortes de água na cana, aumento de investimentos em tecnologias de eficiência de sua irrigação (capital 2), mas diminuição de áreas de cana irrigada. Sobre as demais culturas da região úmida, à exceção da cana, houve alívio nos cortes, maiores áreas de terras irrigadas e de sequeiro, bem como aumento no capital 2. Isto fez com que na região úmida, o critério econômico, em relação ao hidrológico, mesmo mostrando piores resultados com relação ao cultivo de cana tenha resultado em um impacto positivo no PIB da Agricultura como um todo (ganhos). Deve-se ressaltar que o cultivo de cana é um importante setor da Agricultura da região úmida, representando 80,8% da produção e 89,6% do uso de água bruta na agricultura da região úmida.

Olhando para as duas regiões, seca e úmida, atesta-se que o instrumento econômico (em relação ao hidrológico) age de forma diferente sobre a Agricultura e o cultivo de cana-de-açúcar em cada uma delas. Na região seca, há menos água para o setor como um todo, mas mais água para a cana. Neste cultivo, aumentam-se as alocações, mas reduzem-se áreas irrigadas e investimentos em tecnologias de eficiência na irrigação. Na região úmida há mais água para a Agricultura, mas menos para a cana. De forma geral, podemos dizer que, sob o instrumento econômico, em relação ao hidrológico, houve menos água para a cana da região úmida e para as outras culturas da região seca e mais água para outras culturas da região úmida e para a cana da região seca. Isto fez com que não só na região úmida, mas considerando a área de estudo como um todo, o critério econômico tenha levado a ganhos de PIB, mesmo com perdas de produção na cana - importante cultivo da região - resultado dessa nova distribuição de águas e das mudanças nos demais fatores de produção (ver seção 4.1.3), o que está de acordo com as variações obtidas nas eficiências

por setor agregado (Tabela 9) e pelos principais setores usuários de água bruta (Tabela 15). Esse comportamento do modelo, de fornecer mais água para o cultivo de cana da Região Seca provavelmente aconteceu em virtude de as demais culturas agrícolas da região serem voltadas para a subsistência, caracterizadas pela baixa eficiência. Se houvesse na região culturas pouco intensivas em água e mais produtivas, é possível que o comportamento do modelo fosse o contrário, ou seja, que ele reduzisse a quantidade de água utilizada no cultivo de cana da região.

O outro setor importante da área de estudo analisado nas duas regiões é o setor de A&E, enquadrado no setor agregado de Serviços, e que pertence ao Grupo 2. O setor utiliza percentuais significativos de água na área de estudo. Na região seca, sob o critério hidrológico, este setor sofreu a maior redução proporcional no uso de água (-31,4%) (Figura 13). Como resultado, após o choque, a proporção de uso do setor caiu (de 17,9 para 13,6%), (Figura 14) mas ainda assim, o setor conseguiu aumentar sua produção.

O setor apresentou um ganho de eficiência bastante significativo, da ordem de 67%, tendo sua eficiência aumentada de 0,09 R\$/m<sup>3</sup> (Cenário base) para 0,15 R\$/m<sup>3</sup> (Cenário 1) – ver Tabela 15, contudo este setor é o que apresenta menor eficiência entre todos os principais usuários de água bruta.

Observando a árvore do Grupo 2 (Figura 6) e a Tabela 14, vê-se que o substituto direto da água, o capital 2, teve um crescimento expressivo neste setor/região diante dos cortes hídricos sob o critério hidrológico. Ao mesmo tempo, o composto substituto da água-capital 2 (capital 1-trabalho) também cresceu. O crescimento da produção do setor/região, mesmo diante desse considerável corte sob o critério hidrológico, mostra que o instrumento regulatório induziu aumentos em investimentos para melhorias de eficiência e redução de perdas no processo produtivo (capital 2) e para melhorar infraestrutura e aumentar a eficiência do trabalho (capital 1- trabalho), mostrando que o setor/ região tem um espaço grande para aumento de eficiência.

Quando o setor de serviços como um todo da região seca foi analisado, sob esse critério hidrológico (seção 4.1.3.1) observou-se também cortes expressivos na alocação de água (-31,22%), mas, ao contrário da A&E desta região, houve perdas na produção deste setor/região (Serviços na região seca). O arranjo dos fatores de produção no setor como um todo nesta região seca também foi diferente. Em Serviços como um todo, houve leve redução de capital 2 ao contrário do significativo aumento ocorrido neste fator em A&E

da região. Houve redução também em terra irrigável e terra de sequeiro (não são usados em A&E). Já o aumento no capital 1-trabalho ocorreu nos dois setores (Serviços e A&E), sob o critério hidrológico. Muito provavelmente, as diferenças nos resultados do PIB e no arranjo dos fatores de produção entre o A&E e o setor agregado (Serviços) na região seca deve-se às características diferenciadas dos demais setores de serviços, incluída aí, de forma importante, a pecuária e os setores industriais urbanos.

Já sob o critério econômico, os cortes se mantêm sobre o setor A&E na região seca, em relação ao cenário base, mas são bem menores (-31,4% sob o critério hidrológico e -7,7% sob o econômico – Figura 13). Assim, ocorrem reduções nas alocações de água para esse setor A&E diante dos dois critérios, mas as reduções sob o instrumento econômico são bem menores, o que resulta numa diferença positiva (há um aumento de 23,7% na disponibilidade de água pelo setor/ região sob o critério econômico em relação ao critério hidrológico – Figura 13), em termos de uso da água e um crescimento da alocação percentual resultante, após o choque de escassez, no caso do instrumento econômico (de 17,9% para 18,3%)<sup>35</sup>(ver Figura 14).

Com o alívio nos cortes, ou seja, com mais água sob o critério econômico, há ganhos de PIB no setor de A&E da região seca sob este último instrumento, mas bem menores que os obtidos com os maiores cortes do instrumento regulatório (ver Tabela 13). Por isso, comparando os dois instrumentos, o econômico, em relação ao hidrológico, o primeiro resulta em menores ganhos de PIB neste setor A&E da região seca. Este instrumento econômico, apesar de também ter trazido um incremento de eficiência ao setor, o ganho sob o critério econômico foi de apenas 11%, frente aos 67% do critério hidrológico, fazendo-a chegar ao patamar de 0,09 R\$/m<sup>3</sup> - ver Tabela 15. Com relação aos fatores de produção, observa-se comportamento similar em termos qualitativos, sob os dois critérios (ver Tabela 14). Diante dos cortes, há aumento no substituto direto da água (ver Figura 6), o capital 2. Ao mesmo tempo, o composto substituto da água-capital 2 (capital 1-trabalho) também cresce. A diferença dos resultados induzidos pelo critério econômico, além de menores cortes de água, são significativamente menores investimentos em capital 2, e levemente maiores investimentos em capital 1-trabalho.

---

<sup>35</sup> No caso do instrumento hidrológico, a alocação proporcional resultante cai ( de 17,9% para 13,6%).

O instrumento econômico assim, da mesma forma que o regulatório, leva a reduções nas alocações de água para A&E na região seca, e induz aumentos nos investimentos em capital 2 e capital1-trabalho de forma a elevar a produção. Comparativamente, no entanto, os cortes de água com o instrumento econômico são menores, bem como os investimentos nas tecnologias de eficiência de uso da água (capital 2), e assim, mesmo com maiores investimentos em capital1-trabalho, os ganhos de produção desse setor na região seca sob esse instrumento (econômico) são bem menores do que os obtidos com o critério hidrológico – o que está de acordo com os ganhos de eficiência obtidos em cada setor, conforme comentado anteriormente – ver Tabela 15.

Este alívio nos cortes sob o critério econômico, também ocorre no setor de Serviços como um todo na região seca. (ver seção 4.1.3.1) No entanto, no setor como um todo, nessa região há perdas de PIB, ao contrário do A&E (ganhos), perdas essas que foram menores no critério econômico levando assim a um impacto positivo desse instrumento, em relação ao hidrológico, sobre o PIB do setor de Serviços como um todo na região seca. Podemos deduzir daí, que essas perdas na região seca estão associadas aos outros setores, que não o A&E, representados nessa região principalmente pela pecuária.

É interessante notar que os efeitos dos instrumentos sobre esse mesmo setor (Serviços) na região úmida, são bem diferentes (ver seção 4.1.3.2). Ambos os instrumentos intensificam os cortes em Serviços na região úmida, o que leva a aumentos de PIB e não perdas diante dos dois instrumentos, sendo que o econômico corta bem mais e dessa forma obtém um pouco maiores aumentos no PIB, em relação ao hidrológico. Por isso o instrumento econômico, em relação ao hidrológico, também tem impacto positivo nessa região úmida como um todo, aqui não por reduzir perdas, mas por aumentar os ganhos do PIB.

O setor de A&E na região úmida apresenta essa mesma tendência ocorrida sobre o setor agregado (Serviços) nessa mesma região, a de ter cortes de água sob os dois instrumentos, sendo que maiores sob o critério econômico em relação ao hidrológico, ao contrário do que ocorre no setor de A&E na região seca, em que há maiores alívios nos cortes (mais água) sob o instrumento econômico.

Sob o critério hidrológico, o setor de A&E da região úmida sofreu redução de 1,5% na alocação de água. O rearranjo dos fatores aumentou o uso do capital 2 e reduziu o uso de capital1-trabalho, levando mesmo assim a aumento na produção – o que se refletiu

também no ganho de eficiência alcançado sob este critério, 17,38 R\$/m<sup>3</sup>, frente à eficiência do cenário base, 17,14 R\$/m<sup>3</sup> - ver Tabela 15. É interessante notar que o fato de ter havido redução no composto capital1-trabalho neste setor/ região é contrário ao que ocorreu no setor de A&E da região seca sob o mesmo critério. Neste setor/região (A&E na Região Seca) houve aumento (capital1-trabalho), que pode ser associado a um aumento nos investimentos de infraestrutura e produtividade do trabalho. Muito provavelmente isso se justifica devido a intensidade dos cortes na área seca, muito maiores proporcionalmente do que os impostos no setor da área úmida, bem como a carência de infraestrutura da região seca em relação à úmida. Com relação ao capital2 do setor A&E, tanto na RS como na RU, a redução na alocação hídrica dada pelos cortes de água, sob o critério hidrológico, levam ao crescimento do capital 2. Este fator, em A&E (Grupo 2) substitui diretamente a água, representando por exemplo, investimentos em tecnologias que reduzem perdas e aumentam a eficiência no processo de produção de água tratada, levando assim ao crescimento da produção.

