

UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO

MARIA GLÁUCIA DOURADO FURQUIM

**EFEITO DA INSTITUIÇÃO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NA  
CONFIGURAÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA EM CRISTALINA-GO**

GOIÂNIA

2017

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR AS TESES E DISSERTAÇÕES ELETRÔNICAS NA BIBLIOTECA DIGITAL DA UFG**

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio da Biblioteca Digital de Teses e Dissertações (BDTD/UFG), regulamentada pela Resolução CEPEC nº 832/2007, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei nº 9610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

**1. Identificação do material bibliográfico:**      **Dissertação**      **Tese**

**2. Identificação da Tese ou Dissertação**

Nome completo do autor: Maria Gláucia Dourado Furquim

Título do trabalho: Efeitos da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada de Cristalina-GO.

**3. Informações de acesso ao documento:**

Concorda com a liberação total do documento  **SIM**      **NÃO**

Havendo concordância com a disponibilização eletrônica, torna-se imprescindível o envio do(s) arquivo(s) em formato digital PDF da tese ou dissertação.

  
Assinatura do (a) autor (a)

Data: 30 / 01 / 2017

MARIA GLÁUCIA DOURADO FURQUIM

**EFEITO DA INSTITUIÇÃO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NA  
CONFIGURAÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA EM CRISTALINA-GO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Escola de Agronomia da Universidade Federal de Goiás, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Agronegócio.

Linha de pesquisa: Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional.

Orientador: Prof. Dr. Klaus de Oliveira Abdala.

Goiânia  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Dourado Furquim, Maria Gláucia

Efeito da instituição da cobrança pelo uso da água na configuração agrícola irrigada em Cristalina-GO [manuscrito] / Maria Gláucia Dourado Furquim. - 2017.

60 f.: il.

Orientador: Prof. Klaus de Oliveira Abdala.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Escola de Agronomia (EA), Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, Cidade de Goiás, 2017.

Bibliografia.

Inclui siglas, abreviaturas, gráfico, tabelas, lista de figuras, lista de tabelas.


1. Instrumentos econômicos. 2. Gestão pública. 3. Bens comuns. I. Abdala, Klaus de Oliveira, orient. II. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS  
ESCOLA DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIO - PPAGRO

**ATA DA REUNIÃO DA BANCA EXAMINADORA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MARIA GLÁUCIA DOURADO FURQUIM** – Ao primeiro dia do mês de março de dois mil e dezessete (01/03/2017), às 09h00min, reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof. Dr. Klaus de Oliveira Abdala (orientador/Presidente/PPAGRO/EA/UFG), Prof. Dr. José Alves Júnior (membro externo/EA/UFG) e Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo (membro interno/PPAGRO/UFG) para, sob a presidência do primeiro, e em sessão pública realizada na Sala 13/EA/PPAGRO, procederem à avaliação da defesa de dissertação intitulada: **“EFEITOS DA INSTITUIÇÃO DA COBRANÇA PELO USO DA ÁGUA NA CONFIGURAÇÃO AGRÍCOLA IRRIGADA DE CRISTALINA - GO”**, em nível de **Mestrado**, área de concentração em **Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais**, de autoria de **Maria Gláucia Dourado Furquim**, discente do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio da Universidade Federal de Goiás. A sessão foi aberta pelo presidente da Banca Examinadora, Prof. Dr. Klaus de Oliveira Abdala, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra a seguir, foi concedida à autora da dissertação que, em 30 minutos procedeu à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da Banca arguiu a examinanda, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se à avaliação da defesa. Tendo-se em vista o que consta na Resolução nº. 1075/2011 do Conselho de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cultura (CEPEC), que regulamenta o Programa de Pós-Graduação em Agronegócio e procedidas às correções recomendadas, a dissertação foi **APROVADA** por unanimidade, sendo cumpridos os requisitos para fins de obtenção do título de **MESTRE EM AGRONEGÓCIO**, na área de concentração em **Sustentabilidade e Competitividade dos Sistemas Agroindustriais** pela Universidade Federal de Goiás. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega, na secretaria do programa, da versão definitiva da dissertação, com as devidas correções, no prazo de até 30 dias. A Banca Examinadora recomenda a publicação de artigo científico, oriundo dessa dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional depois de atendidas às modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades de pauta, às 12h00min, o presidente da mesa encerrou esta sessão de defesa de dissertação e para constar eu, Lindinalva de Oliveira Teixeira, secretária do Programa de Pós-Graduação em Agronegócio, lavrei a presente Ata que depois de lida e aprovada será assinada pelos membros da Banca Examinadora em três vias de igual teor.

  
Prof. Dr. Klaus de Oliveira Abdala  
Orientador-Presidente /PPAGRO/EA/UFG

  
Prof. Dr. José Alves Júnior  
Membro externo/EA/UFG

  
Prof. Dr. Reginaldo Santana Figueiredo  
Membro interno/PPAGRO/UFG

À minha filha Maria Clara, você é luz em minha vida.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelas bênçãos recebidas.

À minha família – mãe, filha, irmãs, esposo, sobrinhos e cunhados –, pelo carinho, pela compreensão e pelo apoio durante este período de formação acadêmica.

Ao Prof. Dr. Klaus de Oliveira Abdala, pela dedicação, paciência e orientação no decorrer do mestrado. Obrigada por ter acreditado em mim.

Aos professores, Dr. José Alves Neto e Dr. Reginaldo Santana Figueiredo, pela disponibilidade em participar da banca de defesa, contribuindo para o enriquecimento desta dissertação.

Agradeço aos senhores Alécio Maróstica, Renato Caetano e Malva Caixeta, representantes do Sindicato Rural de Cristalina e Associação dos Irrigantes do Estado de Goiás (Irrigo), pelas contribuições para a realização deste trabalho.

À FAPEG, pelo apoio financeiro à pesquisa.

## RESUMO

A disponibilidade da água para diferentes setores, usuários e ecossistemas, assegurando a qualidade, a quantidade e a perpetuidade desse recurso para as futuras gerações, tem sido um dos desafios da gestão pública, particularmente nas esferas dos comitês de Bacias Hidrográficas. O presente estudo versa sobre a efetividade da instituição da cobrança pelo uso da água na Bacia Hidrográfica do Paranaíba, com previsão de início a partir de 2017. Uma pesquisa exploratória e descritiva foi realizada para obter informações acerca da realidade da agricultura irrigada no município de Cristalina-GO, que se destaca nacionalmente por possuir a maior área irrigada por pivô central da América Latina. Por meio do método de programação linear, foram elaborados cenários alternativos à configuração atual de uso do solo pela agricultura irrigada, decorrentes dos diferentes valores de cobrança a serem instituídos gradualmente, a partir de 2017, modelando a função/objetivo como resultante do máximo retorno financeiro, dadas as restrições de disponibilidades hídrica e de área agrícola. Os resultados apontam que a cobrança não implicará em redução significativa da receita total do produtor irrigante a ponto de instigar mudanças nas áreas ou culturas atualmente cultivadas. Todavia, os valores arrecadados se apresentam como fonte de investimento para a recuperação/conservação dos corpos hídricos da própria bacia.

**Palavras-chave:** Instrumentos econômicos. Gestão pública. Bens comuns.

## ABSTRACT

The water availability to different user sectors and ecosystems, ensuring the quality, quantity and perpetuity of this resource for future generations, has been one of the challenges of public management, particularly in the sphere of River Basins committees. The present study is about the effectiveness of the institution of a fee, to be charged by the water use in the Paranaíba River Basin, with a forecast of charging from 2017. An exploratory and descriptive research was carried out to get information about the reality of irrigated agriculture in the county of Cristalina GO, which stands out nationally for having the largest area irrigated by central pivot of Latin America. Through the linear programming method, alternative scenarios were elaborated to the current configuration of land use by irrigated agriculture, resulting from the different collection values to be instituted gradually, starting in 2017, modeling the function/goal as a result of the maximum financial return given the restrictions on water availability and agricultural area. The results indicate that the fee will not imply a significant reduction of the total income of the irrigating producer to the point of instigating changes in the areas or cultures currently cultivated, however, the collected values are presented as a source of investments for the recovery/conservation of the water bodies of the basin itself .

**Keywords:** Economic instruments. Public management. Common goods.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ageitec	Agência Embrapa de Informação Tecnológica
ANA	Agência Nacional das Águas
CBH	Comitê de Bacias Hidrográficas
CEC	Comando e controle
Conama	Conselho Nacional do Meio Ambiente
Faeg	Federação da Agricultura do Estado de Goiás
Fundepec	Fundo para o Desenvolvimento da Agricultura e Pecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
II PND	Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento
IM	Instrumento de mercado
ITA	Instituto Tecnológico da Aeronáutica
ITN	Irrigação total necessária
Pergeb	Programa Especial da Região Geoeconômica de Brasília
PIB	Produto Interno Bruto
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
Polocentro	Programa de Desenvolvimento dos Cerrados
PPP	Princípio do Poluidor Pagador
PPU <sub>CAP</sub>	Preço Público Unitário para captação
PPU <sub>CON</sub>	Preço Público Unitário para consumo
PPU <sub>DBO</sub>	Preço Público Unitário para lançamento de carga orgânica
Prodecer	Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados
Projir	Projeto de Irrigação e Drenagem na cultura da cana-de-açúcar no Norte Fluminense
Seagro	Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Irrigação
Secima	Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos
SED	Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Goiás
Semarh	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
Sobrapo	Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Delimitação territorial de Cristalina, suas bacias hidrográficas e a espacialização dos equipamentos de pivô central instalados no município .....	27
Figura 2 –	Culturas irrigadas em Cristalina (área plantada/hectares) .....	29
Figura 3 –	Evolução histórica do PIB de Cristalina – GO (1999-2013) .....	29
Figura 4 –	Representatividade econômica do setor agropecuário em Cristalina .....	31
Figura 5 –	Pessoas ocupadas por setor de 2007 a 2013 .....	33
Figura 6 –	Processo de modelagem .....	35
Figura 7 –	Representação da dinâmica de uso do solo com culturas de mais alteração em área .....	45
Figura 8 –	Representação da dinâmica de uso do solo com culturas de menor alteração em área.....	45

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –	Padrões de eficiência técnica para uso da água em sistemas de irrigação	22
Tabela 2 –	Valores dos preços unitários (PPU) de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba .....	24
Tabela 3 –	Posição ocupada pelos dez maiores municípios, em relação ao valor adicionado bruto da agropecuária .....	30
Tabela 4 –	Evolução da Pecuária em Cristalina/GO (2004-2015) .....	31
Tabela 5 –	Comparativo entre a agricultura de sequeiro e a irrigada para variáveis selecionadas no município de Cristalina/GO .....	32
Tabela 6 –	Principais culturas irrigadas produzidas na safra de inverno/2015 em Cristalina-GO .....	40
Tabela 7 –	Informações de preço, produtividade e receita total para as atividades consideradas .....	41
Tabela 8 –	Demanda de recursos por unidade de área e cultura por ciclo de produção .....	41
Tabela 9 –	Custo da água por ciclo de produção de cada atividade outorgado .....	42
Tabela 10 –	Modelo referencial para otimização do uso do solo no município de Cristalina .....	44
Tabela 11 –	Restrições ao uso do solo no município de Cristalina: limites mínimo e máximo .....	46
Tabela 12 –	Restrições de limites de oscilação de área (ha) por cada cultura .....	47
Tabela 13 –	Modelo referencial para otimização do uso do solo no município de Cristalina/GO .....	48
Tabela 14 –	Resultado da otimização da função objetivo para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico .....	49
Tabela 15 –	Resultado da otimização das variáveis na função objetivo para o cenário sem cobrança pelo uso do recurso hídrico .....	49
Tabela 16 –	Resultado das restrições para otimização do modelo sem cobrança pelo uso do recurso hídrico .....	50
Tabela 17 –	Sensibilidade das restrições do modelo de otimização para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico .....	51

Tabela 18 –	Relatório de sensibilidade dos coeficientes da equação do modelo de otimização para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico .....	52
Tabela 19 –	Custo da água por ciclo de produção de cada atividade outorgado .....	52
Tabela 20 –	Impacto da cobrança pelo uso da água na receita total obtida por cultura	53

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Justificativa .....</b>	<b>14</b>
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Princípios econômicos do uso dos recursos hídricos.....</b>	<b>15</b>
<b>2.2 Caracterização agroeconômica do município de Cristalina .....</b>	<b>25</b>
<b>2.3 Fundamentação analítica .....</b>	<b>33</b>
2.3.1 Pesquisa operacional .....	33
<b>3 METODOLOGIA .....</b>	<b>38</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>44</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>54</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é apontada como solução de equilíbrio para a demanda mundial por alimentos, chegando a responder por 42% da produção agrícola de alimentos de consumo humano direto do mundo e ocupando aproximadamente 18% de área agricultada. Atualmente, do total de 1,5 bilhões de hectares de solo destinados à produção agrícola no planeta, cerca de 270 milhões possuem sistema de irrigação. Desse total, 3% se encontram no Brasil, o que corresponde a aproximadamente 6.000.000 de hectares, além de potencial de incremento de 13% do total mundial. No estado de Goiás, de 200.000 a 300.000 hectares da área agricultada são irrigados, o que representa menos de 5% da área nacional, estando aproximadamente 25% concentrada no município de Cristalina (ANA, 2016b).

Dentre os municípios goianos que se destacam pelo crescimento e pela expansão no uso de tecnologias de irrigação no exercício das atividades agrícolas, e, conseqüentemente, pela maior utilização dos recursos hídricos está o município de Cristalina, localizado na mesorregião do leste goiano, entorno de Brasília, Distrito Federal, criado em 1916. Sua base econômica formou-se com a extração e a comercialização de cristal de rocha e atividades pastoris de subsistência, que, a partir da década de 1970, cederam lugar ao plantio de diferentes culturas, destinadas a atender novos mercados.

Atualmente, o município vem se consolidando como polo do agronegócio brasileiro, tendo como principal fonte geradora de emprego, renda e riqueza o setor agropecuário, fruto da concentração de grandes empreendimentos agrícolas. Dentre esses empreendimentos se destaca, nacionalmente, a adoção de sistemas de irrigação, com preferência para o modelo tipo pivô central, que tornou Cristalina o município com maior área irrigada por pivô central da América Latina. Decorrente desse incremento na agricultura, têm sido geradas inúmeras oportunidades de trabalho na região, diretas e indiretas, da colheita ao processamento de alimentos.

Embora o município seja privilegiado em recursos hídricos, visto possuir mais de 240 nascentes e rios, e práticas sustentáveis tenham sido adotadas pelos irrigantes, tais como a construção de barragens para armazenar e reutilizar a água da chuva para utilização durante o período seco, esses atributos se mostram incipientes para atender à demanda por água na região. Esse fato é evidenciado por haver conflito pelo uso da água, quanto à disponibilidade da água e vazão outorgada para cada setor, entre irrigantes e o setor de energia elétrica na microbacia do Rio São Marcos, a partir da instituição do marco regulatório nº 562, que definiu a vazão média anual à montante da Usina Hidrelétrica de Batalha. A emissão de novas

portarias de outorga pelo uso da água foram suspensas pela ANA, em parceria com o Comitê de Bacias Hidrográficas do Rio Paranaíba (CBH do Paranaíba), até que o setor se organize e apresente formas racionais de uso da água, não permitindo supremacia de um setor sobre o outro.

Com o propósito de arbitrar o conflito entre diferentes usuários, em consonância com a adoção de um modelo de desenvolvimento sustentável, o CBH do Paranaíba, que abrange o município de Cristalina, tem realizado encontros técnicos, consultas públicas e oficinas de trabalho para regulamentar os processos de outorga na região de sua jurisdição, em conjunto com a instituição da cobrança pelo uso da água, uma vez que se espera ser esta uma alternativa de gestão de conflitos que utiliza instrumentos de mercado como forma de incentivo ao comportamento desejado dos agentes econômicos que demandam o recurso disputado.

Com o objetivo de analisar a efetividade da cobrança pelo uso da água como instrumento de mercado (IM) utilizado pelo Estado, adotou-se a premissa de que alterações na configuração produtiva da agricultura irrigada em Cristalina-GO afetaria, por efeitos *linkcage*, toda a socioeconomia da região. A partir dessa premissa, foi elaborada a simulação dos cenários no setor com base na instituição da cobrança pelo uso da água, a vigorar a partir do ano de 2017, o que ocasionará alteração nos custos de produção do irrigante e, conseqüentemente, nas decisões de alocação dos fatores, dentre eles o fator terra.

Logo, diante do contexto apresentado, surge a seguinte questão: a cobrança pelo uso da água é uma instituição efetiva para a solução dos problemas socioeconômicos no município de Cristalina?

Para responder a questão apresentada, este trabalho tem como objetivo geral analisar o efeito da instituição da cobrança pelo uso da água nas relações socioeconômicas da agricultura irrigada em Cristalina, orientando-se especificamente pelos objetivos apresentados a seguir:

- Fundamentar a questão do conflito pelo uso de recursos comuns à luz da ciência econômica;
- Identificar o efeito da cobrança pelo uso da água na configuração do complexo agropecuário de culturas irrigadas em Cristalina;

## 1.1 Justificativa

A água e sua essencialidade para a manutenção da vida humana e dos diversos ecossistemas têm exigido dos governos políticas de regulação em decorrência da crescente preocupação social e econômica acerca da escassez dos recursos hídricos. Cabe aos órgãos públicos, nas diversas esferas do poder, não apenas apresentar intenção de melhorias ou alcance de objetivos, e sim se os objetivos definidos trazem resultados condizentes com as demandas sociais. Esses resultados são mensurados pela efetividade das ações públicas, que verifica se os desdobramentos de políticas públicas direcionadas a setores específicos, em detrimento de outros agentes sociais, apresentam resposta apropriada (CASTRO, 2006).

