

DEMANDA POR USO DE ÁGUA (CONSUMO) NA AGRICULTURA IRRIGADA NOS ESTADOS DO NORDESTE PARA 2025

Water use demand (consumption) irrigated agriculture in northeast states for 2025

Angel dos Santos Fachinelli Ferrarini

Economista. Doutora em Economia. Professora na Universidade Federal de Rondonópolis (UFR). Av. dos Estudantes 5055, Cidade Universitária, CEP 78736-900, Rondonópolis, Mato Grosso, Brasil. angel.ferrarini@ufr.edu.br

Joaquim Bento de Souza Ferreira Filho

Agrônomo. Doutor em Economia. Professor sênior na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP). Av. Pádua Dias 235, Agronomia, CEP 13418-900, Piracicaba, São Paulo, Brasil. jbsferre@usp.br

Resumo: Este trabalho tem por objetivo estimar como as expansões de área irrigada podem aumentar o uso de água nos estados do Nordeste, com destaque, para a atividade de agricultura. O estudo utiliza um cenário reportado no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) como política de expansão de áreas irrigadas. O modelo computável de equilíbrio geral, TERM-BR, foi utilizado como ferramenta de projeção econômica e de demanda hídrica para 2025. A simulação computável mostra como a expansão da irrigação impactaria positivamente os agregados macroeconômicos: renda, consumo e investimento nas regiões. O resultado da simulação para a demanda hídrica mostrou que o maior impacto poderia ocorrer nos estados de Pernambuco e Alagoas. Contudo, a Bahia apresentaria maior possibilidade de ampliar as áreas irrigadas, uma vez que a região é a mais diversificada em produtos agrícolas irrigados. A simulação mostrou que, além da Bahia, o Maranhão e Piauí também apresentam elevado potencial de áreas para a expansão da atividade agrícola, o que poderia impactar positivamente os agregados macroeconômicos regionais.

Palavras-chave: Previsão; modelo computável de equilíbrio geral; irrigação.

Abstract: This paper aims to show how the expansion of irrigated area could increase the water use in the Northeastern States with emphasis on agriculture. The scenario reported by the National Water Resources Plan (PNRH) was used as a public policy for irrigated areas. The computable general equilibrium model, TERM-BR, was used as a model for economic and water use forecasting to 2025. The simulation results show that irrigation expansion would have a positive impact on macroeconomic aggregates such as income, consumption, and investment. The simulation result for water demand showed the greatest impact on water use could occur in Pernambuco and Alagoas states. However, Bahia could have a greater chance to expand irrigated hectares, this region is the most diversified in irrigated agricultural products. In addition, the simulation results showed that Maranhão and Piauí would have a high potential to expand agricultural activity and could have a positive impact on regional macroeconomic aggregates. **Keywords:** Forecasting, Computable General Equilibrium, Irrigation

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural e finito, imprescindível à vida e dotado de valor econômico. A utilização desse recurso, nas diversas atividades (agropecuária, indústria, serviços) e no consumo humano, é o de promover o desenvolvimento social, cultural e econômico nas regiões. A importância da gestão dos recursos hídricos decorre do fato de a água ser um elemento natural, escasso e essencial à vida, vegetal e animal, o que torna necessário incluir a conservação e o equilíbrio na sua utilização, decorrente da biodiversidade e das relações de dependência entre seres vivos e ambientes naturais.

Seguindo essa essência, desde a década de 30, o Brasil dispõe do código de águas, decreto nº 24.643, de 10 de julho de 1934, um avanço para a época, por abordar a aplicação de penalidades, aproveitamento de águas, navegação, o equilíbrio na utilização dos recursos naturais e demais aspectos importantes para o avanço das discussões. A partir do código das águas, outros decretos reguladores foram sancionados e visam às melhorias das condições sanitárias de rios, bacias, criação dos Comitês de Bacias Hidrográficas, bem como à instituição de nova legislação.¹

O Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), um dos instrumentos que orientam o desafio de melhorar a gestão das águas no Brasil, tem por objetivo estabelecer um pacto nacional para a definição de diretrizes e políticas públicas voltadas para a melhoria da oferta de água, em quantidade e qualidade, gerenciando as demandas para a implementação das políticas setoriais sob a ótica do desenvolvimento sustentável e da inclusão social (MMA, 2006b).

O plano destaca a atividade da agricultura irrigada como a de maior uso e a que mais se expande no país, em áreas (hectares), o que tem exigido, cada vez mais, uma melhora na gestão dos recursos (MMA, 2006a) e a conciliação de seu uso com os demais usuários. Segundo dados do Censo Agropecuário Brasileiro, o Brasil registrou total 4,5 milhões de hectares (ha) em 2006 (IBGE, 2009), e o Censo Agropecuário de 2017 reportou uma área irrigada de pouco mais

de 6.9 milhões ha/ano (IBGE, 2019), ou seja, a expansão da irrigação, entre 2006-2017, continuou a avançar, em média, 215 mil ha/ano.

Embora o avanço nas áreas irrigadas seja importante para a geração de renda e crescimento na produção de alimentos, o impacto sobre os recursos hídricos regionais tem suscitado conflitos em algumas regiões do Brasil. Os relatórios da Comissão Pastoral da Terra (CPT) mostram que, em 2013, foram registrados 93 conflitos pelo uso da água no país (37 estavam na região Nordeste, em 2015). Os conflitos pelo uso da água atingiram o total de 135 no país e 46 no Nordeste (CPT, 2016). No entanto, parte desses conflitos perpassam por motivos que vão desde a ameaça de expropriação, não cumprimento de procedimentos legais, destruição, poluição e impedimento de acesso à água gerado por barragens clandestinas, desvio do curso da água, entre outros, o que torna necessário ampliar a discussão da gestão.

A região Nordeste apresenta cerca de 89% da extensão territorial situada na região semiárida do país e, constantemente, enfrenta problemas de secas e baixo desenvolvimento regional. A região apresenta muitos rios classificados em situação crítica, devido à baixa disponibilidade hídrica e a sazonalidade (ANA, 2015), o que a torna alvo de uma série de estudos regionais para a formulação de políticas públicas. A literatura relacionada à seca e à vulnerabilidade climática no Nordeste é vasta, em especial para a região do semiárido (NELSON; FINAN, 2009; MARTINS; MAGALHÃES, 2015; TEIXEIRA; MACHADO, 2015), foco de inúmeros estudos socioeconômicos e biofísicos. No entanto, as políticas adotadas sugerem a existência de limitações quanto às análises para o longo prazo, sendo que a vulnerabilidade quanto à seca permanece.

Dada a relevância do tema, o presente estudo tem por objetivo estimar expansões das áreas irrigadas e verificar como estas podem aumentar o uso de água nos estados do Nordeste. Nesse sentido, o presente estudo avança, ao abordar o problema através de um modelo CGE (*Computable General Equilibrium*) dinâmico do tipo *bottom-up* para o Brasil e regiões. O artigo contribui para a literatura de duas formas diferentes. Primeiro, os coeficientes de uso de água, por cultura e região, foram adequados à realidade regional do Nordeste. Segundo, a simulação proposta

¹ Em 8 de janeiro de 1997, foi sancionada a Lei nº 9.433, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos e estabeleceu o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (BRASIL, 1997).

neste estudo visa contribuir para o avanço na literatura sobre o impacto das políticas públicas brasileiras com a utilização de simulações computáveis adaptadas a realidade regional.

O artigo está estruturado em 7 seções, sendo esta introdução a primeira. A segunda seção aborda as características da agricultura irrigada no Nordeste. A terceira seção apresenta uma breve descrição sobre modelos CGE. A quarta seção introduz a metodologia TERM-BR e a base de dados. A quinta seção apresenta o cenário para a simulação. A sexta seção apresenta os resultados da simulação. A sétima seção destaca às considerações finais.

2 CARACTERIZAÇÃO DA AGRICULTURA IRRIGADA

A agropecuária depende de dois fatores de produção que são complementares entre si, sendo estes: água e terra, independentemente da tecnologia disponível e da região. O Nordeste, por exemplo, apresenta características biofísicas específicas que, em determinadas regiões, sofre forte restrição hídricas (BUAINAIN; GARCIA, 2015) exigindo planejamento por parte dos agricultores e gestores de recursos hídricos. Nesse ponto, o avanço da irrigação tem suscitado discussões quanto a eficiência e melhorias técnicas nos vários tipos diferentes de sistemas de irrigação, que a depende da fonte de água (superficial, águas subterrâneas e águas residuais recicladas), tamanho do sistema, ineficiência quanto ao método de aplicação pode envolver maiores volumes de água e desperdícios.

Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente (MMA), o volume de retirada, consumo e retorno de água, calculado para 57 culturas, foi de 27,4 bilhões de metros cúbicos (m³/ano), na retirada, e de 20,09 bilhões de m³/ano, no consumo, para irrigar os 4,5 milhões de hectares em 2005 (MMA, 2011). Considera-se que, para uma área agrícola ter a irrigação regulamentada, os agricultores devem solicitar permissões de irrigação à Agência Nacional das Águas (ANA), os chamados direitos de outorga. Segundo a ANA foi computado o total de 8.272 direitos de concessão, entre fevereiro de 2001 e janeiro de 2019, dos quais 6.574 foram para irrigação (ANA, 2019), o que denota o aumento nos direitos de uso e corrobora para o avanço da

irrigação (hectares) reportado pelo Censo Agropecuário de 2017.

Diante do aumento das áreas irrigadas no país, inúmeros são os trabalhos que abordam questões relacionadas à importância de melhorar a eficiência da irrigação e o controle do desperdício no campo (COELHO et al., 2005; MMA, 2006a; SILVA et al. 2011, CHRISTOFIDIS, 2013, e outros), com aspectos que envolvem a dinâmica hídrica e o desenvolvimento sustentável na agricultura irrigada e/ou a utilização de águas com qualidade inferior (LIRA, 2016).

No entanto, nota-se que, ao longo dos anos o Estado Brasileiro vem investindo em polos de irrigação na região do semiárido do Nordeste (BUAINAIN; GARCIA, 2015). Como exemplo, cita-se a fruticultura praticada na Bahia e em Pernambuco, que permitiu o desenvolvimento de polos regionais de produção e exportação. Bahia, Pernambuco e Ceará apresentaram os maiores PIB regionais em 2014, entre os estados do Nordeste, com valores de R\$ 223.930, R\$ 155.143 e R\$ 126.054 milhões de reais, respectivamente. O maior crescimento observado no valor bruto adicionado entre 2010-2014 foi para o Ceará, que, no total, cresceu 13,8% em 2014, o que, comparado a 2010, indica um avanço de 14,3% na agricultura (IBGE, 2016), ou seja, os dados mostram a importância da atividade para a renda regional.

Parte desse avanço ocorre em função da expansão das áreas irrigadas nos estados da região. Nesse sentido, a Tabela 1 apresenta dados das áreas irrigadas (em hectares) para cada estado pertencente à região Nordeste do país, entre os anos de 1995 a 2017.

Nessa tabela, é possível observar a diferença entre os dados do Censo Agropecuário (IBGE, 2009) e de MMA (2011) para o ano de 2006. Os dados estimados por MMA (2011) utilizaram informações de dados de área colhida e irrigada a partir das informações contidas no Censo Agropecuário de 2006. As divergências entre as bases de dados, de área irrigada, foram identificadas pelos autores de MMA (2011) e reportadas ao IBGE, este esclareceu que, para garantir o sigilo dos dados, quando a unidade territorial continha menos de 3 informantes, os valores foram informados no relatório com o caractere X, não havendo, portanto, a possibilidade de totalizar/identificar as informações.

Tabela 1 – Áreas irrigadas (hectares) nos estados da região Nordeste do Brasil

UF	1995/96 (a)	IBGE (2009)		MMA (2011)	ANA (2012) (d)	2017 (e)
		2006 (b)	2006 (c)	2006 (e)		
Alagoas (AL)	156.996	195.764	416.101	222.684	150.382	
Bahia (BA)	209.705	312.668	240.249	467.607	415.128	
Ceará (CE)	108.998	117.381	99.657	133.336	222.478	
Maranhão (MA)	16.521	64.059	42.083	43.681	64.473	
Paraíba (PB)	63.548	58.683	81.027	65.522	105.178	
Pernambuco (PE)	118.400	152.917	253.629	183.912	192.806	
Piauí (PI)	18.254	30.948	22.200	34.225	32.968	
Rio Grande do Norte (RN)	45.778	54.716	55.442	62.165	56.632	
Sergipe (SE)	13.691	20.521	17.320	25.602	29.089	
Total Brasil	3.121.648	4.545.532	4.478.586	5.797.073	6.902.960	

Fonte: Elaborado pelos autores, com base nos dados: a) IBGE (1998); b) IBGE (2009); c) MMA (2011); (d) ANA (2013), (e)IBGE (2019).
 Nota: a Coluna 2006 (b) representa as áreas irrigadas informadas pelo Censo Agropecuário de 2006 (IBGE, 2009) e a coluna 2006 (c) representa as áreas irrigadas informadas no relatório do Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011).

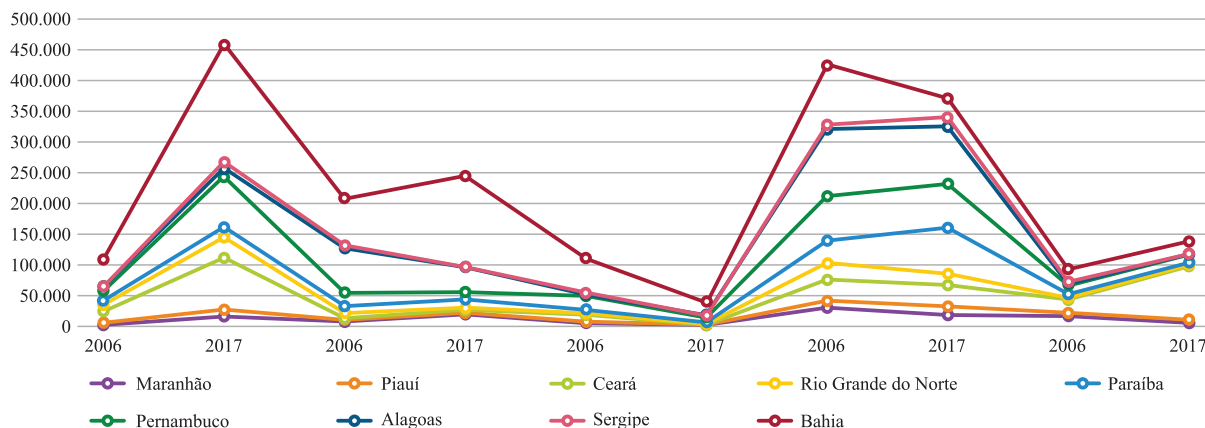
Sendo assim, ao se comparar os dados de área irrigada, disponibilizados pelo Censo Agropecuário de 2006, em IBGE (2009), com os dados do relatório final dos Coeficientes Técnicos de Recursos Hídricos das Atividades Industrial e Agricultura Irrigada, em MMA (2011), constataram-se diferenças nos estados de Alagoas e Pernambuco. Entretanto, mesmo com as diferenças nas bases, é possível observar que a agricultura irrigada avançou no Nordeste, uma vez que, ao longo dos anos, nos municípios de Juazeiro, na Bahia, e Petrolina, em Pernambuco, desenvolveram-se importantes polos da agricultura irrigada, onde são cultivados tomate e frutas, como uva, sementes de frutas, polpas de frutas e outras.

Além disso, segundo Buainain e Garcia (2015), esses polos públicos de irrigação estão sob a responsabilidade do DNOCS (Departamento

Nacional de Obras Contra as Secas) e da Codesvaf (Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba), ocupando cerca de 190,8 mil hectares (63% Codevasf e 37% Dnocs). No entanto, cerca de 161,3 mil hectares estivessem em uso pela agropecuária, em 2013, gerando empregos para mais de 300 mil pessoas. Além destes, outros 140,9 mil estabelecimentos agropecuários do Nordeste informaram que usaram algum sistema de irrigação na produção, o que alcançaria pouco mais de 1 milhão de hectares irrigados em 2006 (IBGE, 2009).

A Figura 1 mostra a evolução das áreas irrigadas, por tipos de sistema de irrigação, entre os Censos Agropecuários de 2006 e 2017. Os sistemas de irrigação classificados como: localizado, microaspersão e outros métodos, descritos no relatório do Censo de 2006, foram somados para permitir tal comparação.

Figura 1 – Evolução de áreas irrigadas por tipo de irrigação, conforme Censo Agropecuário de 2006 e Censo Agropecuário de 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores, base IBGE (2019).

A irrigação por aspersão (autopropelido, convencional, com exceção de pivô central) e o tipo de irrigação por gotejamento são os que mais crescerão no país. A técnica de inundação é comumente utilizada na produção do arroz, sendo esta técnica praticada expressivamente na região Sul. As técnicas de aspersão também são utilizadas no país, com destaque para a produção de feijão, soja, trigo, sorgo, entre outras culturas.

Segundo dados da Embrapa (2013), foram identificados, no Brasil, aproximadamente, 18 mil pivôs centrais ocupando uma área de 1,18 milhão de hectares, o que representou um aumento de 32% em relação ao Censo Agropecuario de 2006. O estudo também destacou a concentração da área ocupada por pivôs centrais no país em quatro regiões principais: Minas Gerais (31%), Goiás (18%), Bahia (16%) e São Paulo (14%) o que totalizou cerca de 350 mil, 300 mil, 100 mil e 90 mil hectares irrigados por pivôs, respectivamente, nessas regiões.