Na análise do setor agregado de serviços da região úmida (ver seção 4.1.3.2) como um todo, sob o critério hidrológico, observou-se aumento também do capital 2, mas ao contrário do que ocorreu em A&E da mesma região diante do instrumento regulatório: aumento e não redução do composto capital1-trabalho. Esses resultados sugerem que tais aumentos de capital1-trabalho (infraestrutura) devem ter ocorrido nos outros setores do grupo 1, 2 e 3, que compõem Serviços nesta região úmida.

Sob o critério econômico, neste setor/região (A&E/ úmida), há uma redução de 9,0% no uso de água em relação ao critério hidrológico – Figura 13. Como as reduções sob o instrumento econômico são maiores, há numa diferença negativa em termos de uso da água e uma pequena diminuição da alocação percentual resultante, após o choque de escassez no caso do instrumento econômico (de 14,6% para 14,5%)<sup>36</sup> (ver Figura 14). Com a intensificação dos cortes, sob o critério econômico, há ganhos de PIB sob este instrumento, mas menores que os obtidos com o instrumento regulatório (ver Tabela 13). Por isso, comparando os dois critérios, o econômico em relação ao hidrológico, traz menores ganhos no setor A&E na região úmida – contudo, diferentemente do que foi observado neste setor na Região Seca o ganho de eficiência foi maior sob o critério econômico (19,05 R\$/m<sup>3</sup>) do que sob o critério hidrológico (17,38 R\$/m<sup>3</sup>) – ver Tabela

---

<sup>36</sup> No caso do instrumento hidrológico, a alocação proporcional resultante sobe ( de 14,6% para 15,9%).

15. Com relação aos fatores de produção, observa-se comportamento oposto em termos qualitativos, sob os dois critérios (ver Tabela 14). A diferença dos resultados induzidos pelo critério econômico, em relação ao hidrológico, além de maiores cortes de água, são menores investimentos em capital 2, e levemente maiores investimentos em capital1-trabalho.

O instrumento econômico, da mesma forma que o regulatório, mas com maior intensidade, reduz alocações de água para A&E na região úmida, porém, enquanto este último (regulatório) induz aumentos nos investimentos em capital2 e reduções no capital1-trabalho, o econômico faz o contrário (reduz capital 2 e aumenta capital1-trabalho). Os investimentos em capital 2 nesse setor A&E (árvore do Grupo 2), em geral, são associados a investimentos em tecnologias que reduzam perdas de água e tornam o processo de produção de água tratada mais eficiente. Já o capital1 está mais ligado a obras de infraestrutura, como novas barragens. Provavelmente, devido a maior intensidade dos cortes, sob o instrumento econômico, a melhor estratégia foi investir na infraestrutura.

Comparando esses últimos resultados com os já descritos, associados ao setor de Serviços como um todo nessa região úmida, observa-se que em ambos os setores nessa região (A&E e Serviços), os dois instrumentos intensificam os cortes de água, sendo que o econômico corta bem mais, o que leva a aumentos de PIB. No entanto, em Serviços, ao contrário do que ocorre no A&E, os maiores aumentos do PIB ocorrem sob o instrumento econômico. Assim, pode-se deduzir que os maiores aumentos do PIB sob o critério econômico se devem aos Serviços da região úmida, que não o A&E, como por exemplo produção florestal, pecuária e fabricação de produtos do pescado.

Isso também havia ocorrido na região seca. Em resumo, o instrumento econômico, em relação ao hidrológico, não resulta em impacto positivo na produção do setor A&E, nem na região seca nem na região úmida (ver Tabela 13). Seja diante do alívio nos cortes de água na região seca ou a intensificação deles nesse mesmo setor (A&E) na região úmida, os impactos positivos do critério econômico no PIB nas duas regiões, são sempre em menor intensidade do que os obtidos sob o critério hidrológico no setor de A&E. No entanto, quando se considera o setor de Serviços como um todo, o instrumento econômico tem impacto positivo no PIB do setor agregado em todas as duas regiões, seja reduzindo perdas ou elevando ganhos, como pode ser observado pelos ganhos de eficiência já comentados anteriormente e exibidos na Tabela 9. Pode-se deduzir daí que o impacto positivo no PIB do instrumento econômico, em relação ao hidrológico, se dá

principalmente devido às reduções de perdas (região seca, através de alívio nos cortes) ou aumentos (região úmida, através da intensificação dos cortes) na produção dos demais setores, que não o A&E, como pecuária, produção florestal e comércio atacadista.

Outros importantes setores, que usam quantidades significativas de água bruta somente na região úmida são os setores de fabricação e refino de açúcar e o de fabricação de etanol. Sob o critério hidrológico, estes setores sofreram pequenas reduções, semelhantes entre si proporcionalmente, (de 1,0% e 1,1% respectivamente) nas alocações de água, o que fez com que passassem a ter, após o choque, diante das novas quantidades alocadas, usos proporcionalmente maiores na região úmida (de 28,4% para 31,2 % e de 7,5% para 8,2%) – Figura 14. Com a redução na alocação de água para esses setores, o rearranjo dos fatores de produção foi muito semelhante, com redução do composto capital 1-trabalho e aumento no capital 2 (especialmente na produção de álcool, na produção de açúcar esse último fator se manteve praticamente constante). Esse rearranjo dos fatores levou a um ligeiro aumento na produção de ambos os setores, que está de acordo com os ganhos de eficiência discretos observados neles sob este critério em relação ao cenário base (de 12,17 para 12,32 R\$/m<sup>3</sup> no setor de fabricação e refino de açúcar e de 7,84 para 7,92 R\$/m<sup>3</sup> no setor de fabricação de álcool) – ver Tabela 15. É interessante lembrar que, na análise do setor agregado indústria na região úmida (ver seção 4.1.3.2), observou-se o mesmo rearranjo de fatores, mas houve queda na produção. Isto nos faz concluir que a queda na produção ocorreu nos outros setores da indústria da região úmida e não nestes dois setores industriais (açúcar e álcool).

O que se pode concluir com isso é que os cortes induzidos pelo critério hidrológico nesses setores (Grupo 2) induzem a investimentos em melhoria de eficiência no uso da água (capital 2) nos seus processos produtivos, mas não há aumentos de investimentos em infraestrutura e equipamentos nem na produtividade do trabalho (capital1 – trabalho). Isto mantém proporções de uso da água majoritárias nesses dois setores industriais, que conseguem manter seus níveis de produção, mas penalizam os outros setores da indústria na região úmida.

Sob o instrumento econômico, intensificaram-se os cortes de água aos dois setores, em relação ao hidrológico (Figura 13): (-7,8% na fabricação e refino de açúcar e -7,3% na fabricação de etanol). Mesmo assim, proporcionalmente, o uso da água na fabricação e refino de açúcar e de etanol cresceram ligeiramente sob o critério econômico, em relação ao cenário base, mas caíram em relação ao critério hidrológico. (28,4% (cenário base),

31,2% (cenário 1) e 28,6% (cenário 2) para a fabricação de açúcar - ver Figura 14) (7,5% (cenário base), 8,2% (cenário 1) e 7,6% (cenário 2) para a fabricação de etanol - ver Figura 14). Com relação aos fatores de produção, observa-se que o critério econômico, em relação ao hidrológico (Tabela 14), em ambos os setores intensifica os cortes de água, aumentam o composto capital1-trabalho, que nestes setores (árvore do Grupo 2) funcionam como substitutos do capital2-água, mas reduz o capital 2, este que funciona como substituto direto da água e tem a ver com melhorias nas tecnologias de uso da água. Isso leva a impactos negativos (maiores perdas) sobre o PIB desses setores do critério econômico em relação ao hidrológico (Tabela 13), ainda assim, sob este critério observam-se ganhos de eficiência maiores do que aqueles obtidos sob o critério hidrológico, de 13,43 R\$/m<sup>3</sup> para o setor de fabricação e refino de açúcar e de 8,53 R\$/m<sup>3</sup> para o setor de fabricação de álcool – ver Tabela 15.

Isto poderia ser explicado por uma dificuldade desses setores em melhorar a eficiência no uso da água no processo produtivo atual, diante dos acentuados cortes de água o que demandaria maiores investimentos em equipamentos e de melhoria da qualidade na mão-de-obra (capital 1 - trabalho).

Deve-se ressaltar que, quando foram analisadas as diferenças entre o instrumento econômico e hidrológico no setor da indústria como um todo na região úmida (ver seção 4.1.3.2), observou-se o mesmo comportamento qualitativo, ocorrido aqui no setor de fabricação e refino de açúcar e na fabricação de álcool. Com o instrumento econômico, há intensificação nos cortes de água, redução do capital 2 e elevação moderada no composto capital1-trabalho, o que leva a perdas no PIB também da Indústria como um todo na região úmida, da mesma forma que ocorreu nos setores de fabricação de açúcar e de álcool. Ressalta-se que este é um resultado diferente do obtido na Indústria da região seca (ver seção 4.1.3.1), que também sofre cortes nas alocações hídricas sob ambos os critérios, mas em nenhum dos dois reduz PIB, e sim aumenta, sendo os ganhos associados ao critério econômico maiores, mesmo diante de maiores cortes de alocação de água. Os resultados sugerem : i) que a indústria da região seca é mais resiliente à escassez e consegue elevar PIB de forma mais acentuada sob incentivo a econômicos; ii) o comportamento da indústria na região úmida sob o instrumento econômico é semelhante ao comportamento dos setores de fabricação de açúcar e álcool. Isto é esperado dado que esses setores têm uma grande representatividade na indústria da região úmida – ver Tabela 5.

## 5. CONCLUSÕES, CONSIDERAÇÕES E RECOMENDAÇÕES FINAIS

Esta tese integra o projeto CAPES/ANA – Pró-Recursos Hídricos nº16/2017 que tem como área de estudo as bacias dos rios Capibaribe, Ipojuca, Una e Sirinhaém em Pernambuco e o projeto CNPq – Apoio à Formação de Doutores em Áreas Estratégicas nº01/2019. Diversas modelagens integradas de apoio à gestão de recursos hídricos têm sido desenvolvidas no âmbito do projeto, atendendo a uma necessidade já observada em (Bekchanov *et al.*, 2017). Até o momento tinham sido desenvolvidas duas modelagens integradas de modelos de otimização baseado em redes com modelos *economywide* dentro da Plataforma de integração HEAL *System*. A primeira fez a integração com um Modelo de Insumo-Produto (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021) e a segunda com um MEGC que considerava a área de estudo como uma região única (Souza, 2022).