A importância social dos resultados deste trabalho consiste na publicação das evidências de conflitos relacionados ao uso privativo da água, uma vez que esse recurso é um bem público, deliberado pelo Estado. Essa análise faz-se importante, uma vez que a alteração dos custos de produção, advinda da cobrança pelo uso da água, insumo chave no processo de produção da agricultura irrigada, pode ter como efeito a mudança da configuração agrícola do município, ou seja, o “impacto” que a cobrança pelo uso da água pode gerar nos custos totais de produção pode influenciar na decisão do produtor acerca de quais culturas produzir. Isso, por dispersão de efeitos, impactaria outros setores da economia, pois o processo de industrialização e beneficiamento de alimentos em Cristalina tem se consolidado em função da atual configuração do polo de irrigação. Importa destacar que, embora o detalhamento dos efeitos de dispersão não faça parte do escopo desta pesquisa, eles se constituem em impactos ao desafio de gerir bens públicos e, portanto, à efetividade das políticas públicas.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Princípios econômicos do uso dos recursos hídricos

A água é fonte imprescindível para a criação e a sobrevivência da vida humana e dos demais ecossistemas da natureza. Consiste, também, num recurso fundamental para o exercício das atividades agrícola e industrial, o abastecimento público e a manutenção dos serviços ambientais, que têm, portanto, a função de atender a demandas ecológicas e humanas que assegurem o bem-estar social, ou seja, o desenvolvimento<sup>1</sup> no campo e nas cidades.

Os recursos naturais do planeta são fruto de ciclos naturais da terra e sua dinâmica de recomposição relativa à ação do homem estabelece os critérios para classificá-los como recursos renováveis e não renováveis. A água, assim como a fauna e a flora, são elementos considerados, intuitivamente, como recursos naturais renováveis, pois seus ciclos de reconstituição são compatíveis com a percepção de tempo de vida pelo homem. Todavia, tais recursos podem se tornar escassos quando seu fluxo de regeneração não consegue suprir a demanda da população, o que constitui um problema de economia dos recursos naturais. Além disso, especificamente no caso da água, a sua escassez pode, ainda, estar relacionada ao nível de qualidade requerida para determinados fins, e, nesse sentido, seria um problema de economia da poluição.

Os recursos naturais são considerados fatores de produção e, segundo a teoria econômica, tais fatores são os recursos necessários para a obtenção de riquezas. Apesar de a água ter sido considerada recurso originalmente livre, que pôde ser apropriada sem custo de oportunidade por qualquer usuário ao longo da história das sociedades, esse recurso foi se tornando escasso e se constituindo em bem econômico. Nessa perspectiva, levando em conta que a água é um recurso econômico de produção, a sua alocação eficiente deveria ser estabelecida pelo funcionamento do próprio mercado, o qual resolveria os problemas de escassez e excesso em um mercado de fatores. Sendo assim, conforme questionam Thomas e Callan (2010), porque existem problemas de alocação de recursos ambientais,<sup>2</sup> ou, dito de outra forma, porque os mercados são ineficientes na solução de problemas ambientais?

---

<sup>1</sup> No presente trabalho, adotamos a definição de desenvolvimento em suas diferentes dimensões, conforme Bresser-Pereira (2014, p. 58): “[...] desenvolvimento econômico (maior bem-estar), desenvolvimento político (maior igualdade política e maior participação no governo), desenvolvimento social (maior igualdade econômica) e desenvolvimento ambiental (maior proteção do ambiente)”.

<sup>2</sup> Recursos ambientais, para os propósitos deste trabalho, são considerados como todos os bens providos pela natureza, que são apropriados pelo homem para a geração de riquezas, ou seja, os recursos naturais e os serviços ecossistêmicos.

O mercado é o fundamento da ciência econômica moderna que opera como termômetro das atividades, no qual oferta e demanda são regulados via preços e quantidades, revelando preferências, tendências e atitudes de produtores e consumidores. Assim, o meio ambiente interage com o homem e com suas atividades econômicas, via mercado, ao fornecer fatores de produção utilizados pelas empresas e organizações em seus processos produtivos. Entretanto, essa relação de produção e de consumo acarreta impactos para o homem e o meio ambiente, caracterizando a ineficiência no uso do recurso.

Essa ineficiência do mercado é definida na teoria econômica como falhas de mercado, ou seja, quando os mecanismos de mercado, com livre funcionamento (sem a intervenção do estado, como órgão regulador), geram resultados econômicos indesejáveis socialmente. Tais falhas são decorrentes de concorrência imperfeita, informações assimétricas, bens públicos e externalidades (MOTA, 2004).

A concorrência imperfeita é caracterizada a partir da identificação de estruturas de mercado na forma de monopólios e oligopólios, que utilizam recursos de poder (PAULILLO, 2000) e distorcem os preços nos mercados. Por sua vez, informações assimétricas se referem a informações incompletas ou parciais, disponíveis aos agentes econômicos em diferentes níveis, o que ocasiona elevação nos custos produtivos, e, conseqüentemente, ineficiência, uma vez que a falta de equidade de informações conduz à adoção de comportamento oportunista.

Para o mercado de fatores e serviços ambientais, essa imperfeição acentua a degradação do capital natural no exercício das atividades produtivas, vez que recursos de poder e informações imperfeitas a respeito do valor dos fatores ambientais conduzem os agentes a ações oportunísticas, uma vez que utilizam vantagens espúrias para a produção de bens, diminuindo os custos de produção e elevando a produção a um nível alocativamente ineficiente (RASCÃO, 2007).

Desse modo, “[...] o fenômeno, denominado de externalidade, refere-se ao efeito originário do processo produtivo que é imputado a terceiros, gerando bem-estar econômico para alguns e prejuízos para outros”, ou seja, há ineficiência do mercado em internalizar os efeitos sociais, econômicos e ambientais decorrentes da produção ou consumo de um produto ou serviço, conforme elucida Mota (2004, p. 71). A distinção econômica entre um bem público e um bem privado origina-se no fato de o bem público não possuir como características a rivalidade e a exclusão. Dessa forma, a apropriação ou o consumo do bem não diminuem a utilidade dos demais indivíduos, não sendo possível, também, restringir o acesso ou o consumo de determinado bem, ou seja, os bens públicos são disponíveis e acessíveis a todos.

Emerge, portanto, a necessidade de definir economicamente a água, a título de embasar as propostas de gestão política dos bens públicos. Assim, os recursos naturais, identificados como fatores econômicos de produção (terra, ou recursos naturais – capital – trabalho), conduzem à percepção de que a geração de riquezas é condicionada à capacidade do homem de processar recursos naturais, por meio do capital e/ou do trabalho. Isso significa que o valor econômico dos recursos naturais está intrinsecamente relacionado ao conceito de valor desse bem para a geração de riqueza. Por isso, de acordo com a conotação econômica, os recursos naturais podem ser classificados como bens livres e econômicos, referindo-se os primeiros aos recursos que satisfazem as necessidades, mas não possuem representatividade econômica pela vasta disponibilidade; diferentemente, os bens econômicos, pela escassez dada à demanda, possuem significação econômica, isto é, são geradores de riquezas (TORRES; VIANNA, 2005).

A classificação dos recursos hídricos torna-se ainda mais complexa, pois, embora sejam considerados bens públicos, podem apresentar-se com uma das características de um bem privado, ou seja, ser não excludente, mas rival, situação na qual o acesso é difícil de restringir. Contudo, o consumo de uns limita a capacidade de consumo de outrem, condição que caracteriza os recursos hídricos como “bens comuns” e isso, segundo a teoria, conduz à escassez do recurso.<sup>3</sup> Ainda, esses recursos podem ser excludentes, e não rivais, caracterizando-se como bens coletivos, nos quais o acesso ao bem pode ser limitado, todavia, o consumo de um indivíduo não reduz a possibilidade de consumo de outro, situação que tem como consequência a geração de conflitos entre os usuários e os excluídos (HENRIQUES et al., 2006).

Desse modo, a forma sob a qual a água é disponibilizada ao usuário determinará os problemas decorrentes, uma vez que a caracterizará como qualquer das situações anteriormente descritas. No caso da irrigação em Cristalina, a regulamentação via portaria de outorga concedida a um irrigante, associado à fiscalização ineficiente, evidenciada pelo uso da água para irrigação sem outorga,<sup>4</sup> reduz a disponibilidade de consumo dos demais usuários, dada a limitada quantidade de água na bacia, acentuando ainda mais o problema de escassez

---

<sup>3</sup> De acordo com o que elucida G. Hardin (1968) em seu artigo “The tragedy of Commons”, o livre acesso ao recurso finito tende a ocasionar uma superexploração deste, dado que os benefícios privados que a utilização proporciona superam os custos da exploração, uma vez que eles são compartilhados dentre todos os setores para os quais o recurso está acessível.

<sup>4</sup> Segundo dados do cadastramento dos irrigantes goianos, realizado pela Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Irrigação (SEAGRO, 2014), dos 2.544 irrigantes cadastrados, apenas 1.341 possuem outorga para o uso da água.

física do recurso na região. Essa forma de disponibilização dos recursos hídricos na região caracteriza a água como um bem comum.

Por outro lado, ao estabelecer um pagamento pelo consumo da água ao setor agrícola, o Estado introduz características de exclusão pelo uso da água, caracterizando-a como um bem coletivo.

A característica de bens públicos à qual está sujeita a água de irrigação em Cristalina é responsável pela ineficiência de mercado, e, por consequência, pela alocação eficiente dos recursos hídricos na região. Portanto, a problemática da questão ambiental e sua potencial escassez imputam a esses recursos uma utilização econômica que demanda, do Estado, a adoção de instrumentos reguladores.

Dessa forma, os CBH emergem como ramificação do Estado no exercício da gestão dos recursos hídricos de forma colegiada, participativa e democrática. Os recursos hídricos presentes em Cristalina, de competência da União, como o Rio São Marcos, são contemplados pelo CBH do Paranaíba. O conflito pelo uso da água, estabelecido entre diferentes setores da economia, exigiu a adoção de estudos específicos das particularidades da bacia, por meio da realização de encontros técnicos, consultas públicas e oficinas de trabalho que nortearam a gestão do acesso, do uso e da conservação da água.

A modelagem do mercado para recursos hídricos depende da definição das funções de oferta e demanda para eles. A oferta, definida como função da dinâmica temporal de disponibilidade hídrica em determinada região, tem variáveis tecnicamente quantificáveis. Economicamente, a gestão de uso da água, quando considerada um recurso natural renovável, busca o equilíbrio entre sua taxa de recomposição e a sua taxa de exploração, de maneira a atender os usos consuntivos (consome parte da água captada do manancial), não consuntivos (usam a água captada e ela retorna ou permanece no manancial) e a conservação dos ecossistemas. Por isso, a disponibilidade hídrica é parâmetro fundamental no planejamento do desenvolvimento econômico e social, conforme instituído pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (2002 apud SETTI, 2000).

Todavia, o desafio em se estimar a demanda para os bens públicos está relacionado à dificuldade de obter informações a respeito dos benefícios sociais decorrentes da utilização desse recurso, uma vez que o acesso livre e as informações imperfeitas sobre esses benefícios acentuam o comportamento oportunista do agente econômico, que não manifesta sua disposição em pagar por esse recurso. Ao tratar-se dos recursos hídricos e de sua essencialidade para a sobrevivência humana em um contexto ecossistêmico, eles incorporam características de bem público, devendo estarem disponíveis e acessíveis à população, que

confia ao Estado a gestão desses bens. O Estado, ao assumir a função de gestor dos recursos hídricos, estabelece, dentre outros, a eficiência como princípio fundamental para a avaliação do processo de gestão em foco. Porém, determinar os níveis de consumo desses bens põe em xeque as ações definidas pelo Estado para alcançar um equilíbrio entre custos e benefícios marginais sociais decorrentes. Isso caracteriza a impossibilidade de se encontrar um nível de eficiência alocativa do recurso (THOMAS; CALLAN, 2010).

No Brasil, já a partir da promulgação da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, foi instituída a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), reconhecendo, em seu artigo 1º, inciso II, que “a água é um recurso natural limitado e dotado de valor econômico, estabelecendo, nos incisos III e IV, a prioridade ao uso humano e a dessedentação de animais em situação de escassez, além da possibilidade de uso múltiplo das águas, proporcionado pela gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

A partir de então, a atuação do Estado busca limitar a exploração dos recursos hídricos em prol de sua capacidade de “regeneração” e estabelece condições de acesso a eles, por dispositivos legais como a promulgação da Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, que criou a Agência Nacional de Recursos Hídricos (ANA), com a competência de “estimular e apoiar as iniciativas voltadas para a criação de Comitês de Bacia Hidrográfica e implementar, em articulação com os Comitês de Bacia Hidrográfica, a cobrança pelo uso dos recursos hídricos de domínio da União”, conforme artigo 4º, incisos VI e VII, da referida Lei (BRASIL, 2000).

Na agricultura irrigada, a maior produtividade é consequência, necessariamente, da combinação ótima dos insumos empregados na produção com o uso do fator água. A eficiência no uso da água é resultante do maior nível de produção obtida a cada nível desse recurso, fixada a quantidade dos demais fatores de produção. Assim, a relação solo-água-planta-atmosfera é um aspecto fundamental a ser considerado no planejamento e na operação de um projeto de irrigação. Para estabelecer a inter-relação entre esses elementos e identificar suas limitações, é necessário elaborar um plano de irrigação, cujas etapas contemplem as particularidades da localidade, a cultura a ser cultivada, o sistema de irrigação a ser adotado, além da competência técnica dos gestores dos métodos irrigatórios (BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Dessa forma, a elaboração do projeto de irrigação deve ser realizada contemplando essa tecnologia em um contexto sistêmico, no qual atributos técnicos e gerenciais sejam complementares, alinhando-se aos parâmetros definidos pelos órgãos públicos. Dentre os mecanismos de gestão pública dos recursos hídricos em Goiás destaca-se a obrigatoriedade da outorga para múltiplos usos da água, cujo processo precisa contemplar os critérios técnicos

estabelecidos pela Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (Secima), presente no *Manual Técnico de Outorga* (SEMARH, 2012, p. 25), a saber: “[...] determinação da área irrigada, da quantidade de água disponível naturalmente por meio da precipitação, da quantidade de água perdida por meio da evapotranspiração, das perdas envolvidas nos sistemas de irrigação e das práticas agrícolas da região”.

Conforme esclarecem Thomas e Callan (2010), por meio de normas regulamentadoras, decorrentes de um processo de planejamento e análise de risco, são instituídas políticas que promovam a justiça ambiental e contemplam, necessariamente, dois modelos econômicos para sua análise: a eficiência alocativa e o custo-efetividade. O primeiro modelo “requer que os recursos sejam alocados à medida que os benefícios adicionais à sociedade se igualem aos custos adicionais incorridos”, enquanto o segundo “requer que a menor quantidade possível de recursos seja utilizada para se alcançar um objetivo” (THOMAS; CALLAN, 2010, p. 30).

Diferentes ações e instrumentos políticos são utilizados por diversos países em todo o mundo e apresentam variável grau de satisfação quanto aos resultados alcançados, sendo comumente adotados dois tipos de abordagens para regulamentar os problemas ambientais: a abordagem de comando e controle (CEC) e os instrumentos de mercado (IM). A regulamentação do tipo comando e controle consiste, basicamente, em estabelecer um conjunto de normas e procedimentos que delimitam os padrões aos quais os agentes econômicos precisam adequar-se, sob pena de sanção. Os principais instrumentos de regulação ambiental, nesse tipo de abordagem, são as licenças, o zoneamento e os padrões (MARGULIS, 1996).

As licenças são empregadas pelos órgãos governamentais de gestão ambiental como instrumento regulatório para a instalação de atividade com potencial de impacto ambiental. No Brasil, a outorga pelo uso da água, instituída por meio da Lei nº 9.433/1997, Seção III, artigo 11, dispõe: “O regime de outorga de direitos de uso de recursos hídricos tem como objetivos assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água.” O processo de requerimento dos pedidos de outorga pode ser resumido em três etapas: a) pedido de outorga – formalização por parte do usuário, com o preenchimento de formulários específicos para demanda individual de água; b) análise de disponibilidade hídrica e cálculo dos indicadores de comprometimento – definição de indicadores de comprometimento após análise de demandas *versus* vazões de referência; e c) verificação da situação da bacia – análise do pedido de outorga, considerando as

particularidades de cada bacia em detrimento do que sinalizam os indicadores de comprometimento da bacia.

Dentre os parâmetros técnicos que norteiam esse instrumento de gestão, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama) nº 357/2005 estabelece o padrão técnico de segurança de vazão, relacionado a uma vazão de referência, com base no balanço hídrico e nas limitações do corpo hídrico receptor da intervenção (CONAMA, 2005).

A Resolução nº 09/2005, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos (GOIÁS, 2005), instituiu o Regulamento do Sistema de Outorga das Águas de domínio do estado de Goiás, a partir da definição de critérios para outorga, usos, características e prazos de utilização dos recursos hídricos, consoante o disposto na Lei Federal nº 9.433, de 1997 (BRASIL, 1997), e na Lei Estadual nº 13.123, de 1997 (GOIÁS, 1997).