Com o avanço da irrigação, nas diferentes regiões do país, ressalta-se que, diante das diferenças climáticas e dos tipos de solo, as regiões produzem culturas que melhor se adaptam à economia regional, aos hábitos e às técnicas existentes. Nesse sentido, não existe um sistema de irrigação ideal capaz de atender a todas as condições de solo, econômicas e de clima, o que implica na continuidade das pesquisas direcionais e interdisciplinares e nas discussões de políticas públicas capazes de mitigar problemas decorrentes da expansão da irrigação desordenada. Posto isso, na seção a seguir apresenta uma breve descrição dos modelos CGE e mostra como este vem sendo utilizados na previsão de uso de água nas economias mundiais.

3 MODELOS COMPUTÁVEIS DE EQUILÍBRIO GERAL

Os modelos CGE representam uma versão moderna dos modelos Walrasianos de uma economia competitiva com foco no lado real da economia. Com base na teoria neoclássica de equilíbrio geral, os modelos consideram a economia como um completo sistema de componentes independentes (indústrias, famílias, investidores, governo, importadores e exportadores) e são formulados em equações comportamentais e iden-

tidades. Essas equações são derivadas de soluções explícitas de problemas de otimização com restrições assumidas para representar o comportamento típico de um agente (famílias, setor industrial, importador, exportador). Como pode ser visto em detalhes, em Dixon et al (1999), os modelos podem ser aplicados para avaliar as mais diversas políticas públicas existentes.

As simulações podem significar diferentes situações em diferentes contextos. A solução de um problema é sempre feita em um contexto de simulação, os valores de certas variáveis (exógenas) são especificadas e o sistema de equações calcula o valor das demais variáveis (endógenas). Os valores das variáveis exógenas são usualmente fornecidos com dados em percentual e representarão mudanças (aumentos ou reduções) dos seus valores originais (HARRISON; PERSSON, 2006).

A base de dados do modelo consiste em matrizes organizadas em *commodities*, indústrias e regiões. A principal fonte de dados de entrada do modelo são as tabelas do Sistema de Contas Nacionais e as Matrizes de Insumo-Produto do Brasil. Entretanto, outras matrizes são elaboradas de acordo com o interesse do pesquisador. Os modelos tem buscado analisar e propor caminhos para a solução ou amenização dos conflitos no uso dos recursos hídricos que tornem a gestão mais eficiente, sendo estes modelos capazes de capturar questões explícitas de disponibilidade de água e mudanças na demanda (GRIFFITH, 2012).

Entretanto, no Brasil, a aplicação dos modelos CGE ainda é incipiente. Os estudos que utilizam modelos CGE tendem a avaliar e projetar questões que envolvem mudanças tarifárias, bem-estar social, alocação dos recursos hídricos entre setores e que podem estar associados à dinâmica mundial ou regional. Autores como: Berritella et al (2005), Roe et al. (2005), Roson e Sartori (2015), Roson e Damania (2017) e outros têm avançado na literatura, ao longo do tempo, por analisar o fluxo virtual de água, os impactos da liberalização do comércio sobre os recursos hídricos, como a queda na disponibilidade de água pode advir de uma restrição na oferta e como, essa restrição, afetaria a demanda setorial.

Os estudos que analisaram políticas de preço da água e/ou aplicação de tarifas sobre recursos que geram diversos impactos nas cadeias produ-

tivas podem ser vistos, com diferenças de cenário, nos modelos em Letsaolo et al. (2007), He et al (2015), Zhao et al. (2018). A restrição de oferta de água e/ou realocação de água pode ser vista em detalhes nos estudos de Berrittella et al. (2007), Calzadilla et al. (2011a), Roson e Sartori, (2010), Juana et al. (2011). Entre os estudos citados acima, a pesquisa de Calzadilla et al. (2011a) considerou a diferença entre os sistemas de abastecimento de água: precipitação e irrigação, também diferenciou à agricultura de sequeiro e agricultura irrigadas, usando a contribuição proporcional, de cada modalidade de produção, à produção total, o que permitiu ampliar as modelagens que se seguiram.

Os estudos de Calzadilla et al. (2010) e Lennox e Diukanova (2011) focaram a utilização sustentável da água na agricultura. O estudo de Lennox e Diukanova (2011) simulou três diferentes cenários, a saber: diminuição de terra irrigada (10%), aumento da disponibilidade de trabalho e capital (10%) e aumento nos preços da agricultura mundial, os resultados dessas três simulações evidenciaram os impactos negativos no setor, agrícola, que culminam na queda da produção agrícola e aumento dos preços. Nessa mesma linha de discussão, Calzadilla et al. (2010) analisou dois cenários distintos, a saber: um cenário de falta de água e um outro cenário com o uso de água sustentável, os resultados das simulações mostraram a existência de um *trade-off* entre o bem-estar econômico e a sustentabilidade ambiental.

Posto isso, se observa que os modelos CGE, para avaliação do uso da água na agricultura, tem oferecido resultados que os modelos de equilíbrio parciais não são capazes de providenciar, uma vez que há importantes efeitos indiretos associados às simulações de políticas voltadas ao gerenciamento dos recursos hídricos, o que pode ser verificado no estudo de Diao et al (2005), que mostra como a introdução de um mercado de água geraria ganhos econômicos, ao elevar o salário real e os impactos no consumo, diante do comércio internacional.

Na avaliação de uso de água, dois modelos se destacam por abordar, especificamente, mudanças no uso setorial de água decorrente de alterações nas políticas públicas e cenários econômicos, a saber: o modelo GTAP-W e o modelo

TERM-H2O. O modelo GTAP-W é utilizado em avaliações econômicas globais e o impacto das alterações de comércio, entre países, sobre a demanda hídrica, bem como outras propostas de simulações que impliquem em mudanças no uso de água. Trata-se de um modelo multirregional, que apresenta possibilidades de substituição entre irrigação e fatores primários, distingue a agricultura de irrigação da agricultura de sequeiro. Um exemplo dessa aplicabilidade pode ser consultado em Calzadilla et al. (2011b).

O modelo TERM-H2O é uma variação dinâmica do modelo TERM (para a economia australiana) com detalhamento para a agricultura e adaptado para incluir detalhes regionais de água. Esse modelo foi construído para poder representar pequenas regiões e se tornou mais evidente com os debates sobre as recompras de água, que são compras de direitos de água de irrigação pelo governo australiano dos agricultores, sendo este um dos principais modelos de referência por apresentar um maior nível de detalhamento para o uso de água setorial e regional. Sua aplicação pode ser vista nos estudos de Dixon et al. (2009) e Wittwer (2012). Sendo assim, a escolha do modelo irá depender de uma combinação entre a disponibilidade de dados, resultados esperados, modelagem possível e capacidade computacional.

4 METODOLOGIA E BASE DE DADOS

4.1 TERM-BR

O modelo CGE, denominado de TERM -BR, é um modelo interregional de equilíbrio geral formalizado para estudos regionais e para o Brasil. O modelo contemplou 37 setores e 15 regiões, das quais se destacam os estados do Nordeste neste estudo. O modelo TERM-BR requer também uma série de coeficientes estruturais e parâmetros comportamentais para sua implementação. Os coeficientes fornecem informações a respeito da estrutura da economia em questão, enquanto os parâmetros comportamentais informam as respostas dos agentes às mudanças no ambiente econômico (SANTOS, 2006).

O TERM-BR consiste em um modelo regional que trata cada região do país como uma economia separada e a abordagem *bottom-up* permite modelar o comportamento dos agentes no

nível regional, por meio de um sistema independente e interligado entre si. Tem sido desenvolvido, no Brasil, desde 2001, no Departamento de Economia, Administração e Sociologia Rural da ESALQ/USP, e pode ser consultado em detalhes, nos estudos de Santos (2006), Fachinello (2008), Moraes, 2010, Ferrarini (2017).

Ao modelo TERM-BR, pela primeira vez, são incorporadas matrizes e equações para representar o módulo de uso de água, com o objetivo de integrar as projeções para a demanda hídrica futura a novas situações de equilíbrio de mercado, possibilitando visualizar a trajetória das variáveis econômicas. Especificamente, para incorporar o estudo com o uso da água, setorial e regional, foram elaboradas novas equações dentro do modelo TERM-BR, em um módulo específico, que considerou, de maneira distinta, terras de agricultura irrigada e terras de sequeiro, por ganhos de produtividade em terras de irrigação. A matriz de uso foi elaborada em nível regional e contemplou 55 atividades e 110 produtos para os 27 estados brasileiros, e, posteriormente, essa matriz foi ajustada ao modelo TERM-BR.