A modelagem aqui proposta é, portanto, a terceira integração do projeto, e representa avanços importantes: i) a inclusão da água bruta em um MEGC através de uma ligação setor a setor com o modelo em redes e a MIP; ii) a utilização de um MEGC com quatro regiões distintas, Resto do Brasil, Resto de Pernambuco, dividindo a área de estudo em Região Seca e Região Úmida. Esta divisão surgiu em decorrência dos resultados encontrados em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021) e da possibilidade de se realizar uma análise mais específica dessas duas regiões bem definidas que foram encontradas no referido trabalho; iii) o uso de modelagens (árvores) distintas para os setores de acordo com os fatores de produção que eles utilizam, i.e. Grupo 1, utilizam apenas capital 1 e trabalho, Grupo 2, utilizam também capital 2 e água bruta, e Grupo 3 utilizam também terra irrigável e terra de sequeiro. Além disso, no MEGC, desenvolvido nessa tese, a agregação dos setores, 76 por região, e também os componentes da agricultura, indústria e serviços foram feitos da mesma forma que em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021). Desta forma será possível a comparação com resultados anteriores. Vale destacar a importância de se utilizar MEGC por permitir que seja encontrada uma realocação ótima do ponto de vista econômico, simulando um instrumento econômico em que os próprios agentes buscam reduzir seus usos da água e substituem fatores de produção para enfrentar a escassez. Ademais premissas mais realistas do comportamento dos agentes podem ser observadas, quando comparadas com os pressupostos da MIP. (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021).

De maneira geral, os resultados encontrados mostraram impactos socioeconômicos menores do que os obtidos em (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021), o que era esperado porque o Modelo de Insumo-Produto não responde a preços e não permite a substituição entre os fatores de produção, limitações que são supridas pelo MEGC e assim trazem novas contribuições dentro do âmbito do projeto. A substitutibilidade entre os fatores tende a atenuar os impactos decorrentes do choque realizado, neste caso uma redução de 9,4% no atendimento das demandas da área de estudo, diante da escassez. No cenário 1, simulando a ação de um instrumento regulatório, as mesmas reduções específicas, setor a setor, obtidas no modelo de otimização baseado em redes foram variáveis exógenas ao MEGC, e no cenário 2 (instrumento econômico) se deu liberdade aos agentes/ setores para usar a água com disponibilidade total reduzida, de forma a maximizar seu lucro e chegar ao equilíbrio ou determinar o ótimo econômico.

É importante ressaltar que os resultados encontrados são sensíveis ao grau de substitutibilidade da água por outros fatores, ou seja, pelos parâmetros utilizados (Berrittella, Rehdanz e Tol, 2006). O ideal é que análises de sensibilidade sejam realizadas nos mesmos de forma a testar a robustez do modelo antes de usar seus resultados como recomendação de política pública.

O choque simulado no MEGC foi uma redução global no atendimento das demandas, para maximizar volumes de reservatórios da área de estudo entre 2011 e 2013 (Alcoforado de Moraes *et al.*, 2021), um período de escassez. Seguindo o critério hidrológico tais cortes representaram uma redução de -9,4% nos atendimentos por ano, em relação ao total usado em 2011 (um ano úmido em que as demandas foram praticamente todas satisfeitas).

No primeiro cenário, foram feitos choques específicos, setor a setor, de forma que a nova alocação foi definida de forma exógena ao MEGC, pelo modelo baseado em redes usando um critério hidrológico, integrado ao MEGC. Assim, pode-se considerar que os valores de uso por setor e região nesse cenário representam valores alocados pela regulamentação, compatível com instrumentos de comando e controle. Já no segundo cenário foi usada a mesma redução de atendimento global do cenário 1 feita para atender a maximização de volume nos reservatórios no período de escassez na área de estudo, pelo modelo de otimização, mas agora cada setor / região usaria essa disponibilidade hídrica total limitada de forma a maximizar o seu lucro e assim a alocação de cada um foi definida endogenamente pelo MEGC – este cenário simula a ação de um instrumento econômico.

A análise da área de estudo, no cenário base (sem escassez), mostrou que a indústria (38,8%) e os serviços (33,1%) eram os setores que mais usavam água, seguidos pela Agricultura (28,1%). A água da área de estudo é majoritariamente usada na região úmida (78,2%), usando a região seca apenas 21,8% do total do recurso. O setor industrial, maior usuário de água da área de estudo, usa praticamente toda a sua água na região úmida (99%). Já a água de serviços é mais bem distribuída, tendo seu maior uso na região seca (55%). Na agricultura também a maior parte do uso da água se dá na região úmida (89%). (Tabela 3)

Diante da escassez, sob ambos os instrumentos, observa-se inicialmente que a maior proporção de uso da água na região úmida se mantém e até aumenta marginalmente. No entanto, a realocação econômica favorece a região seca, pois uma proporção da água alocada para a região úmida pela regulação, diante do instrumento econômico, é transferida para a região seca. (Tabela 4)

Em ambos os cenários, ou seja, sob a ação de ambos os instrumentos, diante da escassez, há transferências proporcionais de uso da água da Agricultura e Serviços para a Indústria da área de estudo, sendo que a realocação econômica transfere proporcionalmente menos da agricultura e serviços e portanto aumenta menos também a proporção do uso da água indústria, em relação à regulação.

Em termos de setor/ região, a realocação econômica transfere proporcionalmente água de Serviços (mais significativamente) e da Indústria, da região úmida para a seca, e água da Agricultura da região seca para a úmida, em relação à regulação. (tabela 3)

É importante lembrar que essa realocação, induzida pelo critério econômico, não incorpora as condições físicas e de infraestrutura que são necessárias para uma real redistribuição, o que significa que a viabilidade da distribuição incentivada pelo instrumento econômico não é considerada aqui. (Não há um retorno dos resultados do MEGC para o modelo baseado em redes).

O ganho de eficiência agregado na área de estudo – medido através do indicador *Water Use Efficiency* (WUE) da FAO (2018) – foi praticamente o mesmo em ambos os instrumentos, e cerca de 10% maior do que o observado no cenário base (Tabela 9). No entanto, olhando de forma mais detalhada percebe-se que ,a realocação econômica, ao induzir maiores reduções hídricas do que a regulação no setor de serviços da região úmida, na agricultura da região seca e na indústria em ambas as regiões, leva a níveis de

eficiência superiores aos obtidos através da regulação em todos estes setores/ regiões, com exceção da indústria na Região Seca (Tabela 9). Tal resultado indica que, sob incentivos adequados e bem desenhados, há espaço para ganhos de eficiência em todos esses setores/ regiões da área de estudo, a menos da indústria da região seca, que devia já ter um comportamento eficiente, sob regulação, pela sua própria natureza e piorou sua eficiência diante do aprofundamento dos cortes hídricos diante do instrumento econômico.

Com relação ao PIB da área de estudo, no cenário base, ou seja, sem escassez, foi visto que o mesmo se concentrava na região úmida (78,1%), e no setor de Serviços (80,6%), seguido pela Indústria (18,2%) e pela Agricultura (1,2%). Em cada região, seca e úmida em diferentes proporções, os setores seguem também essa importância em termos de produção (Serviços, Indústria e Agricultura) – Tabela 5.

Os cortes hídricos, dados pela regulação, diante da escassez causaram perdas no PIB em toda a área de estudo e principalmente na região seca. Em todas as regiões, o setor com as maiores perdas no PIB foi a agricultura, mas neste setor, as maiores perdas ficaram na região úmida. A realocação econômica, em relação à regulação, gerou um impacto positivo (menor redução) no PIB das duas regiões: seca e úmida, ao transferir proporcionalmente água da região úmida para a seca.

Conforme já mencionado, a realocação econômica, em relação à regulação, transferiu proporcionalmente água de Serviços, principalmente, e da Indústria da região úmida para a região seca, e a água da Agricultura da região seca (proporcionalmente) foi transferida para a úmida.

A análise dos impactos no PIB, na região seca, mostrou que os efeitos dessa realocação econômica das águas reduziram as perdas do PIB de Serviços e aumentaram os ganhos da Indústria, que já tinha tido um leve crescimento diante da regulação. Apenas a agricultura, teve perdas aumentadas do PIB com a realocação.

O instrumento econômico não dá incentivos à agricultura da região seca, que é mais dependente de água, e tem menos infraestrutura para irrigar já instalada. Assim, a realocação econômica induz os agentes não só a usar menos água, como também leva a diminuição de áreas irrigáveis neste setor e região. Isso pode estar ocorrendo em virtude de a agricultura na região seca ser majoritariamente de subsistência, em que pequenas

extensões de terra são cultivadas, e que são cultivadas sob condições com menos estrutura, diferente das lavouras com foco comercial, normalmente irrigadas.

Deve-se ressaltar que, mesmo havendo uma transferência proporcional de águas da Indústria da região úmida para a seca, sob a realocação econômica, há cortes hídricos significativos na indústria da região seca. O que muda a divisão proporcional são os cortes hídricos muito maiores na indústria da região úmida. É importante notar que na região seca, a indústria mesmo sofrendo cortes nas alocações hídricas significativas ao contrário do que ocorre na região úmida, não reduz proporção de PIB. Na verdade, há aumentos no PIB mesmo que em proporções pequenas. Isto mostra que a indústria da região seca, além de menos intensiva e mais eficiente é também resiliente à escassez e responde bem ao incentivo de instrumentos econômicos.

Com relação aos serviços da região seca, a realocação econômica, ao transferir proporcionalmente água de Serviços da região úmida para a seca, alivia os cortes hídricos em serviços desta região, em relação à regulação. Sendo o setor pouco intensivo em água, resulta em impactos positivos no PIB da região.

Na região úmida, os efeitos da realocação econômica sobre o PIB foram diferentes dos ocorridos na região seca. A alocação econômica, que transferiu proporcionalmente água da agricultura da região seca para a úmida, resultou em impactos positivos significativos no PIB da Agricultura desta região, em relação à regulação. Já o setor de serviços, mesmo transferindo água para a região seca, sob o instrumento econômico, resultou também em impactos positivos. Já os impactos sobre o PIB da Indústria, que sofreu cortes hídricos bem maiores e transferiu proporcionalmente água para a indústria da região seca, mesmo que de maneira discreta, foram negativos.