Assim, por meio desses instrumentos, a análise dos pedidos de outorga considera critérios técnicos para estimar a disponibilidade hídrica, averiguando a possibilidade de atender às demandas dos diversos usuários da água, bem como os possíveis impactos das respectivas intervenções autorizadas. A disponibilidade hídrica é definida a partir do monitoramento das vazões médias de longo período dos cursos de água superficial, cujo banco de dados é alimentado pelas informações originadas nos postos hidrométricos.

A vazão média de um rio é concebida como a maior vazão regular dentre as oscilações anuais e deve permitir o direcionamento para reservatórios de água destinados ao abastecimento doméstico, ao setor industrial e à agricultura irrigada. Além disso, o conhecimento das vazões máxima e mínima dos rios principais e de seus afluentes é necessário para a eficácia do instrumento de outorga, de forma a assegurar a conservação de fluxo residual nos cursos de água entre os diversos solicitantes. Logo, é preciso que se definam os principais índices de vazão: a) vazão com 95% de permanência – indica que as vazões são maiores ou iguais a ela durante 95% do tempo; b) vazão mínima ecológica ou vazões naturais – vazão mínima necessária à sobrevivência dos ecossistemas, ocorrida por sete dias consecutivos e com dez anos de tempo de recorrência (SCHMIDT, 2007).

O estado de Goiás, por meio da Resolução nº 09/2005, estabeleceu, na análise das solicitações de outorga, o critério de referência de vazão mínima com 95% (Q95), ou seja, representa a vazão que acontece em 95% do tempo, aferida no período de estiagem. A partir desse critério, a disponibilidade hídrica, ou vazão outorgável a toda a região, será de 50% da Q95% na seção da bacia. Dessa forma, concebendo a situação hidrológica crítica, esse estado visa democratizar o uso da água como bem público, com reduzida perspectiva de falha.

O parâmetro de vazão mínima adotado pelo estado, ao considerar sua maior possibilidade de ocorrência, busca minimizar os riscos e proporcionar aos usuários/requerentes da outorga segurança no planejamento de seus investimentos, uma vez que a disponibilidade do recurso água precisa atender a todos os interessados (SEMARH, 2012).

Um padrão determina um limite aceitável – definido por lei ou instituído por autoridade competente – de determinado impacto no ambiente, de forma a não comprometer a qualidade ambiental. De acordo com Margulis (1996, p. 6):

Os principais tipos de padrões adotados são: a) padrões de qualidade ambiental: limites máximos de concentração de poluentes no meio ambiente; b) padrões de emissão: limites máximos para as concentrações ou quantidades totais a serem despejados no ambiente por uma fonte de poluição; c) padrões tecnológicos: padrões que determinam o uso de tecnologias específicas; d) padrões de desempenho: padrões que especificam, por exemplo, a porcentagem de remoção ou eficiência de um determinado processo; e e) padrões de produto e processo: estabelecendo limites para a descarga de efluentes por unidade de produção ou por processo.

No estado de Goiás, são determinados valores de eficiência mínima (padrões) nos processos de solicitação de outorga para uso da água na irrigação: “[...] a eficiência de irrigação deverá, de acordo com o sistema de irrigação, estar compatível com a Resolução ANA nº 707/2004”. Conforme Instrução Normativa nº 015/2012, “a resolução apresenta indicadores mínimos para o uso racional da água” (SEMARH, 2012, p. 27).

Os padrões de eficiência técnica, determinados pela Resolução, são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 – Padrões de eficiência técnica para uso da água em sistemas de irrigação

<b>Método de Irrigação</b>	<b>Eficiência mínima (%)</b>
Gotejamento	95*
Microaspersão	90*
Tubos perfurados	85*
Subirrigação	60
Gotejamento subterrâneo – tubo poroso	95
Aspersão por sistema autopropelido	80
Aspersão por sistema convencional	80
Aspersão por sistema pivô central	85
Aspersão por sistema pivô central com LEPA	95
Sulcos abertos	65
Sulcos fechados	75
Inundação	60

Fonte: SEMARH (2012).

Além do critério de eficiência como princípio norteador das ações/instrumentos de política ambiental, um aspecto imprescindível para a avaliação dessas ações é a eficácia. Entretanto, nas medidas de comando e controle (CEC), a eficácia dos instrumentos políticos está condicionada ao exercício efetivo do cumprimento da lei. Logo, a aplicabilidade de instrumentos dessa natureza incorre em altos custos administrativos para estabelecer normas e esquemas de fiscalização. Além disso, inibe a livre iniciativa dos agentes econômicos na busca por mecanismos mais eficientes, uma vez alcançado o padrão ou a licença necessários, ademais de criar barreiras econômicas aos produtores menores (THOMAS; CALLAN, 2010).

De acordo com o representante da Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (Secima), é possível identificar uma série de gargalos à efetiva fiscalização dos processos de outorga no estado de Goiás. Dentre eles, merecem destaque a fragmentação dos dados sobre a irrigação entre as secretarias que compõem a Superintendência de Recursos Hídricos, dificultando a análise destes, a falta de recursos humanos capacitados para atender as demandas e a estrutura burocrática, que dificulta a instauração de processos e torna precária a fiscalização dos processos instaurados, principalmente os relativos à conformidade da vazão à autorizada pela portaria de outorga, sendo possível identificar casos em que o produtor adquire o equipamento de irrigação e faz a captação direta ou capta e consome volume maior do que o concedido.

As políticas de gestão ambiental, conduzidas por instrumentos que utilizam a abordagem de mercado, por inserirem o incentivo econômico como parâmetro para a mudança de comportamento dos poluidores e usuários dos recursos – “forçando-os” a agregarem, a seus processos produtivos, o preço dos fatores ambientais –, caracteriza uma abordagem regulatória mais flexível do que as provenientes dos instrumentos fundamentados em CEC. Esses instrumentos fundamentam-se no Princípio do Poluidor Pagador (PPP), constituindo, segundo Margulis (1996), políticas que obrigam os poluidores a arcarem com os custos necessários para que se atinjam níveis de qualidade ambiental desejados pela autoridade pública.

Na abordagem de mercado, os instrumentos são agrupados nas seguintes categorias: a) encargos por poluição – refere-se a uma taxa ambiental cobrada do poluidor, que proporciona a quantidade de poluente/resíduos lançada; b) subsídio – consiste em concessões ou incentivos fiscais a atividades que promovam a redução da poluição; c) sistemas de depósito/reembolso – estabelecem uma cobrança antecipada para compensar possíveis danos ambientais e asseguram a restituição do valor caso a atividade não aconteça; d) sistema de

comércio de licenças de poluição – criação de um mercado de compra e venda do direito de poluir, por meio de negociações de créditos e permissões.

No que tange à aplicabilidade desses instrumentos, na gestão pública dos recursos hídricos pode-se destacar a instituição da cobrança pelo uso da água, realizado pela Lei nº 9.433/1997, com a finalidade de promover o uso racional da água. Esse é um instrumento de gestão da Política Nacional de Recursos Hídricos, que objetiva propiciar ao usuário um indicativo econômico de valor da água, incentivar o uso consciente dos recursos hídricos, combatendo a cultura do desperdício e obtendo recursos financeiros para a recuperação das bacias hidrográficas do País, conforme preconiza a atual Política Nacional de Recursos Hídricos, inspirada na experiência francesa.

Essa cobrança não é um imposto, mas um instrumento de gestão, cujo pagamento é proporcional ao uso do bem público – recursos hídricos –, com valor determinado a partir de consenso entre usuários da água, sociedade civil e poder público, que têm representantes nos Comitês de Bacia Hidrográfica. Na maioria dos estados brasileiros, a cobrança pelo uso da água está em fase de implantação, especialmente em regiões com comitês de bacia interestaduais, cujos corpos hídricos são de competência da União. Como exemplos de experiências brasileiras, temos a Bacia do Rio Paraíba do Sul, as Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá, a Bacia do Rio São Francisco e a Bacia do Rio Doce (ANA, 2016a).

No estado de Goiás, a cobrança pelo uso da água será iniciada na bacia hidrográfica interestadual do Rio Paranaíba, composta pelos corpos hídricos que compõem a bacia e por seus afluentes, que abastecem o município de Cristalina. A cobrança efetiva está prevista para 2017, conforme Deliberação nº 61, de 10 de março de 2016, estabelecida pelo CBH do Paranaíba, que dispõe, em seu *caput*, “sobre mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União”. Na Tabela 2 são apresentados os valores dos preços unitários a vigorar na bacia hidrográfica do rio Paranaíba.

Tabela 2 – Valores dos preços unitários (PPU) de cobrança pelo uso de recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Paranaíba

Tipo de uso	PPU	Unidade	Valor (R\$)			
			1º e 2º ano	3º ano	4º ano	5º ano
Captação de água	PPU <sub>cap</sub>	m <sup>3</sup>	0,015	0,020	0,022	0,025
Lançamento de carga orgânica	PPU <sub>lanç</sub>	Kg DBO <sub>5</sub>	0,07	0,11	0,12	0,13

Fonte:CBH do Paranaíba (2016).

Nesse sentido, dentre as vantagens que os IM proporcionam, sendo elas administrativo-estratégicas, se destacam: reduzidos custos aos órgãos governamentais para implantação e controle; possibilita às empresas o contínuo incentivo para a procura e a adoção de tecnologias mais eficientes; e constitui fonte suplementar de recursos para que os governos custeiem projetos ambientais. Apesar dos benefícios decorrentes da aplicação de instrumentos de mercado, estes podem apresentar restrições, como: resultados menos previsíveis em relação aos instrumentos tipo CEC; necessita de coordenação interministerial entre os órgãos de controle ambiental e econômico por abranger transações monetárias; multas com valores abaixo do coeficiente adequado, gerando ao poluidor a opção e a preferência por pagar as multas, o que faz com que se torne um mecanismo de cobrança ineficiente na promoção de melhoria das condições ambientais; elevação dos custos de produção, com efeito na diminuição da oferta e no aumento do preço do bem que utiliza o insumo onerado (MOTA, 2004).

A partir do exposto anteriormente, e para os propósitos deste trabalho, foi possível identificar um grande desafio em se definir políticas ambientais, a saber: a necessidade de se identificar e quantificar os valores econômicos correspondentes aos custos e benefícios a partir da implantação destas. Thomas e Callan (2010) destacam, ainda, a existência de custos e benefícios indiretos, decorrentes da implantação da política ambiental, cuja identificação/quantificação é tarefa complexa e demanda grande quantidade de recursos. De acordo com os autores, a complexidade ocorre devido aos efeitos de encadeamento proporcionados pela alteração promovida a partir da implantação da política ambiental. Tais efeitos refletem nos desdobramentos da estrutura econômica em determinada região, fruto de investimentos em setores específicos.

Conforme preconizado na teoria de encadeamento (*backwards and forwards linkages*), de Hirschman (1958), a previsão de interligação setorial para trás ou para frente permite que se entenda melhor a interdependência entre os setores produtivos de uma economia, bem como possibilita a identificação de fragilidades e potencialidades do ponto de vista intersetorial que podem contribuir para o desenvolvimento regional (apud RIBEIRO; ROCHA, 2013).

## **2.2 Caracterização agroeconômica do município de Cristalina**

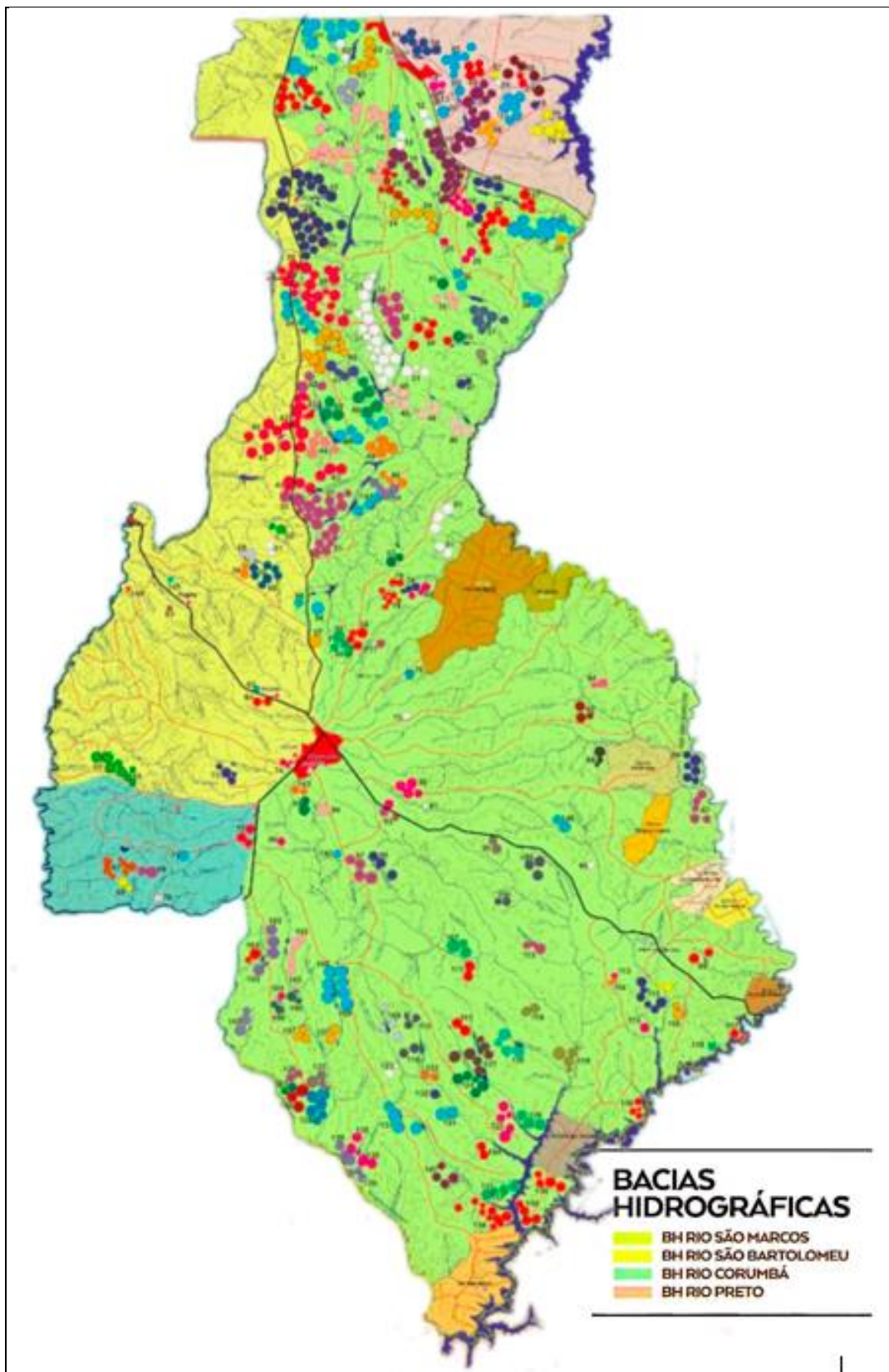
O município de Cristalina, em Goiás, situa-se na mesorregião do Leste Goiano e na microrregião do Entorno do Distrito Federal, estando a 281 km da capital Goiânia e tendo

como municípios limítrofes: Ipameri/GO, Luziânia/GO, Paracatu/MG, Unai/MG, Cidade Ocidental/GO e Distrito Federal. Foi criado em 1916, após a Lei Estadual nº 533, que elevou o Distrito de São Sebastião à emancipação, efetivada em janeiro de 1917 mediante pressão popular. Em 1918, por meio da Lei Estadual nº 577, o nome de São Sebastião dos Cristais foi alterado para Cristalina, como permanece até os dias atuais. A extração e a comercialização de cristal de rocha, iniciadas pelos franceses Etienne Lepesqueur e Leon Laboissère, foi a principal atividade econômica desenvolvida até a década de 1970.

O cenário econômico da região, centrado na mineração e com atividades pastoris apenas de subsistência, começa a ser alterado a partir do final de 1950, inicialmente devido à construção de Brasília e, posteriormente, por ações governamentais destinadas a fomentar a ocupação e o desenvolvimento das regiões Norte e Centro-Oeste. Dentre os programas governamentais de fomento, destacam-se o Segundo Plano Nacional de Desenvolvimento (II PND), destinado a promover a produção de insumos básicos e bens de capital, auxiliando no processo de modernização agrícola; o Programa Especial da Região Geoeconômica de Brasília (Pergeb), voltado a fomentar o desenvolvimento rural e agroindustrial e a promover a melhoria no abastecimento agrícola de Brasília, abrangendo 200 mil hectares de cerrado nos estados de Minas Gerais, Goiás, Bahia, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul; o Programa de Cooperação Nipo-Brasileira para o Desenvolvimento dos Cerrados (Prodecer), idealizado em 1974, para estimular o desenvolvimento de uma agricultura moderna por meio da instituição de novos processos produtivos; e o Programa de Desenvolvimento dos Cerrados (Polocentro), desenvolvido no período de 1975 a 1979, com a finalidade de favorecer o desenvolvimento e a modernização agropecuária da região Centro-Oeste e do oeste do estado de Minas Gerais (ANA, 2013a; ANA, 2013b). O uso de novas tecnologias, como a irrigação, se consolidou na região em virtude dos fatores naturais favoráveis, como as características de solo, clima, relevo e a abundância de recursos hídricos, uma vez que o município é banhado por 246 rios. Essa difusão tecnológica possibilitou crescentes aumentos de produção, iniciando pelos grãos (feijão, milho, soja e outros).