O crescimento da produção agrícola regional depende do crescimento das áreas (irrigadas, não irrigadas) e da produtividade das culturas em cada área. Existe uma relação direta entre a expansão da área cultivada (irrigada, não irrigada) e o crescimento da produção oriundo dessa expansão e da diferença de produtividade, como segue:

$$K_j = SHR_{ji} \cdot K_{ji} + SHR_{jn} \cdot K_{jn} \quad (1)$$

A equação (1) demonstra a relação entre as parcelas de áreas irrigada (SHR_{ji}) e não irrigada (SHR_{jn}) e a produtividade dessas (K_{ji} e K_{jn}). Ao expandir a área irrigada, a área total também se expande e o uso da água na agricultura regional aumenta proporcionalmente à expansão das áreas irrigadas. Além disso, devido ao diferencial de produtividade, entre as áreas irrigadas e de sequeiro, a oferta de alimentos cresce mais na área irrigada do que na de sequeiro e, com isso, ocorrem impactos nos agregados macroeconômicos.

Após os procedimentos matemáticos necessários, temos a elasticidade da produtividade em relação à área irrigada, ou seja, como a produtividade total varia com as mudanças na variação da parcela irrigada ($shrig$).

$$\frac{\partial k^*}{\partial shrig} = \frac{SHR_{ji}(1-x)}{(1-x)SHR_{ji}+x} \quad (2)$$

A variação da parcela irrigada ($shrig$) é um elemento exógeno no modelo matemático. A simulação de política proposta, implica que essa parcela de área irrigada se altera ao longo do tempo, o que por sua vez determina mudanças na produtividade e, conseqüentemente no uso de água. A agregação regional do modelo TERM-BR pode ser vista no Anexo A.

4.2 Base de dados

Os dados de MMA (2011) foram utilizados para a mensuração do consumo de água na agricultura irrigada, em nível estadual.

A base de dados original é extensa e complexa, sendo necessário a utilização de um sistema computacional específico para a contabilização dos dados municipais em estaduais. O procedimento de transformação dos dados em litros por segundo por hectares, em cada mês irrigado (l.s.ha.mês), para metros cúbicos por ano (m^3 /ano), consistiu em três etapas.

Na primeira etapa, uma matriz que acumulasse os valores (retirada, consumo e retorno de água e hectares), mantendo a formatação original dos dados foi elaborada.

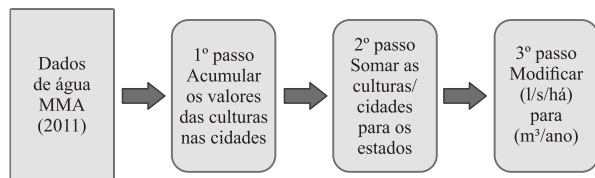
O intuito dessa tabela é eliminar a descrição mensal dos valores, agregando os dados para cada cultura, em cada município. Na segunda etapa, estes novos dados foram somados para obter os dados do estado ainda em (l.s.ha). Na terceira etapa, os valores foram transformados em metros cúbicos por ano (m^3 .ano) e o procedimento foi realizado para todas as cidades e todas as culturas disponíveis na base de dados. O cálculo dos dados de água pode ser visualizado a seguir:

$$CCc = (CTcc * 86.400 * DIcc)/1000 \quad (3)$$

CCc =Volume em m^3 no ano, em determinada cultura e em determinada cidade; $CTcc$ =Consumo total de água da cultura na cidade, em l/s/ha (retirada, consumo, retorno); $DIcc$ = Quantidade de dias que a cultura foi irrigada na cidade. Os valores de retirada, retorno e consumo, foram transformados em metros cúbicos para o total dos hectares estimados em MMA (2011), de forma

a adequar as informações ao modelo CGE. Essas etapas são sintetizadas na Figura 2.

Figura 2 – Diagrama de passos para o cálculo do uso da água na agricultura irrigada, calibrado ao modelo TERM-BR



Fonte: Elaborado pela autora.

A matriz de coeficientes técnicos de MMA (2011) para a agricultura irrigada no país con-

tou com dados para 57 culturas distribuídas por município. Essas culturas foram agregadas em 12 grupos de produtos da agricultura, descritos na Tabela 2. Cada estado apresentou um portfólio diferente de produção irrigada: por exemplo, 43 culturas foram utilizadas na composição do portfólio da agricultura da Bahia; 28 culturas, no estado de Alagoas; 37 culturas, no estado do Ceará; 24, no estado do Maranhão; 35, na Paraíba; 38, em Pernambuco; 29, no Rio Grande Norte; 26, em Sergipe, e 27, no Piauí. Cada cultura utiliza um coeficiente técnico distinto para o uso consultivo de água.² O resultado agregado para os estados do Nordeste pode ser visto na tabela 2.

Tabela 2 – Uso de água na atividade agrícola, em milhões de m³ de água por ano, em 2005,³ para os estados do Nordeste

Culturas\ Estados	MA	PI	CE	RN	PB	SE	PE	AL	BA	Total
Arroz	36,30	55,21	87,41	17,76	15,15	69,58	13,56	13,82	12,72	321,5
Milho	15,20	8,43	76,26	13,08	28,74	12,36	21,03	1,91	36,26	213,3
Trigo e Cereais	0,00	0,01	21,27	4,27	0,01	0,01	21,03	0,00	4,64	51,2
Cana-de-açúcar	27,78	2,20	17,85	104,06	2,20	22,04	553,53	1205,59	90,10	2.025,4
Soja	13,90	0,00	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	82,53	96,8
Outras Culturas	17,41	26,12	223,43	78,45	26,12	41,27	423,33	18,21	460,32	1.314,7
Mandioca	25,68	2,41	3,87	5,28	2,41	10,97	13,29	18,25	19,93	102,1
Fumo	0,00	0,00	0,51	0,37	0,00	0,18	0,02	3,74	0,26	5,1
Algodão	0,00	0,00	0,23	1,53	0,00	0,00	0,03	0,06	60,12	62,0
Frutas Cítricas	0,20	0,31	5,66	0,03	0,31	5,12	2,23	1,68	10,08	25,6
Cafê	0,00	0,00	0,32	0,00	0,00	0,00	0,72	0,00	107,52	108,6
Extração Vegetal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	5,59	5,6
Total	136,48	94,69	437,21	224,84	74,94	161,52	1048,78	1263,25	890,08	4331,80

Elaborado pelos autores

A agregação dos dados fez-se necessária para conciliar com os dados do modelo TERM-BR. Os coeficientes técnicos de uso de água para a cana-de-açúcar, do estudo de MMA (2011), foram comparados com os dados de ANA (2017), e ficaram evidentes as diferenças no coeficiente técnico para a região Nordeste. O estudo relatado pela ANA (2017) mostrou que a cana-de-açúcar possuía a maior área irrigada, com 2.069 milhões de hectares (Mha), em 2015, e a lavoura usa irrigação total, entre 300 a 1.000 mm/ano. Por outro lado, no caso de irrigação com déficit,

o coeficiente técnico é entre 200 e 300 mm/ano. Portanto, o banco de dados de água para cana-de-açúcar foi ajustado para 300 mm/ano, em todas as regiões, com exceção do sul do país, região de melhor pluviosidade e cujos valores eram condizentes com a literatura consultada.

Além desses, a base de dados para a área irrigada foi atualizada de acordo com os dados do Censo Agropecuário de 2017. Além deste, as variáveis macroeconômicas (PIB, consumo das famílias, gastos do governo, volume de exportações, investimento) também foram atualizadas até 2017. A base de dados do modelo CGE utilizada é o ano de 2005 (matriz de contabilidade social), por contemplar a maior extensão de dados, sem prejuízo às análises de áreas irrigadas e variáveis macroeconômicas, que foram ajustadas até 2017.

3 O banco de dados completo é parte integrante do projeto Desenvolvimento de Matriz de Coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil, reportado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA, 2011). O banco de dados original contempla mais de 700 mil dados, sendo o único, até o momento, que fornece, em detalhes mensais, por município, para 57 culturas, o volume de água utilizado na irrigação.

2 Esses dados podem ser solicitados aos autores.

5 CENÁRIO PARA SIMULAÇÃO

Partindo do objetivo de avaliar como as expansões de área irrigada no país podem elevar o uso da água setorial e regional, o cenário descrito no PNRH como Água Para Todos (MMA, 2006b) foi utilizado. As informações do plano foram adaptadas para 2025, com base nas de áreas potencialmente irrigáveis descritas no relatório sobre a Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil e reportado pelo Ministério da Integração Nacional (MI, 2014).⁴

O estudo de MI (2014) fez uma combinação de estrutura física com prioridades para classificar em seis categorias por áreas de interesse público, privado ou de ambos. Com base nessas combinações, a classificação descrita no estudo como sendo a de Máximo Interesse de Intervenção Pública foi utilizada, uma vez que fornece as possibilidades de expansão com possibilidade de alteração de áreas e de interesse de política pública.