Na agricultura da região úmida, a realocação econômica aliviou os cortes hídricos no setor/ região, induziu maiores investimentos em melhorias de eficiência no uso da água (capital 2) e maior uso de terra irrigável e de sequeiro, o que levou a ganhos no PIB do setor/ região ao invés de perdas (sob a regulação). Outro setor, em que a realocação econômica levou a impactos positivos na região úmida, foi o setor de serviços. Neste setor/ região os cortes dados pela realocação econômica foram significativamente ampliados em relação a regulação. Mesmo assim, houve elevação, mesmo que discreta, do PIB. É interessante notar que a realocação econômica levou a impactos positivos em Serviços tanto na região seca, como na região úmida. No entanto, a realocação econômica

transferiu proporcionalmente água de serviços da região úmida para a seca. Isso resultou em impactos positivos sobre o PIB, em ambas as regiões: na região seca reduzindo as perdas no PIB e na região úmida aumentando-o.

Finalmente, os efeitos da realocação econômica sobre a indústria da Região Úmida - que transferiu proporcionalmente água para a indústria da região seca e levou a reduções hídricas maiores do que as dadas sob regulação - levaram a perdas mais acentuadas no PIB deste setor/região, resultado oposto ao obtido com a realocação econômica na indústria da Região Seca.

Com relação aos principais setores econômicos usuários de água (93% do total) ressaltam-se alguns resultados importantes. A realocação econômica afeta, de forma diferente, o cultivo de cana na região seca e úmida, e por conseguinte, o setor de Agricultura como um todo. Na região seca, a realocação econômica induziu o uso de mais água para a cana, mas reduziram-se áreas irrigadas e investimentos em tecnologias de eficiência na irrigação. Na região úmida a realocação econômica induziu ao uso de menos para a cana, e mais água para a Agricultura. De forma geral, podemos dizer que, a realocação econômica, induziu ao uso de menos água para a cana da região úmida e para as outras culturas da região seca e mais água para outras culturas da região úmida e para a cana da região seca, em relação à regulação. Isto fez com que não só na região úmida, mas considerando a área de estudo como um todo, a realocação econômica tenha levado a ganhos de PIB, mesmo com perdas de produção na cana.

Tais resultados indicam que enquanto na região úmida, diante da escassez e do mix de cultivos atual há opções mais resilientes de culturas na região úmida, na Região Seca isto não ocorre. Provavelmente em virtude de as demais culturas agrícolas da região seca serem voltadas para a subsistência, caracterizadas pela baixa eficiência há uma decisão em manter a cana, mesmo sem maiores investimentos nela.

Outro grande usuário de água bruta analisado nas duas regiões foi o setor de A&E, enquadrado no setor agregado de Serviços. A realocação econômica, em relação à regulação, não resultou em impacto positivo na produção do setor A&E, nem na região seca nem na região úmida (ver Tabela 13). Seja diante do uso de mais água no setor induzido na região seca ou a diminuição do recurso nesse mesmo setor (A&E) na região úmida, os impactos positivos da realocação econômica no PIB nas duas regiões, são sempre em menor intensidade do que os obtidos sob a regulação no setor de A&E. No

entanto, quando se considera o setor de Serviços como um todo, a realocação econômica resulta em impactos positivos no PIB desse setor agregado (Serviços) em todas as duas regiões (houve transferência proporcional do setor da região úmida para a seca), seja reduzindo perdas ou elevando ganhos no PIB. Pode-se deduzir daí que o impacto positivo no PIB da realocação econômica, em relação a regulação, se dá principalmente devido às reduções de perdas (região seca) ou aumentos (região úmida) na produção dos demais setores, que não o A&E, como pecuária, setores industriais urbanos e comércio atacadista. Esse é um importante resultado, pois deve ser lembrado que o setor A&E, ao produzir água tratada e distribuí-la a outros setores urbanos, tem impactos socioeconômicos que vão além dos seus próprios resultados.

Finalmente dentre os setores, que usam quantidades significativas de água bruta, estão os setores de fabricação e refino de açúcar e o de fabricação de etanol, que aparecem apenas na região úmida. A realocação econômica induz a um menor uso de água dos dois setores, em relação a regulação. Ademais, induz ao aumento do composto capital1-trabalho, que nestes setores funcionam como substitutos do capital2-água, mas leva a redução do capital 2, este que funciona como substituto direto da água e tem a ver com melhorias nas tecnologias de uso da água. Isso leva a impactos negativos (maiores perdas) sobre o PIB desses setores provocados pela realocação econômica, quando comparado à regulação. Isto atesta uma dificuldade desses dois setores em melhorar a eficiência no uso da água no processo produtivo atual. Ainda assim, com a realocação econômica observam-se ganhos de eficiência maiores do que aqueles obtidos sob a regulação.

Outro ponto a se ressaltar é que o uso da água por esses setores (93% de água dos dois (FAlcool e FEtanol) em relação ao setor industrial da área de estudo), que é majoritário no setor industrial da área de estudo, mesmo diante dos cortes impostos diante da escassez tem suas proporções aumentadas, salientando que eleva-se menos diante da realocação econômica do que sob a regulação.

Esses resultados são semelhantes ao que ocorre na indústria da região úmida como um todo, atestando a alta representatividade destes setores no setor industrial desta região. Ressalta-se que este é um resultado diferente do obtido na Indústria da região seca, que mesmo diante de cortes hídricos se mostrou mais resiliente e conseguiu elevar o seu PIB, diante da escassez, sendo tais elevações maiores diante da realocação econômica em relação a regulação. Isso é consistente com as transferências proporcionais da água da

indústria da região úmida para a seca, ocorrida na realocação econômica em relação à regulação.

Estas diferenças na ação dos dois instrumentos (econômico e regulatório) trazem assim importantes informações acerca dos setores econômicos em cada região da área de estudo, diante da escassez. Os setores que conseguem reduzir mais seu uso, sob o incentivo do instrumento econômico, mantendo ou melhorando seus níveis de produção, atestam maior capacidade para adaptação e espaço para obterem ganhos de eficiência.

Assim, a realocação econômica resulta em transferências do recurso água, em relação a regulação, que levam a menores perdas socioeconômicas. Isso foi observado, por exemplo, nas transferências proporcionais ocorridas entre o setor industrial e os serviços da região úmida para a seca, enquanto no caso da agricultura as transferências ocorreram no sentido contrário (da região seca para a úmida). Em termos de setor agregado, a realocação econômica, transfere proporcionalmente água do setor industrial principalmente para serviços e em menor proporção para a Agricultura, em relação a regulação.

É interessante registrar que esta modelagem (MEGC), aqui desenvolvida, é calibrada a partir da MIP (2011) da área de estudo, e, portanto, estruturalmente representa a economia da área de estudo no ano em questão (2011). Isso significa que a modelagem atual pode transferir seu recurso água e rearranjar seus fatores de produção entre os setores econômicos existentes e, portanto, novos setores não são considerados. Por exemplo, na agricultura, as culturas na região seca que existiam em 2011 (a maioria de subsistência) é que seriam alternativas a receber água no lugar da cana, cultura muito intensiva em água mas provavelmente mais produtiva do que as alternativas existentes na região em 2011. O modelo não considera a possibilidade de introdução de outros cultivos. Da mesma forma, a realocação econômica penaliza a indústria da região úmida, majoritariamente constituída pela indústria de álcool e açúcar, que então reduz o uso de proporções de água, então transferidas para a indústria e os serviços da região seca. Mesmo assim, as proporções de uso desta indústria na região úmida mantêm-se altas, muito provavelmente por não haver outras opções de uso industrial na economia atual.

Algumas limitações do modelo podem ser objeto de investigação para melhoria da modelagem integrada em trabalhos futuros. Uma nova MIP atualizada para o período pós-seca (2018) pode representar melhor a estrutura da economia atual e ser usada para novas

calibrações do MEGC. Novos setores, mais resilientes, podem ter sido incluídos na economia e levarem a novos resultados. Outra característica do modelo, que pode ser alterada com uma nova MIP é a importância da água como fator de produção. Na configuração atual, o modelo se mostrou pouco sensível ao fator de produção água, inclusive na agricultura, o que ressalta a necessidade de se buscar uma melhor calibração entre os diversos fatores de produção considerados, para que o uso da água seja mais relevante no processo produtivo. Essa primeira limitação é decorrente também da dificuldade de determinar o preço inicial da água bruta, visto que na prática as retiradas são feitas gratuitamente, apenas com custos associados ao bombeamento, dentro desse contexto, qual seria um preço razoável a ser considerado inicialmente, antes do choque? Ao incorporar a análise de sensibilidade ao modelo, será possível utilizar outra potencialidade do MEGC, e identificar preços associados a diferentes instrumentos de gestão de recursos hídricos, em especial a cobrança pelo uso da água bruta. Esta questão será investigada em trabalhos futuros a partir da modelagem proposta nesta tese.

De toda forma, da maneira que a modelagem está desenvolvida e apresentada nessa tese, já pode fornecer resultados, que atestam a maior ou menor capacidade adaptativa de certos setores econômicos, nessa região escassa em água e sujeita a mais intensos e frequentes eventos extremos. Isso é extremamente importante, especialmente diante dos novos investimentos em infraestrutura na região, que aumentarão a disponibilidade hídrica e que devem ser acompanhados por uma gestão de demanda adequada, através de instrumentos de gestão bem desenhados que sinalizem o valor dessa água. Identificar a potencialidade de cada setor econômico e as respostas dos mesmos a diferentes instrumentos de gestão, em especial, os econômicos, deve possibilitar a implementação de uma gestão de demanda que induza ao desenvolvimento econômico sustentável.

## REFERÊNCIAS

AGEVAP. **Usos múltiplos e proposta de revisão de metodologia de cobrança pelo uso da água.** [s.l: s.n.].

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G., SOUZA DA SILVA, G. N, PEREIRA DA CUNHA, M., TAVARES JR, I. (2024). Hybrid Economic Models for managing Integrated Water Resources Allocation as a Wicked Water Problem. **Elgar Encyclopedia of Water Policy, Economics and Management.** *Elgar Encyclopedias Publishing*.(in press).