A Figura 1 apresenta a delimitação territorial de Cristalina, suas bacias hidrográficas e a espacialização dos equipamentos de pivô central instalados no município.

Figura 1 – Delimitação territorial de Cristalina, suas bacias hidrográficas e a espacialização dos equipamentos de pivô central instalados no município



Fonte: Irrigo (2016).

A expansão agrícola no município de Cristalina teve como marco os programas Prodecer e Polocentro, ao atrair e assentar agricultores especialmente das regiões Sul e Sudeste do País, sendo uma opção para produtores rurais de outras regiões do Brasil, com experiências produtivas agrícolas que promovessem a ocupação racional do cerrado e seu aproveitamento em caráter empresarial. De acordo com Silva (2001, p. 31):

os recursos destinados ao POLOCENTRO abrangeram vários setores, tais como: armazenamento; energia; assistência; pesquisa e agropecuária; transporte e crédito rural, além de outras infra-estruturas como: a eletrificação rural, mecanização e a utilização intensiva de corretivos do solo. O desenvolvimento de infra-estruturas e tecnologias promovidas pelo POLOCENTRO permitiu o aumento da produtividade média das áreas de Cerrado acima da produtividade média nacional, sendo suas ações consideradas como estímulos para a criação do Programa de Cooperação

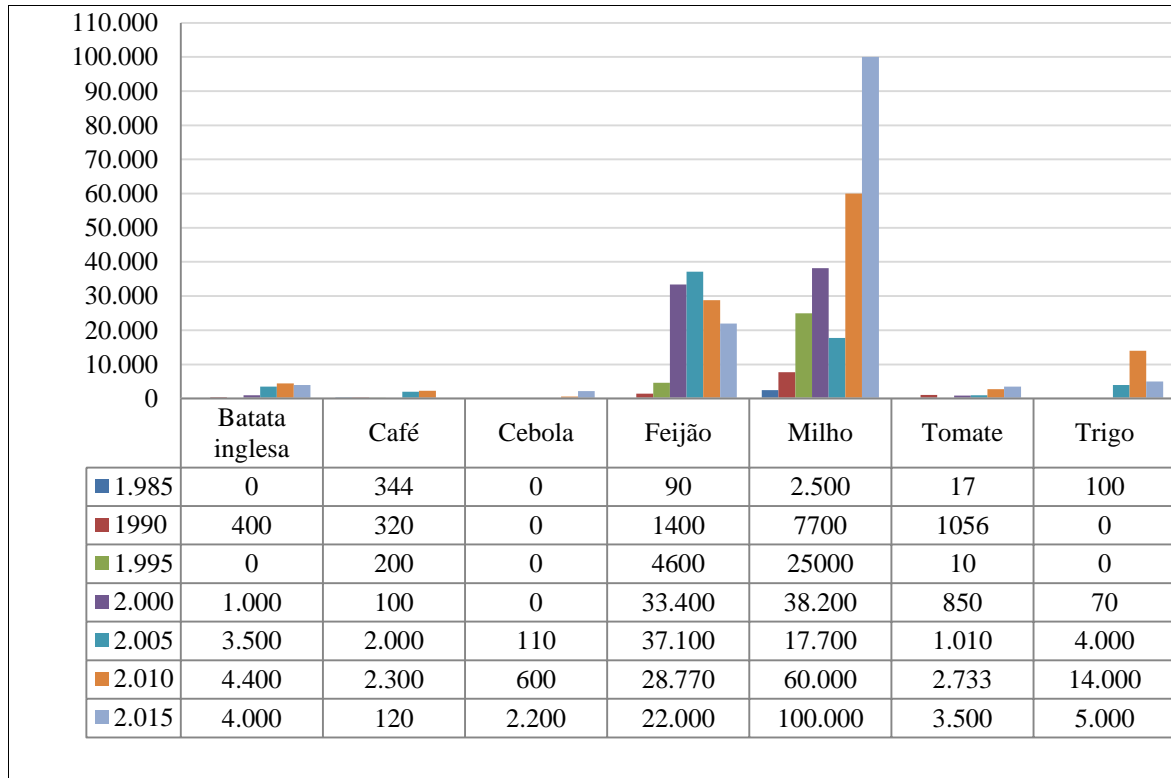
Contudo, no final da década de 1990, em decorrência da infestação pelo fusário ocorrida nas lavouras de feijão, que restringiu o uso de inúmeros equipamentos de irrigação,<sup>5</sup> produtores da região não apenas passaram a adotar tecnologias mais eficazes no controle da doença, como também a diversificação de culturas, com a produção de hortifrúti, que adquiriu significativa representatividade econômica no município, dado o valor de mercado que esses produtos possuem.

A possibilidade de intensificação no uso dos recursos de produção fez com que o cultivo de algumas culturas se destacasse ao longo dos anos, com expressivo aumento em áreas plantadas por hectares, conforme apresentado no Figura 1. Isso contribuiu para que as atividades agropecuárias desenvolvidas na região gradativamente adquirissem mais relevância econômica.

---

<sup>5</sup> A murcha-de-fusário ou amarelecimento de *fusarium* é uma doença causada pelo fungo *fusarium* spp., que reduz drasticamente a produtividade da cultura infestada. De acordo com a Agência Embrapa de Informação Tecnológica (AGEITEC, 2016): “a principal medida é evitar a entrada do patógeno em áreas isentas, seja em sementes infectadas, seja pela água de irrigação contaminada ou em partículas de solo infectadas aderidas nos equipamentos agrícolas. Outras medidas de controle são as rotações de culturas com espécies de braquiárias ou o milheto”.

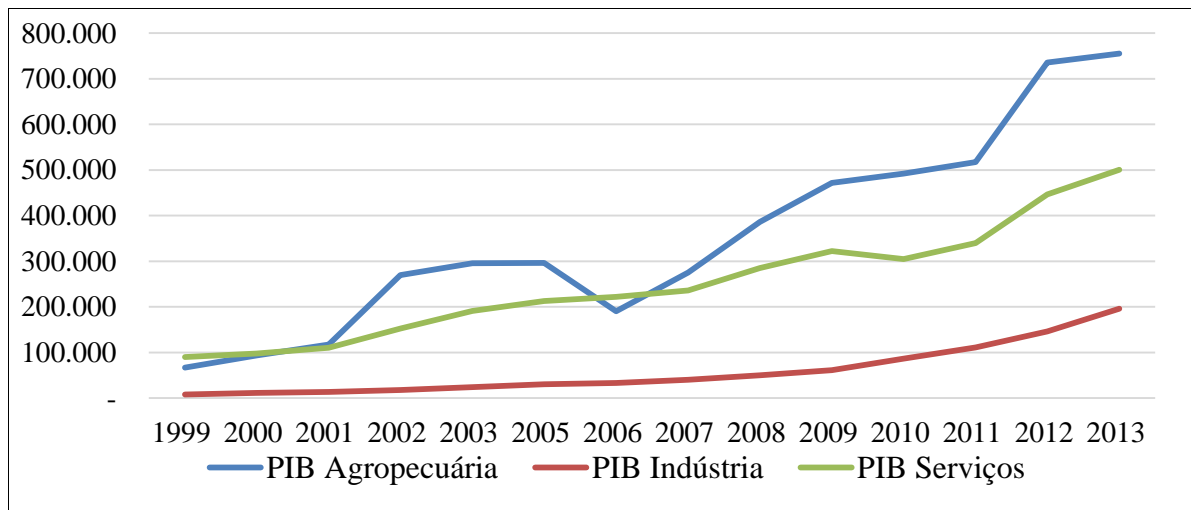
Figura 2 – Culturas irrigadas em Cristalina (área plantada/hectares)



Fonte: Ipeadata / IBGE (2016).

Esse processo de expansão agrícola e diversificação de culturas teve impacto direto na geração de renda e riqueza na economia do município. A participação do setor agropecuário foi crescente ao longo dos anos e, já no início do ano 2000, o valor do Produto Interno Bruto (PIB) agropecuário no município ultrapassa o valor adicionado bruto gerado pelo setor de serviços, consolidando sua importância como base da economia local (Figura 2).

Figura 3 – Evolução histórica do PIB de Cristalina – GO (1999-2013)



Fonte: IBGE (2016).

\* Os dados referentes ao PIB do município no ano de 2004 não estão disponíveis.

Em 2013, o município de Cristalina consolida também sua importância na produção de alimentos no País e, especialmente, na economia goiana, alcançando a posição de terceiro maior PIB agropecuário do estado e estando entre os maiores PIB agropecuários do Brasil, conforme *ranking* divulgado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (Tabela 3), que apresenta os dez municípios e as respectivas unidades da federação com mais representatividade agropecuária no cenário nacional anualmente.

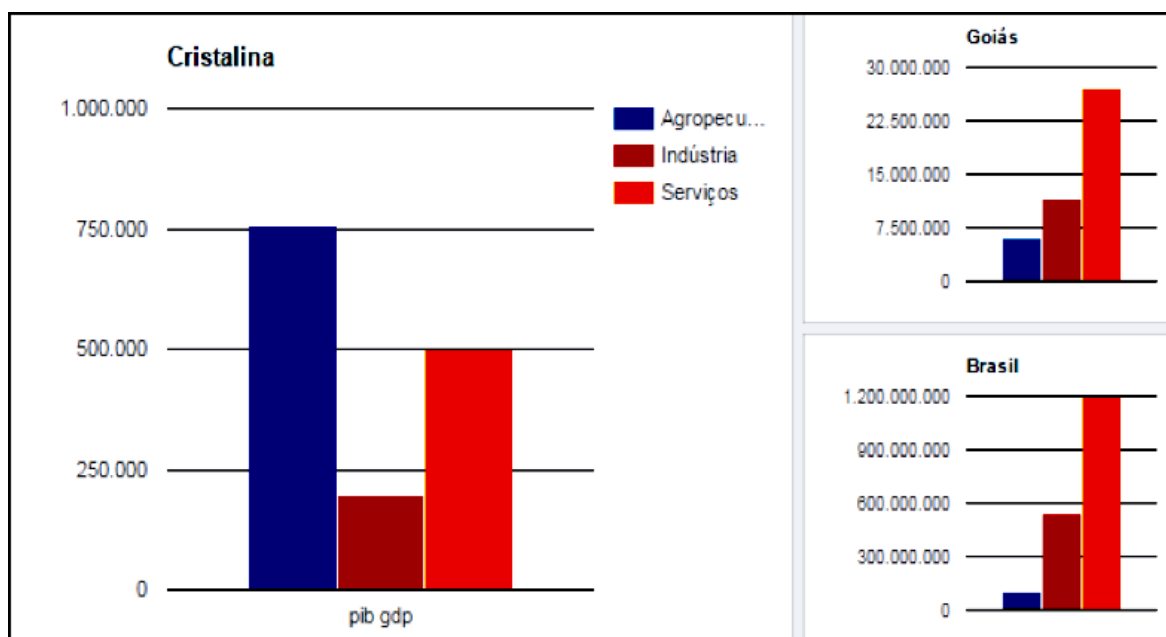
Tabela 3 – Posição ocupada pelos dez maiores municípios, em relação ao valor adicionado bruto da agropecuária

Municípios e respectivas Unidades da Federação	Posição ocupada	Valor adicionado bruto da agropecuária(R\$ 1.000,00)
São Desidério/BA	1º	1.305.447
Rio Verde/GO	2º	1.058.687
Sorriso/MT	3º	963.281
Ulianópolis/PA	4º	931.070
Jataí/GO	5º	915.498
Campo Novo do Parecis/MT	6º	905.582
Sapezal/MT	7º	851.758
<b>Cristalina/GO</b>	<b>8º</b>	<b>755.256</b>
Diamantino/MT	9º	753.602
Formosa do Rio Preto/BA	10º	750.086

Fonte: IBGE (2013).

Além disso, sua configuração setorial se tornou diferenciada das configurações do estado de Goiás e do País, destacando a maior participação do setor agropecuário em relação aos demais. A Figura 3 apresenta uma série revisada dos dados do PIB do município, disponibilizados pelo IBGE para o período de 2010 a 2013, ilustrando a representatividade econômica do setor.

Figura 4 – Representatividade econômica do setor agropecuário em Cristalina



Fonte: IBGE (2013).

O município, constituído por uma área de 616.000 ha, possui configuração agrícola produtiva composta por 2.942 agricultores, sendo 147 produtores irrigantes e 2.795 assentados, pequenos e grandes produtores. Diferentemente da agricultura irrigada, que tem mostrado significativo incremento em área anualmente, a pecuária de corte não tem apresentado aumento regular no número do rebanho e o crescimento na pecuária de leite em quantidade de cabeças e produtividade por animal está atrelado ao uso da irrigação na produção de pastagem. A Tabela 4 expõe a evolução na pecuária de leite e corte no município no período de 2004 a 2015, o que reforça o protagonismo do uso da tecnologia de irrigação, que, direta ou indiretamente, contribui para o aumento da lucratividade.

Tabela 4 – Evolução da Pecuária em Cristalina/GO (2004-2015)

Descrição	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
<b>Vacas ordenhadas - quantidade (cabeças)</b>	18.000	19.000	19.300	19.840	19.900	20.000	20.100	20.350	19.500	21.256	25.000	30.868
<b>Leite de vaca - produção - quantidade (mil litros)</b>	16.200	20.520	20.850	21.430	21.492	21.900	19.900	25.641	24.570	26.570	29.300	36.000
<b>Bovinos - efetivo dos rebanhos / cabeças</b>	123.000	124.000	125.500	128.000	128.700	136.000	150.400	156.400	150.225	148.893	157.000	131.535

Fonte: IBGE (2016).

Dentre as principais atividades agropecuárias desenvolvidas no município estão a agricultura de sequeiro, praticada em uma área de 259.200 ha, que gerou, em 2015, um PIB de 1,1 bilhão de reais, e a agricultura irrigada, numa área de 56.370 ha, originando um PIB total de 1.056 bilhão, dos quais 722 milhões são fruto do cultivo das culturas de alho, batata, cebola, cenoura, beterraba, batata-doce, tomate e ervilha e 334 milhões advêm da produção de café, feijão, trigo, milho doce, milho verde e milho semente.

Fazendo um comparativo entre o tipo de agricultura praticada no município (Tabela 5), tem-se que a área irrigada corresponde a 17,86% do total da área agrícola e gera um PIB equivalente a 49% do valor apurado com a agricultura.

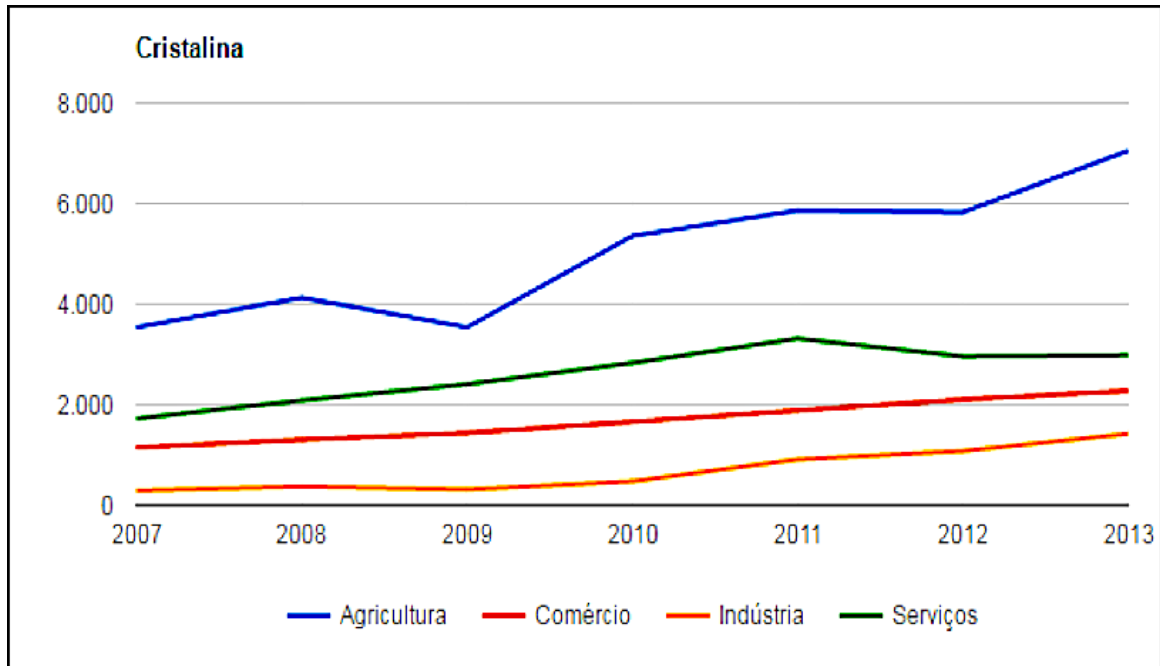
Tabela 5 – Comparativo entre a agricultura de sequeiro e a irrigada para variáveis selecionadas no município de Cristalina/GO

<b>Atividade agropecuária</b>	<b>Uso do solo (ha)</b>	<b>Uso do solo (%)</b>	<b>PIB (bilhões R\$)</b>	<b>PIB (%)</b>	<b>Geração de emprego (pessoas ocupadas/ha)</b>
Agricultura de sequeiro	259.200	82,14	1,1	51	1/100
Agricultura irrigada	56.370	17,86	1,0	49	1/9
<b>TOTAL</b>	<b>315.570</b>	<b>100</b>	<b>2,1</b>	<b>100</b>	

Fonte: Sindicato Rural de Cristalina (2015), informações obtidas durante pesquisa de campo.

