

ZENAIDE RODRIGUES FERREIRA

DETERMINANTES DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL: UMA ANÁLISE DO  
SPILLOVER ESPACIAL

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2015

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

F383d  
2015  
Ferreira, Zenaide Rodrigues, 1987-  
Determinantes da irrigação no Brasil : uma análise do  
*Spillover* espacial / Zenaide Rodrigues Ferreira. – Viçosa, MG,  
2015.  
xi, 70f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui anexos.

Orientador: José Gustavo Féres.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.58-62.

1. Economia agrícola. 2. Irrigação agrícola - Brasil.  
I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Economia  
Rural. Programa de Pós-graduação em Economia Aplicada.  
II. Título.

CDD 22. ed. 338.10981

ZENAIDE RODRIGUES FERREIRA

**DETERMINANTES DA IRRIGAÇÃO NO BRASIL: UMA ANÁLISE DO  
*SPILOVER* ESPACIAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADO:

---

Prof. Dr. Leonardo Bornacki de Mattos

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Paula Carvalho Pereda

---

Prof. Dr. Rudi Rocha de Castro

---

Prof. Dr. José Gustavo Féres  
(Orientador)

*Aos meus pais Marlene e Nelson, à avó  
Mêrces (in memoriam), à avó  
“Monquinha” e à minha irmã Karla por  
toda dedicação e amor por mim.*

## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus por tudo e por ter chegado até aqui. Sem Sua presença constante na minha vida não seria possível acreditar em cada sonho e perseguir com fé cada objetivo.

Agradeço aos meus pais, Nelson e Marlene, e à minha avó Monquinha, por serem fonte inesgotável de amor, apoio, segurança, sabedoria... Sei que o que eles fazem não tem preço e nem todo amor do mundo seria suficiente para retribuir tudo que eles são para mim. À minha irmã Karla pelo companheirismo e amizade de sempre, por compartilhar comigo alegrias e dissabores da vida acadêmica. Sou eternamente grata a vocês.

Em especial à minha avó Mercês, que durante o tempo em que se fez presente em minha vida sempre orava e pedia a Deus que guardasse seus netos que estavam distantes. Sei que de onde ela está com certeza estará feliz por mim e continuará sempre olhando para os seus.

Ao meu orientador Féres, por toda paciência, ensinamento e relevantes contribuições. Sem ele não seria possível concluir esse trabalho. Por toda sua gentileza e educação... Sou grata por ter tido a oportunidade de trabalhar ao lado de um profissional de excelência ao qual tenho profunda admiração e respeito.

Aos amigos do coração e da vida Frederick, Lucas Vitor, Dani e Letícia por toda amizade e aprendizados divididos ao longo de nossas vidas acadêmicas e por serem como irmãos para mim. Amo muito vocês.

Ao meu amigo Paulo Cirino, que dividiu comigo inesgotáveis momentos de estudo e descontração nesses últimos meses, e por toda ajuda de cunho acadêmico que me prestou. Seu apoio e amizade estão sempre bem guardados em lugar especial em meu coração.

Agradeço aos meus amigos e colegas de departamento, Carlos Otávio e Marcelo Paes que foram essenciais para a primeira aproximação com a base de dados e, sobretudo ao amigo Lucas Castro por ter se mostrado sempre disponível e por me ajudar tanto com a parte espacial dessa dissertação.

Aos demais amigos e colegas de curso, em especial Julyana Covre, Sarah, Iara, Lora, Mateus Neves, Altamir, Pedro Queiroz, Alexandre e Professor Evandro... Serei sempre grata pela amizade e companheirismo de vocês.

À minha ex-orientadora da época de graduação, Simone Shiki, por se fazer sempre presente em minha vida e me dispor tanto carinho, amizade e apoio.

Aos amigos de todos os tempos, em especial Alessandro, Laiza e Aline, por todas as alegrias e tristezas compartilhadas durante nossas vidas.

Às companheiras de república, Mariana, Roberta e especialmente Ana Cris com quem dividi momentos de afeição e companheirismo selando uma amizade para vida inteira.

Aos demais professores e funcionários do Departamento de Economia Rural, em especial à Margarida, à Helena e ao Romildo, que tornaram essa jornada mais especial.

À Universidade Federal de Viçosa pela oportunidade de aprendizado e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPQ pelo apoio financeiro.

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	<b>vi</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>RESUMO</b> .....	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ix</b>
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1 Considerações Iniciais.....	1
1.2 O problema e sua importância.....	4
1.3 Hipótese.....	6
1.4 Objetivos .....	7
1.4.1 Geral.....	7
1.4.2 Específicos .....	7
1.5 Estrutura do Trabalho.....	7
<b>2 UM OLHAR SOBRE A AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL</b> .....	<b>8</b>
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
3.1) Algumas Perspectivas Teóricas sobre Adoção de Tecnologia.....	19
3.2) Modelo Teórico.....	22
<b>4 METODOLOGIA</b> .....	<b>27</b>
4.1) Modelo Empírico .....	27
4.1.1) <i>Fundamentos: A Dependência Espacial</i> .....	28
4.1.2) <i>Modelos de Regressão Espacial: O Modelo Autorregressivo (SAR)</i> .....	31
4.2) Fonte de Dados Utilizados e Análise Descritiva das Variáveis .....	39
4.3) Testes de Especificação da Matriz de Ponderação Espacial e do Modelo Autorregressivo (SAR) .....	40
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>43</b>
5.1) Análise Preliminar da Dependência Espacial .....	43
5.2) Análise dos Resultados Econométricos do Modelo SAR .....	46
<b>6 CONCLUSÕES</b> .....	<b>55</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>58</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>63</b>

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estatística Descritiva das Variáveis Utilizadas no Estudo. ....	40
Tabela 2 - Teste de <i>I</i> de Moran para Especificação da Matriz de Ponderação e Testes de Multiplicador de Lagrange MLLag e MLError para Especificação do Modelo Espacial.....	42
Tabela 3 - I de Moran Global Univariado para a Proporção de Irrigantes no Brasil no Ano de 2006. .	44
Tabela 4 - Resultados das estimativas por MQO, Tobit, SAR e Efeito Marginal Total do Modelo SAR– Variável Dependente: PROP_IRRIG (Proporção de Irrigantes no Município <i>i</i> ).....	47
Tabela A 1 - Descrição das Variáveis Utilizadas no Estudo. ....	64
Tabela A 2 - Resultados das estimativas por MQO, Tobit, SAR e Efeito Marginal Total do Modelo SAR– Variável Dependente: PROP_IRRIG (Proporção de Irrigantes no Município <i>i</i> ) – Incluindo Efeitos Fixos Estaduais. ....	67



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução das Áreas Irrigadas no Brasil a partir de 1960 (em ha). .....	10
Figura 2: Distribuição das Áreas Irrigadas no Brasil (em hectares) segundo Censo Agropecuário de 2006.....	11
Figura 3: Área dos Estabelecimentos Agropecuários (Hectares) com Uso de Irrigação por Grandes Regiões segundo o Censo Agropecuário de 2006.....	12
Figura 4: Área Irrigada (em hectares) e Evolução do Percentual de Área Irrigada em Relação à Área de Lavoura no Brasil no Período de 1960-2010.....	13
Figura 5: Área dos Estabelecimentos Agropecuários (Hectares) com Uso de Irrigação por Método Utilizado e Grandes Regiões segundo o Censo Agropecuário de 2006.....	14
Figura 6: Percentual de Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação por Grupo de Área de Acordo com o Censo Agropecuário de 2006.....	15
Figura 7: Percentual da Área (Hectares) dos Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação por Grupo de Área de Acordo com o Censo Agropecuário de 2006.....	15
Figura 8: Condição Legal do Produtor em Relação à Terra entre os Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação Segundo o Censo Agropecuário de 2006.....	16
Figura 9: Situação da Orientação Técnica entre os Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação Segundo o Censo Agropecuário de 2006.....	17
Figura 10: Diagrama de Dispersão de Moran .....	31
Figura 11: Distribuição da proporção de irrigantes ao longo dos municípios brasileiros de acordo com o Censo Agropecuário de 2006.....	44
Figura 12: Diagrama de Dispersão de Moran Global Univariado para a proporção de irrigantes nos municípios brasileiros no ano de 2006.....	45

## RESUMO

FERREIRA, Zenaide Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, outubro de 2015. **Determinantes da Irrigação no Brasil: Uma Análise do *Spillover* Espacial.** Orientador: José Gustavo Féres.

A tecnologia de irrigação tem se destacado pela importante contribuição em termos de ganhos de produtividade e também no que diz respeito à minimização dos riscos climáticos dentro da atividade agrícola. Mesmo diante dos benefícios associados ao seu emprego, o Brasil ainda é um país com baixa taxa de utilização dessa tecnologia. Do total de solos aptos à irrigação ao longo do território nacional, apenas 15% são efetivamente utilizados sob infraestrutura hídrica. Uma das formas de buscar entender os baixos níveis de utilização dessa tecnologia é através da investigação dos fatores que determinam a escolha do agricultor a favor de sua adoção. Dentre os diversos condicionantes dessa escolha seja de caráter econômico, social ou ambiental, esse estudo propôs investigar o papel da proximidade geográfica entre os municípios como elemento relevante para que ocorra a adoção da tecnologia de irrigação. A proximidade geográfica pode favorecer o processo de interação entre agricultores mais próximos entre si influenciando as escolhas de adoção dos mesmos. Dessa interação que ocorre no espaço resulta o efeito *spillover* ou transbordamento tecnológico que pode ser caracterizado como a transferência de conhecimento gerada no processo de interação entre usuários e não usuários de uma determinada tecnologia. Esse processo faz com que não usuários se informem sobre os benefícios da utilização da tecnologia o que irá fazer com que esses indivíduos resolvam por adotá-la. A transferência de informação gerada nesse processo constitui uma externalidade da informação associada à adoção e difusão de tecnologia. A pesquisa de natureza quantitativa utiliza dados do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE), do Centro de Pesquisas Climáticas da Universidade de Delaware (MATSUURA; WILLMOTT, 2012) e do Núcleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistêmicos - NEMESIS. O referencial teórico utilizado acomoda os efeitos da geografia sobre a adoção com a pressuposição de que a fração de não-adoptantes é inferior em locais mais perto da fonte de inovação. A ferramenta de aplicação econométrica trata-se de um modelo espacial autorregressivo ou SAR utilizado para avaliar a existência e a força da interação espacial entre as observações no fenômeno estudado além de análises preliminares de detecção de dependência espacial. Dos resultados ressalta-se, sobretudo o fato da proximidade geográfica ser um fator relevante na explicação da adoção da tecnologia de irrigação, confirmando, portanto a existência do efeito *spillover* na

adoção da tecnologia de irrigação. Esse resultado aponta que mecanismos informais de transmissão de informação baseados nas relações de vizinhança são tão importantes quanto outros elementos de caráter socioeconômico e ambiental relacionados a decisão do produtor. Nesse sentido, o estudo permite inferir que o fortalecimento de políticas públicas que estimulem os canais informais de transmissão de informação entre os grupos de agricultores podem ser determinantes para o processo de adoção/difusão da tecnologia de irrigação.

## **ABSTRACT**

FERREIRA, Zenaide Rodrigues, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, October, 2015. **Determinants of Irrigation in Brazil: An Analysis of Spatial Spillover**. Advisor: José Gustavo Féres.

Irrigation technology has been highlighted the important contribution in terms of the productivity gains and for minimizing climate risks within agriculture. Brazil is still a country with low utilization rate of this technology even front of benefits associated with its use. Only 15% of soils suitable for irrigation throughout the country is effectively used in water infrastructure. One way to try to understand low levels of use of this technology is by investigating the factors that determine the farmer's choice on behalf of its adoption. Our goal is to investigate the role of geographical proximity between the municipalities as a relevant element to occur the adoption of irrigation technology, among the several conditioning that choice, be it economic, social or environmental character. Geographical proximity can facilitate the process of interaction between farmers closer to each other farmers, influencing the farmer's adoption choices. The interaction that occurs in the geographic space results in the technological spillover effect that can be characterized as the transfer of knowledge generated in the process of interaction between users and non-users of a particular technology. This process causes the non-users to learn about the benefits of using technology, which will make these individuals, solve adopt the technology. The transfer of information generated in that process is an externality information associated with adoption and technology diffusion. The quantitative research uses Agricultural Census Data 2006 (IBGE, 2006), the Center for Climate Research at the University of Delaware (MATSUURA; WILLMOTT, 2012) and the Center for Studies and Spatial Models Systemic. The theoretical framework uses the effects of geography on the adoption with the assumption that the fraction of non-adopter is lower in places closer to the source of innovation. The econometric application tool is a Spatial Auto Regression model (SAR) used to evaluate the existence and strength of spatial interaction between the observations in the phenomenon studied and preliminary analysis spatial dependence detection. We emphasize in the results the fact of geographic proximity is an important factor in explaining the adoption of irrigation technology, confirming thus the existence of spillover effect on the adoption of irrigation technology. This result indicates that informal mechanisms of information transmission based on neighborhood relations are as important as other socioeconomic and environmental elements related by farmer's decision. In this sense, the study allows us to infer that the strengthening of public policies that encourage

the informal channels of information transmission among the farmers groups can be decisive for the process of adoption/diffusion of irrigation technology.

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Considerações Iniciais

A irrigação é frequentemente citada pela literatura como uma importante tecnologia capaz não só de aumentar a produtividade da atividade agrícola, como também de minimizar os riscos associados às alterações do clima, que são um dos principais fatores que causam vulnerabilidade à produção do setor agrário.