Com base na combinação desses dois estudos, foi possível representar a estratégia do PNRH na simulação proposta. No relatório de MI (2014), a área adicional irrigável com interesse de intervenção pública somaria mais de 27Mha (36%) do total de áreas potenciais descritas no relatório. Com base nesse potencial regional, as expansões foram promovidas no total nacional médio anual de 170 mil hectares, até 2025, o que representa menos de 2% do potencial descrito no relatório, abaixo da expansão observada entre os censos. A escolha de 170 mil ha/ano decorre da política descrita no PNRH de corroborar esse montante de expansão anual no Brasil.

O fechamento matemático do modelo consiste na escolha das variáveis exógenas e endógenas, em um sistema de equações, e refletem os principais aspectos das flutuações que estão associados ao horizonte temporal da simulação, ou seja, o período necessário para que as variáveis se ajustem a um novo equilíbrio. Na linha de base do modelo,⁵ o preço das *commodities* cresce anual-

mente 1% mais rápido que o preço das manufaturas e o crescimento da economia brasileira. A simulação para o Produto Interno Bruto (PIB) seguiu as informações contidas no Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), cujo crescimento econômico médio previsto era de 3,5% ao ano para o PIB, essa simulação se iniciou em 2018.

Portanto, as simulações de política contemplam o período de 2018 até 2025, uma vez que a base de dados foi atualizada até o ano de 2017. Na simulação de política, a parcela da área irrigada (*shrig*), por cultura e região, representa os choques percentuais para atingir o cenário de política. Para simplificar a análise, as simulações de política partiram do pressuposto de que o coeficiente técnico no uso da água, por cultura e hectare, se manteve o mesmo nas simulações dos cenários. Qualquer fator⁶ que poderia contribuir para a sua alteração não foi considerado.

6 RESULTADOS

Os resultados são apresentados, primeiramente, para as variáveis macroeconômicas geradas a partir do cenário proposto para todas as regiões do modelo (15 regiões). Posteriormente, os dados de expansão de área irrigada e o impacto no consumo de recursos hídricos são analisados somente para os estados do Nordeste. Posto isso, os resultados macroeconômicos para as regiões do modelo mostram que a expansão de área irrigada impactaria positivamente todas as regiões, especialmente, em relação ao consumo das famílias e a investimentos. Os resultados macroeconômicos para as 15 regiões do modelo TERM-BR são ilustrados na tabela 3.

Os efeitos das políticas nos resultados macroeconômicos ocorrem por ganhos de produtividade da agricultura irrigada, em relação à agricultura de sequeiro. O aumento na produção de *commodities* se reflete no aumento das exportações, na maioria das regiões. O aumento no consumo agregado advém do ganho real na renda gerada na economia por aumento de produtividade das áreas irrigadas.

4 Esse relatório está pautado na portaria nº 115 de 19.06.2015, de modo que os novos projetos públicos de irrigação planejados e implantados com recursos da União deverão estar em conformidade com esse relatório (BRASIL, 2015).

5 A evolução da linha de base do modelo é vista como o comportamento da economia ao considerar determinadas

características sem a adoção de nenhuma política. A adoção de uma política como imposição do pesquisador (expansão de áreas irrigadas) é analisada como desvio em relação à base de dados.

6 Fatores como mudanças climáticas, melhoria técnica etc.

Tabela 3 – Resultados macroeconômicos regionais, projeção para 2025

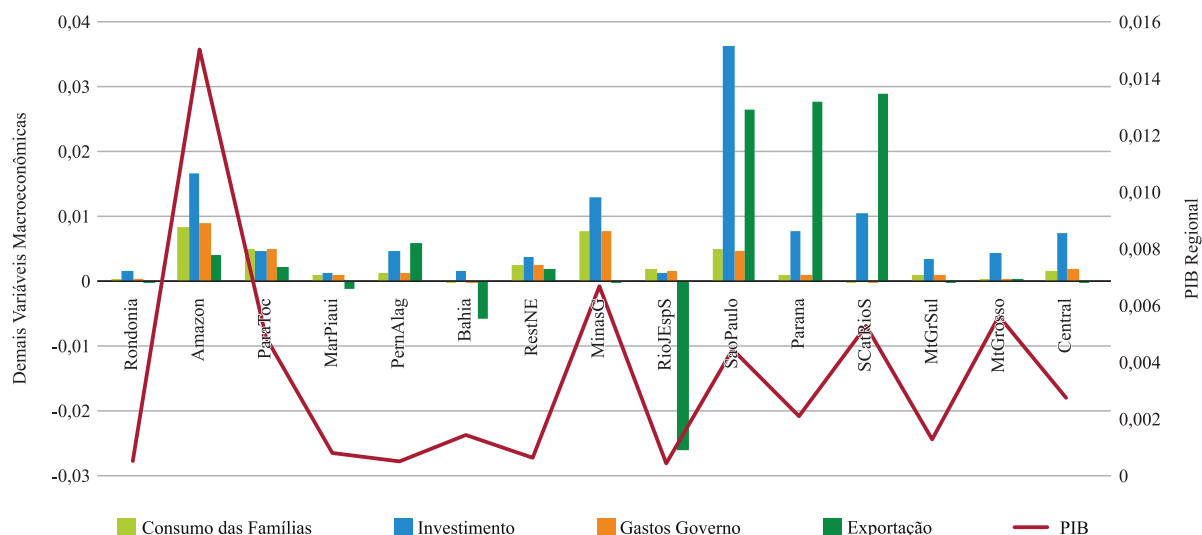
Regiões	Consumo das Famílias	Investimento	Gastos do Governo	Exportação	PIB
	Dados %	Dados %	Dados %	Dados %	Dados %
Rondônia	0.04%	0.16%	0.04%	0.01%	0.06%
Amazon	0.83%	1.67%	0.91%	0.41%	1.51%
ParáToc	0.51%	0.48%	0.49%	0.23%	0.49%
MarPiauí	0.09%	0.13%	0.09%	-0.10%	0.08%
PernAlag	0.12%	0.48%	0.12%	0.58%	0.06%
Bahia	-0.03%	0.15%	-0.02%	-0.56%	0.15%
RestNE	0.26%	0.37%	0.26%	0.19%	0.06%
MinasG	0.77%	1.30%	0.78%	0.00%	0.67%
RioJ/EspS	0.18%	0.14%	0.16%	-2.60%	0.04%
SãoPaulo	0.48%	3.63%	0.46%	2.66%	0.45%
Paraná	0.10%	0.78%	0.10%	2.76%	0.21%
SCatRioS	0.00%	1.06%	-0.01%	2.88%	0.53%
MtGrSul	0.11%	0.35%	0.11%	-0.02%	0.13%
MtGrosso	0.05%	0.45%	0.05%	0.05%	0.57%
Central	0.17%	0.74%	0.18%	0.00%	0.27%

Resultados da simulação.

O impacto positivo nos PIBs regionais é associado à produtividade da agricultura irrigada, que também promoveria a expansão da cadeia produtiva para os setores da indústria alimentícia. Os investimentos se expandem, seguindo o movimento de expansão do PIB e da irrigação, e estes seriam proporcionalmente maiores nas regiões Amazônicas (Amazon), Rondônia e Pernambuco e Alagoas (PernAlag), em relação aos estados de Santa Catarina e Rio Grande do Sul (SCatRios) e Goiás (Central), por exemplo, que são regiões de melhor infraestrutura.

A Figura 3 mostra como os resultados das simulações poderiam impactar nas variações do PIB regional. Impactos positivos no crescimento do PIB, investimento, consumo das famílias são observados como resultado da simulação. A maior contribuição na variação no PIB real regional ocorreria na região do Amazon de +1,51%. Esse efeito percentual seria gerado sobre uma base de áreas irrigadas pequena, e os efeitos reais poderiam não ser satisfatórios. Por outro lado, impactos percentuais menores no PIB regional sobre uma base de dados maiores gerariam maiores impactos, como no caso de São Paulo, Paraná e Santa Catarina.

Figura 3 – Resultado das simulações nas variações macroeconômicas regionais para 2025



Resultados das simulações.

Os resultados das simulações sugerem que as políticas de expansão de áreas irrigadas gerariam impactos positivos para a variação no PIB e inves-

timento em todas as regiões (eixo direito do gráfico), inclusive na região Nordeste. Devido à importância e à participação da agricultura regional no

PIB, a expansão das áreas irrigadas representaria um efeito maior em regiões tradicionais na atividade, como é o caso de Rio Grande do Sul, Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul, mesmo que a mudança, como desvio da política, em percentual, seja menor do que na região Amazônica (Amazon) e nos estados do Pará e do Tocantins (ParáToc), por exemplo. Assim, o impacto econômico para o crescimento regional da produção seria maior em regiões tradicionais na agricultura irrigada.