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; TAVARES JÚNIOR, I.; CUNHA, M. P. Integração de Modelos Econômicos para Apoio à Decisão em Políticas de Alocação de Águas. In: Alvez Sobrinho, T. *Regulação e Gestão de Recursos Hídricos no Brasil.* Campo Grande, MS: Oeste, 2023.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G. *et al.* Integration of a Network-Based and an Economy-Wide Water Model to Support Decision Making on Water Resources Planning and Management in Northeastern Brazil. **Frontiers in Water**, v. 3, 5 out. 2021.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G. A. *et al.* Integrated economic models to support decisions on water pricing in biofuel production river basins: three case studies from Brazil. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, 2015.

ALCOFORADO DE MORAES, M. G.; MARQUES, G. F. A Economia da Alocação de Água. Relatório Técnico Final de Consultoria ao Banco Mundial. 2012.

ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; RINGLER, C.; CAI, X. Policies and instruments affecting water use for bioenergy production. **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 5, p. 431–444, 2011.

ALMEIDA, A. DE. **ELASTICIDADES RENDA E PREÇOS: ANÁLISE DO CONSUMO FAMILIAR A PARTIR DOS DADOS DA POF 2008/2009.** São Paulo: [s.n.].

ANA. **CADERNOS DE CAPACITAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS VOLUME 7 COBRANÇA PELO USO DE RECURSOS HÍDRICOS.** [s.l: s.n.].

\_\_\_\_. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014: Relatório síntese.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br>>.

\_\_\_\_. **Atlas Irrigação: Uso da água na agricultura irrigada.** [s.l.: s.n.].

BARBIER, E. B. Water and Economic Growth\*. **THE ECONOMIC RECORD**, v. 80, n. 248, p. 1–16, 2004.

BEKCHANOV, M. *et al.* Systematic Review of Water-Economy Modeling Applications. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 143, n. 8, 2017.

BENN, JOANNA.; BINDRA, SATINDER.; UNEP. **UNEP annual report 2010 a year in review.** [s.l.] United Nations Environment Programme (UNEP), 2011.

BERCK, P.; ROBINSON, S.; GOLDMAN, G. The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies. *Em: The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture.* [s.l.] Springer US, 1991. p. 489–509.

BERRITTELLA, M. *et al.* The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis. **Water Research**, v. 41, n. 8, p. 1799–1813, 2007.

BERRITTELLA, M.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. **The Economic Impact Of Water Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis.** [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/24130211>>.

CAI, X.; MCKINNEY, D. C.; LASDON, L. S. Integrated hydrologic-agronomic-economic model for river basin management. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 129, n. 1, p. 4–17, 2003.

CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. S. J. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: A computable general equilibrium analysis. **Agricultural Economics**, v. 42, n. 3, p. 305–323, maio 2011.

CEARÁ. **Decreto nº 30.629**, 2011.

COPPETEC. **Cobrança pela diluição de efluentes na bacia do rio Paraíba do Sul: Relatório final.** Rio de Janeiro: [s.n.].

COSTA, A.; ALMEIDA, L. Aplicação dos recursos da cobrança pela entidade delegatária: o caso da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 15, n. 1, p. 1–1, 20 jul. 2018.

CROMPTON, RICHARD.; NUTTALL, NICK.; UNEP. **UNEP annual report 2011 [1972 - 2012 ; serving people and the planet]**. [s.l.] United Nations Environment Programme (UNEP), 2012.

DEMAJOROVIC, J.; CARUSO, C.; JACOBI, P. R. The impact of the water charging on the industrial users' behavior in Paraíba, Capivari and Jundiaí river basin. **Revista de Administracao Publica**, v. 49, n. 5, p. 1193–1214, 1 set. 2015.

DIXON, P. B.; RIMMER, M. T.; WITTEWER, G. Saving the Southern Murray-Darling Basin: The Economic Effects of a Buyback of Irrigation Water. **Economic Record**, v. 87, n. 276, p. 153–168, mar. 2011.

FAO. Progress on Water-Use Efficiency – Global Baseline for SDG 6 Indicator 6.4.1. Rome: FAO, 2018.

FÉRES, J. *et al.* **TEXTO PARA DISCUSSÃO N° 1084 DEMANDA POR ÁGUA E CUSTO DE CONTROLE DA POLUIÇÃO HÍDRICA NAS INDÚSTRIAS DA BACIA DO RIO PARAÍBA DO SUL**. [s.l.: s.n.].

FERRARINI, A. DOS S. F. *et al.* Water demand prospects for irrigation in the são francisco river: Brazilian public policy. **Water Policy**, v. 22, n. 3, p. 449–467, 1 jun. 2020.

FERREIRA FILHO, J. B. D. S.; HORRIDGE, J. M. **Endogenous land use and supply, and food security in Brazil**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/254400342>>.

FERREIRA FILHO, J. B. DE S. **INTRODUÇÃO AOS MODELOS DE EQUILÍBRIO GERAL COMPUTÁVEL: CONCEITOS, TEORIA E APLICAÇÕES**. [s.l.: s.n.].

GALLAGHER, L. *et al.* Embracing Risk, Uncertainty and Water Allocation Reform When Planning for Green Growth. **Aquatic Procedia**, v. 6, p. 23–29, 2016.

GARCÍA-LEÓN, D.; STANDARDI, G.; STACCIONE, A. An integrated approach for the estimation of agricultural drought costs. **Land Use Policy**, v. 100, 1 jan. 2021.

GEISENHOFF, L. O. **Custos de Produção e Manejo da Irrigação por Gotejamento na Bataticultura**. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2010.

GELAIN, J. G. **Análise do custo-benefício da exportação de água virtual no setor agropecuário brasileiro**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2018.

GÓMEZ, C. M.; TIRADO, D.; REY-MAQUIEIRA, J. Water exchanges versus water works: Insights from a computable general equilibrium model for the Balearic Islands. **Water Resources Research**, v. 40, n. 10, out. 2004.

GRIFFIN, R. C. **Water Resource Economics: The Analysis of Scarcity, Policies, and Projects**. [s.l.] The MIT Press, 2006.

GRIFFITH, M. Water Resources Modeling: A Review. *Em*: WITTWER, G. (Ed.). . **Economic Modeling of Water**. [s.l.] Springer, 2012. v. Volume 3.

GUILHOTO, J. J. M.; AZZONI, C. R.; ICHIHARA, S. M.; KADOTA, D. K.; HADDAD, E. A. Matriz de Insumo-Produto do Nordeste e Estados: Metodologia e Resultados. **SSRN**, 2010.

HAROU, J. J. *et al.* Hydro-economic models: Concepts, design, applications, and future prospects. **Journal of Hydrology**, v. 375, n. 3–4, p. 627–643, 2009.

HERTEL, T. W.; LIU, J. Implications of water scarcity for economic growth. n. 109, 2016.

HURFORD, A. P.; HUSKOVA, I.; HAROU, J. J. Using many-objective trade-off analysis to help dams promote economic development, protect the poor and enhance ecological health. **Environmental Science and Policy**, v. 38, p. 72–86, 2014.

IBGE. **Contas Nacionais disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/contas-nacionais.html>**.

\_\_\_\_. **Censo Agropecuário 2017: Resultados definitivos**. Rio de Janeiro: [s.n.].

JUANA, J. S.; STRZEPEK, K. M.; KIRSTEN, J. F. Market efficiency and welfare effects of inter-sectoral water allocation in South Africa. **Water Policy**, v. 13, n. 2, p. 220–231, 2011.

LUND, J. R.; CAI, X.; CHARACKLIS, G. W. **Economic Engineering of Environmental and Water Resource Systems**. [s.l.: s.n.].

MACHADO, P. G. **Potenciais de desenvolvimento sustentável e caminhos para opções de economia biobased: uma abordagem integrada sobre o uso da terra**,

**sistemas de energia, economia e emissões de gases de efeito estufa.** Campinas: Unicamp, 2017.

MINAS GERAIS. **Decreto nº47.860**, 2020.

MOLDEN, D. D. **Water for food, water for life : a comprehensive assessment of water management in agriculture.** [s.l.] Earthscan, 2007.

MOTA, L. **O IMPACTO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NA LUCRATIVIDADE E NO CUSTO DOS PRINCIPAIS SETORES USUÁRIOS – INDUSTRIAL, AGROPECUÁRIO E HIDROELÉTRICO.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2004.

OCDE. **OECD Studies on Water Water Resources Allocation Sharing Risks And Opportunities.** Paris: OECD Publishing, 2015.

PARRADO, R. *et al.* Micro-macro feedback links of agricultural water management: Insights from a coupled iterative positive Multi-Attribute Utility Programming and Computable General Equilibrium model in a Mediterranean basin. **Journal of Hydrology**, v. 569, p. 291–309, 1 fev. 2019.

PEREIRA, J. S. **A COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA COMO INSTRUMENTO DE GESTÃO DOS RECURSOS HÍDRICOS: DA EXPERIÊNCIA FRANCESA À PRÁTICA BRASILEIRA.** Porto Alegre: UFRGS, 2002.

PORTOGHESE, I. *et al.* Modeling the impacts of volumetric water pricing in irrigation districts with conjunctive use of surface and groundwater resources. **Agricultural Water Management**, v. 244, 1 fev. 2021.

QUENTAL, S.; BOMBO, I.; YANSEN, K. **Aplicação dos recursos arrecadados pelas cobranças PCJ em PDCs e investimentos** Simpósio Experiências em Gestão dos Recursos Hídricos por Bacia Hidrográfica. **Anais...**Atibaia: Americana: Consórcio PCJ, 2010

ROSEGRANT, M. W. *et al.* **Food Security in a World of Natural Resource Scarcity - APPENDICES.** [s.l: s.n.]. v. 79

ROSEGRANT, M. W.; BINSWANGER, H. P. **Markets in Tradable Water Rights: Potential for Efficiency Gains in Developing Country Water Resource Allocation** Pergamon World Development. [s.l: s.n.].

SANTOS, R. R. S. **Acoplamento de Modelo de Alocação Baseado em Rede à Modelagem Insumo-Produto para Subsidiar a Gestão de Recursos Hídricos: uma proposta metodológica e aplicação em bacias interligadas do agreste pernambucano.** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

SAPINO, F. *et al.* **An ensemble experiment of mathematical programming models to assess socio-economic effects of agricultural water pricing reform in the Piedmont Region, Italy** *Journal of Environmental Management* Academic Press, , 1 ago. 2020.