Em caráter de complementação às práticas agrícolas, a irrigação propicia o alcance da máxima produtividade dentro dessa atividade frente à produção de sequeiro e tem sido alvo de considerável interesse como capital necessário à exploração do setor agrário. Esse interesse torna-se ainda mais pertinente no contexto de regiões áridas e semiáridas onde a precipitação natural não permite que as culturas se desenvolvam normalmente.

Dentro do meio empresarial, a prática de irrigação tem se configurado como importante estratégia para aumentar a oferta de produtos agrícolas no mercado interno como também capaz de consolidar a participação comercial desses produtos no mercado internacional. Os benefícios do melhor nível de produtividade e redução de riscos proporciona maior competitividade da produção agrícola nacional entre outras vantagens significativas para o produtor irrigante, como benefícios associados à renda e ao emprego no meio rural (LIMA; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

O Brasil está em 16º lugar entre os países com maior área irrigada no mundo, detendo cerca de 1% da área mundial irrigada, que é de aproximadamente 277 milhões de hectares. Ademais, as áreas irrigadas no país vem se expandindo ao longo das décadas e, entre os dois últimos censos agropecuários, a média de incorporação de solos irrigados foi de 150 mil hectares por ano. Todavia, a relação entre área irrigada e área irrigável é de 15%, um percentual relativamente baixo dado o potencial de expansão das atividades agrícolas em solos irrigados que é de 29,564 milhões de hectares. Além disso, o Brasil é um país que exhibe baixíssima taxa de hectares irrigados por habitante (0,018 ha/habitante), a menor da América do Sul (CHRISTOFIDIS, 2006; MMA, 2006; PAULINO *et al.*, 2011).

Apesar do importante papel desempenhado por essa tecnologia e da evolução das áreas irrigadas ao longo dos anos, o que se verifica é que as taxas de adoção de sistemas de irrigação ainda são muito baixas no Brasil. Além da questão da área irrigável ser pouco explorada, estima-se que apenas 6% da área plantada é cultivada em

solos sob infraestrutura hídrica (MMA, 2006). Uma das formas de investigar o contexto de baixas taxas de adoção é através da análise de quais fatores determinam a decisão do produtor de adotar ou não essa tecnologia. Esse tipo de análise é importante, pois pode permitir identificar onde as políticas públicas deveriam atuar no sentido de reduzir as barreiras à adoção, visto que o uso dessa tecnologia pode vincular-se a benefícios ao longo das atividades que se relacionam direta e indiretamente com as atividades da agricultura irrigada.

A literatura internacional conta com diversos estudos (DINAR; CAMPBELL; ZILBERMAN, 1992; DINAR; YARON, 1992; DRIDI; KHANNA, 2005; KOUNDOURI; NAUGES; TZOUVELEKAS, 2006; GENIUS *et al.*, 2013; MONACO *et al.*, 2014) que investigam quais os principais determinantes da adoção da tecnologia de irrigação com relativa ênfase a elementos relacionados ao nível de capital humano do produtor, tais como escolaridade, experiência e acesso a informação, bem como elementos que determinam sua situação socioeconômica, capacidade de geração de renda e acumulação, crédito, características físicas do estabelecimento e o tipo de uso da terra, além de fatores associados ao risco da rentabilidade da produção e o risco climático.

Outro fator de ordem mais técnica e também de fundamental importância no que diz respeito a irrigação relaciona-se a água. Tanto a vazão, frequência da disponibilidade, qualidade e custo da água influenciam tanto a escolha de irrigar quanto a escolha do método de irrigação a ser utilizado. A questão relacionada aos recursos hídricos ainda passa pelo contexto das outorgas de uso da água para irrigação, que constitui-se em uma das bases legais necessárias para gestão e planejamento do uso desse recurso nas atividades irrigadas (MELLO; SILVA, 2009).

Afora fatores de ordem técnica, que são específicos dependendo do atributo investigado, de modo geral, são muitos os trabalhos empíricos que investigam os determinantes da inovação tecnológica na agricultura (VICENTE, 1998; SUNDING; ZILBERMAN, 2001; MARRA; PANNELL; GHADIM, 2003; MONTE; TEIXEIRA, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; BRAGANÇA; ASSUNÇÃO; HEMSLEY, 2013). Esses estudos remetem aos fatores aqui já citados que se associam à modernização da atividade agrícola seja através do emprego de tecnologias ou através de práticas de uso de solo mais sustentáveis, como o plantio direto.

Todavia, a literatura nacional que trata a respeito da adoção da tecnologia de irrigação é relativamente escassa, tendo como referência principal o estudo de Cunha *et*

al. (2014) que avaliou a importância de fatores relacionados à educação, renda e assistência técnica como determinantes para que ocorresse sua adoção, bem como confirmou a influência de variações climáticas e condições agronômicas na decisão de irrigar.

Os elementos discutidos nos referidos estudos influenciam de formas distintas a decisão do agricultor e essas peculiaridades são capazes de fazer com que a introdução de tecnologias no meio rural não se dê com a mesma rapidez, intensidade e abrangência entre os produtores.

Além desses elementos, é possível ainda ressaltar que existem certas especificidades da atividade agrícola, que são compartilhadas por grupos de agricultores, que implicitamente se agregam criando propriedades de expressão espacial. As relações que se estabelecem a partir dessa agregação são importantes para entender a complexidade da forma como se dá a escolha e utilização de práticas produtivas e, até então, é um tema pouco explorado na literatura.

Essa expressão espacial pode ser verificada, por exemplo, quando se observa a distribuição de atividades agrícolas de forma regionalizada ou na forma de cinturões agrícolas onde as características geoclimáticas ou socioeconômicas, que são compartilhadas entre os agricultores, tem uma influência importante sobre a forma funcional da ocupação da atividade agrícola nesses locais (FIGUEIREDO; TEIXEIRA; BONJOUR, 2009). Outro exemplo que pode ser considerado é a própria distribuição de algumas atividades irrigadas ao longo de regiões de bacias hidrográficas.

No entanto, dados sobre interconexão de informações dessa natureza são normalmente indisponíveis para análises econômicas. Assim, as investigações empíricas partem da hipótese de que o processo de aprendizagem social e seus efeitos sobre a adoção de tecnologia na agricultura relaciona-se com características dos indivíduos que podem ser observadas, tal como a proximidade geográfica entre eles. De acordo com Conley e Udry (2010), o fato de o produtor ser mais propenso a adotar tecnologias após seus vizinhos a terem adotado pode ser consequência de alguma variável não observada que está espacialmente correlacionada, e essa variável pode ser importante para explicar o efeito *spillover* no processo de adoção de tecnologias na agricultura.

Assim, é presumível que a influência dos efeitos estabelecidos pela geografia pode ter efeitos sobre a alocação de recursos da atividade agrícola e, portanto, não deve ser desconsiderado nas análises sobre adoção de tecnologia da agricultura.



## 1.2 O problema e sua importância

A questão da interdependência entre as regiões, dada pela proximidade geográfica, e a sua influência sobre a adoção de tecnologia, em especial na agricultura, está mais restrita à literatura internacional (CASE, 1992; ROUNSEVELL *et al.*, 2012; WRIGHT; HUDSON; MUTUC, 2013; WOLLNI; ANDERSSON, 2014). Esses estudos focam na investigação da existência dos efeitos de transbordamento tecnológico ou efeito *spillover* na agricultura originado das interações estabelecidas pela geografia que, de maneira geral, ocorrem entre produtores que estão mais próximos entre si. Para esses autores a influência do local em relação à vizinhança na forma de interdependência pode afetar as respostas relacionadas à alocação de recursos direcionada a novas metodologias agrícolas.

Como já abordava Case (1992), quando os indivíduos fazem escolhas eles são frequentemente influenciados pelo comportamento e opinião de outros indivíduos que estão em seu imediato ambiente, de tal modo que, as atitudes individuais sobre uma variedade de atividades podem ser mais bem desenvolvidas através do contato com outros indivíduos.

Considerar a vizinhança como unidade de aprendizagem é uma maneira de pensar sobre o papel do *social learning* na adoção de tecnologias na agricultura. Como apontado por Conley e Udry (2001), cada produtor observa as atividades agrícolas de outros agricultores que estão na sua vizinhança, incluindo naturalmente aqueles que estão experimentando uma tecnologia ou prática agrícola que é de interesse em ser adotada. Essa observação faz com que os agricultores atualizem sua opinião sobre a tecnologia ou prática agrícola e utiliza essas informações na sua tomada de decisão.

A natureza desse tipo de aprendizagem e a forma como é estabelecida é um ponto de partida razoável para a discussão sobre adoção de tecnologias na agricultura no contexto de vizinhança. As interações proporcionadas pela proximidade geográfica podem inclusive resultar em melhor acesso a mão de obra qualificada, informações, serviços e insumos, resultando em aprendizagem e efeitos de rede social considerados de fundamental importância para que ocorra a adoção de tecnologia no meio rural (WOLLNI; ANDERSSON, 2014).

Segundo Foster e Rosenzweig (1995), o processo de aprendizagem na vizinhança pode resultar em aumento nos lucros gerados com o uso de uma nova tecnologia. Segundo esses autores, o processo de aprendizagem se dá em termos de

produtividade e comportamento de adoção a partir do aumento da experiência na rede de vizinhanças.

Para Wollni e Andersson (2014), esses efeitos podem ser reconhecidos como externalidade positiva de informação e são principalmente relevantes em ambientes com informações escassas. Além disso, essa externalidade pode ser especialmente relevante no caso de tecnologias intensivas em conhecimento, tal como a tecnologia de irrigação, de maneira que, os benefícios associados a essas interações podem facilitar a escolha de adoção pelo agricultor. O efeito resultante desse processo é o que se identifica como efeito *spillover* e, este efeito tende a ocorrer quanto maior for a interação entre os agentes envolvidos no processo de adoção. Sobretudo, espera-se que essa interação seja maior quanto mais próximo uns dos outros estiverem os agentes associados ao processo de adoção. Nesse sentido, maior deverá ser o nível de adoção da tecnologia de irrigação entre aqueles municípios com maior interação entre si.

Embora esses trabalhos sugiram que as influências das vizinhanças são importantes no direcionamento de escolhas tecnológicas, a literatura sobre adoção tem ignorado a importância da interação que ocorre entre os agricultores. De acordo com Case (1992), as razões para incorporar essa questão na análise sobre adoção não são apenas econométricas – desde que os dados subjacentes ao objeto investigado desencadeiam processos de dimensão espacial e este não for considerado na análise econométrica as estimações serão viesadas - mas também são importantes no que se refere a formulação de políticas públicas que leve em consideração esses efeitos de modo a ser capaz de reconhecer e incorporar em seus projetos o tamanho da externalidade associada à influência das localidades sobre a vizinhança e vice e versa.

É importante ressaltar que, dado o caráter regional das atividades irrigadas, os efeitos espaciais presentes na adoção da tecnologia de irrigação também podem ser engendrados pela heterogeneidade relacionada a esses regimes regionais. No Brasil, como será verificado ao longo desse estudo, a distribuição da atividade irrigada não se dá de maneira uniforme e tem diferentes características ao longo do território nacional. Portanto, a questão da dependência espacial pode originar-se dessa característica heterogênea da irrigação no país. Todavia, a questão da instabilidade estrutural através das regiões, apesar de importante, será abordada apenas de maneira qualitativa nesse estudo. A atenção será maior no caráter global que a proximidade geográfica pode exercer sobre a adoção da tecnologia de irrigação no sentido de poder facilitar a interação e influência mútua entre os municípios, aumentando assim as chances de

adoção dessa tecnologia. Isso irá mostrar que a interação espacial oriunda da proximidade geográfica é uma fonte legítima de dependência espacial e pode ter efeitos importantes para o processo de adoção de tecnologia.

Com o exposto até aqui, depreende-se que, apesar das diversas análises sobre adoção da tecnologia de irrigação contar com condicionantes de cunho socioeconômico e ambiental, os estudos ainda não avaliaram a questão da interação espacial entre municípios próximos entre si como fator importante para determinação da adoção dessa tecnologia. Portanto, preencher essa lacuna existente na literatura será a principal contribuição desse trabalho.

Sob o argumento de existência de dependência espacial na atividade agrícola, os efeitos das variáveis apresentadas no início dessa introdução podem ser mais bem avaliados quando tratados do ponto de vista da interdependência entre as unidades produtivas caso seja comprovada sua existência. Portanto, a negligência em não considerar os efeitos espaciais na análise pode levar à conclusões inexatas que omitem alguns efeitos importantes de externalidades que podem ser geradas com a difusão de informação e experiência a partir de grupos de agricultores que tem uma maior interação entre si. A repercussão dessa interdependência associada aos demais fatores que orientam as tomadas de decisão do produtor enriquece a análise na adoção, pois pode indicar quais das variáveis tem mais impacto sobre o transbordamento tecnológico do atributo em questão transformando-se em ferramentas importantes para formuladores de políticas que terão maior conhecimento dos fatores que geram mais sinergia entre os produtores rurais e os conduzem a tomadas de decisões mais facilitadas.

### **1.3 Hipótese**

O efeito *spillover* na adoção da tecnologia de irrigação existe e, portanto, a proximidade geográfica entre os municípios não deve ser desconsiderada na análise dos determinantes da adoção.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Geral**

Verificar a importância do efeito *spillover*, dado pela proximidade geográfica entre os municípios, como condicionante da adoção da tecnologia de irrigação.

### **1.4.2 Específicos**

- i)* Verificar qual é o tipo de autocorrelação espacial existente (positiva ou negativa) em relação às decisões de adoção de irrigação;
- ii)* Verificar os principais determinantes da adoção da tecnologia de irrigação.