A região RioEspS (Rio de Janeiro e Espírito Santo) apresentaria o menor impacto nos agregados regionais. Estes dois estados apresentaram baixo percentual de área irrigada, aproximadamente 2% e 4% (39.506 e 168.238 hectares), segundo MMA (2011), e a forte restrição hídrica limitaria as expansões de área irrigada nessa região. Tal resultado sugere que, com a expansão de áreas irrigadas em outras regiões (Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Goiás, Minas Gerais) e o aumento do volume de produção e renda (por

aumento de produtividade), a mobilidade de capital e mão de obra se alteraria nas regiões com menor participação na atividade agrícola para regiões com maior potencial de expansão, o que reduziria a participação do Rio de Janeiro e do Espírito Santo nas exportações totais.

De modo geral, o setor agrícola seria o de maior crescimento no uso da água, seguido pela pecuária. Além desse, o crescimento populacional, nos próximos anos, elevaria o uso de água por parte das famílias, o que, pelos resultados do modelo, seria puxada pelo aumento médio nas variáveis de consumo e renda.

A partir desse ponto, apresenta-se, na tabela 4, um exemplo de como a expansão de áreas irrigadas, para cada estado da região Nordeste, se alteraria diante do cenário proposto e o possível efeito no volume de água, devido à manutenção das condições técnicas pré-existentes. Sendo assim, a expansão das áreas irrigadas para Pernambuco e Alagoas seriam as menores da região Nordeste.

Tabela 4 – Mudança nas áreas irrigadas (em hectares) como resultado da política acumulado para 2025

Culturas	MA	PI	CE	RN	PB	SE	PE	AL	BA	Total NE
Arroz em Casca	6.798	14.669	473	159	161	519	60	39	1.313	24.191
Milho em Grão	2.972	3.102	890	193	489	331	114	7	5.854	13.953
Trigo e Cereais	0	0	0	0	0	0	0	0	22	22
Cana-de-açúcar	6.944	1.044	127	1.332	1.370	813	2.292	3.042	6.499	23.463
Soja	6.102	0	25	0	0	0	0	0	9.670	15.797
Outras Culturas	2.222	6.531	1.668	820	572	680	1.013	52	21.555	35.112
Mandioca	3.188	469	9	31	10	172	25	25	1.249	5.179
Fumo	0	0	4	5	13	12	0	9	73	116
Algodão	0	0	1	15	18	0	0	0	4.389	4.423
Frutas Cítricas	42	98	11	0	1	131	11	6	477	778
Café	0	0	2	0	0	0	1	0	6.562	6.565
Explo. Florestal	0	0	0	0	0	0	5	0	3.468	3.473
Hectares	28.268	25.913	3.211	2.556	2.635	2.658	3.519	3.182	61.131	133.072

Resultados do modelo

Maranhão, Piauí e Bahia seriam os estados de maior expansão na agricultura irrigada na região nordeste. O potencial de expansão máximo nessas regiões, de acordo com MI (2014), seria de 1.944.079, 1.452.423 e 3.501.436 hectares irrigáveis, respectivamente. O resultado da simulação representa 1,45%, 1,78% e 1,74% do potencial de áreas irrigáveis para esses estados, ou seja, se as expansões de área atingissem o potencial descrito em MI (2014), o volume de água no consumo seria maior, em comparação aos apresentados.

A expansão da área irrigada no estado de Alagoas representaria 10,23% do potencial regional

descrito na classificação de Máximo Interesse de Intervenção Pública, cujo total de áreas adicionais seria de 2.043 hectares. Além disso, deve-se destacar que, no estudo de MI (2014) a área irrigada total para o estado de Alagoas seria de 325.321 hectares (irrigado mais irrigáveis), ou seja, especificamente para Alagoas, o resultado da simulação de política levaria a uma área irrigada superior à capacidade potencial para a região. Assim, a expansão de áreas irrigadas nesse estado poderia intensificar os conflitos no uso da água. As políticas de expansão de irrigação futuras devem ser confrontadas com a disponibili-

dade hídrica regional e os cenários de mudanças climáticas.

Nessa simulação, o estado da Bahia seria o de maior expansão das áreas irrigadas, em praticamente todas as culturas, com destaque para o agregado denominado de “Outras Culturas”,⁷ o que, conseqüentemente, elevaria a demanda por recursos hídricos e poderia impactar a disponibilidade hídrica de outras regiões.

Diante da quantidade de culturas existentes no banco de dados e das agregações realizadas

para serem conciliadas com os dados macroeconômicos do sistema de contas nacional do modelo TERM-BR, os resultados descritos na tabela 5 são médios ponderados (de área e volume de água) de uso de água, os resultados estão acumulados para 2025, sendo estes resultado das expansões de área irrigada. O resultado da simulação sugere que a ampliação no uso de água ocorreria nas culturas principais, ou seja, as de maior área irrigada simulada, o que coincide com as culturas do cenário do PNRH elaborado em 2006.

Tabela 5 – Mudança no uso de água em CEN 1 acumulado para 2025, em Milhões de m³

Tipos de culturas	MA	PI	CE	RN	PB	SE	PE	AL	BA	Total
Arroz em Casca	29,39	63,42	2,79	0,94	0,95	3,06	0,40	0,27	25,36	126,57
Milho em Grão	10,01	10,45	3,05	0,66	1,68	1,14	0,39	0,02	8,59	35,99
Trigo e Cereais	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,05
Cana-de-açúcar	21,11	3,17	0,39	4,04	4,15	2,46	6,75	8,96	19,50	70,54
Soja em Grão	10,25	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,14	31,42
Outras Culturas	8,64	25,39	9,04	4,44	3,10	3,68	7,02	0,36	193,50	255,18
Mandioca	17,04	2,51	0,04	0,14	0,04	0,75	0,12	0,12	1,30	22,07
Fumo em Folha	0,00	0,00	0,01	0,02	0,04	0,04	0,00	0,01	0,27	0,39
Algodão	0,00	0,00	0,01	0,10	0,12	0,00	0,00	0,00	28,18	28,41
Frutas Cítricas	0,20	0,46	0,19	0,00	0,02	2,14	0,08	0,05	0,34	3,48
Café em Grão	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01
Explo. Florestal	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	10,45	10,50
Total	96,64	105,39	15,54	10,34	10,11	13,27	14,82	9,80	308,68	584,61

Resultado da simulação.

O uso da água no agregado “Outras Culturas” pode não representar as peculiaridades regionais, ou seja, esse agregado representa um portfólio de produtos agrícolas essenciais para o desenvolvimento econômico e regional, com diversidade técnica de irrigação e uso distinto da água. Sendo assim, a Bahia apresentou a maior diversidade de produtos agrícolas irrigados, e, em consequência, foi o estado de maior uso de água, na categoria “Outras Culturas”.

Outro ponto importante diz respeito ao arroz irrigado, que é outra cultura que apresenta uma característica específica de irrigação: a inundação, que, no ecossistema de várzeas, tem a irrigação controlada por inundação contínua, com a formação e a manutenção de lâmina de água até a maturação do arroz. Os resultados simulados mostram que a expansão dessa cultura poderia ocorrer no Maranhão e no Piauí, regiões abastecidas especialmente pelo Rio Parnaíba, que fa-

zem parte da região de expansão agrícola do MATOPIBA (Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia).

As culturas de cana-de-açúcar e milho em grão também são representativas, em todos os estados do Nordeste, principalmente, por apresentarem um portfólio de derivativos vastos. A expansão dessa produção intensificaria não só a agricultura irrigada, mas também toda a cadeia produtiva alimentícia e de máquinas e equipamentos. O cultivo de milho em grão e soja (destaque para Maranhão e Bahia) não apresenta a irrigação como recurso forte e pleno. Entretanto, a expansão de áreas plantadas elevaria (conforme descrito pela equação 1) as áreas irrigadas e, conseqüentemente, o uso de água.

A atividade de exploração vegetal e florestal engloba as culturas de Açaí, Seringueira, Palmito, que, normalmente, não são produzidas de forma irrigada. A produção localiza-se, em especial, nas regiões de clima úmido (região Norte, por exemplo), com boa regularidade de chuvas, o que não torna, de fato, tão necessária a irrigação. Porém, essa produção, por meio da irrigação, po-

⁷ Inclui culturas, como: tomate, abacate, amendoim, batata inglesa, cebola, ervilha, feijão, girassol, pimenta.

de-se tornar viável em períodos de entressafra, o que reduziria a instabilidade da produção rural e geraria ganhos de produtividade ao agricultor.