SOUZA DA SILVA, G. N.; ALCOFORADO DE MORAES, M. M. G.; CANDIDO, L. A.; AMORIM FILHO, C. A. G.; DIAS, N. B. M.; CUNHA, M. P.; FLORENCIO, L. IWRM Incorporating Water Use and Productivity Indicators of Economic Clusters Using a Hydro-Economic SDSS. **Hydrology**, v. 10, n. 72, 2023.

SOUZA DA SILVA, G. N.; GUEDES, M. M.; MORAES, A. DE. Decision Support for the (Inter-)Basin Management of Water Resources Using Integrated Hydro-Economic Modeling. 2021.

SOUZA, H. G. DE. **Avaliação dos Efeitos da Disponibilidade Hídrica no Estado de Pernambuco: uma abordagem usando equilíbrio geral computável.** João Pessoa: Universidade Federal da Paraíba, 2022.

TOURINHO, O. A. F.; ALVES, Y. L. B.; SILVA, N. L. C. Implicações Econômicas da Reforma Tributária: Análise com um Modelo CGE. **RBE**, v. 64, n. 3, p. 307–340, 2010.

VARIAN, H. R. **Microeconomia: Princípios básicos.** 7<sup>a</sup> ed. Rio de Janeiro: Editora Campus Elsevier, 2006.

WATKINS, D. W. *et al.* Bioenergy Development Policy and Practice Must Recognize Potential Hydrologic Impacts: Lessons from the Americas. **Environmental Management**, v. 56, n. 6, p. 1295–1314, 2015.

WITTWER, G.; GRIFFITH, M. The Economic Consequences of Prolonged Drought in the Southern Murray-Darling Basin. *Em*: WITTWER, G. (Ed.). **Economic Modeling of Water: The Australian CGE Experience.** [s.l.] Springer, 2012. .

WORLD BANK GROUP. **High and dry: Climate Change, Water and the Economy.** Washington: [s.n.].

WWAP. **Managing Water under Uncertainty and Risk**. Paris: United Nations Educational, 2012.

YOKOMATSU, M. *et al.* A multi-sector multi-region economic growth model of drought and the value of water: A case study in Pakistan. **International Journal of Disaster Risk Reduction**, v. 43, 1 fev. 2020.

ZAMANI, O. *et al.* The impact of water-pricing policies on water productivity: Evidence of agriculture sector in Iran. **Agricultural Water Management**, v. 245, 28 fev. 2021.

ZHANG, Y. *et al.* Optimal water allocation scheme based on trade-offs between economic and ecological water demands in the Heihe River Basin of Northwest China. **Science of the Total Environment**, v. 703, 10 fev. 2020.

## APÊNDICE A – CÓDIGOS DOS SETORES ECONÔMICOS

Tabela A.1 – Códigos dos setores econômicos por região do MEGC

<b>Setor</b>	<b>Código (Resto BR)</b>	<b>Código (Resto PE)</b>	<b>Código (R. Seca)</b>	<b>Código (R. Úmida)</b>
Cultivo de milho	s1	s77	s153	s229
Cultivo de algodão herbáceo e de outras fibras de lavoura temporária	s2	s78	s154	s230
Cultivo de cana-de-açúcar	s3	s79	s155	s231
Outros da fruticultura	s4	s80	s156	s232
Cultivo de plantas de lavoura não especificadas anteriormente	s5	s81	s157	s233
Pecuária	s6	s82	s158	s234
Produção florestal	s7	s83	s159	s235
Pesca e Aquicultura	s8	s84	s160	s236
Extração de minerais, exceto petróleo e gás natural	s9	s85	s161	s237
Extração de petróleo e gás natural	s10	s86	s162	s238
Abate de animais exceto pescado	s11	s87	s163	s239
Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado	s12	s88	s164	s240
Laticínios e Outros produtos alimentares	s13	s89	s165	s241
Fabricação e refino de açúcar	s14	s90	s166	s242
Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais	s15	s91	s167	s243
Fabricação de alimentos para animais	s16	s92	s168	s244
Beneficiamento de produtos vegetais	s17	s93	s169	s245
Fabricação de bebidas alcoólicas	s18	s94	s170	s246
Fabricação de bebidas não alcoólicas	s19	s95	s171	s247
Fabricação de produtos têxteis	s20	s96	s172	s248
Confecção de artefatos do vestuário e acessórios	s21	s97	s173	s249

Fabricação de calçados e de artefatos de couro	s22	s98	s174	s250
Fabricação de produtos da madeira	s23	s99	s175	s251
Fabricação de celulose, fabricação de papel e artefatos de papel	s24	s100	s176	s252
Impressão e reprodução de gravações	s25	s101	s177	s253
Refino de petróleo e coquerias	s26	s102	s178	s254
Fabricação de álcool	s27	s103	s179	s255
Fabricação de biocombustíveis, exceto álcool	s28	s104	s180	s256
Fabricação de adubos e fertilizantes	s29	s105	s181	s257
Fabricação de produtos petroquímicos básicos	s30	s106	s182	s258
Fabricação de produtos químicos, resinas e elastômeros	s31	s107	s183	s259
Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários	s32	s108	s184	s260
Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e de produtos e preparados químicos diversos	s33	s109	s185	s261
Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal	s34	s110	s186	s262
Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	s35	s111	s187	s263
Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	s36	s112	s188	s264
Fabricação de vidro e de produtos do vidro e outros produtos de minerais não-metálicos	s37	s113	s189	s265
Fabricação de cimento	s38	s114	s190	s266
Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura	s39	s115	s191	s267
Metalurgia de metais não ferrosos	s40	s116	s192	s268

Fundição e Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	s41	s117	s193	s269
Fabricação de produtos eletrônicos, equipamentos de comunicação e equipamentos de informática e periféricos	s42	s118	s194	s270
Fabricação de equip. de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos	s43	s119	s195	s271
Fabricação de eletrodomésticos	s44	s120	s196	s272
Fabricação de outras máquinas e equipamentos elétricos	s45	s121	s197	s273
Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos	s46	s122	s198	s274
Fabricação de automóveis, camionetas, utilitários e caminhões e ônibus	s47	s123	s199	s275
Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores	s48	s124	s200	s276
Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	s49	s125	s201	s277
Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas	s50	s126	s202	s278
Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	s51	s127	s203	s279
Geração de energia elétrica	s52	s128	s204	s280
Transmissão de energia elétrica	s53	s129	s205	s281
Distribuição de energia elétrica	s54	s130	s206	s282
Produção e distribuição de gás natural e outras utilidades	s55	s131	s207	s283
Água e esgoto	s56	s132	s208	s284
Resíduos	s57	s133	s209	s285
Construção	s58	s134	s210	s286

Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas	s59	s135	s211	s287
Comércio atacadista	s60	s136	s212	s288
Comércio varejista	s61	s137	s213	s289
Transporte terrestre	s62	s138	s214	s290
Transporte dutoviário de carga	s63	s139	s215	s291
Transporte aquaviário	s64	s140	s216	s292
Transporte aéreo	s65	s141	s217	s293
Armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e correios	s66	s142	s218	s294
Alojamento	s67	s143	s219	s295
Alimentação	s68	s144	s220	s296
Edição e edição integrada à impressão	s69	s145	s221	s297
Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem, Telecomunicações e Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação	s70	s146	s222	s298
Intermediação financeira, seguros e previdência complementar	s71	s147	s223	s299
Outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares	s72	s148	s224	s300
Atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, Defesa e Outros da administração pública e seguridade social	s73	s149	s225	s301
Educação	s74	s150	s226	s302
Saúde	s75	s151	s227	s303
Atividades artísticas, criativas e de espetáculos	s76	s152	s228	s304
Organizações associativas e outros serviços pessoais				
Serviços domésticos				

**APÊNDICE B – DIVISÃO DOS SETORES POR SETOR AGREGADO –  
MACROSETOR**

<b>Setor Agregado - Macrossetor</b>	<b>Setores</b>
Agricultura	Cultivo de milho
	Cultivo de algodão herbáceo e de outras fibras de lavoura temporária
	Cultivo de cana-de-açúcar
	Outros da fruticultura
	Cultivo de plantas de lavoura não especificadas anteriormente
	Pesca e Aquicultura
Indústria	Extração de minerais, exceto petróleo e gás natural
	Extração de petróleo e gás natural
	Abate de animais exceto pescado
	Fabricação e refino de açúcar
	Fabricação de bebidas alcoólicas
	Fabricação de produtos têxteis
	Confecção de artefatos do vestuário e acessórios
	Fabricação de celulose, fabricação de papel e artefatos de papel
	Refino de petróleo e coquearias
	Fabricação de álcool
	Fabricação de biocombustíveis, exceto álcool
	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico
	Fabricação de vidro e de produtos do vidro e outros produtos de minerais não-metálicos
	Fabricação de outras máquinas e equipamentos elétricos
	Fabricação de tratores e de máquinas e equipamentos mecânicos
	Geração de energia elétrica
Produção e distribuição de gás natural e outras utilidades	
Construção	
Serviços	Pecuária
	Produção florestal

Serviços

---

Preservação do pescado e fabricação de produtos do pescado

---

Laticínios e Outros produtos alimentares

---

Fabricação de óleos e gorduras vegetais e animais

---

Fabricação de alimentos para animais

---

Beneficiamento de produtos vegetais

---

Fabricação de bebidas não-alcoólicas

---

Fabricação de calçados e de artefatos de couro

---

Fabricação de produtos da madeira

---

Impressão e reprodução de gravações

---

Fabricação de adubos e fertilizantes

---

Fabricação de produtos petroquímicos básicos

---

Fabricação de produtos químicos, resinas e elastômeros

---

Fabricação de defensivos agrícolas e desinfestantes domissanitários

---

Fabricação de tintas, vernizes, esmaltes, lacas e de produtos e preparados químicos diversos

---

Fabricação de produtos de limpeza, cosméticos/perfumaria e higiene pessoal

---

Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos

---

Fabricação de cimento

---

Produção de ferro-gusa/ferroligas, siderurgia e tubos de aço sem costura

---

Metalurgia de metais não ferrosos

---

Fundição e Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos

---

Fabricação de produtos eletrônicos, equipamentos de comunicação e equipamentos de informática e periféricos