## **1.5 Estrutura do Trabalho**

O trabalho está estruturado em cinco seções, além desta introdução. A seção 2 apresenta a situação da agricultura irrigada no Brasil e mostra as diversas características que suscitam a heterogeneidade do seu emprego ao longo do território nacional. A seção 3 trata do referencial teórico utilizado para embasar os efeitos da geografia sob a adoção da tecnologia de irrigação, além de uma seção que sistematiza a importância dos principais elementos utilizados em contrapartida teórica para explicar o comportamento de adoção de tecnologias na agricultura. A seção 4 trata da metodologia empregada no estudo com vistas a atingir o objetivo proposto e, a seção 5 são compilados os principais resultados encontrados. A seção 6 descreve as conclusões e implicações da análise empreendida. Posteriormente são apresentadas a referência bibliográfica utilizada e o anexo do estudo.

## 2 UM OLHAR SOBRE A AGRICULTURA IRRIGADA NO BRASIL

A irrigação é um método pelo qual se aplica artificialmente água ao solo de modo a corrigir a distribuição natural das chuvas e proporcionar o desenvolvimento adequado das culturas mesmo onde as condições hídricas são desfavoráveis, o que dificulta a produção agrícola em determinadas regiões (MELLO; SILVA, 2009; TUCCI; HESPANHOL; NETTO, 2003).

Apontado como o sistema mais eficiente para produção de alimentos, o impulso ao uso da irrigação surge da necessidade de incremento na produção agrícola e da possibilidade de obtenção de maior produtividade em solos irrigados. Como a produtividade da área irrigada é maior do que a de sequeiro - cada hectare irrigado equivale a três hectares de sequeiro em produção física e sete hectares em produção econômica - a irrigação tem se mostrado uma boa resposta não só para atender o incremento na demanda por alimentos como também para reduzir o impacto relacionado ao uso extensivo de terras na produção agrícola. A expectativa é de que até 2030 a agricultura irrigada forneça cerca de 60% dos alimentos de origem vegetal no mundo (BANCO MUNDIAL, 2006; MMA, 2006; TALAMINI; OLIVEIRA, 2008).

Além disso, a utilização da prática de irrigação é capaz de mitigar os riscos relacionados a eventos climáticos. Nesse sentido, a adoção da irrigação torna-se imprescindível no suprimento de déficits hídrico e de precipitação, viabilizando uma atividade produtiva mais regular e conferindo maior estabilidade no rendimento do cultivo explorado (ANDRADE, 2000).

O problema relacionado ao clima e à agricultura se acentua ainda mais na perspectiva das mudanças climáticas que podem ocorrer ao longo do século XXI. De acordo com o relatório do IPCC sobre mudanças climáticas (2014), as áreas rurais são muito suscetíveis a experimentar grandes impactos provenientes das mudanças climáticas afetando não só a disponibilidade de água e abastecimento dessas áreas, como também teria influências sobre a infraestrutura agrícola, rendimentos produtivos e alterações nas áreas de produção de culturas. Diante desse contexto, a irrigação pode mostrar-se uma estratégia importante para reduzir a vulnerabilidade das áreas rurais, principalmente àquelas que dependem fundamentalmente da atividade agrícola.

Segundo a análise hedônica realizada por Cunha *et al.* (2014), o preço da terra agrícola em solos irrigados tenderia a ser mais estável que o preço da terra na agricultura de sequeiro. Suas estimações mostraram que, no curto prazo, a expectativa

do crescimento do valor da terra com uso de irrigação seria de 3,8% em um cenário mais ameno de mudança climática em contraposição com a redução no valor das terras sob agricultura de sequeiro na ordem de 6,7% neste mesmo cenário. Sendo assim, a adoção da tecnologia de irrigação se mostra uma estratégia eficaz de adaptação às mudanças climáticas, reduzindo a vulnerabilidade dos produtores rurais.

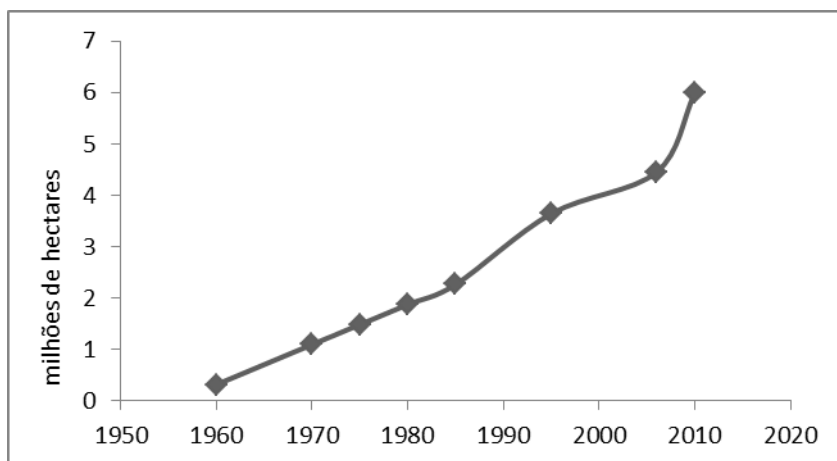
De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (2006), em escala mundial, estima-se que cerca de 1,541 bilhão de hectares está ocupada pela produção agrícola dos quais aproximadamente 277 milhões de hectares estão sob o domínio de sistemas de irrigação. Essa área sob cultivo irrigado responde por 44% do total da produção agrícola no mundo. No Brasil, os solos cultivados sobre infraestrutura hídrica correspondem a 5,89% da área plantada e responde por 16% da produção agrícola nacional.

Em termos de valor da produção, as culturas irrigadas no país também desempenham posição de relevância. De acordo com Silva *et al.* (2010), a área irrigada responde por mais 35% do valor econômico total da produção de alimentos no Brasil. Nesses termos, cada unidade de área irrigada equivale a aproximadamente 5,9 unidades de área não irrigada, o que mostra a relevância dos cultivos sob sistemas de irrigação em relação ao valor econômico dentro da atividade agrícola nacional.

A Figura 1 mostra a evolução das áreas irrigadas no Brasil. Em 1960 essas áreas somavam em torno de 320 mil hectares, e, a partir de então, a média anual de incorporação de solos irrigados foi de 77,823 mil hectares/ano chegando a um total de aproximadamente 3,122 milhões de hectares segundo o Censo Agropecuário de 1996. Entre os anos de 1996 e 2006 a área irrigada do país passou para aproximadamente 4,454 milhões de hectares representando um aumento de 1,3 milhão de hectares em 10 anos o que resulta em um ritmo médio de incorporação de área irrigada de 150 mil hectares/ano. Atualmente, estima-se que o país irriga cerca de 6 milhões de hectares<sup>1</sup>, ocupando o 16º lugar entre os países com maior área irrigada no mundo e detêm pouco mais de 1% da área mundial em solos de infraestrutura hídrica(CHRISTOFIDIS, 2008; FOLLEGATTI *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2010; ANA, 2013).

---

<sup>1</sup> Estimativa feita pela Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013), com base nos dados do Censo Agropecuário 2006, das projeções do Plano Nacional de Logística de Transportes - PNLT 2002-2023 e de cinco planos de recursos hídricos de bacias hidrográficas interestaduais.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE) e nas estimativas feitas por Christofidis (2008), Follegatti *et al.* (2010), Silva *et al.*(2010) e ANA (2013).

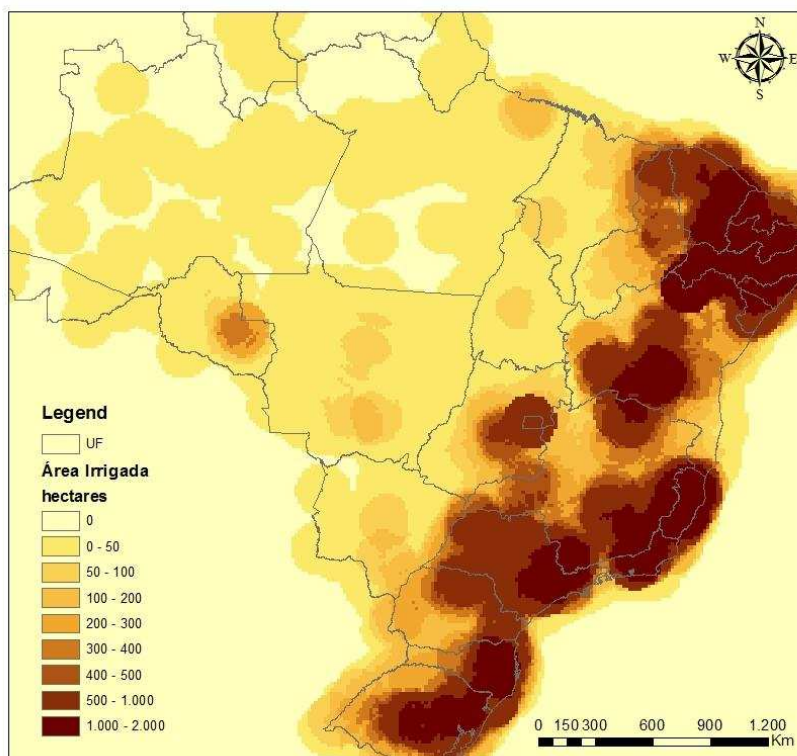
Figura 1: Evolução das Áreas Irrigadas no Brasil a partir de 1960 (em ha).

Segundo o Relatório de Conjuntura de Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2013), o salto verificado na década de 1980 deve-se a importantes programas que foram criados nessa época como, Provárzeas em 1981 (Programa Nacional para Aproveitamento Racional de Várzeas Irrigáveis), Profir em 1982 (Programa de Financiamento de Equipamentos de Irrigação), Proni e Proine em 1986 (Programa Nacional de Irrigação e Programa de Irrigação do Nordeste, respectivamente). Nesse período esses programas foram importantes para fornecer incentivos aos investimentos tanto do setor público em obras coletivas de forte impacto regional, quanto do setor privado, que atualmente responde por aproximadamente 97% das áreas irrigadas no Brasil.

O percentual restante de área irrigada no país encontra-se em 101 perímetros públicos de irrigação que contempla cerca de 90 municípios. A maior concentração de projetos públicos está nas regiões das bacias hidrográficas do São Francisco e do Atlântico Nordeste Oriental, parte semiárida da região Nordeste do país. Essas áreas públicas de irrigação, apesar da baixa participação em relação às áreas irrigadas oriundas da iniciativa privada, são essenciais ao desenvolvimento dessas regiões e seguem com forte expansão – entre 2010 e 2011 essas áreas cresceram 33 mil hectares e aprecia projetos públicos e também aprecia perímetros públicos superiores à 2 mil hectares (ANA, 2013).

A Figura 2 mostra a distribuição das áreas irrigadas no Brasil segundo Censo Agropecuário de 2006. Pode-se observar que a atividade irrigada é mais representativa,

nas regiões Sudeste, Nordeste e Sul. Além disso, essas áreas correspondem às regiões hidrográficas do Atlântico Nordeste Oriental e principalmente na região hidrográfica do Rio São Francisco. Nas regiões Centro-Oeste, Sul e ainda parte da região Sudeste observa-se uma concentração de área irrigadas nas regiões das bacias hidrográficas do Paraná, Atlântico Sul e Uruguai.



Fonte: Elaboração própria a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2006.

Figura 2: Distribuição das Áreas Irrigadas no Brasil (em hectares) segundo Censo Agropecuário de 2006.

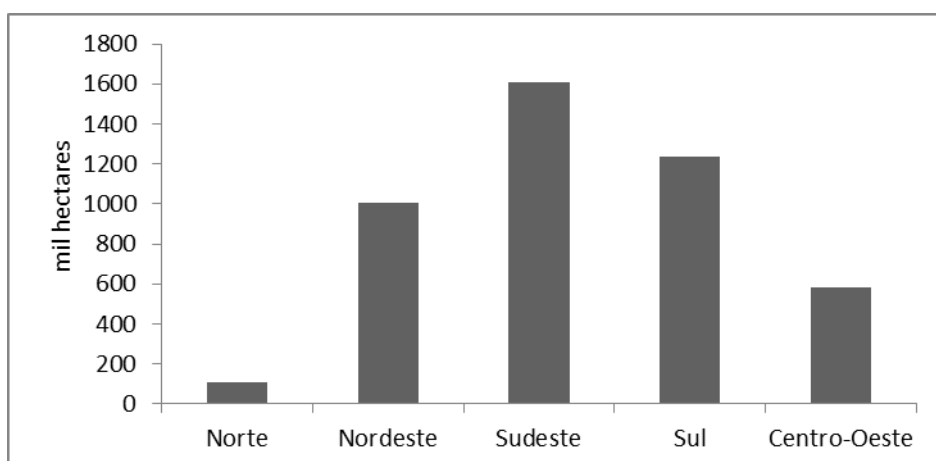
Ainda em relação às áreas irrigadas no Brasil segundo as grandes regiões, algumas pontuações podem ser feitas a partir da análise da Figura 3. Como pode ser verificado, existe uma heterogeneidade na distribuição dessas áreas ao longo do território nacional. A região Sudeste assume o primeiro lugar, seguido das regiões Sul e Nordeste. Segundo Paulino *et al.* (2011), no Sudeste, os estados de Minas Gerais e São Paulo detêm juntos cerca de 80% de toda área irrigada nessa região. Na região Sul, 80% da área irrigada está no estado do Rio Grande do Sul, dos quais 75% são destinados a produção de arroz (FOLLEGATI *et al.*, 2010).