Quanto à empregabilidade, a agricultura se destaca no município em comparação com os outros setores da economia, tendo aumentado significativamente o número de ocupação no setor, especialmente a partir de 2009, conforme apresentado na Figura 4. Uma das possíveis justificativas desse incremento decorre do benefício direto, oriundo da adoção de sistema de irrigação, que gera emprego no campo, sendo em média uma pessoa contratada como mão de obra permanente a cada nove hectares e uma pessoa contratada como mão de obra temporária a cada seis hectares. Enquanto isso, a empregabilidade na agricultura de sequeiro é de um emprego a cada 100 ha plantados.

Figura 5 – Pessoas ocupadas por setor de 2007 a 2013



Fonte: IBGE, Cadastro Central de Empresas, 2014.

O município de Cristalina, em geral, têm se beneficiado dessa característica de polo de irrigação, que fomentou a constituição do polo agroindustrial, consolidado com a instalação de indústrias de beneficiamento e processamento de produtos alimentícios, como a Incotril, a Fugini, a Bonduelle e a Sorgatto, que, atraídas pela diversidade de culturas produzidas sob o sistema de irrigação (especialmente a do tipo pivô central), têm assegurado a disponibilidade de matéria-prima de boa qualidade durante praticamente o ano todo, até mesmo no período de entressafra.

## 2.3 Fundamentação analítica

### 2.3.1 Pesquisa operacional

A pesquisa operacional surgiu das necessidades operacionais dos países aliados durante a Segunda Guerra Mundial para resolução de problemas relacionados ao uso eficaz dos recursos militares, logísticos, táticos e estratégicos (ARENALES et al., 2011). No período pós-guerra, o estudo sistemático da pesquisa operacional avançou nos Estados Unidos e na Inglaterra, ainda com foco em otimizar operações e decisões militares.

Por meio de grupos de cientistas com formação em diversas áreas do conhecimento – matemáticos, físicos, engenheiros e economistas – foram criados modelos matemáticos

embasados em dados e fatos que simulassem resultados de alternativas estratégicas para os problemas analisados. Em 1947, George Dantzig, prestando serviço junto à Força Aérea Norte-Americana, desenvolveu uma ferramenta para a resolução de problemas, utilizando a programação linear por meio de um algoritmo simples, denominado “simplex”, com o objetivo de otimizar (minimizar ou maximizar) uma função objetivo sujeita a restrições.

No Brasil, o primeiro simpósio sobre pesquisa operacional foi promovido pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em 1968, sendo constituída, em seguida, a Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (Sobrapo).

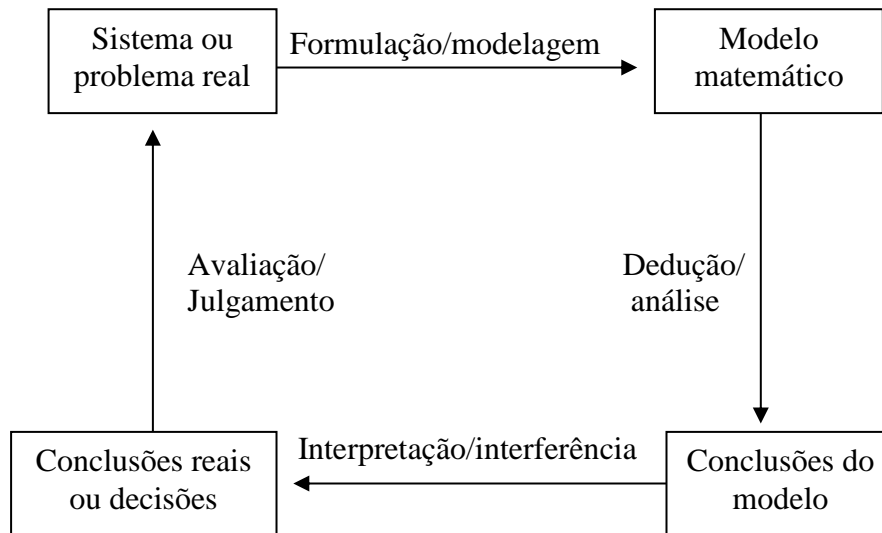
Desde então, várias contribuições para o campo da programação linear auxiliaram a expandir esse método, tais como os recursos computacionais, que possibilitaram incrementos em rapidez e complexidade no processamento de informações; o desenvolvimento de teorias de controle, sistemas, probabilidade, jogos e as novas teorias de valor subjetivo. Tais teorias, aplicadas especialmente por grandes corporações – como as companhias petrolíferas –, com foco na resolução de problemas e na definição de melhores alternativas na tomada de decisão, evidenciaram a capacidade do método em modelar decisões complexas de problemas de gerenciamento, bem como a capacidade de apresentar resultados em tempo razoável. Esses resultados têm favorecido a aceitação do método de programação linear, com foco em planejamento e gestão, por organizações de diversos setores e pela comunidade acadêmica, compondo o que se denomina de pesquisa operacional.

Para Araújo, Junior e Kampke (2007, p.2), a pesquisa operacional é definida como “[...] ciência aplicada voltada para a resolução de problemas reais. Tendo como foco a tomada de decisões, e que aplica conceitos e métodos de outras áreas científicas para concepção, planejamento ou operação de sistemas para atingir seus objetivos”. Arenales et al. (2011, p. 3) a denominam como “[...] abordagem científica para tomada de decisões, que procura determinar como melhor projetar operar um sistema, usualmente sob condições que requerem a alocação de recursos escassos”.

Dessa forma, a pesquisa operacional mediante o uso da programação matemática visa simular a realidade, por meio de um conjunto de variáveis que descrevem a dinâmica do sistema e que representam uma função objetivo e suas distintas restrições. Conforme corrobora Ackoff (1979, p. 97), “[a]ll models are simplifications of reality. If this were not the case, their usefulness would be significantly reduced. Therefore, it is critical to determine how well models represent reality”. Desse modo, a solução adequada será efetivamente encontrada mediante a identificação e a definição de variáveis que comporão as bases para a definição do

modelo. Na Figura 6, é apresentado um fluxograma, que contempla as etapas de solução de problemas com o uso da pesquisa operacional.

Figura 6 – Processo de modelagem



Fonte: Arenales et al. (2011, p. 3).

Embora a pesquisa operacional tenha se popularizado no meio científico e empresarial na busca por soluções “ótimas”, algumas críticas têm sido creditadas, sobretudo devido à banalização no uso do modelo, à natureza dos aspectos considerados na formulação do modelo matemático e à necessidade de adaptação das situações problemáticas ao ambiente.

Ackoff (1979), em seu artigo *The future of operational research is past*, critica como os praticantes da pesquisa operacional têm adequado as situações problemáticas a fim de aplicar as técnicas, reduzindo a utilidade da pesquisa operacional à conveniência de executivos ao uso de modelos matemáticos e algoritmos em detrimento da possibilidade de elaborar/modelar e resolver problemas de gestão, bem como implantar suas soluções. O autor cita a contribuição de Donald A. Schon' sobre o tema ao defender que, para muitas organizações sociais, a “vida” das soluções encontradas é menor do que o tempo necessário para encontrá-los.

Entretanto, tais críticas apenas ressaltam as limitações da pesquisa operacional quanto a sua aplicabilidade, evidenciando a necessidade de integração dos aspectos quantitativos e qualitativos, a abordagem de sistemas e o uso das novas ferramentas não matemáticas, que buscam oferecer mais flexibilidade na abordagem via pesquisa operacional, possibilitando, assim, o confronto de novos e antigos padrões no desenvolvimento de modelos alternativos que sejam aceitáveis em diferentes aspectos, que diminuam as demandas de

dados, contemplem as pessoas como sujeitos ativos e proporcionem soluções aceitáveis, que facilitem a assertiva na tomada de decisões.

Dessa maneira, a aplicabilidade dessas teorias e metodologias exige uma transformação de atitude, uma vez que, conforme a abordagem de sistemas e sendo o homem parte deles, o tratamento dos dados deve contribuir para a disseminação de informações válidas na construção de modelos e teorias.

A pesquisa operacional, por meio da programação linear – modelos matemáticos – tem se apresentado como metodologia em estudos de empreendimentos agrícolas, como estratégia de gestão e planejamento das atividades que proporcione um melhor conjunto de alternativas, dadas as limitações do ambiente, sendo geralmente consideradas as relações entre atividade econômica e recursos naturais (BORGES JÚNIOR et al., 2010).

Frizzone et al. (1994), em seu estudo “Alocação de água e combinação de atividades pela programação linear em um projeto hidroagrícola no município de Guaíra (SP)”, realizado na Fazenda Lagoa do Fogão, objetivou, pela utilização do modelo matemático de programação linear, maximizar o lucro da propriedade agrícola, analisando as culturas de inverno: tomate industrial, trigo, batata, ervilha e feijão. Estas, comumente, são cultivadas sob o regime de irrigação do tipo pivô central, em uma área de 207 ha, resolvendo a problemática fundamental da economia de alocação ótima de recursos frente às variáveis de restrição terra, água e mercado. Os resultados sugerem o cultivo de tomate (33 ha) e feijão (61 ha) no pivô central 1 e sob o pivô central 2 deve-se cultivar feijão (64 ha). O pivô central 3 ficará ocioso, pois não há disponibilidade de água.

Carvalho et al. (2000) realizaram um trabalho que apresenta, por meio da programação linear, a seleção das culturas e os meses adequados para plantio no perímetro irrigado do Gorutuba, que possibilitasse o aumento da renda líquida mensal dos produtores, a partir da análise das culturas tradicionalmente cultivadas mediante as restrições de área, disponibilidade hídrica e mão de obra em um tempo de planejamento de quatro anos. Os resultados apontaram que o diferencial obtido apresenta a banana-prata como a melhor opção de plantio. Já no cenário sem restrição de área para plantio, as melhores épocas de cultivo são janeiro e agosto para o feijão, abril e outubro para o quiabo e dezembro para o milho.

Delgado et al. (2012) elaboraram um modelo de programação linear separável, contemplando um conjunto de fatores técnicos, tendo como objetivo a maximização da receita em uma área de 25 ha do Projeto de Irrigação e Drenagem na cultura da cana-de-açúcar no Norte Fluminense (Projir), analisando dados de produtividade das culturas de maracujazeiro, cana-de-açúcar, abacaxi e mamoeiro em resposta à função de lâmina de água. As variáveis de

restrição avaliadas foram água e terra. O modelo foi aplicado considerando quatro cenários: uso de irrigação suplementar e disponibilidade de água; uso de irrigação total e disponibilidade de água; uso de irrigação suplementar e restrição do volume de água disponível e uso de irrigação total e redução do volume de água disponível. Os resultados mostram que não houve variação na receita líquida das culturas ao serem avaliados os cenários para irrigação total e suplementar, possivelmente pelo baixo valor cobrado pelo uso da água. As culturas que apresentaram as melhores respostas nos diversos cenários foram mamão e abacaxi.

Santos et al. (2009) utilizaram o modelo de programação linear para identificar quais culturas foram cultivadas sob a irrigação localizada, tipo gotejamento e microaspersão, em lotes com área de 8 ha, proporcionam mais retorno econômico ao pequeno produtor que possui como restrições a disponibilidade de terra, água e mercado. Os resultados apontaram que em seis dos sete planos cultivados a disponibilidade de água não foi fator restritivo ao uso do recurso terra, salvo em condições de restrição em 60% dos recursos hídricos, sendo identificado como combinação “ótima” o cultivo de gravioleira e meloeiro, com áreas de plantio de 50% para cada cultura.

Borges Júnior et al. (2008) empregaram a programação linear como ferramentas de suporte à gestão de empreendimentos agrícolas, por meio de modelos computacionais de simulação. O estudo foi desmembrado em duas etapas, abordando o desenvolvimento e a aplicação dos testes de metodologia e da modelagem computacional, com o objetivo de otimizar o retorno financeiro e o uso da água no período de quatro anos, em propriedade rural no perímetro de irrigação do Jaíba-MG, tendo como restrições a disponibilidade hídrica mensal, a mão de obra, a terra e a produção. Foi analisado o cultivo das culturas perenes – banana, mamão, maracujá e limão –, em períodos específicos do ano, e das culturas anuais – abóbora, algodão cebola, feijão, melão e pepino para conserva. O modelo apresenta uma combinação produtiva como máximo valor presente líquido total de R\$ 372.723,00 para o período de quatro anos, destacando-se o cultivo de banana e algodão, dadas as diversas limitações, diferentemente do mamão e da abóbora, que, embora apresentem significativa rentabilidade, possuem pouca atratividade pela elevada exigência de mão de obra.

### 3 METODOLOGIA

A pesquisa se caracteriza pela investigação científica com a adoção do método qualitativo, ao apresentar o panorama atual da agricultura irrigada em Cristalina/GO e o desafio do poder público em instituir instrumentos de gestão para bens comuns que efetivamente promovam a adoção de práticas produtivas sustentáveis. Nessa metodologia de pesquisa, “o cientista objetiva aprofundar-se na compreensão dos fenômenos que estuda – ações dos indivíduos, grupos ou organizações em seu ambiente ou contexto social –, interpretando-os segundo a perspectiva dos próprios sujeitos que participam da situação” (GUERRA, 2014, p. 11).

Esta dissertação é classificada como exploratória pelo estudo preliminar, que visa oportunizar mais familiaridade com o problema e evidenciá-lo por meio de revisão bibliográfica em literatura da área e realização de entrevista semiestruturada com agentes públicos ligados a órgãos de regulação e controle, como a Federação da Agricultura do Estado de Goiás (Faeg), a Secretaria de Desenvolvimento do Estado de Goiás (SED) e a Secretaria de Meio Ambiente, Recursos Hídricos, Infraestrutura, Cidades e Assuntos Metropolitanos (Secima), buscando apurar a disponibilidade hídrica em Goiás e os processos de gestão das águas adotado pelo Estado. Também se realiza a revisão descritiva, com a identificação e a análise dos aspectos relacionados ao fenômeno estudado, por meio de análise documental em dados disponibilizados pela SED, relativos ao cadastramento dos irrigantes de Goiás. A pesquisa documental é feita a partir da análise de documentos públicos ou privados, contemporâneos ou retrospectivos, em fontes primárias ou secundárias, considerados confiáveis cientificamente (GIL, 2002).

Dessa forma, pela utilização da programação linear, foram comparados os diferentes cenários, a partir do cenário atual (referência), no qual a água é um insumo de produção sem custo para o produtor, juntamente com os cenários que representam os cinco próximos anos, com elevação progressiva do montante a ser cobrado por unidade de captação do recurso hídrico. O confrontar dos resultados que ilustram cada cenário possibilitou identificar o quanto a cobrança pelo uso da água impacta na rentabilidade do produtor e nos níveis de alteração da configuração agrícola do sistema – alteração em área das culturas cultivadas –, como consequentes impactos na efetividade da política pública, os quais foram discutidos ao final deste trabalho.

O estudo utilizou o modelo de programação linear aplicando a ferramenta Solver, disponível no programa Microsoft Office Excel. Especificamente, pretende-se encontrar a solução ótima para a equação:

$$Z = \sum_{i=1}^N (Ri - CA \times ITNi) Xi \quad (\text{eq.1})$$

Dadas as restrições:

$$\sum_{i=1}^N ITNi \times Xi \leq W \quad (\text{eq.2})$$

$$\sum_{i=1}^N Xi \leq 50.500 \quad (\text{eq.3})$$

Onde:

i = cultura irrigada

R = Receita Unitária = preço médio de venda  $\times$  produtividade (R\$)

CA = Custo unitário da água (R\$/m<sup>3</sup>)

ITN = Irrigação total necessária (m<sup>3</sup>/há)

X = área irrigada (ha)

W = Consumo hídrico total pela irrigação em 2015

50.500 = área total irrigada das culturas com mais representatividade em área cultivada (incluídas as áreas com outorga e em processo).

A partir da maximização da equação (eq.1) foi possível identificar um padrão de uso do solo e dos recursos hídricos de máxima eficiência econômica desses recursos e, por consequência, a simulação dos cenários que permitiram analisar a efetividade das políticas públicas (cobrança pelo uso da água) de gestão dos recursos hídricos. Tal padrão foi constituído pela combinação ótima de culturas que minimizem o consumo de água e maximizem a receita total na região, dadas as restrições de disponibilidade total de água para irrigação na região (eq.2) e a quantidade de terras atualmente disponíveis (eq.3).

As principais culturas irrigadas produzidas na safra de inverno 2015 e suas respectivas áreas de cultivo estão apresentadas na Tabela 6, sendo essas informações oriundas do Sindicato Rural de Cristalina para as culturas de milho, alho, batata-inglesa, cebola, feijão, milho doce e semente, tomate e trigo. Assim, restrições de área correspondem ao somatório da área irrigada atualmente cultivada. Para efeito de modelagem, foram desconsideradas as culturas com menos expressividade em área cultivada no período analisado e cuja ausência de informações nos institutos de pesquisa inviabilizaram a inclusão no modelo, sendo elas: café,

cenoura, beterraba, milho, pamonha, aveia, batata-doce e frutíferas, que totalizam 5.750 hectares.