O estado do Ceará apresentaria relevância na expansão das áreas irrigadas para a promoção do desenvolvimento regional. Porém, um fator limitante para a expansão é a distribuição de chuvas, que não é homogênea. Algumas regiões apresentam elevada evaporação e baixa precipitação e/ou irregularidade de chuvas, o que causa a sazonalidade de determinados rios e limita o acesso à água. Isso torna a gestão dos recursos e a previsibilidade de novas expansões um fator relevante na formulação de políticas públicas.

A diversidade produtiva do estado da Bahia promoveria crescimento regional, diante de uma produção agrícola que, geralmente, é produzida em pequenas propriedades rurais, assim como ocorre em Sergipe e no Rio Grande do Norte. Entretanto, a Bahia apresenta polos tecnológicos e de irrigação mais concentrados do que os demais estados do Nordeste. Ampliações em cidades vizinhas a esses polos podem ser viáveis, se a política prever reduções nos fluxos de água. Os resultados mostram que expansões de área irrigada ampliariam o uso de água em todas as atividades da agricultura irrigada. Diante da literatura consultada, essa ampliação, sem o gerenciamento dos recursos hídricos, poderia levar ao aumento dos conflitos.

A literatura também destaca que o rio São Francisco é o principal rio de abastecimento dos estados do Nordeste. Começa no estado de Minas Gerais, atravessa a Bahia, Pernambuco e tem uma fronteira natural com os estados de Alagoas e Sergipe. Expansões de áreas irrigadas em Minas Gerais poderiam impactar o abastecimento dos demais estados contemplados pelo rio.

Assim, este estudo apresenta, como resultado das simulações de expansão de áreas irrigadas, impactos positivos nas variáveis macroeconômicas, ou seja, a irrigação por ganhos de produtividade sobre o sequeiro promoveria crescimento regional. Entretanto, sua expansão é um fator propulsor de elevação de uso de água e de possíveis conflitos entre os usuários, o que torna necessário ampliar as discussões no âmbito do PNRH e as pesquisas que contemplem os cenários de expansão da irrigação e impactos ambientais (qualidade e quantidade de água), em regiões de escassez hídrica.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo se propôs a analisar um dos cenários de expansão das áreas irrigadas descritos no Plano Nacional de Recursos Hídricos, parte integrante da Política Nacional de Irrigação, para destacar como a expansão poderia aumentar o consumo de água na agricultura. A simulação mostra que as regiões de Pernambuco e Alagoas seriam as principais para o avanço na discussão de escassez hídrica e o desenvolvimento regional com a irrigação. O cenário simulado, para essas regiões, considerou uma menor projeção de área irrigada, tendo por base a área descrita no Censo Agropecuário de 2017 e o potencial de irrigação reportado por MI (2014). Os resultados mostram elevação do consumo de água na cana-de-açúcar e sugerem ampliação das discussões e projeções com cenários climáticos.

A simulação demonstrou que a agricultura irrigada é a atividade de maior impacto na demanda hídrica regional no País, com a expansão de culturas como cana-de-açúcar e arroz, o que elevaria o consumo por recursos hídricos. No entanto, diante do diferencial de produtividade, os resultados simulados mostram impactos positivos nos agregados macroeconômicos, como geração de renda e consumo.

A literatura sobre a disponibilidade hídrica regional destaca que o impacto sobre os recursos hídricos nessa região é perceptível, especialmente, no semiárido nordestino, região na qual o avanço produtivo exigiria uma maior disponibilidade hídrica das bacias. Sendo assim, os resultados das simulações para a expansão da agricultura irrigada não devem ser analisados como uma situação de agravamento de quantidade e qualidade dos recursos hídricos no Brasil, sendo necessário ampliar as discussões e análises dos possíveis impactos ambientais em detrimento do aumento de produtividade proporcionado pela irrigação.

Além disso, o Plano Nacional de Recursos Hídricos apresenta alguns pontos que não são factíveis de serem simulados, a saber: os que contemplam os mecanismos de gestão dos recursos hídricos e eficiência no controle das qualidades das águas, ou seja, indicadores de gestão que podem auxiliar na sustentabilidade dos projetos de irrigação, em consonância com a biodiversidade

regional, a fauna e a flora, que não são captados no cenário de simulação computável.

Ressalta-se que, os dados não revelam a qualidade dos recursos hídricos no Brasil, custos de extração, investimentos necessários ou outros itens que podem identificar a magnitude do possível estresse hídrico futuro. No entanto, refletem a dinâmica regional que a expansão da irrigação pode promover e os impactos na demanda (consumo) de água no país. Além disso, melhorias no módulo de água e inclusão de novos dados regionais podem fornecer novas ferramentas para o avanço do conhecimento sobre a demanda dos recursos hídricos regionais no Brasil, especialmente, em regiões que demandam maior atenção, como o Nordeste e o semiárido.

Como limitação do estudo, merece atenção o fato de que a projeção de consumo não foi confrontada com a análise de disponibilidade hídrica e mudanças climáticas. Além disso, a literatura sobre disponibilidade hídrica mostra que há importantes regiões dentro dos estados do Nordeste onde o balanço hídrico, em nível microrregional, é distinto, o que exigiria um modelo capaz de captar tal disparidade. Nosso modelo, contudo, não possui detalhamento regional suficiente para estes casos. Estas limitações, se, por um lado, mostram a dificuldade de trabalhar com o tema da oferta de água, em um país grande como o Brasil, também apontam a direção de futuros esforços de pesquisa na área. Em estudos futuros, sugerem-se a inclusão de informações sobre mudanças climáticas e a análise de sensibilidade para outros coeficientes técnicos de uso de água, especialmente, para a agricultura irrigada.

AGRADECIMENTO

Apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo -FAPESP. Processo: 2015/20470-7

REFERÊNCIAS

ALLAN, J. A. Virtual water-the water, food, and trade nexus. Useful concept or misleading metaphor?. **Water international**, v. 28, n. 1, p. 106-113, 2003.

ANA. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. Brasília, Distrito Federal. 434p. 2012.

_____. **Informe 2015**. Brasília, Distrito Federal. 88p. 2015. Disponível em:> http://www3.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/conjuntura-dos-recursos-hidricos/conjuntura_informe_2015.pdf/view>. Acesso em :17 de ag. de 2017.

_____. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na Região Centro-Sul do Brasil**. Brasília, Distrito Federal. 31p. 2017. Disponível em:> http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/_LevantamentoCanalIrigada_posCE_CEDOC_SemISBN2.pdf>. Acesso em: 10 de ab. de 2018.

_____. **Outorgas emitidas: planilha de outorgas**. Brasília, Distrito Federal. Disponível em:> <http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/regulacao/principais-servicos/outorgas-emitidas>>. Acesso em 09 de fev. de 2019.

BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, R. Virtual Water Trade in General Equilibrium Analysis. **GTAP Conference Paper 1715**. 32p. Germany. 2005. Disponível em:> <https://gtap.agecon.purdue.edu/resources/download/2096.pdf>> Acesso em 15 de jun. de 2016.

BERRITTELLA, M.; HOEKSTRA, A. Y.; REHDANZ, K.; ROSON, R.; TOL, R. S. J. The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis, **Water Research**, vol. 41, p. 1799-1813. 2007.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Publicada no DOU de 9 de janeiro de 1997.