Já no Nordeste, maior região do semiárido do Brasil e, supostamente a que mais se beneficia de projetos de irrigação dados seus déficits de pluviosidade e hídricos, o



estado da Bahia é o que detém a maior parcela de área irrigada, um percentual de aproximadamente 30%. O Centro-Oeste, região considerada importante para expansão da fronteira agrícola, apesar de ser a quarta colocada no ranking em termos de área irrigada é a região com maior potencial de hectares aptos à utilização da tecnologia de irrigação. Entre 2000 e 2010 foi a região que teve o maior percentual de acréscimo em área irrigada, um valor em torno de 289 mil hectares de expansão em dez anos (FOLLEGATI *et al.*, 2010; PAULINO *et al.*, 2011).

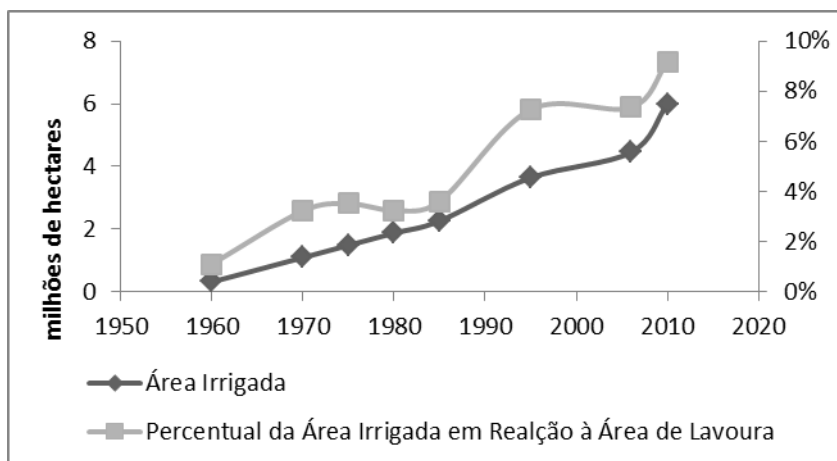
A região Norte é a que apresenta a menor área irrigada, detendo 2,4% do total de solos sob infraestrutura hídrica do país. Esse baixo percentual de uso de irrigação pode ser devido ao fato de, como apontado por Cunha (2011), ser uma região quente e úmida que dispensaria o uso de sistemas de irrigação, é uma região que exerce mais atividades relacionadas ao setor extrativista e de pecuária de modo que, a atividade agrícola tem pouca representatividade na região.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 3: Área dos Estabelecimentos Agropecuários (Hectares) com Uso de Irrigação por Grandes Regiões segundo o Censo Agropecuário de 2006.

Em referência a parcela do estabelecimento destinada ao uso de irrigação o Relatório do IICA (Inter-American Institute for Cooperation on Agriculture) sobre Agricultura Irrigada no Brasil (2011) apontou que, em média, considerando apenas as áreas de lavouras temporárias e permanentes, o percentual de área do estabelecimento com uso de irrigação em relação à área de lavoura total é de 9%. A evolução dessa relação a partir de 1960 pode ser observada na Figura 4.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário 1960/2006 (IBGE) e na PAM de 2010 (IBGE).

Figura 4: Área Irrigada (em hectares) e Evolução do Percentual de Área Irrigada em Relação à Área de Lavoura no Brasil no Período de 1960-2010.

Fazendo a discriminação por tipo de lavoura, os estudos do Relatório do IICA mostram que, em relação ao total cultivado, 18% e 27% das áreas de lavoura permanente e temporária respectivamente, foram agricultadas em solos irrigados. Esse valor é ainda mais expressivo para a horticultura, chegando a 87% da produção utilizando algum sistema de irrigação.

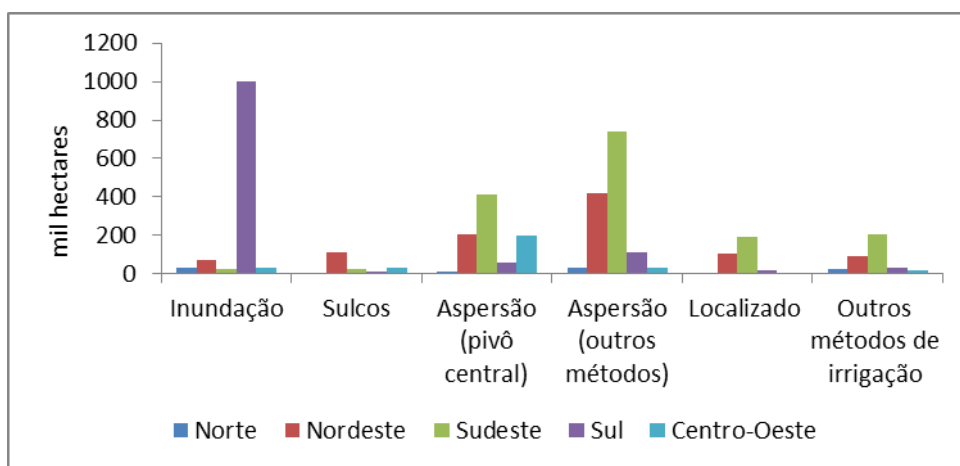
Em relação aos produtos cultivados sob infraestrutura hídrica no país, tem-se a cana-de-açúcar e, principalmente o arroz, que juntos respondem por aproximadamente 53% da produção de irrigados nacionalmente. A área cultivada de arroz irrigado alcança aproximadamente 2,373 milhões de hectares. A orizicultura irrigada é tradicionalmente praticada na região sul do país e tem como maior produtor o estado do Rio Grande do Sul, onde o cultivo representa 79% do arroz irrigado colhido.

Outros cultivos que merecem destaque na produção irrigada no país são as lavouras de milho e soja, que, de acordo com Folegatti *et al.* (2010), ocupam o terceiro e quarto lugares com maior área colhida irrigada, sendo 11% e 10% respectivamente. Demais cereais, hortaliças, frutas e outros cultivos, não menos importante, respondem pelo percentual restante (CUNHA *et al.*, 2014).

Em relação aos diferentes sistemas de irrigação, os três métodos mais utilizados no Brasil são os métodos de aspersão, inundação e pivô central, ocupando 35%, 24% e 18% respectivamente das áreas sob sistema de infraestrutura hídrica no país. Em seguida, os métodos de molhação ou regas manuais, métodos localizados e sulcos

respondem por parcelas menores das áreas irrigadas brasileira correspondendo a aproximadamente 8,3%, 7,3% e 5,7% respectivamente (CUNHA, 2011).

Considerando a distribuição desses diferentes métodos entre as regiões administrativas, a Figura 5 mostra as regiões onde cada método de irrigação é utilizado mais intensivamente em termos de área irrigada. Nas regiões Sudeste e Nordeste prevalecem os métodos pressurizados com e sem pivô. Já na região Sul, onde é praticada a maior parte da orizicultura nacional, prevalece o método de irrigação por inundação.



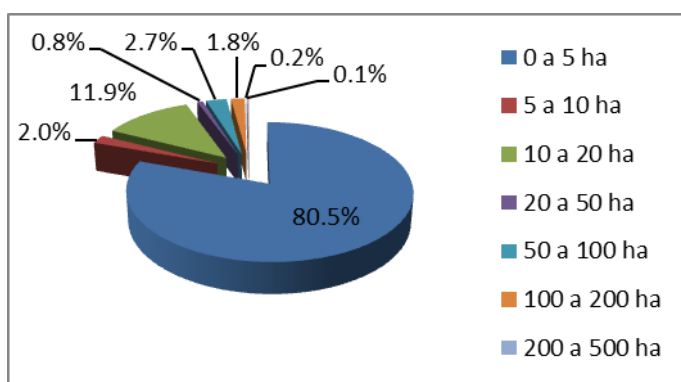
Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 5: Área dos Estabelecimentos Agropecuários (Hectares) com Uso de Irrigação por Método Utilizado e Grandes Regiões segundo o Censo Agropecuário de 2006.

Pela análise regional pode-se verificar que os métodos de irrigação pressurizados e de inundação são os mais utilizados no Brasil. Apesar de não ser foco desse trabalho analisar a questão da eficiência no uso da água na irrigação é importante ressaltar que, como sugerido por Paulino *et al.* (2011), o fato de o país se destacar em termos de adoção de métodos pressurizados remete a possibilidade de melhorias no uso racional da água pela irrigação pois, de acordo com esses autores, é mais fácil obter melhorias de eficiência através do uso de métodos de aspersão do que através de sistemas de superfície, como inundação e sulcos que são sistemas altamente consumidores de água. A obtenção de ganhos de eficiência no uso da água pela irrigação é ainda um grande desafio para o desenvolvimento sustentável dessa atividade.

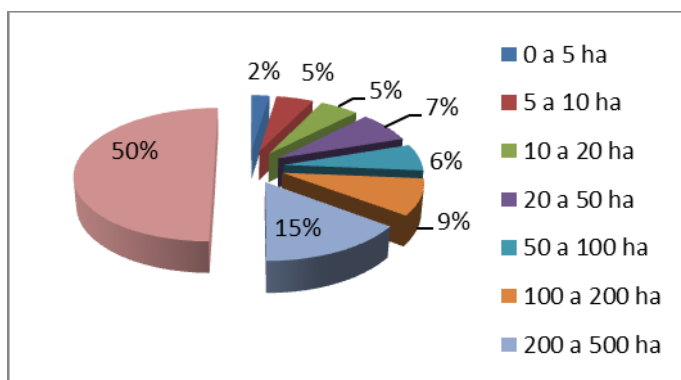
Além das questões do tipo de cultura e de características edafoclimáticas regionais, outra fonte de heterogeneidade na distribuição dos sistemas de irrigação tem

relação com o tamanho da propriedade. Como pode ser visto na Figura 6, 80,5% dos estabelecimentos agropecuários com uso de irrigação estão no menor grupo de área em estabelecimentos de até 5 hectares e, aproximadamente 12% em estabelecimentos de 10 a 20 hectares. Não obstante, pela análise da Figura 7 é possível observar que não há uma relação direta entre número de estabelecimentos com uso de irrigação e área irrigada dos estabelecimentos. Nesse quesito, a representatividade em termos de percentual de áreas irrigadas é superior em estabelecimentos com mais de 500 hectares.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 6: Percentual de Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação por Grupo de Área de acordo com o Censo Agropecuário de 2006.



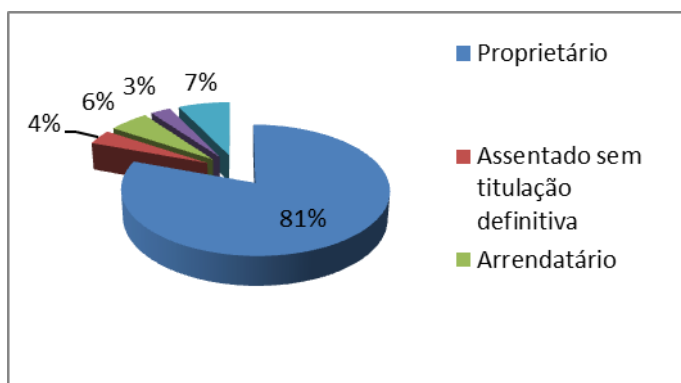
Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 7: Percentual da Área (Hectares) dos Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação por Grupo de Área de acordo com o Censo Agropecuário de 2006.

Em relação aos métodos utilizados entre os diferentes grupos de área, Folegatti *et al.* (2010) aponta que os métodos pressurizados (com pivô) e de superfície concentram-se em maiores propriedades, enquanto outros métodos de aspersão reúnem-se principalmente em propriedades com até 10 hectares e maiores que 500 hectares.

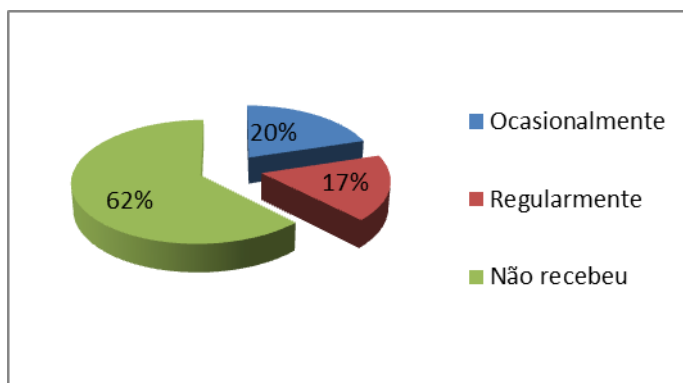
As questões relacionadas à posse de terra e orientação técnica também são fatores importantes que podem estabelecer algum padrão de distribuição entre os irrigantes. A teoria aponta que a posse precária de terras provavelmente reduz os níveis ótimos de adoção de tecnologias devido ao aumento da taxa de desconto relacionado ao risco de expropriação do capital. Dessa forma, o produtor sem a posse legal de sua terra acaba não tendo incentivo em investir em infraestrutura física e melhorias de solo (SUNDING; ZILBERMAN, 2001).

A orientação técnica é igualmente importante, pois, como apontado por Oliveira (2003), espera-se que produtores assistidos tecnicamente tenham maiores possibilidades de incorporar novas tecnologias dentro do processo produtivo. As Figuras 8 e 9 construídas a partir dos dados do Censo Agropecuário de 2006 mostram a situação dos irrigantes em relação à essas duas características. Pode-se observar que a maior parte dos irrigantes tem posse legal de suas terras, no entanto, a assistência técnica entre eles ainda pode ser considerada precária, pois, a maioria dos estabelecimentos com uso de irrigação não receberam orientação técnica no ano recenseado.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 8: Condição Legal do Produtor em Relação à Terra entre os Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação Segundo o Censo Agropecuário de 2006.