Tabela 6 – Principais culturas irrigadas produzidas na safra de inverno/2015 em Cristalina-GO

<b>Culturas</b>	<b>Área plantada / há</b>
Alho	1.800
Batata-inglesa	4.000
Cebola	2.220
Feijão (em grão)	10.000
Milho doce	12.000
Milho semente	12.000
Tomate	3.500
Trigo (em grão)	5.000
<b>Total</b>	<b>50.500</b>

Fonte: Sindicato Rural de Cristalina, elaborado pela autora.

Para calcular a receita unitária(R) das diferentes culturas (Tabela 7), foram coletados dados de valor da produção agrícola municipal, os quais foram divididos pela quantidade produzida no município, obtendo-se o preço unitário pago ao produtor, multiplicado pela respectiva produtividade média, permitindo obter a receita unitária para cada cultura, de maneira a eliminar o efeito das oscilações de preço.

Para a cultura de milho semente, foi utilizada a base de preços BM&F BOVESPA menos 15% do valor, uma vez que esta é a referência adotada no pagamento ao produtor, conforme parâmetros contratuais estabelecidos junto às produtoras de semente de milho. Utilizaram-se, para tanto, dados do período de 2006 a 2015. Esses valores nominais foram deflacionados com a aplicação de um índice geral de preços, o IGP-DI, para obter os valores reais que serviram de parâmetro para o cálculo de média simples dos valores recebidos pelo produtor por kg.

Quanto às informações do preço de venda e produtividade do milho doce, assim como os demais dados específicos do município, estes também foram obtidos junto ao Sindicato Rural de Cristalina e da Irrigo, sendo, portanto, dados primários que ilustram a realidade da agricultura irrigada no município. De acordo com Arenales et al. (2011, p. 3), “[...] a validação do modelo depende da solução do modelo matemático ser coerente com o contexto original”. Por sua vez, Ackoff (1979, p. 103) informa sobre a necessidade de considerar os envolvidos no processo de decisão e aqueles que podem ser afetados por ele, ou seja,

proporcionar uma melhor simplificação da realidade. Quanto à produtividade, foram utilizados valores decorrentes da média obtida com base no período analisado.

Tabela 7 – Informações de preço, produtividade e receita total para as atividades consideradas

<b>Culturas</b>	<b>Preço de venda (R\$/kg)</b>	<b>Produtividade (kg/ha)</b>	<b>Receita unitária (R\$/ha)</b>
Alho	4,82	13205	63.689,13
Batata-inglesa	0,81	38200	31.043,68
Cebola	1,15	53778	62.151,30
Feijão (em grão)	2,30	2322	5.363,10
Milho doce	0,5	15000	7.500,00
Milho semente	0,46	5854	2.736,75
Tomate	0,38	85807	33.228,78
Trigo (em grão)	0,77	4818	3.749,35

Fonte: Elaborado pela autora.

A demanda hídrica por cultura foi calculada em mm diário por hectare e, posteriormente, convertida em m<sup>3</sup> para adequar a unidade de referência estabelecida como critério para a cobrança pelo CBH do Paranaíba. Os padrões de demanda hídrica referenciais utilizados no modelo foram os determinados pelo *Manual Técnico de Outorga* (SEMARH, 2016) para obtenção de concessão de direito de uso da água para implantar equipamento de irrigação do tipo pivô central.

Tabela 8 – Demanda de recursos por unidade de área e cultura por ciclo de produção

<b>Culturas</b>	<b>Ciclo de produção irrigada / dias</b>	<b>Máxima demanda Kcmm/dia</b>	<b>mm/ciclo outorgado</b>	<b>Requerimento de irrigação / ciclo outorgado (m<sup>3</sup>/ha)</b>
Alho	110	6,18	679,8	6.798
Batata-inglesa	110	7,06	776,6	7.776
Cebola	110	6,47	711,7	7.117
Feijão (em grão)	90	7,06	635,4	6.354
Milho doce	95	7,06	670,7	6.707
Milho semente	125	7,06	882,5	8.825
Tomate	120	5	600	6.000
Trigo (em grão)	115	7,06	811,9	8.119

Fonte: Elaborado pela autora.

Na Tabela 9 encontram-se os valores de referência a serem cobrados por m<sup>3</sup>/h de cada cultura. Tais valores foram utilizados para dedução da receita total de cada uma, gerando os diferentes cenários simulados nesta pesquisa.

Tabela 9 – Custo da água por ciclo de produção de cada atividade outorgado

Culturas	Valor (R\$)			
	1º e 2º ano (0,015/m <sup>3</sup> )	3º ano (0,020/m <sup>3</sup> )	4º ano (0,022/m <sup>3</sup> )	5º ano (0,025/m <sup>3</sup> )
Alho	101,97	135,96	149,55	169,95
Batata	116,64	155,52	171,07	194,4
Cebola	106,75	142,34	156,57	177,92
Feijão (3ª safra)	95,31	127,08	139,78	158,85
Milho doce	100,60	134,14	147,55	167,67
Milho semente	132,37	176,5	194,15	220,62
Tomate industrial	90	120	132	150
Trigo	121,78	162,38	178,61	202,97

Fonte: Elaborado pela autora.

Na busca por uma explicação significativa para a dinâmica de uso de solo no sistema, que pudesse subsidiar a determinação das restrições de retração e expansão das áreas das culturas irrigadas, conferindo mais representatividade ao modelo, utilizou-se da hipótese de que a área cultivada respondia ao preço, assim, os dados de série histórica de preço e área cultivada das culturas que compõem o modelo foram submetidos a diferentes análises exploratórias, a saber: estatística, gráfica e econométrica.

A análise de correlação, segundo a abordagem de Spearman, visa mensurar o grau de correlação entre duas variáveis quantitativas e aleatórias  $x$  e  $y$ , que representam uma amostra de pares ordenados de forma crescente extraída de uma população. Essas variáveis associam-se de forma direta e indireta, sendo “[...]. O coeficiente assume o valor 1 quando entre o conjunto das observações existe uma associação direta perfeita e assume o valor -1 quando se verificar uma associação inversa perfeita. Quando não se verificar qualquer associação entre as variáveis  $x$  e  $y$ , o coeficiente assume valores próximos de zero” (FERREIRA et al., 2013, p. 22). No estudo, considerando o período analisado de 2006 a 2015, buscou-se identificar a //correlação existente entre a área destinada ao cultivo de determinada cultura e o preço pago ao produtor, como fator influenciador na tomada de decisão acerca do que produzir.

O método *Shift-Share*, conforme aplicado por: Pimentel (1998), Yokoyama, Igreja e Neves (1989) e Gomes et al. (1998), possibilita a análise do comportamento produtivo de determinado setor em determinado período de tempo, considerando, particularmente, a realidade local acerca de aspectos específicos, como expansão ou substituição de determinada atividade conforme período analisado. De acordo com contribui Simões (2005, p. 10):

O método *shift-share* consiste, basicamente, na descrição do crescimento econômico de uma região nos termos de sua estrutura produtiva. O método é composto por um

conjunto de identidades – com quaisquer hipóteses de causalidade – que procuram identificar e desagregar componentes de tal crescimento, numa análise descritiva da estrutura produtiva.

Segundo Santos et al. (2009, p. 582):

Este modelo permite decompor a alteração da área cultivada de um produto em relação a outro, em função da variação do tamanho do sistema (que corresponde ao somatório da área cultivada com os produtos plantados na região em análise) de produção (efeito escala), ou da substituição de um produto por outro, dentro do sistema (efeito-substituição).

Na pesquisa, foi considerada a área destinada à produção das culturas de alho, batata-inglesa, cebola, feijão, milho em grão, tomate e trigo no município de Cristalina, no período de 2006 a 2015, considerando a média obtida com base nos anos de 2006, 2007 e 2009 – como valores de referência inicial – e de 2013, 2014 e 2015 – para definir os valores finais. Com isso, objetiva-se delinear a configuração produtiva em Cristalina e os respectivos efeito-escala (expansão da área cultivada) e efeito substituição (uma cultura ocupada área anteriormente cultivada por outra cultura) de cada cultura contemplada pelo estudo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise estatística foi elaborada com o uso do sistema SPSS, no qual os dados da série histórica área e preços nominais foram submetidos a uma análise estatística exploratória resultante do coeficiente de correlação de Spearman. Esse coeficiente é usualmente empregado nos casos em que as amostras são pequenas e a distribuição não é normal, buscando identificar o nível de influência de uma variável sobre a outra.

Os resultados não apresentaram evidências suficientes para determinar um modelo econométrico e, além disso, foi possível encontrar algumas correlações aparentemente espúrias, como a entre o preço de venda do tomate e a área de cultivo da cebola e o preço do tomate com o de cebola e milho. Dessa forma, foi possível concluir que a alocação do fator terra não tem uma correlação significativa com o preço do produto e que ele é alocado segundo uma racionalidade que considera outras variáveis, que fogem ao escopo/recursos analíticos desta pesquisa.

A análise do sistema, por meio do método *shift-share*, tem os resultados apresentados na Tabela 10, a qual ilustra as culturas que sofreram mais alterações de suas áreas por efeito de substituição: feijão em grão, trigo e milho. Nesse sentido, feijão e trigo apresentaram os respectivos valores negativos: - 8.311,27 ha, - 4.523,96 ha, enquanto tomate, cebola e milho obtiveram os valores positivos de 1.540,99 ha, 1.278,12 ha e 9.621,24 ha. Quanto ao efeito escala, as culturas que mais se destacaram foram milho e feijão.

Tabela 10 – Modelo referencial para otimização do uso do solo no município de Cristalina

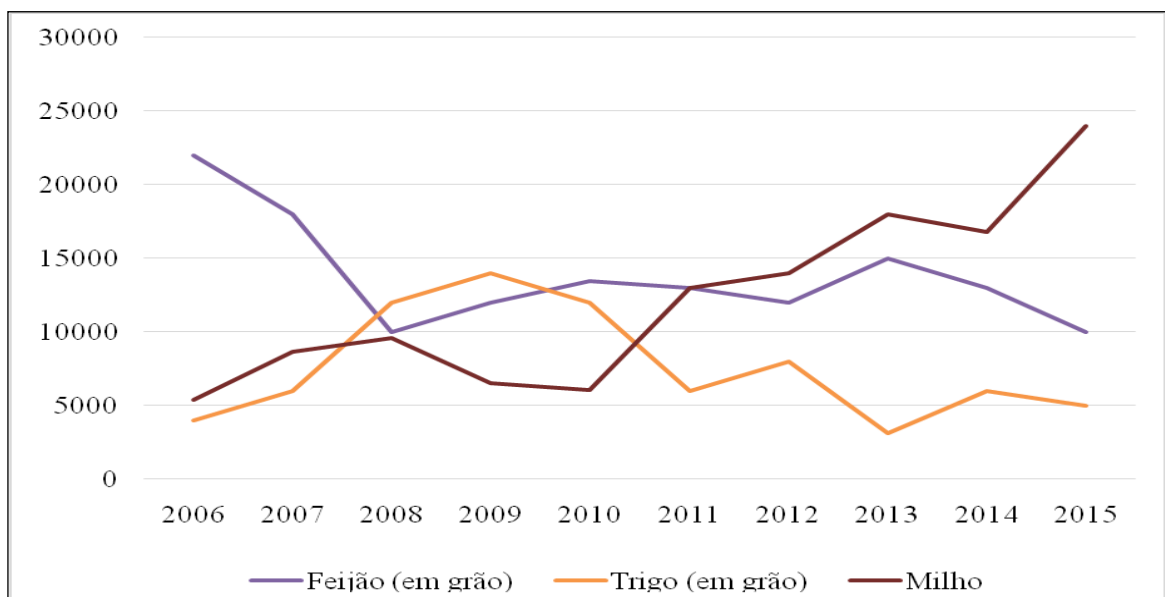
<b>Culturas</b>	<b>Média inicial</b>	<b>Média final</b>	<b>Efeito área</b>	<b>Efeito escala</b>	<b>Efeito substituição</b>
Alho	1.063,33	1.700		275,05	361,60
Batata-inglesa	3.466,66	4.396,66		896,74	33,25
Cebola	600	2.033,33		155,20	1.278,12
Feijão (em grão)	16.666,67	12.666,67		4.311,26	-8.311,27
Tomate	2.056,66	4.129,66		532,01	1.540,99
Trigo (em grão)	7.333,33	4.706,33		1.896,95	-4.523,96
Milho	7.925,33	19.596,67		2.050,09	9.621,24
<b>Área total</b>	<b>39.112</b>	<b>49.229,33</b>	<b>10.117,33</b>	<b>10.117,33</b>	<b>0</b>

Fonte: Dados da pesquisa.

A análise gráfica foi utilizada para complementar a dos resultados do modelo *shift-share*, uma vez que este retrata apenas as condições iniciais e finais do sistema. Por sua vez, a análise gráfica permite observar a dinâmica de expansão e de substituição de culturas ao longo do período. Com o objetivo de melhor subsidiar a análise visual, uma vez que as diferenças de escala comprometem a visualização das oscilações, optou-se por agrupar as

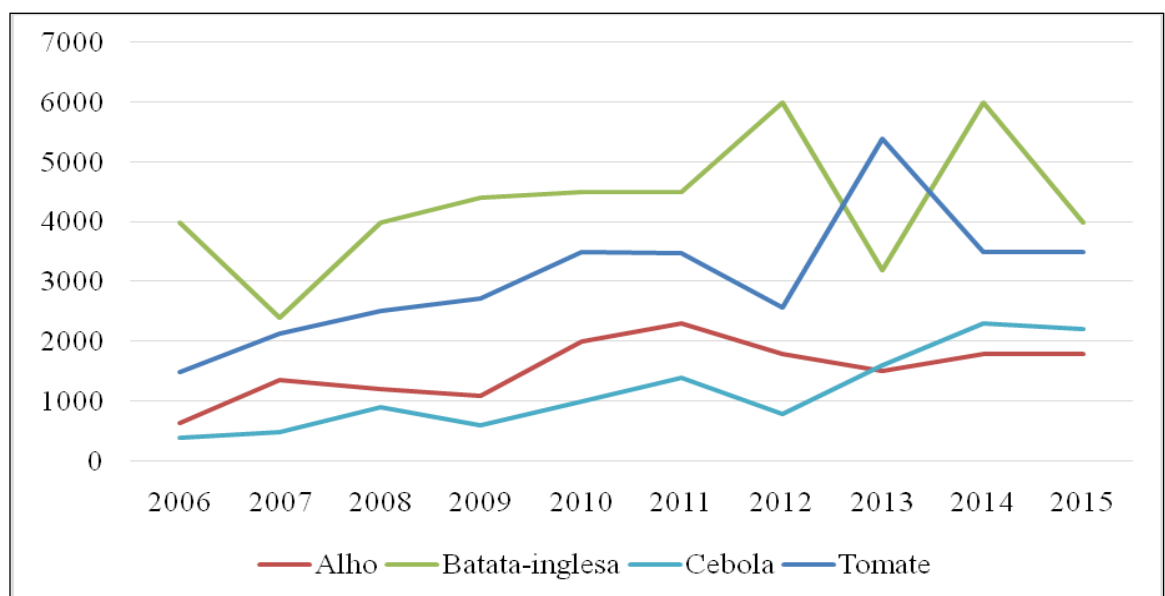
culturas de maior escala em um figura (Figura 7) e as culturas de menor escala em outra (Figura 8). Como pode ser observado no Figura 7, há uma evidência de que a cultura do feijão foi substituída, inicialmente, por milho e trigo e este último foi, posteriormente, cedendo espaço para o milho.

Figura 7 – Representação da dinâmica de uso do solo com culturas de mais alteração em área



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 8 – Representação da dinâmica de uso do solo com culturas de menor alteração em área



Fonte: Elaborado pela autora.

Reconhecida a superficialidade das análises aqui apresentadas, uma vez que não constituem escopo desta pesquisa, é possível inferir que há um conjunto de variáveis que explicam a dinâmica de culturas ao longo dos dez anos analisados. Por não ter sido possível obter uma relação estatística significativa entre as variáveis, sugere-se a avaliação de outros elementos de tomada de decisão de alocação do fator terra por parte do produtor, tais como: modelo de expectativas racionais, custos de transação, riscos dos fatores, dentre outros.

Entretanto, é possível adotar a premissa de que a dinâmica de oscilação do sistema seja decorrente de um equilíbrio parcial<sup>6</sup> ao longo dos dez anos analisados. Diante disso, optou-se por modelar tais oscilações como função da média de área cultivada para cada cultura. Dessa forma, os limites de oscilação mínima (média menos desvio padrão) e máxima (média mais desvio padrão) (Tabela 11) foram impostos como restrições ao modelo.