---

Fabricação de equip. de medida, teste e controle, ópticos e eletromédicos

---

Fabricação de eletrodomésticos

---

Fabricação de automóveis, camionetas, utilitários e caminhões e ônibus

---

Fabricação de peças e acessórios para veículos automotores

---

Serviços

---

Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores

---

Fabricação de móveis e de produtos de indústrias diversas

---

Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos

---

Transmissão de energia elétrica

---

Distribuição de energia elétrica

---

Água e esgoto

---

Resíduos

---

Comércio e reparação de veículos automotores e motocicletas

---

Comércio atacadista

---

Comércio varejista

---

Transporte terrestre

---

Transporte dutoviário de carga

---

Transporte aquaviário

---

Transporte aéreo

---

Armazenamento e atividades auxiliares dos transportes e correios

---

Alojamento

---

Alimentação

---

Edição e edição integrada à impressão

---

Atividades de televisão, rádio, cinema e gravação/edição de som e imagem, Telecomunicações e Desenvolvimento de sistemas e outros serviços de informação

---

Intermediação financeira, seguros e previdência complementar

---

Outras atividades profissionais, científicas e técnicas e atividades administrativas e serviços complementares

---

Atividades de vigilância, segurança, investigação e segurança pública, Defesa e Outros da administração pública e seguridade social

---

Educação

---

Saúde

---

---

Serviços

Atividades artísticas, criativas e de espetáculos;  
Organizações associativas e outros serviços  
pessoais; Serviços domésticos

---

## APÊNDICE C – ELASTICIDADES UTILIZADAS NO MEGC

*Tabela C.1 – Elasticidades de transformação entre mercado doméstico e exportação, de Armington e renda dos produtos por setor*

Setor	Elast. de transf. mercado doméstico e exportação	Elast. Armington	Elast. renda produtos
s1	-0,5	2	0,5
s2	-0,5	2	0,5
s3	-0,5	2	0,5
s4	-0,5	2	0,5
s5	-0,5	2	0,5
s6	-0,5	2	0,5
s7	-0,5	2	0,5
s8	-0,5	2	0,5
s9	-0,2	0,5	0,7
s10	-0,2	0,5	0,7
s11	-0,8	1,2	0,7
s12	-0,8	1,2	0,7
s13	-0,8	1,2	0,7
s14	-0,8	1,2	0,7
s15	-0,8	1,2	0,7
s16	-0,8	1,2	0,7
s17	-0,8	1,2	0,7
s18	-0,8	1,2	0,7
s19	-0,8	1,2	0,7
s20	-1,32	1,5	0,95
s21	-1,32	1,5	0,95
s22	-1,32	1,5	0,95
s23	-1,1	0,5	0,8
s24	-0,9	2	1,3
s25	-0,9	2	1,3
s26	-1,32	0,5	1,2
s27	-1,32	0,5	1,3
s28	-1,32	0,5	1,3
s29	-1,32	0,5	0,9
s30	-1,32	0,5	0,9
s31	-1,32	0,5	0,9
s32	-1,32	0,5	0,9
s33	-1,32	0,5	0,9
s34	-1,32	0,5	0,9
s35	-1,32	0,5	0,9
s36	-1,32	1,2	0,8
s37	-1,32	0,5	1,3
s38	-1,32	0,5	1,3
s39	-0,9	1,2	0,8

s40	-0,9	1,2	0,8
s41	-0,9	1,2	0,8
s42	-1,32	0,5	0,8
s43	-1,32	0,5	0,8
s44	-1,32	0,5	0,8
s45	-1,32	0,5	0,8
s46	-1,32	1,5	2,1
s47	-1,32	1,5	2,1
s48	-1,32	1,5	2,1
s49	-1,32	1,5	2,1
s50	-1,2	0,8	0,85
s51	-1,2	0,8	0,85
s52	-0,5	0,5	0,9
s53	-0,5	0,5	0,9
s54	-0,5	0,5	0,9
s55	-0,5	0,5	0,9
s56	-0,8	0,5	0,9
s57	-0,5	0,5	0,9
s58	-0,5	0,5	1,6
s59	-1,2	0,8	0,85
s60	-0,25	0,75	1,5
s61	-0,5	0,75	1,5
s62	-0,25	0,25	1,6
s63	-0,5	0,25	1,6
s64	-0,25	0,25	1,6
s65	-0,25	0,25	2
s66	-0,25	0,25	1,6
s67	-0,25	0,25	1,6
s68	-0,25	0,25	1,6
s69	-0,25	0,25	1,6
s70	-0,5	0,25	1,6
s71	-0,25	0,25	1,7
s72	-0,25	0,25	1,6
s73	-0,5	0,25	1,6
s74	-0,5	0,5	0,8
s75	-0,5	0,5	0,8
s76	-0,5	0,25	1,6
s77	-2	2	0,5
s78	-0,5	2	0,5
s79	-0,5	2	0,5
s80	-0,5	2	0,5
s81	-2	2	0,5
s82	-0,5	2	0,5
s83	-2	2	0,5
s84	-2	2	0,5

s85	-0,5	0,5	0,7
s86	-0,5	0,5	0,7
s87	-0,8	1,2	0,7
s88	-0,8	1,2	0,7
s89	-0,8	1,2	0,7
s90	-0,8	1,2	0,7
s91	-0,8	1,2	0,7
s92	-0,8	1,2	0,7
s93	-0,8	1,2	0,7
s94	-0,8	1,2	0,7
s95	-0,8	1,2	0,7
s96	-1,32	1,5	0,95
s97	-2	2	0,95
s98	-1,32	1,5	0,95
s99	-1,1	0,5	0,8
s100	-0,9	2	1,3
s101	-0,9	2	1,3
s102	-1,32	0,5	1,2
s103	-1,32	0,5	1,3
s104	-1,32	0,5	1,3
s105	-1,32	0,5	0,9
s106	-1,32	0,5	0,9
s107	-1,32	0,5	0,9
s108	-1,32	0,5	0,9
s109	-1,32	0,5	0,9
s110	-1,32	0,5	0,9
s111	-1,32	0,5	0,9
s112	-1,32	1,2	0,8
s113	-1,32	0,5	1,3
s114	-1,32	0,5	1,3
s115	-0,9	1,2	0,8
s116	-0,9	1,2	0,8
s117	-0,9	1,2	0,8
s118	-1,32	0,5	0,8
s119	-1,32	0,5	0,8
s120	-1,32	0,5	0,8
s121	-1,32	0,5	0,8
s122	-1,32	1,5	2,1
s123	-1,32	1,5	2,1
s124	-1,32	1,5	2,1
s125	-3	1,5	2,1
s126	-1,2	0,8	0,85
s127	-1,2	0,8	0,85
s128	-0,8	0,5	0,9
s129	-0,5	0,5	0,9

s130	-0,8	0,5	0,9
s131	-0,5	0,5	0,9
s132	-0,8	0,5	0,9
s133	-0,8	0,5	0,9
s134	-0,8	0,5	1,6
s135	-1,2	0,8	0,85
s136	-0,5	0,75	1,5
s137	-0,8	0,75	1,5
s138	-0,8	0,25	1,6
s139	-0,8	0,25	1,6
s140	-0,25	0,25	1,6
s141	-0,5	0,25	2
s142	-0,8	0,25	1,6
s143	-0,25	0,25	1,6
s144	-0,8	0,25	1,6
s145	-0,8	0,25	1,6
s146	-0,8	0,25	1,6
s147	-0,5	0,25	1,7
s148	-0,5	0,25	1,6
s149	-0,5	0,25	1,6
s150	-0,5	0,5	0,8
s151	-0,8	0,5	0,8
s152	-0,8	0,25	1,6
s153	-0,5	2	0,5
s154	-2	2	0,5
s155	-0,5	2	0,5
s156	-0,5	2	0,5
s157	-0,5	2	0,5
s158	-0,5	2	0,5
s159	-2	2	0,5
s160	-0,5	2	0,5
s161	-0,8	0,5	0,7
s162	-0,8	0,5	0,7
s163	-0,8	1,2	0,7
s164	-1,5	1,2	0,7
s165	-0,8	1,2	0,7
s166	-0,8	1,2	0,7
s167	-0,8	1,2	0,7
s168	-0,8	1,2	0,7
s169	-0,8	1,2	0,7
s170	-0,8	1,2	0,7
s171	-0,8	1,2	0,7
s172	-1,32	1,5	0,95
s173	-1,32	1,5	0,95
s174	-1,32	1,5	0,95

s175	-1,1	0,5	0,8
s176	-2	2	1,3
s177	-0,9	2	1,3
s178	-0,5	0,5	1,2
s179	-1,32	0,5	1,3
s180	-1,32	0,5	1,3
s181	-1,32	0,5	0,9
s182	-1,32	0,5	0,9
s183	-1,32	0,5	0,9
s184	-1,32	0,5	0,9
s185	-1,32	0,5	0,9
s186	-1,32	0,5	0,9
s187	-1,32	0,5	0,9
s188	-1,32	1,2	0,8
s189	-1,32	0,5	1,3
s190	-1,32	0,5	1,3
s191	-0,9	1,2	0,8
s192	-0,9	1,2	0,8
s193	-0,9	1,2	0,8
s194	-1,32	0,5	0,8
s195	-1,32	0,5	0,8
s196	-1,32	0,5	0,8
s197	-1,32	0,5	0,8
s198	-1,32	1,5	2,1
s199	-1,32	1,5	2,1
s200	-1,32	1,5	2,1
s201	-1,32	1,5	2,1
s202	-1,2	0,8	0,85
s203	-1,2	0,8	0,85
s204	-0,8	0,5	0,9
s205	-0,8	0,5	0,9
s206	-0,8	0,5	0,9
s207	-0,8	0,5	0,9
s208	-0,8	0,5	0,9
s209	-0,8	0,5	0,9
s210	-0,8	0,5	1,6
s211	-1,2	0,8	0,85
s212	-0,8	0,75	1,5
s213	-0,8	0,75	1,5
s214	-0,8	0,25	1,6
s215	-0,8	0,25	1,6
s216	-0,8	0,25	1,6
s217	-0,8	0,25	2
s218	-0,8	0,25	1,6
s219	-0,8	0,25	1,6