Fonte: Elaboração a partir do Censo Agropecuário de 2006 (IBGE).

Figura 9: Situação da Orientação Técnica entre os Estabelecimentos Agropecuários com Uso de Irrigação Segundo o Censo Agropecuário de 2006.

Pelo o que até aqui foi exposto, apesar de se observar uma evolução expressiva das áreas sob solos de infraestrutura hídrica, é importante chamar a atenção para o fato de que a relação entre área irrigada e área irrigável ainda é baixa no Brasil. De acordo com Paulino *et al.*(2011), essa relação é de 15%, ou seja, do potencial de área para uso de irrigação somente 15% são explorados, levando em consideração as estatísticas do último Censo Agropecuário. Segundo esses autores, o potencial de incorporação de novas áreas irrigadas é de 29,564 milhões de hectares, um valor muito significativo perto dos 4,454 milhões de hectares explorados sob esse sistema. A maior parte dos solos aptos à expansão sustentável da agricultura irrigada, um percentual de 72%, estão localizadas no cerrado brasileiro (CHRISTOFIDIS, 2006).

Para Paulino *et al.*(2011), uma das justificativas para explicar essa baixa relação diz respeito ao fato de o país ter boa distribuição de chuvas ao longo do calendário agrícola em considerável parte do seu território. Não obstante, mesmo nessas condições, isso não seria o suficiente para determinar os baixos níveis de adoção visto que a utilização de sistemas de irrigação é útil inclusive para melhor aproveitamento de todos os recursos hídricos, inclusive àqueles provenientes da chuva. Outros autores, como Saturnino *et al.*(2010), defendem que a evolução acanhada da agricultura irrigada sobre seu potencial seria decorrente da atual falta de políticas mais voltadas para o setor, o que intimidaria os investimentos de implantação dessa tecnologia pelos produtores. Já Cunha (2011), aponta que os custos relacionados aos investimentos de irrigação são motivos básicos para explicar a baixa relação entre área irrigável e área irrigada.

Portanto, dado o quadro de heterogeneidade da situação da irrigação nacional frente aos baixos índices de adoção em relação ao potencial que pode ser alcançado é

importante procurar entender os motivos pelos quais alguns agricultores irrigam e outros não. Essa compreensão pode ser essencial para identificar quais as políticas públicas seriam mais eficazes para reduzir as barreiras à adoção. Uma vez que se sabe que a partir da adoção da irrigação é possível ter benefícios em toda cadeia envolvida com esse tipo de produção, além de benefícios ambientais e socioeconômicos, deveria ser de interesse da política pública perseguir um plano de desenvolvimento da agricultura em solos irrigados.

Esses incentivos seriam importantes, pois consolidaria um maior avanço na incorporação de áreas irrigadas pelo país ao longo do tempo. Caso contrário, como apontado por Saturnino *et al.* (2010), mantendo o incremento médio de área irrigada de 80 mil hectares/ano seria necessário quase quatro séculos para que o país pudesse usufruir plenamente da riqueza gerada por essa atividade. Portanto, arrolar esses potenciais, seja no âmbito de projetos públicos ou encorajando iniciativas privadas, deve ser uma constante nas mais diversas políticas voltadas para esse setor.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1) Algumas Perspectivas Teóricas sobre Adoção de Tecnologia na Agricultura

A literatura sobre adoção e difusão de tecnologia na agricultura é extensa e conta com análises de cunho social, econômico e ambiental na intenção de compreender os diferentes padrões de adoção entre a população de agricultores.

Tradicionalmente, os estudos econômicos sobre determinantes da adoção de tecnologia focam em questões como informação imperfeita, risco, constrangimento institucional, capital humano, meio ambiente, clima, disponibilidade de recursos, aprendizagem social (*social learning*), para explicar a decisão de adoção de tecnologia e procurar entender porque alguns produtores adotam-na e outros não (UAIENE; ARNDT; MASTERS, 2009).

Esses fatores são comumente usados como contrapartidas empíricas de três perspectivas teóricas sobre o processo de adoção de tecnologia na agricultura. Trata-se da perspectiva dos modelos de percepção de adoção, dos modelos de constrangimento econômico e dos modelos de difusão de inovação (UAIENE; ARNDT; MASTERS, 2009).

Os modelos de percepção de adoção sugerem que os atributos percebidos da nova tecnologia condicionam o comportamento de adoção dos agricultores. Adesina e Zinnah (1993), explicam que os potenciais adotantes julgam uma inovação com base na sua percepção da complexidade, compatibilidade e vantagem da tecnologia a sua disposição. Através das características específicas da tecnologia, o agricultor irá desenvolver preferências subjacentes a ela, e então tomará sua decisão baseada na adequação ou não dessa característica às suas necessidades produtivas.

Outros fatores que também são capazes de influenciar a percepção do produtor sobre a tecnologia, são aqueles relacionados principalmente ao seu nível educacional, sua trajetória de experiência no campo e o seu acesso à assistência técnica, fatores esses que influenciam na reflexão e compreensão do agricultor e, por sua vez, relacionam-se com a formação da massa crítica que condiciona a tomada de decisão baseada na percepção desenvolvida por ele.

Ainda sobre os aspectos educacionais, pode-se dizer que produtores mais escolarizados tendem a desenvolver melhor habilidades cognitivas relacionadas ao uso de tecnologias ou práticas agrícolas mais modernas. Já em relação à experiência sugere-se que produtores com mais tradição da agricultura podem ter mais facilidade em



aprimorar sua base de conhecimento além de supostamente terem maior capacidade de gestão de recursos dentro da atividade agrícola (VICENTE, 1998; MONTE; TEIXEIRA, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2011).

A adoção de tecnologias na agricultura é um processo que envolve a aquisição de informação e a aprendizagem, pois a medida que se adquire mais informações sobre uma determinada inovação agrícola, o conhecimento a seu respeito aumenta consideravelmente, tornando essa inovação mais atrativa pois as incertezas relacionadas aos seus benefícios são reduzidas e o processo de tomada de decisão é facilitado. Nesse sentido os serviços prestados por assistência técnica e por extensionistas rurais são de fundamental importância, pois eles constituem um canal relevante de disponibilização, acesso e difusão de informação entre os agricultores (MARRA; PANNELL; GHADIM, 2003).

Assim, no caso da irrigação, a complexidade dessa tecnologia exige um nível de conhecimento técnico alto para operá-la, de modo que, baixos níveis de conhecimento, muito relacionado aos baixos níveis educacionais e à falta de serviços de assistência, podem restringir a opção do produtor em alocar recursos em direção a novas operações agrícolas (SUNDING; ZILBERMAN, 2001).

Os modelos de estrangulamento econômico dão mais ênfase à questão de como alguns insumos fixos no curto prazo, tal como o acesso ao crédito, terra, trabalho ou outros insumos críticos, limitam a flexibilidade da produção e, conseqüentemente, as condições de decisão sobre a adoção da tecnologia (UAIENE, ARNDT, MASTERS; 2009).

No caso da adoção de sistemas de irrigação, a questão do estrangulamento econômico é de fundamental importância devido ao fato de que essa tecnologia é muito intensiva em capital e as restrições de crédito podem inviabilizar o produtor a investir em técnicas de produção mais modernas. A remoção da restrição creditícia e de outros estrangulamentos econômicos é benéfica, pois estimulam não só a adoção como também a intensificação do uso dentre aqueles produtores que já adotaram a tecnologia.

O pressuposto subjacente aos modelos de difusão de inovação é que o principal problema na adoção de tecnologias está relacionado à assimetria de informação. O pouco ou nenhum acesso a informações a respeito de diversas características da tecnologia disponível é capaz de restringir o produtor a adotá-la (SUNIDNG, ZILBERMAN; 2001).

Este problema de assimetria pode ser contornado pela acumulação de conhecimento. Segundo Feder e Slade (1984), o acúmulo de informação sobre uma nova tecnologia, ou uma tecnologia já existente, seria o carro chefe do processo de adoção da mesma. O período de experiência sobre uma determinada tecnologia alteram as crenças iniciais a seu respeito de modo que, através da informação, o adotante potencial irá reconhecer as vantagens da tecnologia, reduzir as incertezas a seu respeito de tal maneira que será induzido finalmente a adotá-la. Note que, as mesmas características que interferem na perspectiva relacionada à percepção do produtor sobre a nova tecnologia, também tem influências na alteração das restrições causadas pela assimetria de informação.

A questão da transmissão de informação nos modelos de difusão muitas vezes é explorada como resultado do *spillover* de conhecimento entre os agentes envolvidos no processo de adoção. O *spillover* de conhecimento refere-se à transferência de conhecimento gerada no processo de interação entre usuários e não usuários de uma determinada tecnologia. Esse processo faz com que não usuários se informem sobre os benefícios da utilização da tecnologia o que irá fazer com que esses indivíduos resolvam por adotá-la. A transferência de informação gerada nesse processo constitui uma externalidade da informação associada à adoção e difusão de tecnologia (WRIGHT; HUDSON; MUTUC, 2013).

Um fator determinante da ocorrência de *spillover* de conhecimento é a localização geográfica dos adotantes e potenciais adotantes da tecnologia em questão. A proximidade espacial entre esses agentes é capaz de favorecer o contato uns com os outros, levando a propagação da informação sobre a tecnologia e, por consequência, a disseminação do uso da mesma.

De acordo com Wright, Hudson e Mutuc (2013), a questão da localização geográfica afeta de duas maneiras principais a adoção de tecnologia. Em primeiro lugar, e de forma mais óbvia, as características físicas da terra determinam onde a adoção da tecnologia, no caso a tecnologia de irrigação, é economicamente viável. Portanto, se municípios vizinhos ou regiões de bacias hidrográficas ou barragens compartilham características semelhantes nesse quesito, é razoável supor que eles também podem compartilhar as mesmas escolhas de tecnologia empregada no cultivo.

Em segundo lugar, e de maneira mais intuitiva, a forma como a geografia se relaciona com a adoção de tecnologias pode ser pensada semelhante ao comportamento de uma doença epidêmica onde o vetor é o contato entre os potenciais adotantes e

usuários correntes da tecnologia em questão. A probabilidade de contato torna-se maior quando os dois grupos são próximos um do outro. Quando potenciais adotantes entram em contato com usuários atuais, eles ficam infectados com a nova tecnologia e se tornam próprios usuários (WRIGHT; HUDSON; MUTUC, 2013).

Evidentemente, não se deve negligenciar o efeito que a geografia exerce sobre o processo de adoção e difusão de tecnologias. Nesse sentido, buscou-se um modelo teórico que apresentasse a formalização desse efeito, e é ele que será apresentado na próxima seção desse estudo.

### **3.2) Modelo Teórico**

O referencial teórico utilizado no presente estudo é baseado no modelo desenvolvido por Comin, Dmitriev, Rossi-Hansberg (2013), que propuseram um modelo que acomodasse os efeitos temporais e geográficos presentes nas interações sociais que ocorrem no processo de adoção/difusão de inovações tecnológicas.

Segundo esses autores, seria restritivo sugerir que a adoção de tecnologia dependesse apenas de fatores socioeconômicos, institucionais e ambientais sem também admitir que o processo de adoção é influenciado por questões geográficas que podem determinar o sucesso na interação entre adotantes e possíveis adotantes que estão mais próximos entre si.

A suposição é que o processo de adoção de tecnologia requer conhecimento sobre a mesma e, muitas das vezes, esse conhecimento depende da interação que ocorre entre os agentes desse processo. A frequência com a qual se dá essa interação é moldada pela geografia. As experiências de adoção entre locais vizinhos geram um processo de interação na forma de transmissão de informação que irão determinar a adoção da tecnologia em questão.

Cabe aqui ressaltar que a utilização de sistemas de irrigação tem a característica de ser geograficamente localizada geralmente em bacias hidrográficas, barragens e rios. Dessa forma, a 'geografia' proporciona a possibilidade de estreitar relação entre produtores nas vizinhanças dessas localidades o que pode ter forte influência sobre as decisões de adoção da tecnologia de irrigação.

A importância desse mecanismo é explorada no *paper* de Comin, Dmitriev, Rossi-Hansberg (2013) através da análise empírica da existência da interação que ocorre na adoção de tecnologia mediante a distância geográfica entre os agentes envolvidos.

Formalizando o modelo teórico pode-se considerar uma massa  $N$  de agentes distribuídos uniformemente no espaço. Considera-se o espaço dado por um intervalo fechado  $[0,1]$  e o tempo é discreto, ou seja,  $t = 0, 1, \dots$

Seja  $G(0, l, t)$  a proporção de agentes no local  $l$  e no tempo  $t$  que não tenham adotado a tecnologia. Desta forma, a proporção de agentes que adotam a tecnologia pode ser expressa por  $G(1, l, t) = 1 - G(0, l, t)$ .

Supõe-se que os agentes interagem aleatoriamente com outros  $\alpha$  agentes por período. Considera-se ainda que a tecnologia convencional (não-inovadora) é estritamente dominada pela tecnologia inovadora, no sentido de que a última gera maiores retornos ao agente do que a primeira<sup>2</sup>. Dessa maneira, os não adotantes irão aderir automaticamente à nova tecnologia caso se encontrem com aqueles que já tinham adotado a tecnologia previamente. Caso a interação ocorra entre dois agentes que não adotam a tecnologia, não há *upgrade* tecnológico. O parâmetro  $\alpha$  governa a frequência de combinações e assim determina a velocidade da difusão da tecnologia.