Tabela 11 – Restrições ao uso do solo no município de Cristalina: limites mínimo e máximo

<b>Culturas</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Alho	1549	488,54	1060,45	2037,54
Batata-inglesa	4299	1104,64	3194,35	5403,64
Cebola	1170	681,58	488,41	1851,58
Feijão (em grão)	13850	3697,22	10152,78	17547,22
Milho doce	6112,1	3035,40	3076,69	9147,50
Milho	6112,1	3035,40	3076,69	9147,50
Tomate	3084,5	1058,40	2026,09	4142,90
Trigo (em grão)	7611,9	3761,17	3850,72	11373,08
	<b>Área total</b>		<b>-</b>	<b>50.500</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Para verificar a hipótese de que o custo da cobrança da água impactaria efetivamente o arranjo de culturas irrigadas no município de Cristalina, o modelo de programação linear foi elaborado com a função objetivo de maximizar a Receita Total do sistema composto pelas diferentes culturas irrigadas no município. Logo, as variáveis a serem otimizadas foram as áreas de cada uma das culturas, dadas as restrições identificadas pela análise da série temporal (2006 a 2015). A dinâmica do modelo se dá por meio da alteração nos coeficientes de receita unitária obtida com cada cultura irrigada, alteração promovida pelos diferentes cenários de cobrança de uso da água. Resumidamente, o Max Z – função objetivo – representa o planejamento de produção para o conjunto de variáveis e restrições: área total cultivada, limites de oscilação de áreas para cada cultura e limite máximo de demanda hídrica.

<sup>6</sup> Em economia, equilíbrio parcial é um tipo de equilíbrio econômico no qual o comportamento no mercado específico de algumas mercadorias é obtido independentemente dos preços e das quantidades procurados e fornecidos em outros mercados.

Assim, a função objetivo e as demais equações de restrição podem ser algebricamente apresentadas:

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^8 (\text{preço de venda } x \text{ produtividade ha} - \text{custo da água}) \cdot X_i$$

Sujeito a:

$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \leq 50.500$  (restrição quanto à disponibilidade de terra a ser cultivada) => limita o tamanho do sistema ao tamanho atual, ou seja, de 2015

$6.798x_1 + 7.776x_2 + 7.117x_3 + 6.354x_4 + 6.707x_5 + 8.825x_6 + 6.000x_7 + 8.119x_8 \leq 370.516.740$   
(restrição quanto ao uso máximo de recurso hídrico para irrigação, representando os coeficientes o consumo unitário (m<sup>3</sup>/ha) das diferentes culturas irrigadas) => limita o sistema ao uso atualmente, de 2015.

A Tabela 12 apresenta as demais restrições referentes aos limites de oscilação de área por cultura, calculadas conforme explicado anteriormente e apresentado na Tabela 11.

Tabela 12 – Restrições de limites de oscilação de área (ha) por cada cultura

min			máx		onde	
1.060,45	≤	X <sub>1</sub>	≤	2.037,55	X <sub>1</sub>	= Alho
3.194,36	≤	X <sub>2</sub>	≤	5.403,64	X <sub>2</sub>	= Batata-inglesa
488,42	≤	X <sub>3</sub>	≤	1.851,58	X <sub>3</sub>	= Cebola
10.152,78	≤	X <sub>4</sub>	≤	17.547,22	X <sub>4</sub>	= Feijão (em grão)
3.076,70	≤	X <sub>5</sub>	≤	9.147,50	X <sub>5</sub>	= Milho doce
3.076,70	≤	X <sub>6</sub>	≤	9.147,50	X <sub>6</sub>	= Milho
2.026,10	≤	X <sub>7</sub>	≤	4.142,90	X <sub>7</sub>	= Tomate
3.850,72	≤	X <sub>8</sub>	≤	11.373,08	X <sub>8</sub>	= Trigo (em grão)

Fonte: Elaborado pela autora.

Uma vez concebido o modelo, seguem-se os resultados e a discussão dos cenários resultantes. A Tabela 13 apresenta o cenário de referência, o qual representa a realidade atual do município acerca do uso dos fatores de produção disponíveis e o respectivo retorno financeiro obtido por cultura, considerando o formato atual de exploração em termos de área e água. Os coeficientes das variáveis correspondem à Receita Unitária de cada cultura, sem a cobrança pelo uso da água. Para esse cenário de referência, o resultado da função objetivo é expresso em termos de área agrícola ocupada por cultura (valor das variáveis) e, segundo

esses valores, o resultado obtido para a função objetivo foi de R\$ 687.067.487,70 por ciclo de produção.

Tabela 13 – Modelo referencial para otimização do uso do solo no município de Cristalina-GO

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8
63.689,13	31.043,68	62.151,30	5.363,10	7.500,00	2.736,75	33.228,78	3.749,35
1.800,00	4.000,00	2.200,00	10.000,00	12.000,00	12.000,00	3.500,00	5.000,00
687.067.487,70							

Fonte: Elaborado pela autora.

O primeiro cenário simulado otimiza a realidade atual do município, a partir da inexistência da cobrança pelo uso do recurso hídrico. Dessa forma, não há alteração nos coeficientes de receita unitária para as culturas irrigadas. A resposta da célula objetivo (Tabela 14) para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico evidencia que, em condições de otimização, dadas as restrições impostas, o conjunto de culturas e suas respectivas contribuições em termos de área e receita unitária alcançariam uma receita total de R\$748.737.569,00, valor apenas 8,2% superior ao encontrado em condições de referência, que foi de R\$ 687.067.487,70. Isso evidencia que o modelo formulado (referência) representa, significativamente, a trajetória de maximização dos lucros dos empreendedores rurais da região ao longo do período analisado, sugerindo, ainda, que o sistema se encontra em condições de equilíbrio parcial de curto prazo (uma vez que a terra é tida como fator fixo no sistema).

Esse resultado é de particular importância no contexto de limitação de dados necessários à execução desta pesquisa, uma vez que não foi possível obter, frente à limitação de recursos operacionais, os custos de produção das diferentes culturas que compõem o modelo. Diante disso, adotou-se a premissa de que, em condições de equilíbrio de curto prazo e, conseqüentemente, de maximização de lucro por parte dos empreendedores, o sistema estaria sob condições de lucro econômico normal e, portanto, a receita total se iguala ao custo total dos empreendimentos. Essa premissa permite inferir o custo do recurso hídrico como elemento promotor de novo equilíbrio de alocação dos fatores de produção, particularmente o fator terra, objeto do presente estudo.

Tabela 14 – Resultado da otimização da função objetivo para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico

Nome	Valor referencial	Valor final
Resultado FUNÇÃO OBJETIVO (Z)	687.067.487,70	748.737.569,00

Fonte: Elaborado pela autora.

A alteração das variáveis na função objetivo, as quais representam a área agrícola das culturas representadas pelo modelo, foi mais expressiva em seus resultados (Tabela 15).

Tabela 15 – Resultado da otimização das variáveis na função objetivo para o cenário sem cobrança pelo uso do recurso hídrico

Culturas	Área referencial(a)	Área otimizada(b)	Variação relativa
			(%) (b-a)/b
Alho	1.800,00	2.037,55	13,19
Batata	4.000,00	5.403,64	35,09
Cebola	2.200,00	1.851,58	-15,83
Feijão (3ª safra)	10.000,00	17.547,22	75,47
Milho doce	12.000,00	9.147,50	-23,77
Milho semente	12.000,00	3.076,70	-74,36
Tomate industrial	3.500,00	4.142,90	18,36
Trigo	5.000,00	7.292,91	45,85

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme apresentado, o modelo sugere aumento mais acentuado nas áreas de feijão (75,47%), trigo (45,85%) e batata (35,09), respectivamente, com consequente redução das áreas de milho semente (74,36%), milho doce (23,77%), e cebola (15,83%). Importa salientar que esses resultados ocorrem em função das restrições de limite de expansão e contração das áreas dessas respectivas culturas, bem como do comportamento médio de preços e produtividade ao longo do período analisado. Diante desse resultado, é importante observar a contradição evidenciada a partir da análise da dinâmica de uso do solo pelas culturas (Figura 5). Segundo a análise, as áreas de milho tiveram uma trajetória de expansão, entretanto, o modelo indica forte retração. Esse resultado reforça a hipótese de que existem outros fatores, diferentes da receita unitária proveniente dessa cultura, que condicionam a alocação do fator terra.

A análise das restrições adotadas no modelo permite concluir que, de maneira geral, o sistema maximizou as áreas de culturas com receita total mais elevada e minimizou as áreas com receita total menos elevada, fato verificável pelo resultado de “Associação” às restrições de “Limite máximo” da coluna “Status” (Tabela 16). A coluna “Margem de atraso” apresenta

a quantidade de valor da restrição que não foi utilizada e, nesse sentido, ao analisar a relação entre os limites mínimos e margens de atraso para as culturas com menor Receita Unitária (milho semente e trigo), verifica-se que tais culturas foram minimizadas em suas restrições no sistema. A “Associação” de toda a restrição de terra com “Não associação” de toda restrição de água demonstra que o sistema otimiza o uso do recurso hídrico em função do valor obtido com o produto resultante de seu consumo/utilização. Isso significa que a quantidade restante de recurso hídrico geraria menos receita se tivesse sido integralmente utilizada segundo a combinação de uso do solo de 2015 do que no modelo resultante, sugerindo ineficiência econômica do uso do recurso hídrico na região.

Tabela 16 – Resultado das restrições para otimização do modelo sem cobrança pelo uso do recurso hídrico

<b>Restrições</b>	<b>Valor da célula</b>	<b>Status</b>	<b>Margem de Atraso</b>	
<b>ÁREA TOTAL</b>	50.500,00	50.500,00	Associação	0
Limite mínimo – Alho	1.060,46	2.037,55	Não associação	977,09
Limite máximo – Alho	2.037,55	2.037,55	Associação	-
Limite mínimo – Batata	3.194,36	5.403,64	Não associação	2.209,28
Limite máximo – Batata	5.403,64	5.403,64	Associação	-
Limite mínimo – Cebola	488,42	1.851,58	Não associação	1.363,16
Limite máximo – Cebola	1.851,58	1.851,58	Associação	-
Limite mínimo – Feijão	10.152,78	16.596,99	Não associação	7.394,44
Limite máximo – Feijão	17.547,22	16.596,99	Não associação	-
Limite mínimo – Milho doce	3.076,70	9.147,50	Não associação	6.070,80
Limite máximo – Milho doce	9.147,50	9.147,50	Associação	-
Limite mínimo – Milho semente	3.076,70	3.076,70	Associação	-
Limite máximo – Milho semente	9.147,50	3.076,70	Não associação	6.070,80
Limite mínimo – Tomate	2.026,10	4.142,90	Não associação	2.116,80
Limite máximo – Tomate	4.142,90	4.142,90	Associação	-
Limite mínimo – Trigo	3.850,70	3.850,70	Associação	3.442,21
Limite máximo - Trigo	11.373,10	3.850,70	Não associação	4.080,18
<b>CONSUMO HÍDRICO</b>	370.516.800,00	353.115.398,60	Não associação	17.401.401,40

Fonte: Elaborado pela autora.

O relatório de sensibilidade das restrições (Tabela 17) apresenta o nível de alterações permitido às restrições (permitido aumentar/reduzir) e o correspondente nível de alteração marginal dos resultados alcançados pelo modelo (preço sombra). Importa destacar que tais alterações são sob condições *ceteris paribus*. Essas alterações no resultado do modelo (preço sombra) só se manifestarão a partir das categorias que utilizaram os limites impostos ao modelo (categorias que não apresentam a conotação inf. em Permitido Aumentar/Reduzir). As demais categorias apenas indicam o nível de ajuste (permitido aumentar/reduzir) da restrição para alcançar o resultado otimizado.

Tabela 17 – Sensibilidade das restrições do modelo de otimização para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico

<b>Categorias</b>	<b>Valor final</b>	<b>Preço sombra</b>	<b>Restrição lateral R.H.</b>	<b>Permitido aumentar</b>	<b>Permitido reduzir</b>
<b>ÁREA TOTAL</b>	<b>50.500,00</b>	<b>3.749,34</b>	<b>50.500,00</b>	<b>2.143,29</b>	<b>3.422,21</b>
Limite mínimo – Alho	2.037,55	0	1.060,46	977,09	infin.
Limite máximo – Alho	2.037,55	59.939,79	2.037,55	3.442,21	977,09
Limite mínimo – Batata	5.403,64	0	3.194,36	2.209,28	infin.
Limite máximo – Batata	5.403,64	27.294,33	5.403,64	3.422,21	2.209,28
Limite mínimo – Cebola	1.851,58	0	488,42	1.363,16	infin.
Limite máximo – Cebola	1.851,58	58.401,95	1.851,58	3.442,21	1.363,16
Limite mínimo – Feijão	17.547,22	0	10.152,78	7.394,44	infin.
Limite máximo – Feijão	17.547,22	1.613,75	17.547,22	3.442,21	4.080,19
Limite mínimo – Milho doce	9.147,50	0	3.076,70	6.070,80	infin.
Limite máximo – Milho doce	9.147,50	3.750,65	9.147,50	3.422,21	4.080,19
Limite mínimo – Milho semente	3.076,70	-1.012,59	3.076,70	3.442,21	3.076,70
Limite máximo – Milho semente	3.076,70	0	9.147,50	infin.	6.070,80
Limite mínimo – Tomate	4.142,90	0	2.026,10	2.116,80	infin.
Limite máximo – Tomate	4.142,90	29.479,43	4.142,90	3.442,21	2.116,80
Limite mínimo – Trigo	7.292,91	0	3.850,70	3.442,21	infin.
Limite máximo – Trigo	7.292,91	0	11.373,10	infin.	4.080,19
<b>CONSUMO HÍDRICO</b>	<b>353.115.398,60</b>	<b>0</b>	<b>370.516.800,00</b>	<b>infin.</b>	<b>17.401.401,40</b>

Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme pode ser observado ainda na Tabela 17, o modelo otimizado para o máximo retorno econômico do recurso hídrico indica que a restrição de área foi limitante à utilização total do recurso hídrico sob condições otimizadas, mostrando que, para cada unidade de área (ha), o sistema responderia com um valor de R\$ 3.749,34 em Receita Total. Tal resultado sugere que seria possível ampliar a receita total do sistema com menor utilização de recurso hídrico e, portanto, que o sistema de uso do solo/recurso hídrico estaria sendo economicamente ineficiente.

A dimensão do impacto, dada pelo Preço Sombra, reflete a Receita Marginal proveniente da alteração na respectiva variável. Dessa forma, é possível observar que alho, batata, cebola, feijão, milho doce e tomate promoveriam incrementos na Receita Total do município da ordem de R\$ 59.939,78, R\$ 27.294,33, R\$ 58.401,95, R\$ 1.613,75, R\$ 3.750,65 e R\$ 29.497,43, respectivamente, para cada hectare a mais de incremento em seus limites máximos. Por outro lado, milho semente promoveria uma redução de R\$ 1.012,59 para cada hectare a mais que tivesse de incremento em seu limite mínimo.

Finalmente, a análise do relatório de sensibilidade dos coeficientes da equação do modelo (Tabela 18) apresenta o nível de aumento ou redução permitido ao coeficiente, de tal forma que não se alteraria a quantidade de área alocada à respectiva variável no modelo

otimizado. Os Resultados indicam que seria necessária uma redução de R\$ 59.939,78, R\$ 27.294,33, R\$ 58.401,95, R\$ 1.613,75, R\$ 3.750,65 e R\$ 29.497,43 nas receitas unitárias das culturas de alho, batata, cebola, feijão, milho doce e tomate, respectivamente, bem como um aumento de R\$ 1.012,59 e R\$ 1.613,75 na Receita Unitária do milho semente e trigo, respectivamente, para que a área alocada para essas culturas se alterasse no sistema.

Tabela 18 – Relatório de sensibilidade dos coeficientes da equação do modelo de otimização para o cenário sem cobrança pelo recurso hídrico

Nome	Final Valor(ha)	Custo reduzido	Coeficiente objetivo	Permitido aumentar	Permitido reduzir
Alho	2.037,55	0	63.689,13	$\infty$	59.939,78
Batata	5.403,64	0	31.043,68	$\infty$	27.294,33
Cebola	1.851,58	0	62.151,30	$\infty$	58.401,95
Feijão	17.547,22	0	5.363,10	$\infty$	1.613,75
Milho doce	9.147,50	0	7.500,00	$\infty$	3.750,65
Milho semente	3.076,70	0	2.736,75	1.012,59	$\infty$
Tomate	4.142,90	0	33.228,78	$\infty$	29.497,43
Trigo	7.292,91	0	3.749,35	1.613,75	1.012,59

Fonte: Elaborado pela autora.

Os demais cenários deveriam ser formulados como função de uma alteração (redução) nas receitas unitárias, proveniente da cobrança pelo uso do recurso hídrico. Tais Receitas Unitárias correspondem aos valores dos coeficientes (e de suas respectivas possibilidades de aumento/redução) apresentados na Tabela 18. A Tabela 19 mostra o valor a ser reduzido de cada receita unitária frente aos diferentes cenários. Conforme se observa, os maiores valores a serem reduzidos, os quais correspondem ao 5º ano de cobrança, ainda se distanciam acentuadamente dos limites permitidos de redução indicados anteriormente (Tabela 18).

Tabela 19 – Custo da água por ciclo de produção de cada atividade outorgado

Culturas	Valor (R\$)			
	1º e 2º ano (0,015/m <sup>3</sup> )	3º ano (0,020/m <sup>3</sup> )	4º ano (0,022/m <sup>3</sup> )	5º ano (0,025/m <sup>3</sup> )
Alho	101,97	135,96	149,55	169,95
Batata	116,64	155,52	171,07	194,4
Cebola	106,75	142,34	156,57	177,92
Feijão (3ª safra)	95,31	127,08	139,78	158,85
Milho doce	100,60	134,14	147,55	167,67
Milho semente	132,37	176,5	194,15	220,62
Tomate industrial	90	120	132	150
Trigo	121,78	162,38	178,61	202,97

Fonte: Elaborado pela autora.