- BRASIL. **Portaria nº115 de 19 de junho de 2015**. Aprovar o estudo intitulado Análise Territorial para o Desenvolvimento da Agricultura Irrigada no Brasil, na forma de seu Relatório Técnico Final, como parte integrante do Plano Nacional de Irrigação. 2015. Publicado no DOI de 19 de junho de 2015.
- BUAINAIN, A. M.; GARCIA, J. R. Polos de Irrigação no Nordeste do Brasil. desenvolvimento recente e perspectivas. **Confins. Revue franco-brésilienne de géographie/Revista franco-brasileira de geografia**, n. 23. 2015.
- CALZADILLA, Alvaro; REHDANZ, Katrin; TOL, Richard SJ. Water scarcity and the impact of improved irrigation management: a computable general equilibrium analysis. **Agricultural Economics**, v. 42, n. 3, p. 305-323, 2011.
- CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. The Economic Impact of More Sustainable Water Use in Agriculture: A CGE Analysis. **Journal of Hydrology**, v. 384, n. 3-4, p. 292-305, 2010.
- CALZADILLA, A.; REHDANZ, K.; TOL, R. The GTAP-W model: accounting for water use in agriculture. Kiel Institute of the World Economy, **Working Paper 1745**, Kiel University.40p. 2011b.
- CHRISTOFIDIS, D.; CORDEIRO, L. A. M.; SILVA, M. L.; MARCHAO, R. L.; GORETTI, G. S. Aspectos da dinâmica hídrica e do uso da água em sistemas sustentáveis de produção agropecuária no cerrado. In: Argemiro Luís Brum; Carolina Bilibio, Jeferson F. Selbach; Oliver Hensel. (Org.). **Sustentabilidade do uso da água nos trópicos e subtropicais: estudos de casos brasileiros**. 1ed. Ijuí: Unijuí da Universidade Regional do Noroeste, v. 1, p. 137-184. 2013.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S.L de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 7, n. 1, p. 57-60. 2005.
- CPT. **Conflitos no uso da água**. Disponível em:< <https://www.cptnacional.org.br/>> Acesso em: 23 de ago. de 2016.
- DIAO, X.; ROE, T.; DOUKKALI, R. Economy-wide gains from decentralized water allocation in a spatially heterogenous agricultural economy. **Environment and Development Economics**, p. 249-269, 2005.
- DIXON, P. B.; PARMENTER, B. R.; POWELL, A. A.; WILCOXEN, P. **Notes and problems in applied general equilibrium economic**. 2 ed. Amsterdam: Butterwoth Heinemann. 408p. 1999.
- DIXON, P. B.; RIMMER, M.Y.; WITTEWER, G. **Modelling the Australian Government's buyback scheme with a dynamic multi-regional CGE model**. The Centre of Policy Studies (COPS), General paper nº G-186. Monash University. 2009. 39p.
- EMBRAPA. **Mapas sobre irrigação no Brasil**. Disponível em:< <https://www.embrapa.br/agua-na-agricultura/mapas-sobre-irrigacao>> Acesso em: 19 de ago. de 2016.
- FACHINELLO, A. L. **Avaliação do impacto econômico de possíveis surtos da gripe aviária no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável**. 2008. 160f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2008.
- FERRARINI, A. D. S. F. **Avaliação setorial do uso da água no Brasil: uma análise de equilíbrio geral computável (CGE)**. 2017. 156f. Tese (Doutorado em Ciências) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2017.
- GRIFFITH, M. Water Resources Modeling: A review. In: **Economic Modeling of water: the Australian CGE experience**. Austrália, 2012. Cap 2. p.59-75. 2012.
- HARRISON, W. J.; PEARSON, K. R. **An introduction to GEMPACK**. GEMPACK user documentation GPD-1 (3 ed). IMPACT Project and KPSOFT, September 1999.

HE, Y. X.; LIU, Y. Y.; DU, M.; ZHANG, J. X.; PANG, Y. X. Comprehensive optimization of China's energy prices, taxes and subsidy policies based on the dynamic computable general equilibrium model. **Energy Conversion and Management**, v. 98, p. 518-532, 2015.

IBGE. **Censo Agropecuário 1995-96**. Rio de Janeiro, RJ. 1998. Disponível em: > <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=748>> Acesso em 15 de jan. de 2016.

_____. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro, RJ, 777p. 2009. Disponível em: > https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: 10 de mar. de 2016.

_____. **Censo Agropecuário 2017**. Rio de Janeiro, RJ, 2019. Disponível em: > <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=73096>> Acesso em: 20 de mar. de 2019.

_____. **Contas regionais do Brasil: 2010-2014**. IBGE, Coordenação de Contas Nacionais. - Rio de Janeiro, RJ. 2016. Disponível em: > <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?id=298881&view=detalhes>> Acesso em: 18 de jul. de 2016.

JUANA, J.; STRZEPEK, K.; KIRSTEN, F. Market efficiency and Welfare Effects of Inter-Sectoral Water Allocation in South Africa. **Water Policy**, v. 13, n. 2, p. 220-231, 2011.

LENNOX, J.; DIUKANOVA, O. Modelling regional general equilibrium effects and irrigation in canterbury. **Water Policy**, v. 13, n. 2, p. 250-264, 2011.

LETSOALO, A.; BLIGNAUT, J.; DE WET, T.; DE WIT, M.; HESS, S.; TOL, R., ET AL. Triple dividends of water consumption charges in south Africa. **Water Resources Research**, v. 43, n. 5, 2007.

LIRA, R. M.; DOS SANTOS, A. N.; DA SILVA, J. S.; BARNABÉ, J. M. C.; DA SILVA BARROS, M.; RAMALHO, H. A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura irrigada| The use of lower quality water in irrigated agriculture. **Revista Geama**, v. 1, n. 3, p. 341-362, 2016.

MARTINS, E. S. P. R.; MAGALHÃES, A. R. A seca de 2012-2015 no Nordeste e seus impactos. **Parceiros Estratégicos**. Ed. Esp. Brasília-DF, v. 20, n. 41, p. 107-128.

MI.; IICA, Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. **Análise territorial para o desenvolvimento da agricultura irrigada no Brasil**. Ministério da Integração e Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura. 215p. Piracicaba-SP. 2014. Disponível em: > <https://www.mdr.gov.br/irrigacao/analise-territorial-para-o-desenvolvimento-da-agricultura-irrigada-no-brasil/318-irrigacao>>. Acesso em: 21 de ag. de 2016.

MMA. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Agropecuária**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de recursos hídricos. Brasília, DF, 69p. 2006a. Disponível em: > https://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao23022011030305.pdf> Acesso em: 14 de ab. de 2015.

_____. **Plano Nacional de Recursos Hídricos: diretrizes**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de recursos hídricos. Brasília, DF, 161p. 2006b. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao03032011025152.pdf> Acesso em 18 de ab. de 2015.

_____. **Desenvolvimento de Matriz de coeficientes Técnicos para Recursos Hídricos no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente, Secretaria de recursos hídricos. Brasília, DF, 265p. 2011. Disponível em: >https://mma.gov.br/estruturas/161/_publicacao/161_publicacao21032012055532.pdf>. Acesso em: 20 de out. de 2015.

MORAES, G.I. **Efeitos econômicos de cenários de mudanças climática na**

agricultura brasileira: um exercício a partir de um modelo de equilíbrio geral computável. 267p. Tese (Doutorado em Ciências). Escola Superior em Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2010.

NELSON, D. R.; FINAN, T.J. Praying for drought: persistent vulnerability and the politics of patronage in Ceara, Northeast Brazil. **Am. Anthropol.** 111, 302 e 316.2009.

ROE, T.; DINAR, A.; TSUR, Y.; DIAO, X. Feedback links between economy-wide and farm-level policies: with application to irrigation water management in morocco. **Journal of Policy Modeling**, 27 (8), 905–928. 2005.

ROSON, R.; DAMANIA, R. The macroeconomic impact of future water scarcity: An assessment of alternative scenarios. **Journal of Policy Modeling**, v. 39, n. 6, p. 1141-1162, 2017.

ROSON, R.; SARTORI, M. Water scarcity and virtual water trade in the Mediterranean. **University Ca’Foscari of Venice, Dept. of Economics Research Paper Series**, n. 08_10, 2010.

ROSON, R.; SARTORI, M. Virtual Water Trade in the Mediterranean: today and tomorrow. In: **The Water We Eat**. Springer, Cham, 2015. p. 159-174.

SANTOS, C.V. DOS. **Política tributária, nível de atividade econômica e bem-estar: lições de um modelo de equilíbrio geral inter-regional.**2006. 139p. Tese (Doutorado em ciências) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 2006

SILVA, T. G.; DE MOURA, M. S.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. D. S.; GOMES JR, W. F. Demanda hídrica e eficiência do uso de água da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro1. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, 15(12), 1257-1265. 2011

TEIXEIRA, F. J. C.; MACHADO, J.; MACHADO, J. Secas no Brasil: a construção de outro modelo de gestão. **Parcerias Estratégicas**, v. 20, n. 41, p. 89-106, 2016.

ZHAO, Y.; LI, H.; XIAO, Y.; LIU, Y.; CAO, Y.; ZHANG, Z.; AHMAD, A. Scenario analysis of the carbon pricing policy in China’s power sector through 2050: Based on an improved CGE model. **Ecological indicators**, v. 85, p. 352-366, 2018.

WITTWER, G (Ed.). **Economic modeling of water: the Australian CGE experience**. Springer Science & Business Media, 188p. 2012.

ANEXO A – REGIÕES AGREGADAS NO MODELO TERM-BR

Regiões TERM-BR	Estados
Rondônia	Rondônia
Amazon	Acre, Amazonas, Roraima, Amapá
ParáToc	Pará e Tocantins
MarPiauí	Maranhão e Piauí
RestNE	Ceara, Rio Grande do Norte, Paraíba, Sergipe
PernAlag	Pernambuco e Alagoas
Bahia	Bahia
MinasG	Minas Gerais
RioJEspS	Rio de Janeiro e Espírito Santo
SãoPaulo	São Paulo
MtGrSul	Mato Grosso do Sul
MtGrosso	Mato Grosso
Central	Goiás e Distrito Federal

Dados do modelo.