Teoricamente os agentes encontram-se com maior frequência com aqueles indivíduos que estão em locais mais próximos entre si. De acordo com o modelo proposto, a probabilidade de um agente no local  $l$  encontrar outro agente no local  $r$  é de  $e^{-\delta|l-r|}$  vezes menor do que a probabilidade de encontrar-se com um agente que mora no seu mesmo local  $l$ . O parâmetro  $\delta$  governa a importância do espaço (i.e, a distância geográfica) para a adoção da tecnologia. Um alto valor de  $\delta$  implica em baixa probabilidade de encontros entre agentes localizados em lugares distantes. Logo, pode-se dizer que a difusão é localizada.

A probabilidade de não adoção da tecnologia no período  $t+h$  condicional ao agente não ter adotado a tecnologia até o período  $t$  no local  $r$  é dada por:

$$G(0, r, t + h) = G(0, r, t) \left[ \frac{\int_0^1 G(0, l, t) e^{-\delta|l-r|} \partial l}{\int_0^1 e^{-\delta|l-r|} \partial l} \right]^{\alpha h} \quad (1)$$

Logo, tomando o limite quando  $h \rightarrow 0$ , temos:

---

<sup>2</sup> Essa pressuposição parte da hipótese implícita no modelo teórico de que não existe incerteza relacionada à tecnologia inovadora.

$$\frac{\partial \ln G(0,r,t)}{\partial t} = \alpha \ln \left( \int_0^1 G(0,l,t) e^{-\delta|l-r|} \partial l \right) - \alpha \ln \left( \int_0^1 e^{-\delta|l-r|} \partial l \right) < 0 \quad (2)$$

A equação acima fornece a taxa de evolução de indivíduos que não adotam a tecnologia na localidade  $r$ . De acordo com essa equação a proporção de indivíduos que não adotam a tecnologia cai ao longo do tempo. Essa equação ainda implica que se  $G(0, l, 0) < 1$  para algum valor do intervalo fechado  $[0,1]$ ,  $G(0, l, t) < 1$  para todo  $l$  e  $t$  e  $G(0, l, t)$  é decrescente ao longo do tempo para todo  $l$ . Isto é, se um número não trivial de agentes adotarem no período  $t=0$ , a tecnologia difunde-se e a adoção aumenta com o tempo em todos os locais.

O efeito da geografia entra no modelo somente através da distribuição inicial dos agentes que não adotam a tecnologia, ou seja, de  $G(0, \cdot, 0)$ . Para fins de ilustração, considere um exemplo sem geografia, em que  $G(0, l, 0) = g < 1$  para todo  $l$ . Assim, a mesma fração de agentes em todos locais não adotaram a tecnologia no período inicial. Então  $\partial \ln G(0, l, t) / \partial t = \alpha \ln G(0, l, t)$  assim  $\partial \ln G(0, l, 0) / \partial t = \alpha \ln g$ . Pode-se verificar que a solução dessa equação diferencial é dada por  $G(0, l, t) = e^{e^{\alpha t} \ln g} = g^{e^{\alpha t}}$ . Nesse exemplo, o espaço não desempenha papel algum, uma vez que a taxa de não adotantes não depende de  $l$ . A tecnologia difunde-se lentamente e de maneira uniforme e, eventualmente, todos os agentes adotam-na, desde que  $\lim_{t \rightarrow \infty} G(0, l, t) = \lim_{t \rightarrow \infty} g^{e^{\alpha t}} = 0$ . Ou seja, no limite, o modelo converge uniformemente no espaço à mesma taxa de adoção até que ocorra a adoção completa.

Esse exemplo elimina a importância do espaço usando duas suposições. Primeiro, pressupõe-se que o número de combinações é independente do local, ou seja,  $\alpha$  é constante. Em segundo lugar, pressupõe-se que a densidade de adoção em  $t = 0$  é uniforme. Essa segunda suposição é irrealista e pode ser modificada. Os adotantes iniciais são, em geral, concentrados geograficamente. Isto é particularmente relevante no caso da irrigação, pois sabe-se que é um sistema cuja utilização não é uniforme, ou seja, ela é concentrada em regiões e/ou municípios específicos. Portanto, um caminho natural para adicionar a geografia no modelo é adicionar heterogeneidade das condições iniciais.

De modo a ilustrar as implicações do modelo, a maneira mais simples é começar com um intervalo de locais que adotam inicialmente, enquanto todas as outras áreas começam sem adoção qualquer. Formalmente, as condições iniciais são agora:

$$G(0, l, 0) = \begin{cases} g < 1 \text{ para } l \in [0, a] \\ g = 1 \text{ caso contrário} \end{cases} \quad (3)$$

De acordo com as condições expostas pela equação [3], tem-se uma proporção de indivíduos ‘g’ localizados entre 0 e a que adotaram a tecnologia. Ou seja, 1 – g indivíduos localizados no espaço [0,a] adotaram a tecnologia. Por outro lado, nenhum dos indivíduos localizados no espaço [a,1] adota a tecnologia no período inicial.

As dinâmicas resultantes dessas condições são mais complicadas do que antes e a solução não pode ser obtida analiticamente. No entanto, desde que  $g < 1$ , segue que:

$$\frac{\partial \ln G(0, r, 0)}{\partial t} = \alpha \ln \left( g \int_0^a e^{-\delta |l-r|} \partial l + \int_a^1 e^{-\delta |l-r|} \partial l \right) - \alpha \ln \left( \int_0^1 e^{-\delta |l-r|} \partial l \right) < 0 \quad (4)$$

Para todo  $l$  e do mesmo modo para todo  $a < l' < 1$ ,  $\partial \ln G(0, l, 0) / \partial t < \partial \ln G(0, l', 0) / \partial t$ . Como  $G(0, l, 0)$  é decrescente em  $l$ , isso implica que  $\partial \ln G(0, l, t) / \partial t < \partial \ln G(0, l', t) / \partial t$ , e assim:

$$\frac{\partial \ln G(0, l, t)}{\partial t \partial l} > 0, \quad \forall t \text{ e } \forall l > a \quad (5)$$

Assim, a equação [4] intuitivamente mostra que a proporção de não adotantes reduz ao longo do tempo em qualquer localidade  $r$ . Além disso, essa proporção cai menos quanto mais distante a localidade estiver daqueles indivíduos que adotaram primeiro a tecnologia. Ou seja, quanto mais distante a localidade, menor será a velocidade de adoção.

Por sua vez, a equação [5] mostra que o efeito da distância em relação à adoção tende a diminuir ao longo do tempo. O argumento prévio resulta nas seguintes implicações:

**Implicação 1:** A fração de não-adotantes é inferior em locais mais perto da fonte de inovação.

**Implicação 2:** A fração de não-adotantes declina proporcionalmente mais rápido em locais mais próximos à fonte de inovação.

Desde que esse processo implica que, no limite, todos os locais adotam totalmente a inovação, ou seja,  $G(1, l, t) = 1$  para todo  $l$ , pode-se concluir que:

**Implicação 3:** O efeito da distância sobre o nível de adoção varia com o tempo.

Os parâmetros  $\alpha$  e  $\delta$  afetam o aumento da fração de adotantes bem como seu nível. É fácil concluir a partir da equação (2) que  $\frac{\partial^2 \ln G(0,l,t)}{\partial t \partial \alpha} < 0$ . Portanto, quanto maior for  $\alpha$ , a adoção cresce mais rapidamente ao longo do tempo.

No presente trabalho será considerado apenas o efeito espacial relacionado à ‘Implicação 1’ do modelo teórico referenciado. Isso porque trata-se de um trabalho que utiliza dados *cross-section* na estimação empírica, não sendo possível portanto avaliar os efeitos temporais presentes no processo de adoção da tecnologia de irrigação.

## 4 METODOLOGIA

### 4.1) Modelo Empírico

Quando a geografia e as questões de vizinhança entre as regiões observadas são importantes para determinar a variável de interesse, o uso de métodos baseados na econometria convencional não é o mais indicado devido ao fato de que, na presença de efeitos espaciais, algumas hipóteses básicas do Teorema de Gauss-Markov são violadas. Sumariamente, pode-se ressaltar que, quando há dependência espacial e seus efeitos são omitidos da especificação do modelo, a hipótese de média condicional igual à zero é violada. Nesse caso, os resíduos contém a variável defasada espacialmente causando o viés de variável relevante omitida. Outra forma de violar essa hipótese é através da inclusão da variável defasada, que é de caráter endógeno, e torna os estimadores convencionais (MQO) viesados e inconsistentes (ALMEIDA, 2012).

Outra violação importante e muito destacada pela literatura que trata da econometria espacial diz respeito à hipótese da independência dos termos de erro. É muito provável que em dados com arranjos espaciais se verifique que o termo de erro de uma determinada região  $i$  seja dependente do termo de erro da região  $j$  (a região influencia seu vizinho e por ele é influenciada). A violação dessa hipótese implica em ineficiência dos estimadores convencionais. Uma vez violada essas duas hipóteses, a pressuposição de normalidade dos erros também é violada o que inviabiliza a inferência estatística dos habituais testes  $t$  e  $F$  (ALMEIDA, 2012; LeSAGE, 2008)<sup>3</sup>.

Sendo assim, quando há dependência espacial entre as unidades observadas é preciso utilizar algum modelo específico que incorpore essas características espaciais relaxando, sobretudo, a suposição de independência entre as observações analisadas de modo que se leve em consideração não só as interações espaciais que existem entre elas como também a importância dessas interações sobre a determinação da variável de interesse (LeSAGE, 2008).

Nesse contexto de dependência espacial insere-se a adoção da tecnologia de irrigação como um fenômeno que ocorre no espaço. Deste modo, para explicar a adoção dessa tecnologia deve-se considerar a possibilidade de interações entre municípios vizinhos, interação essa que fornece uma dinâmica diferente entre àqueles municípios

---

<sup>3</sup>. Para mais informações a respeito das violações de outras hipóteses de Gauss-Markov e do Modelo Clássico de Regressão Linear ver capítulo 1 de Almeida (2012).



que são mais próximos entre si o que, por sua vez, gera estimativas de parâmetros não constantes.

Portanto, dado a suposição de que a adoção da tecnologia de irrigação tem como determinante as interações que decorrem da proximidade geográfica entre os municípios, utilizou-se na aplicação empírica um modelo econométrico espacial, modelo esse que tem como escopo especificar, estimar e testar modelos teóricos influenciados por efeitos geográficos.

Mais especificamente, o modelo analítico utilizado para alcançar os objetivos do presente trabalho, trata-se de um Modelo Espacial Autoregressivo ou Modelo SAR (Spatial Autoregressive). A aplicação do modelo SAR é apropriada quando o foco da análise é avaliar a existência e a força da interação espacial entre as observações no fenômeno estudado (ANSELIN, 2001).

A escolha de estimar o modelo autorregressivo não se deu de forma aleatória. Os principais testes de especificação do modelo espacial são apresentados na seção 4.3. Os testes são importantes, pois embora se verifique a existência da dependência espacial nas observações analisadas, não é possível inferir pela mera análise exploratória dos dados se essa dependência se manifesta predominantemente na variável dependente, nas variáveis explicativas ou no termo de erro (ALMEIDA, 2012).

#### **4.1.1) Fundamentos: A Dependência Espacial**

A existência da dependência espacial em um determinado fenômeno significa que o valor de uma variável de interesse em certa região  $i$ , digamos  $y_i$ , depende do valor dessa variável na região próxima  $j$ ,  $y_j$  e de um conjunto de variáveis exógenas explicativas representadas pelo vetor  $X$ . Formalmente, como sugerido por Almeida (2012), a dependência espacial pode ser representada por uma função de densidade conjunta expressa por,

$$y_i = f(y_j, X) \quad i, j = 1, \dots, n \text{ e } i \neq j \quad (6)$$

Onde  $n$  é uma superfície contínua ou um conjunto discreto finito de locais. Desde que cada variável aleatória  $y_i$  é 'rotulada' por uma localização, a dependência espacial pode ser formalmente avaliada como uma condição de momento, dado pela autocorrelação entre as observações, uma vez que não é possível observar e testar uma

função de densidade conjunta na prática. Por esse motivo, dependência espacial e autocorrelação espacial são usadas como sinônimos. Essa condição de momento, de acordo com Anselin (2001), é representada por,

$$cov[y_i, y_j] = E[y_i y_j] - E[y_i] \times E[y_j] \neq 0, \forall i \neq j \quad (7)$$

Essa covariância torna-se significativa a partir de uma perspectiva espacial quando uma configuração particular de pares não-zeros  $i$  e  $j$  tem interpretação em termos de interação espacial das observações. Este é o caso quando se está interessado em modelar a extensão na qual as inovações tecnológicas em um determinado local transbordam sobre os locais vizinhos, ou, em outras palavras, é uma forma de modelar analiticamente e verificar a existência do efeito *spillovers* ou feito de transbordamento entre as observações (ANSELIN, 2001).

De acordo com Almeida (2012), existem três fontes principais que engendram a dependência espacial, quais sejam a interação espacial, os erros de medida e a má especificação do modelo. Não é cerne deste estudo elucidar cada uma dessas fontes de dependência espacial a não ser a do interesse da investigação, qual seja, os processos de interação espacial.

Os principais processos de interação espacial são: *i*) difusão; *ii*) troca de mercadoria e transferência; *iii*) comportamento estratégico; *iv*) dispersão ou espraiamento de um atributo. As especificidades do processo de difusão são as que mais se assemelham à suposição de existência de dependência espacial na adoção de tecnologia de irrigação. Isso porque, como definido por Almeida (2012), os processos de difusão ocorrem quando os elementos de uma dada população adotam um atributo de interesse e, nesse caso, a distribuição dessa população no espaço desempenha papel fundamental para o desenvolvimento do padrão de difusão/adoção do referido atributo <sup>4</sup>.