s220	-0,8	0,25	1,6
s221	-0,8	0,25	1,6
s222	-0,8	0,25	1,6
s223	-0,8	0,25	1,7
s224	-0,8	0,25	1,6
s225	-0,8	0,25	1,6
s226	-0,8	0,5	0,8
s227	-1,5	0,5	0,8
s228	-0,8	0,25	1,6
s229	-0,5	2	0,5
s230	-2	2	0,5
s231	-0,5	2	0,5
s232	-0,5	2	0,5
s233	-0,8	2	0,5
s234	-0,5	2	0,5
s235	-2	2	0,5
s236	-0,5	2	0,5
s237	-0,2	0,5	0,7
s238	-0,2	0,5	0,7
s239	-0,8	1,2	0,7
s240	-0,8	1,2	0,7
s241	-0,8	1,2	0,7
s242	-0,8	1,2	0,7
s243	-0,8	1,2	0,7
s244	-0,8	1,2	0,7
s245	-0,8	1,2	0,7
s246	-0,8	1,2	0,7
s247	-0,8	1,2	0,7
s248	-1,32	1,5	0,95
s249	-2	2	0,95
s250	-1,32	1,5	0,95
s251	-1,1	0,5	0,8
s252	-2	2	1,3
s253	-0,9	2	1,3
s254	-1,32	0,5	1,2
s255	-1,32	0,5	1,3
s256	-1,32	0,5	1,3
s257	-1,32	0,5	0,9
s258	-1,32	0,5	0,9
s259	-1,32	0,5	0,9
s260	-1,32	0,5	0,9
s261	-1,32	0,5	0,9
s262	-1,32	0,5	0,9
s263	-1,32	0,5	0,9
s264	-1,32	1,2	0,8

s265	-1,32	0,5	1,3
s266	-1,32	0,5	1,3
s267	-0,9	1,2	0,8
s268	-0,9	1,2	0,8
s269	-0,9	1,2	0,8
s270	-1,32	0,5	0,8
s271	-1,32	0,5	0,8
s272	-1,32	0,5	0,8
s273	-1,32	0,5	0,8
s274	-1,32	1,5	2,1
s275	-1,32	1,5	2,1
s276	-1,32	1,5	2,1
s277	-1,32	1,5	2,1
s278	-1,2	0,8	0,85
s279	-1,2	0,8	0,85
s280	-0,5	0,5	0,9
s281	-0,5	0,5	0,9
s282	-0,5	0,5	0,9
s283	-0,5	0,5	0,9
s284	-0,8	0,5	0,9
s285	-0,5	0,5	0,9
s286	-0,5	0,5	1,6
s287	-1,2	0,8	0,85
s288	-0,25	0,75	1,5
s289	-0,5	0,75	1,5
s290	-0,25	0,25	1,6
s291	-0,5	0,25	1,6
s292	-0,25	0,25	1,6
s293	-0,25	0,25	2
s294	-0,25	0,25	1,6
s295	-0,25	0,25	1,6
s296	-0,25	0,25	1,6
s297	-0,5	0,25	1,6
s298	-0,5	0,25	1,6
s299	-0,25	0,25	1,7
s300	-0,25	0,25	1,6
s301	-0,5	0,25	1,6
s302	-0,5	0,5	0,8
s303	-0,5	0,5	0,8
s304	-0,5	0,25	1,6

*Tabela C.2 – Elasticidades de substituição entre capital e trabalho por setor do grupo 2 e do grupo 3*

<b>Setor</b>	<b>Elasticidade de substituição entre K e L – G1 e G2</b>
s1	0,35
s2	0,35
s3	0,35
s4	0,35
s5	0,35
s6	0,35
s7	0,35
s8	0,35
s9	0,3
s10	0,3
s11	0,5
s12	0,5
s13	0,5
s14	0,5
s15	0,5
s16	0,5
s17	0,5
s18	0,5
s19	0,5
s20	0,75
s21	0,75
s22	0,75
s23	0,5
s24	0,5
s25	0,5
s26	0,5
s27	0,4
s28	0,4
s29	0,4
s30	0,4
s31	0,4
s32	0,4
s33	0,4
s34	0,4
s35	0,4
s36	0,5
s37	0,5
s38	0,5
s39	0,5
s40	0,5
s41	0,5

s42	0,65
s43	0,65
s44	0,65
s45	0,65
s46	0,45
s47	0,45
s48	0,45
s49	0,45
s50	0,5
s51	0,5
s52	0,25
s53	0,25
s54	0,25
s55	0,25
s56	0,25
s57	0,25
s58	0,75
s59	0,5
s60	0,75
s61	0,75
s62	0,5
s63	0,5
s64	0,5
s65	0,5
s66	0,5
s67	0,5
s68	0,5
s69	0,5
s70	0,5
s71	0,5
s72	0,5
s73	0,5
s74	0,5
s75	0,5
s76	0,5
s77	0,35
s78	0,35
s79	0,35
s80	0,35
s81	0,35
s82	0,35
s83	0,35
s84	0,35
s85	0,3
s86	0,3

s87	0,5
s88	0,5
s89	0,5
s90	0,5
s91	0,5
s92	0,5
s93	0,5
s94	0,5
s95	0,5
s96	0,75
s97	0,75
s98	0,75
s99	0,5
s100	0,5
s101	0,5
s102	0,5
s103	0,4
s104	0,4
s105	0,4
s106	0,4
s107	0,4
s108	0,4
s109	0,4
s110	0,4
s111	0,4
s112	0,5
s113	0,5
s114	0,5
s115	0,5
s116	0,5
s117	0,5
s118	0,65
s119	0,65
s120	0,65
s121	0,65
s122	0,45
s123	0,45
s124	0,45
s125	0,45
s126	0,5
s127	0,5
s128	0,25
s129	0,25
s130	0,25
s131	0,25

s132	0,25
s133	0,25
s134	0,75
s135	0,5
s136	0,75
s137	0,75
s138	0,5
s139	0,5
s140	0,5
s141	0,5
s142	0,5
s143	0,5
s144	0,5
s145	0,5
s146	0,5
s147	0,5
s148	0,5
s149	0,5
s150	0,5
s151	0,5
s152	0,5
s160	0,35
s161	0,35
s162	0,35
s163	0,35
s164	0,35
s165	0,35
s166	0,35
s167	0,35
s168	0,3
s169	0,3
s170	0,5
s171	0,5
s172	0,5
s173	0,5
s174	0,5
s175	0,5
s176	0,5
s177	0,5
s178	0,5
s179	0,75
s180	0,75
s181	0,75
s182	0,5
s183	0,5

s184	0,5
s185	0,5
s186	0,4
s187	0,4
s188	0,4
s189	0,4
s190	0,4
s191	0,4
s192	0,4
s193	0,4
s194	0,4
s195	0,5
s196	0,5
s197	0,5
s198	0,5
s199	0,5
s200	0,5
s201	0,65
s202	0,65
s203	0,65
s204	0,65
s205	0,45
s206	0,45
s207	0,45
s208	0,45
s209	0,5
s210	0,5
s211	0,25
s212	0,25
s213	0,25
s214	0,25
s215	0,25
s216	0,25
s217	0,75
s218	0,5
s219	0,75
s220	0,75
s221	0,5
s222	0,5
s223	0,5
s224	0,5
s225	0,5
s226	0,5
s227	0,5
s228	0,5

s236	0,5
s237	0,5
s238	0,5
s239	0,5
s240	0,5
s241	0,5
s242	0,5
s243	0,35
s244	0,35
s245	0,35
s246	0,35
s247	0,35
s248	0,35
s249	0,35
s250	0,35
s251	0,3
s252	0,3
s253	0,5
s254	0,5
s255	0,5
s256	0,5
s257	0,5
s258	0,5
s259	0,5
s260	0,5
s261	0,5
s262	0,75
s263	0,75
s264	0,75
s265	0,5
s266	0,5
s267	0,5
s268	0,5
s269	0,4
s270	0,4
s271	0,4
s272	0,4
s273	0,4
s274	0,4
s275	0,4
s276	0,4
s277	0,4
s278	0,5
s279	0,5
s280	0,5

s281	0,5
s282	0,5
s283	0,5
s284	0,65
s285	0,65
s286	0,65
s287	0,65
s288	0,45
s289	0,45
s290	0,45
s291	0,45
s292	0,5
s293	0,5
s294	0,25
s295	0,25
s296	0,25
s297	0,25
s298	0,25
s299	0,25
s300	0,75
s301	0,5
s302	0,75
s303	0,75
s304	0,5

*Tabela C.3 – Elasticidades de substituição entre capital e água para os setores do grupo 2 e do grupo 3*

<b>Setor</b>	<b>Elasticidade de substituição entre K e A – G2 e G3</b>
s153	0,5
s154	0,35
s155	0,35
s156	0,35
s157	0,35
s158	0,35
s159	0,35
s160	0,35
s161	0,3
s163	0,3
s172	0,5
s173	0,5
s189	0,5
s208	0,5
s210	0,5
s212	0,5

s229	0,5
s230	0,5
s231	0,5
s232	0,75
s233	0,75
s234	0,75
s235	0,5
s236	0,5
s237	0,5
s242	0,5
s246	0,4
s248	0,4
s252	0,4
s255	0,4
s264	0,4
s265	0,4
s273	0,4
s274	0,4
s280	0,4
s284	0,5
s286	0,5
s288	0,5
s289	0,5
s290	0,5
s295	0,5
s300	0,65
s304	0,65

*Tabela C.4 – Elasticidades de substituição entre os compostos capital-trabalho e capital-água para os setores do grupo 2*

<b>Setor</b>	<b>Elasticidade de substituição entre KL e KA – G2</b>
s160	0,35
s161	0,35
s163	0,35
s172	0,35
s173	0,35
s189	0,35
s208	0,35
s210	0,35
s212	0,3
s236	0,3
s237	0,5
s242	0,5

s246	0,5
s248	2
s252	0,5
s255	0,5
s264	0,5
s265	0,5
s273	0,5
s274	0,75
s280	0,75
s284	0,75
s286	0,5
s288	0,5
s289	0,5
s290	0,5
s295	0,4
s300	0,4
s304	0,4

*Tabela C.5 – Elasticidades de substituição entre terra irrigável e composto capital-água, entre terra irrigada e terra de sequeiro e entre terra-total, capital e trabalho para setores do grupo 3*

<b>Setor</b>	<b>Elast. Subs. TI e KA – G3</b>	<b>Elast. Subs. TIrr e TS – G3</b>	<b>Elast. Subs. TT, K e L – G3</b>
s153	0,35	0,35	0,35
s154	2	2	2
s155	0,35	0,35	0,35
s156	0,35	0,35	0,35
s157	0,35	0,35	0,35
s158	0,35	0,35	0,35
s159	2	0,8	0,35
s229	0,8	0,35	0,35
s230	2	1,5	0,3
s231	0,3	0,3	0,3
s232	0,8	0,5	0,5
s233	0,5	0,5	0,5
s234	0,5	0,5	0,5
s235	2	2	2