Portanto, esses resultados sugerem que os níveis de cobrança instituídos pelo recurso hídrico não teriam impacto efetivo na configuração agrícola do município, uma vez que os valores correspondem a uma participação relativa de pequenas proporções (Tabela 20) nas Receitas Unitárias das culturas irrigadas atualmente cultivadas no município de Cristalina.

Tabela 20 – Impacto da cobrança pelo uso da água na receita total obtida por cultura

Culturas	Cenários			
	2	3	4	5
Alho	0,16%	0,21%	0,23%	0,26%
Batata	0,37%	0,50 %	0,55%	0,62%
Cebola	0,17%	0,22%	0,25%	0,28%
Feijão (3ª safra)	1,77%	2,36%	2,60%	2,96%
Milho doce	1,34%	1,74%	1,96%	2,23%
Milho semente	4,83%	6,44%	7,09%	8,06%
Tomate industrial	0,27%	0,36%	0,39%	0,45%
Trigo	3,24%	4,33%	4,76%	5,41%

Fonte: Elaborado pela autora.

Apesar de os resultados sugerirem que não haveria impacto efetivo na configuração agrícola irrigada no município, a cobrança pelo uso do recurso hídrico nos níveis instituídos gera recursos estimados pelo modelo da ordem de R\$ 104,88 à R\$ 174,80 por hectare, com potencial de transformação efetiva da realidade problematizada, sobretudo tendo em vista a possibilidade de investimentos em soluções-chave aos problemas de escassez hídrica, como o fomento à construção de barragens, estímulos e subsídios ao aprimoramento tecnológico dos sistemas de irrigação, entre outros.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A relevância das discussões quanto à disponibilidade e ao uso da água na irrigação remete à utilização ótima dos recursos hídricos frente ao aumento da concorrência entre usuários, à diminuição gradativa em quantidade e qualidade, dado o aumento da demanda por usuários urbanos, agropecuários e industriais, além da necessidade de manutenção dos diversos ecossistemas. Assim, alcançar a eficiência técnica no uso do sistema de irrigação assegura não somente o retorno financeiro ao irrigante em detrimento do capital investido para o exercício da atividade produtiva, mas, especialmente a minimização de danos ambientais.

Segundo Tang, Folmer e Xue (2015), o rendimento oriundo do uso de sistema de irrigação vai além da entrada exclusiva do insumo água, perpassando pela combinação de outras entradas, como fertilizantes, defensivos, sementes, mão de obra, dentre outros aspectos que condicionam o que se produz por m<sup>3</sup> de água. A necessidade e a preocupação quanto ao nível de eficiência no uso de sistemas de irrigação aumenta ainda mais quando o produtor estabelece parceria com agroindústrias. Isso ocorre para que o conjunto de insumos necessários à produção seja utilizado de maneira ótima, exigindo que o irrigante apresente o teste de uniformidade de aplicação de água do pivô, comprovando a eficiência dos equipamentos.

Dessa forma, os recursos hídricos, enquanto fator de produção, acarretam custos mesmo que seu preço não esteja explícito, pois o valor econômico desse recurso encontra-se expresso no gasto com energia para realizar o bombeamento, no investimento para aquisição de equipamento para levar a água do manancial à lavoura e, especialmente, no custo social de oportunidade, por ser um bem público (ALBUQUERQUE, 2004). Assim, a gestão pública dos recursos comuns precisa atender às demandas dos diversos usuários atuais e futuros, além de resguardar a conservação dos ecossistemas, conforme assegurado em lei. Dentre as ferramentas usualmente utilizadas para buscar esse equilíbrio destacam-se, de acordo com a economia ambiental, os instrumentos econômicos de mercado ou de comando e controle.

Na região analisada, assim como no restante do País, o acesso à água para o exercício de algumas atividades produtivas necessariamente precisa ser concedido por órgão competente, como forma de regular, controlar e planejar o uso dos recursos hídricos. Desse modo, analisar a cobrança pelo uso da água usada na irrigação por meio da construção de cenários que ilustram o impacto dessa cobrança na receita total do produtor irrigante permite evidenciar efeitos das decisões tomadas pelo poder público.

Os resultados demonstram que a instituição da cobrança pelo uso da água não induzem a mudanças na configuração agrícola produtiva, ou seja, esse incremento nos custos de produção não promove alterações significativas nas decisões de uso do solo e provavelmente do recurso hídrico, diferentemente da abordagem de comando e controle, que restringe o acesso legal à água pelas diversas esferas de governo, pela imposição de regras e padrões.

Ao indicar que não ocorreria impacto efetivo na configuração agrícola do município, o modelo permite questionar se a cobrança pelo recurso hídrico estaria cumprindo seu papel como política pública, ou seja, o de estimular as empresas ao contínuo incentivo à procura e à adoção de tecnologias mais eficientes;

Apesar do resultado pouco efetivo no parâmetro analisado (configuração agrícola do município), o resultado financeiro da cobrança constitui fonte suplementar de recursos para que os governos custeiem projetos ambientais, tendo sido definido pela Plenária do CBH Paranaíba a prioridade na recuperação das bacias hidrográficas em que são gerados os recursos da ordem de 60% de investimento do total arrecado pela cobrança, conforme o Plano de Recursos Hídricos da bacia, valendo questionar se o montante de arrecadação é relevante aos custos ambientais gerados pelo uso da irrigação na Bacia.

A questão do montante do valor arrecadado inspira a continuidade deste trabalho como proposta de valoração dos impactos ambientais dos sistemas de irrigação na região em uma análise de custo-efetividade que considere o valor arrecadado pelos atuais preços unitários estabelecidos para o uso do recurso hídrico. Dentre os principais impactos a montante, identificam-se os sistemas de barramento, canais de derivação, linhas de transmissão de energia, demanda estimada das culturas, volume de água captada, entre outros. No perímetro irrigado, os principais efeitos correlacionados são o escoamento superficial, a degradação do solo, a quimificação, a salinização e a lixiviação em função do material geológico do solo ou do acúmulo de produtos químicos; quanto aos impactos, a jusante fundamentalmente destaca-se a quantidade e a qualidade da água (SCHMIDT, 2007).

Este trabalho contribui, ainda, para o aprimoramento institucional do problema apresentado, uma vez que fornece subsídios para um melhor prognóstico dos resultados, reduzindo as limitações apresentadas pela literatura em relação aos mecanismos de mercado como instrumento de gestão de recursos ambientais (MOTA, 2004).

Reconhecem-se as limitações do modelo ao pressupor equilíbrio de mercado, uma vez que não foi possível concebê-lo como função dos lucros, devido à ausência de dados de custos, o que o tornaria mais representativo em termos de avaliação do impacto na estrutura

de decisão econômica do empreendedor. Sugere-se continuidade da pesquisa no sentido do seu aprimoramento operacional.

## REFERÊNCIAS

ACKOFF, R. L. The future of operational research is past. **The Journal of the Operational Research Society**, v. 30, nº 2, p. 93-104, feb. 1979. Published by: Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society Stable. Disponível em: <http://www.jstor.org/stable/3009290>. Acesso em: 10 abr. 2011.

AGEITEC – Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/fejiao/arvore/CONT000gvwk5em102wx7ha0g934vg016m2r7.html>. Acesso em: 16 nov. 2016.

ALBUQUERQUE, P. E. P. Aspectos conceituais do uso eficiente da água na agricultura. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, 27 a 30 de setembro de 2004, Passo Fundo – RS. **Painel 03: Eficiência e Otimização do Uso da Água na Agricultura**. Passo Fundo, 2004.

ANA – Agência Nacional de Águas. **Cobrança pelo uso de recursos hídricos**. Atualizada em março de 2016a. Disponível em: <http://www2.ana.gov.br/Paginas/servicos/cobrancaearrecadacao/cobrancaearrecadacao.aspx>. Acesso em: 15 nov. 2016.

\_\_\_\_\_. **Plano de recursos hídricos e do enquadramento dos corpos hídricos superficiais da bacia hidrográfica do rio Paranaíba**. Brasília: ANA, 2013a.

\_\_\_\_\_. **Subsídios para a discussão da compatibilização da geração de energia hidrelétrica com expansão da agricultura irrigada na bacia do rio São Marcos**. Brasília: ANA, 2013b.

\_\_\_\_\_. **Levantamento da agricultura irrigada por pivôs centrais no Brasil - 2014: relatório síntese**. Brasília: ANA, 2016b.

ARAÚJO, A. F. de; JUNIOR, A. A. de B.; KAMPKE, E. H. **Pesquisa operacional: referências da área**. SPOLM, 2007.

ARENALES, M. et al. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier/ABEPRO, 2011.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2006. 625p.

BORGES JÚNIOR, J. C. F. et al. Computational modeling for irrigated agriculture planning. Part I: general description and linear programming. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, nº 1, p. 3-11, 2008.

\_\_\_\_\_. et al. (Org.). **Sustentabilidade da irrigação: estratégia de produção em agricultura irrigada tecnologia na irrigação**. Fortaleza: Setor de Reografia do IFCE, 2010. 355 p.

BRASIL. Presidência da República. **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. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9433.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm).

\_\_\_\_\_. **Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000.** Dispõe sobre a criação da Agência Nacional de Águas - ANA, entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos e de coordenação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=371>.

BRESSER-PEREIRA, L. C. Desenvolvimento, progresso e crescimento econômico. **Lua Nova**, São Paulo, v. 93, p. 33-60, 2014. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/ln/n93/03.pdf>.

CBH DO PARANAÍBA. **Deliberação nº 61/2016.** Dispõe sobre mecanismos e valores de cobrança pelo uso de recursos hídricos de domínio da União, propõe as acumulações, derivações, captações e lançamentos de pouca expressão na bacia hidrográfica do rio Paranaíba e dá outras providências. Disponível em: [http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20161005062728\\_Cobran%C3%A7a%20Parana%C3%ADba.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/noticias/20161005062728_Cobran%C3%A7a%20Parana%C3%ADba.pdf).

CARVALHO, D. F. de et al. Optimization of water use in the Gorutuba irrigation district, Minas Gerais (Brazil) using the linear programming model. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, nº 2, 2000. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662000000200012>.

CASTRO, R. B. de. Eficácia, eficiência e efetividade na Administração Pública. In: ENCONTRO DA ANPAD, 30., 2006, Salvador. **Anais...** Rio de Janeiro/RJ: ANPAD, 2006. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/enanpad/2006/dwn/enanpad2006-apsa-1840.pdf>> Acesso em: 26 nov. 2016.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005.** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>.

DELGADO, A. R. S. et al. Planejamento da agricultura irrigada no norte fluminense, utilizando diferentes técnicas de Programação Matemática. **Revista Eletrônica Pesquisa Operacional para o Desenvolvimento**, Rio de Janeiro, v. 4, nº 3, p. 249-256, set./dez. 2012.

FERREIRA, R. P. et al. Correlação de Spearman aplicada ao estudo de adaptabilidade e estabilidade em genótipos de alfafa. **Investigación Agraria**, v. 15, n. 2, p. 83-90, 2013.

FRIZZONE, J. A. et al. Alocação de água e combinação de atividades pela programação linear em um projeto hidroagrícola no município de Guaíra (SP). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 51, nº 3, p. 524-532, set./dez. 1994.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOIÁS. Gabinete Civil da Governadoria. Superintendência de Legislação. **Lei nº 13.123, de 16 de julho de 1997**. Estabelece normas de orientação à política estadual de recursos hídricos, bem como ao sistema integrado de gerenciamento de recursos hídricos e dá outras providências. Disponível em: [http://www.gabinetecivil.go.gov.br/leis\\_ordinarias/1997/lei\\_13123.htm](http://www.gabinetecivil.go.gov.br/leis_ordinarias/1997/lei_13123.htm).

GOIÁS. Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Conselho Estadual de Recursos Hídricos. **Resolução nº 09, de 4 de maio de 2005**. Estabelece o Regulamento do Sistema de outorga das águas de domínio do Estado de Goiás e dá outras providências. Disponível em: [http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/resolucao\\_no\\_09\\_-\\_cerh\\_regulamento\\_de\\_outorga\\_04-05-\\_05.pdf](http://www.mp.go.gov.br/portalweb/hp/9/docs/resolucao_no_09_-_cerh_regulamento_de_outorga_04-05-_05.pdf).

GOMES, M. F. M. et al. Efeitos da expansão da produção de soja em duas regiões do Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Brasília, v. 29, nº 3, p. 209-227, jul./set. 1998.

GUERRA, E. L. A. **Manual pesquisa qualitativa**. Belo Horizonte, 2014. Disponível em: [http://disciplinas.nucleoad.com.br/pdf/anima\\_tcc/gerais/manuais/manual\\_quali.pdf](http://disciplinas.nucleoad.com.br/pdf/anima_tcc/gerais/manuais/manual_quali.pdf).

HARDIN, G. The tragedy of Commons. **Science**, v. 162, p. 1243-1248, 1968.

HENRIQUES, P. D. D. S. et al. Direito de acesso à água: princípios económicos para seu usufruto na agricultura. In: BANCO, M. et al. (Ed.). **Economia do compromisso – Ensaios em Memória de José Sena**, Universidade de Évora, p. 29-54, 2006.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Goiás – Cristalina**. 2016. Disponível em: <http://cidades.ibge.gov.br/xtras/temas.php?lang=&codmun=520620&idtema=16&search=goias|cristalina|sintese-das-informacoes>.

\_\_\_\_\_. **Tabelas completas**. 2013. Disponível em: [www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2010\\_2013/default\\_xls.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pibmunicipios/2010_2013/default_xls.shtm).

\_\_\_\_\_; SIDRA – Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Cadastro central de empresa – 1996-2014**. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/pesquisa/cempre/quadros/brasil/2014>.

IRRIGO. Agricultores: mocinhos ou vilões? **Revista Irrigo**, ano 1, edição jan./2016-001.

MARGULIS, S. **A regulamentação ambiental: instrumentos e implementação**. Rio de Janeiro: TD-437/Ipea, 1996. 61p.

MOTA, J. A. Economia, meio ambiente e sustentabilidade: as limitações do mercado onde o mercado é o limite. **Boletim Científico ESMPU**, Brasília, ano III, n. 12, p. 67-87, jul./set. 2004.

PAULILLO, L. F. **Redes de poder & territórios produtivos: indústria, citricultura e políticas públicas no Brasil do século XX**. São Carlos: RIMA/EDUFSCAR, 2000. p. 196.

PIMENTEL, C.R. Evolução recente e tendências da fruticultura nordestina. **Revista Econômica do Nordeste**, Fortaleza, v. 29, nº 1, p. 11-19, jan./mar. 1998.

- RASÇÃO, J. P. A informação estratégica. In: AYALA CALVO, J. C. (Coord.). **Conocimiento, innovación y emprendedores: camino al futuro**. La Rioja: Universidad de La Rioja, 2007. p. 172. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=11972>.
- RIBEIRO, L. C. de S.; ROCHA, G. de B. Interdependência produtiva e estratégias de desenvolvimento para o estado da Bahia. **Revista Economia Ensaios**, Uberlândia-MG, v. 27, nº 2, p. 67-83, jan./jun. 2013.
- SANTOS, M. A. L. et al. Model of lineal programming for economical optimization of the district of irrigation Baixo Acaraú-CE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 22, nº 1, p. 6-19, jan./mar. 2009.
- SCHMIDT, W. **Agricultura irrigada e o licenciamento ambiental**. 2007. 126 f. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2007.
- SEAGRO – Secretaria de Estado da Agricultura, Pecuária e Irrigação. **Cadastramento dos irrigantes do estado de Goiás**. Dados obtidos durante a pesquisa com a atual SED, 2014.
- SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Superintendência de Recursos Hídricos. **Manual Técnico de Outorga**. 1ª versão, dezembro de 2012. Disponível em: [http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-07/manual\\_tecnico\\_de\\_outorga\\_versao\\_01.pdf](http://www.sgc.goias.gov.br/upload/arquivos/2015-07/manual_tecnico_de_outorga_versao_01.pdf).
- SETTI, A. A. et al. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. 2. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica/Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas, 2000.
- SILVA, L. L. O papel do Estado no processo de ocupação das áreas de Cerrado entre as décadas de 60 e 80. **Caminhos de Geografia**, v. 2, n. 2, 2001.
- SIMÕES, R. **Métodos de análise regional e urbana: diagnóstico aplicado do planejamento**. Belo Horizonte: CEDEPLAR/FACE/UFMG, 2005. (Texto para discussão n. 259).
- TANG, J.; FOLMER, H.; XUE, J. Technical and allocative efficiency of irrigation water use in the Guanzhong Plain, China. **FoodPolicy**, p. 43-52, 2015. Disponível em: [www.elsevier.com/locate/foodpol](http://www.elsevier.com/locate/foodpol).
- THOMAS, J. M.; CALLAN, S. J. **Economia ambiental: fundamentos, políticas e aplicações**. 2. reimpr. da 1.ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010.
- TORRES, A. T. G.; VIANA, P. C. G. **Reflexões sobre o conceito da água como mercadoria**. Dados do cadastramento dos irrigantes fornecidos pela Secretaria de Agricultura, 2005. Não publicado.
- YOKOYAMA, L. P.; IGREJA, A. C. M.; NEVES, E. M. Modelo “Shift-Share”: Uma readaptação metodológica e uma aplicação para o Estado de Goiás. **Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, 1989, p. 63-78.