Por esse motivo, o foco se dá sobre a análise da dependência espacial originada das interações espaciais, em que eventos ou circunstâncias em um lugar afetam as condições do fenômeno analisado em outros lugares desde que esses lugares interagem entre si.

---

<sup>4</sup> Ver Almeida (2012) e Figueiredo, Teixeira e Bonjour (2009) para detalhamento das fontes que dão origem a dependência espacial e, Almeida (2012) capítulo 1 para singularização dos outros processos de interação espacial.

Quanto aos testes estatísticos para detectar a presença de dependência espacial, são utilizados nesse estudo dois testes globais de associação espacial como forma de análise preliminar da identificação da aleatoriedade ou não na distribuição das observações consideradas.

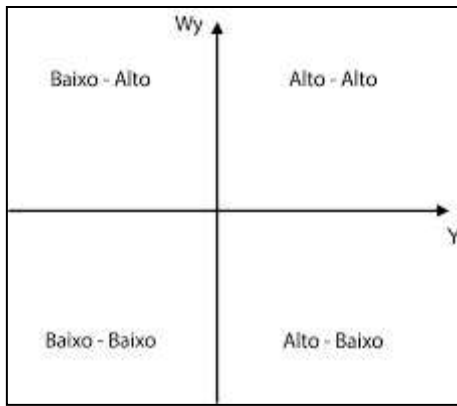
Optou-se pelos testes mais adotados pela literatura, que são a estatística de Moran (ou coeficiente de correlação de Moran) e o diagrama de dispersão de Moran. O teste derivado da estatística desenvolvida por Moran, chamado teste *I* de Moran trata-se de um indicador global de autocorrelação espacial em que a hipótese nula consiste na aleatoriedade da distribuição espacial das observações, ou seja, de que não há padrão espacial nos dados. Matricialmente, a estatística *I* de Moran é dada pela seguinte equação:

$$I = \frac{Z'W_Z}{Z'Z} \quad (8)$$

onde *Z* são os vetores da variável de interesse padronizada e *W<sub>Z</sub>* é a matriz de ponderação espacial (ALMEIDA, 2012).

O sinal positivo e significativo dessa estatística indica que os dados estão concentrados através das regiões e, caso contrário, ou seja, quando o sinal for negativo e significativo, indica que os dados estão dispersos através das regiões e sua magnitude determina a força da autocorrelação espacial. Quanto mais perto de 1 for essa estatística mais concentrados estarão os dados, ou seja, os municípios irrigantes estarão mais próximos entre si e, quanto mais perto de -1 as regiões vizinhas de determinado município apresentam valores dissimilares em relação ao atributo, ou seja, uma alta (baixa) proporção de irrigantes nas regiões vizinhas ao município *i* diminui (aumenta) essa proporção no município em questão (ALMEIDA, 2012).

O diagrama de dispersão de Moran, representado pela Figura 10 é uma ferramenta gráfica que complementa a visualização da autocorrelação espacial. De acordo com Almeida (2012), nesse gráfico é plotado a dispersão da nuvem dos pontos representados pela variável dependente traçada contra a variável dependente defasada que é a média do valor padronizado da mesma variável em relação aos vizinhos. Estes pontos que representam a associação linear espacial entre as observações estão distribuídos entre quatro quadrantes do diagrama que irão indicar se essa associação é: AA (alto-alto); BB (baixo-baixo); AB (alto-baixo); BA (baixo-alto).



Fonte: Elaborado pela autora com base em Almeida (2012).

Figura 10: Diagrama de Dispersão de Moran

No quadrante superior à direita encontram-se os dados com distribuição alta-alta, ou seja, municípios com alto valor (valores acima da média) da variável dependente (proporção de irrigantes no caso do estudo), estão próximos de municípios também com alto valor para essa variável. No quadrante inferior à esquerda encontram-se os dados com distribuição baixa-baixa, ou seja, municípios com baixo valor (valores abaixo da média) da variável dependente estão próximos de municípios também com baixo valor para essa variável. No quadrante superior à esquerda encontram-se os dados com distribuição baixa-alta, predominando assim municípios com valores baixos para variável dependente estão próximos à municípios com valores altos para essa variável. E por fim, no quadrante inferior à direita, encontram-se os dados com distribuição alta-baixa, ou seja, municípios com valores altos para variável dependente estão próximos à municípios com valores baixos para essa variável (ALMEIDA, 2012; LeSAGE, 2008).

#### 4.1.2) Modelos de Regressão Espacial: O Modelo Autorregressivo (SAR)

O processo espacial autorregressivo, ou modelo SAR, fornece uma abordagem que representa a estrutura de dependência entre as observações que compõe a amostra avaliada incluindo no modelo econométrico um termo com a capacidade de capturar o efeito de transbordamento ou *spillover* ocasionado pela influência da vizinhança sobre a variável dependente.

Formalmente, o modelo espacial autorregressivo é expresso matricialmente como:

$$y = \rho W y + \varepsilon \quad (9)$$

Incluindo o conjunto de variáveis explicativas exógenas  $X$  do lado direito da equação [9], obtemos:

$$y = \rho W y + X \beta + \varepsilon \quad (10)$$

onde o vetor de variável dependente  $y$  é de dimensão  $n \times 1$ ,  $X$  é o vetor de variáveis explicativas exógenas de dimensão  $n \times k$ ,  $\beta$  reflete o vetor de dimensão  $k \times 1$  associado aos coeficientes da regressão e  $\varepsilon$  é o vetor  $n \times 1$  dos termos de erro assumidos por ser normalmente distribuídos com média zero e variância constante ( $\varepsilon \sim N(0, \sigma_2)$ ).  $W y$  é um vetor  $n \times 1$  de defasagem espacial para a variável dependente e  $\rho$  é o coeficiente regressivo espacial. A restrição sobre este coeficiente é que ele se situe no intervalo aberto entre -1 e 1 ( $|\rho| < 1$ ) (ALMEIDA, 2012; LeSAGE, 2008).

Caso o parâmetro espacial  $\rho$  seja positivo e significativo denota que a autocorrelação espacial existe e é positiva. Assim, uma autocorrelação espacial positiva indica que há similaridade entre os valores tanto do atributo em estudo quanto da sua localização espacial, ou seja, há concentração espacial, baixa ou alta, na variável de interesse em relação a esses valores na vizinhança estabelecida (ALMEIDA, 2012).

No contexto da pesquisa, caso o parâmetro espacial  $\rho$  for positivo e significativo significa que um alto (baixo) valor na proporção de irrigantes nas regiões vizinhas ao município  $i$  aumenta (diminui) esse valor no próprio município  $i$ . Ou seja, há similaridade na proporção de irrigantes tanto no município  $i$  quanto nas regiões vizinhas a ele.

Por outro lado, se a autocorrelação espacial é negativa e significativa indica que há dissimilaridade entre os valores do atributo em estudo e a localização espacial do mesmo, ou seja, há dissimilaridade espacial, baixa ou alta, na variável de interesse em relação a esses valores na vizinhança estabelecida.

No seguimento do estudo, um  $\rho$  negativo indica que uma alta (baixa) proporção de irrigantes nas regiões vizinhas ao município  $i$  diminui (aumenta) essa proporção no próprio município  $i$ . Isso indica dissimilaridade entre a proporção de irrigantes no município  $i$  em relação a essa proporção nas regiões vizinhas a ele.

Quando o parâmetro  $\rho$  é estatisticamente não significativo, ou seja, igual a zero, indica ausência de autocorrelação espacial e, dessa forma, o modelo pode ser simplificado para um modelo de regressão linear convencional (ALMEIDA, 2012).

Note que, na equação [10], o termo defasado espacialmente  $W y$  irá induzir a uma correlação não-zero com o termo de erro, mesmo que esse último seja *iid* (independente

identicamente distribuído), similar ao que acontece na presença de uma variável endógena. E essa defasagem espacial para uma dada observação  $i$  é não somente correlacionada com o termo de erro em  $i$  como também com o termo de erro em todos os outros locais. Isso pode ser visto a partir da forma reduzida da equação [10]:

$$y = (I - \rho W)^{-1} X\beta + (I - \rho W)^{-1} \varepsilon \quad (11)$$

em que, cada inversa pode ser expandida dentro de infinitas séries, incluindo ambas as variáveis explicativas e o termo de erro em todos os locais. Dessa forma,  $(I - \rho W)^{-1}$  é uma matriz plena e pode ser considerada como o multiplicador espacial suscitando a intensidade da interação espacial de forma que cada local  $i$  se torna correlacionado com todos os outros locais, mas a intensidade dessa correlação decresce conforme a distância aumenta (ANSELIN; BERA, apud ULLAH; GILLES, 1998, cap. 7).

Consequentemente o termo defasado espacialmente pode ser tratado como uma variável endógena e, portanto, métodos de estimação adequados devem levar em consideração essa endogeneidade de modo que não se obtenha estimativas viesadas e inconsistentes. Para tanto, o SAR é estimado por Máxima Verossimilhança não sofrendo o problema de inconsistência do MQO devido à endogeneidade que causa restrições nos distúrbios do processo gerador dos dados (CARVALHO; ALBUQUERQUE, 2010).

Note também a presença da matriz  $W$  na equação [10] de dimensão  $n \times n$  no vetor de defasagem espacial. Essa matriz é responsável por realizar uma espécie de ponderação da influência que as regiões exercem entre si. A princípio, regiões que estão mais próximas exercem uma influência maior do que aquelas regiões que estão mais distantes dentro de determinada vizinhança (ANSELIN, 2001).

De acordo com Anselin (2001), os pesos espaciais dependem essencialmente da definição de vizinhança adotada e, apesar da escolha da matriz de peso espacial ter influência sobre os resultados da regressão, muitas vezes sua escolha é arbitrária. Os elementos da matriz de peso são não estocásticos e exógenos ao modelo. Esses elementos são tipicamente baseados no arranjo geográfico (distância geográfica)

ou na relação de contiguidade<sup>5</sup> das observações. Na matriz de ponderação dos modelos espaciais os pesos serão não-zero quando dois locais partilham fronteira comum ou quando estão dentro de uma dada distância um do outro<sup>6</sup>.

Em virtude da existência da defasagem espacial a interpretação dos coeficientes  $\beta$  estimados no modelo SAR não pode ser feita na forma de efeito marginal diretamente. Por isso, como alertado por Almeida (2012), a interpretação dos resultados deve ser cuidadosamente elaborada, pois uma mudança na variável explicativa num dado local  $i$  afetará o valor da variável dependente não apenas o próprio local  $i$  como também afeta esse valor em todos os outros locais próximos ao local  $i$ .

Sumariamente, o efeito da mudança na variável dependente sobre o local  $i$  em decorrência de uma variação em alguma variável independente, *coeteris paribus*, é conhecido como *efeito marginal direto*. Já o *efeito marginal indireto* engendra a realimentação da interação espacial entre os locais analisados, ou seja, ele avalia como a mudança na variável explicativa afeta o valor da variável dependente, *coeteris paribus*, em todos os outros lugares com os quais o local  $i$  interage. A soma desses dois efeitos é conhecida como *efeito marginal total* e pode ser obtido pelo seguinte cálculo:

$$(1 - \rho)^{-1} \beta_k \quad (12)$$

Note que, a equação [12] é exatamente o multiplicador espacial referido na equação [11]. Portanto, para obter o efeito total originado das interações espaciais em cada variável sobre o atributo em questão basta multiplicar cada coeficiente  $\beta_k$  pelo multiplicador espacial  $(1 - \rho)^{-1}$ , em que o valor de  $\rho$  irá determinar a magnitude do impacto total. Quanto mais próximo de 1 for o  $\rho$ , maior será o valor do multiplicador espacial e portanto maior será o efeito originado da autocorrelação espacial em cada variável explicativa sobre a variável de interesse. Ao contrário, quanto mais perto de -1 for o  $\rho$ , a influência do efeito marginal total sobre a variável dependente age no sentido negativo, ou seja, a vizinhança irá reduzir o efeito do impacto total no local analisado.

---

<sup>5</sup> Segundo Almeida (2012), uma matriz de contiguidade é construída em consenso com a ideia de vizinhança baseada na contiguidade, ou seja, quando dois locais são vizinhos caso eles partilhem de uma fronteira física em comum.

<sup>6</sup> Anselin (2001) alerta que essa é uma especificação geral para matriz de pesos espaciais e aponta que outras alternativas de peso (i.e. distância econômica, fluxos econômicos) também podem ser consideradas na ponderação espacial das observações.

Todavia, vale ressaltar que mesmo que não se possa interpretar diretamente o coeficiente estimado pelo SAR, o sinal que lhe é atribuído já indica a direção do efeito marginal total, ou seja, um  $\beta$  positivo levará a um efeito marginal total positivo e um  $\beta$  negativo levará a um efeito marginal total negativo.

Já os efeitos diretos e indiretos são obtidos através das derivadas parciais diretas e cruzadas que mostram como mudanças em alguma variável explicativa em determinado local  $i$  afeta os resultados em outras regiões. Em virtude da limitação imposta pelo software utilizado na estimação, qual seja, o *GeoDaSpace*, para fins de interpretação dos resultados, só será considerado o efeito marginal total das variáveis explicativas sobre a variável dependente.

A equação para o modelo SAR que será estimada nessa aplicação empírica é baseada na função expressa pela equação [13] e utilizará variáveis com base no referencial teórico apresentado:

$$\text{PROP\_IRRIG}_i = f(\rho \text{WPROP\_IRRIG}, \text{uso da terra, características do produtor, assistência técnica, renda e financiamento, características climáticas e ambientais}) \quad (13)$$

onde  $\text{PROP\_IRRIG}_i$  é a proporção de irrigantes no município  $i$ , e a primeira variável do argumento da função trata-se da variável dependente defasada espacialmente que tem por objetivo capturar a autocorrelação espacial existente na proporção de agricultores que adotam a tecnologia de irrigação.

O principal objetivo da inclusão dessa variável defasada espacialmente é testar a existência de *spillover* positivo na adoção da tecnologia de irrigação. Essa hipótese será confirmada caso o coeficiente  $\rho$  seja estatisticamente significativo e com sinal positivo.

O segundo argumento da função relacionado ao uso da terra trata-se da produção de lavouras no estabelecimento ( $\text{AR\_AG\_PTTL}$ ). Essa variável está especificada na forma de proporção da área de lavouras (temporária + permanente) em relação à área total do estabelecimento no município  $i$ . Acredita-se que estabelecimentos rurais com maior vocação agrícola tendem a aumentar a probabilidade de adoção da tecnologia de irrigação dado que a irrigação é uma técnica específica da atividade agrícola.

O argumento referente às características do produtor é composto por variáveis relacionadas à: *i*) nível de escolaridade do produtor; *ii*) experiência no campo; *iii*) condição legal do produtor em relação à terra.



A variável relacionada ao nível de escolaridade está especificada em termos da proporção de agricultores com ensino médio completo no município *i* (P\_ENS\_MED). Espera-se que produtores considerados mais escolarizados por terem completado o ensino médio, estejam mais bem informados sobre as vantagens de adquirir tecnologia e explorá-la de forma efetiva, de modo que esses agricultores serão mais inclinados a adotá-la, tendo então a escolaridade como influência positiva para a adoção da tecnologia de irrigação.

Para avaliar a experiência no campo utilizou-se como *proxy* a proporção de agricultores que dirigem o estabelecimento a mais de dez anos no município *i* (P\_EXPERIEN). Espera-se que produtores com mais tempo de experiência no campo estejam mais propensos a adotar tecnologias agrícolas. Isso se deve ao fato de que, supostamente, a tradição na agricultura leve a um melhor gerenciamento da atividade pelo produtor rural sendo este então interessado em implementar metodologias no campo que contribuam para aumentar a eficiência na gestão dos recursos da sua atividade produtiva.

Quanto à condição legal do produtor em relação à propriedade da terra optou-se por utilizar um título mais precário, relacionado a condição de ocupante e, um título relacionado a condição de arrendatário. A variável que caracteriza o produtor como ocupante das terras está especificada como proporção de agricultores em terras ocupadas no município *i* (P\_TER\_OCUP). Espera-se que produtores com posse precária das terras tenham altas taxas de desconto, o que irá restringir os níveis de adoção da tecnologia de irrigação. A ausência de título legal na da terra aumenta o risco de desapropriação e o produtor acaba por não investir em tecnologias dado que ele desconta rendas futuras a maiores taxas.

Já o efeito da variável que caracteriza os produtores em condição legal de arrendatário está especificado como proporção de agricultores em terras arrendadas no município *i* (P\_TER\_ARRE). Em geral, espera-se que terras arrendadas possam ser mais produtivas até mesmo que a própria terra do estabelecimento do produtor rural, sendo este um incentivo para arrendá-las. É plausível então esperar que, diante da alta rentabilidade oferecida pela atividade empreendida em terras arrendadas, maior seria a probabilidade de o agricultor empregar metodologias agrícolas, no caso, adotar sistemas de irrigação.

O argumento referente à assistência técnica é composto por variáveis que caracterizam-na segundo sua origem, ou seja, se a assistência técnica prestada foi

oriunda de: *i*) órgão governamental (P\_ORI\_GOV); *ii*) empresa privada (P\_ORI\_PRIV); *iii*) cooperativas (P\_ORI\_COOP); *iv*) própria ou do produtor (P\_ORI\_PROP); *v*) empresa integradora (P\_ORI\_INT); *vi*) ONGs (P\_ORI\_ONG); *vii*) outra fonte de assistência (P\_ORI\_OUT). Todas estão especificadas como proporção de agricultores assistidos por cada tipo de orientação no município *i*. A decomposição pela origem justifica-se por permitir investigar se adoção da tecnologia de irrigação irá se distinguir segundo o tipo de orientação prestada. Apesar de, no geral, a assistência técnica e os serviços de extensão rural se constituir em um importante canal para disponibilização e acesso à informação e, portanto, tem uma relação positiva com a adoção de tecnologias, é de se esperar que a assistência técnica de origem privada tenha um impacto maior sobre a adoção do que àquelas de origem pública, devido a deficiência de recursos do setor público no que tange a prestação de serviços técnicos para a população de agricultores.

O argumento referente à renda e financiamento abrangem variáveis relacionadas à: *i*) renda do produtor originada das atividades do estabelecimento; *ii*) produtores que obtiveram financiamento. A variável referente à renda do produtor está especificada como a renda (valores correntes de 2006) total oriunda das atividades dos estabelecimentos em relação ao número de estabelecimentos no município *i*, ou seja, é a renda média dos estabelecimentos agropecuários em cada município (P\_RC\_TT\_ES).

Já a variável referente ao financiamento está especificada como proporção de agricultores que obtiveram financiamento (qualquer tipo) no ano de 2006 no município *i* (P\_OBT\_FIN). Essas duas variáveis refletem a questão do aporte de recurso financeiro que é de fundamental importância para que o produtor invista na tecnologia de irrigação. Dado os conhecimentos *a priori*, espera-se que a disponibilidade de capital tenha impacto positivo sobre as taxas de adoção da tecnologia de irrigação.

As variáveis climáticas trazem informações sobre temperatura (em graus Celsius) e precipitação (em milímetros) especificadas em termos de médias e variâncias levando em consideração o período de 1990 a 2005. A aplicação empírica contará com as seguintes variáveis climáticas:

- Média da temperatura (MI\_TEMP): temperatura média no período de 1990 a 2005;
- Média da precipitação (MI\_PREC): média da precipitação acumulada no período de 1990 a 2005;

- Variância da temperatura inter-anual (VR\_INTER\_T): variação da temperatura média no período de 1990 a 2005;
- Variância da precipitação inter-anual (VR\_INTER\_P): variação da precipitação acumulada no período de 1990 a 2005;
- Variância intra-anual da temperatura (VR\_INTRA\_T): variação média da temperatura entre os meses do ano no período de 1990 a 2005, e;
- Variância intra-anual da precipitação (VR\_INTRA\_P): variação média da precipitação entre os meses do ano no período de 1990 a 2005;

A especificação da variância inter-anual fornece o grau de variabilidade climática ao longo dos anos, enquanto a variância intra-anual fornece informações a respeito da variabilidade sazonal dessas variáveis dentro de cada ano. De acordo com Ferreira (2015), variâncias intra-aneais mais elevadas indicam estações do ano mais heterogêneas.

O sinal esperado das variáveis climáticas pode ser ambíguo. Primeiramente, através da utilização do segundo momento da distribuição da temperatura e da precipitação pretende-se verificar a hipótese de que os agricultores adotam irrigação para reduzir a vulnerabilidade ao risco climático. Caso a hipótese seja verdadeira, sob incerteza climática maiores deverão ser as taxas de adoção da tecnologia de irrigação. Esse resultado irá remeter a questão importante que a utilização da irrigação exerce sobre a mitigação dos riscos inerentes às adversidades climáticas na agricultura.

Todavia, o maior risco associado a maior variância de temperatura pode induzir a baixos níveis de adoção, visto que, o risco da atividade agrícola num cenário de intensa variabilidade climática pode levar a baixos retornos dessa atividade o que inviabilizaria o investimento em tecnologias por parte do produtor.

As variáveis ambientais são de cunho mais agrônomo, e dizem respeito à potencialidade agrícola de cada tipo de solo dentre as oito classes definidas entre potencialidade agrícola do solo boa (classe 1) e potencialidade agrícola do solo desfavorável (classe 8). A especificação do modelo ainda contará com outros controles referentes à participação de cada bioma no município  $i$  e também com *dummies* estaduais.

#### 4.2) Fonte de Dados Utilizados e Análise Descritiva das Variáveis

A partir dos dados da tabulação do IBGE e a partir da malha digital municipal de 2007 foi construído uma amostra contendo 5.507 municípios. No âmbito da estimação, a pesquisa não considerou como sistema de irrigação os métodos mais rústicos, ou seja, molhação e/ou regas manuais (baldes, mangueiras, regadores e latões).

Os dados referentes ao uso da terra, características do produtor, assistência técnica, renda e financiamento foram obtidos no Censo Agropecuário de 2006 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE<sup>7</sup>.

As variáveis climáticas pertencem ao Centro de Pesquisas Climáticas da Universidade de Delaware (MATSUURA; WILLMOTT, 2012) e possui dados mensais de temperatura (°C) e de precipitação (mm) convertidos para os municípios brasileiros por Simonet (2013)<sup>8</sup>.

Os dados de solo e dados relativos aos biomas foram fornecidos pelo Núcleo de Estudos e Modelos Espaciais Sistêmicos – NEMESIS. A malha digital, com as informações das coordenadas geográficas para a construção da base de dados do modelo econométrico espacial, foi obtida junto ao site do IBGE e é referente ao ano de 2007<sup>9</sup>.

A Tabela 1 apresenta as estatísticas descritivas das variáveis utilizadas na estimação do modelo econométrico. A descrição de cada variável pode ser consultada no anexo desse estudo.

---

<sup>7</sup> Esses dados são uma tabulação especial do Censo Agropecuário de 2006 construídos a partir de microdados do IBGE. Agradecimento especial ao pesquisador Eustáquio Reis do IPEA por fornecer a base de dados para esta pesquisa.

<sup>8</sup> Agradecimento especial ao Professor Cláudio Araújo do Centre d'Études et de Recherches sur le Développement International (CERDI/ Université d'Auvergne, France) por fornecer a base de dados para a pesquisa.

<sup>9</sup> A opção por usar a malha de 2007 é devido ao fato de que as malhas digitais municipais de 2005 e de 2006 fornecidas pelo IBGE encontravam-se corrompidas. No caso, antes da aplicação no estudo, foi verificado que os municípios coincidiam entre a malha digital utilizada no estudo e os municípios recenseados pelo Censo Agropecuário no ano de 2006.

Tabela 1 - Estatística Descritiva das Variáveis Utilizadas no Estudo.

<i>Variáveis</i>	<i>Unidade de Medida</i>	<i>Média</i>	<i>Desvio Padrão</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
PROP_IRRIG	Proporção	0,026	0,048	0	0,642
AR_AG_PTTL	Proporção	0,203	0,193	0	1
P_ENS_MED	Proporção	0,042	0,039	0	0,469
P_EXPERIEN	Proporção	0,274	0,085	0,018	0,977
P_RC_TT_ES	R\$ 1.000	18.551	57.452	0	1.680.658
P_OBT_FIN	Proporção	0,079	0,059	0	0,331
P_ORI_GOV	Proporção	0,062	0,074	0	0,663
P_ORI_PROP	Proporção	0,039	0,057	0	0,837
P_ORI_COOP	Proporção	0,028	0,059	0	0,479
P_ORI_INT	Proporção	0,013	0,032	0	0,294
P_ORI_PRIV	Proporção	0,011	0,026	0	0,433
P_ORI_ONG	Proporção	0,0006	0,0041	0	0,172
P_ORI_OUT	Proporção	0,004	0,015	0	0,441
P_TER_OCUP	Proporção	0,032	0,042	0	0,558
P_TER_ARRE	Proporção	0,034	0,042	0	0,594
MI_PREC	mm	1.420,5	468,9	335,1	3.296
VR_INTER_P	mm <sup>2</sup>	44.701,6	28.586,5	65,23	291.018
MI_TEMP	°C	22,7	3,13	11,49	28,7
VR_INTER_T	°C <sup>2</sup>	0,193	0,121	0,044	1,82
VR_INTRA_P	mm <sup>2</sup>	9.420,7	5.650,5	944,5	43.685,9
VR_INTRA_T	°C <sup>2</sup>	5,32	4,52	0,26	22,4
PO_AGR_S1	%	7,36	23,52	0	100
PO_AGR_S2	%	0,43	5,82	0	100
PO_AGR_S3	%	1,03	8	0	100
PO_AGR_S4	%	31,78	39,76	0	100
PO_AGR_S5	%	8,92	24,81	0	100
PO_AGR_S6	%	22,25	38,67	0	100
PO_AGR_S7	%	3	14,73	0	100
PERCB_AMAZ	%	9	28,1	0	100
PERCB_CAAT	%	19,8	39,1	0	100
PERCB_MATA	%	48,73	48,51	0	100
PERCB_PAMP	%	2,24	14,19	0	100
PERCB_PANT	%	0,17	3,41	0	100

Fonte: Resultado do estudo. Nota: (1) Um glossário com das variáveis utilizadas pode ser consultado no anexo desse estudo.

#### 4.3) Testes de Especificação da Matriz de Ponderação Espacial e do Modelo Autorregressivo (SAR)

Apesar de muitas vezes a escolha da matriz de pesos espaciais ser arbitrária, Baumont (2004, apud ALMEIDA, 2012) tem sugestões de tornar essa questão de

escolha menos aleatória no sentido de tentar capturar o máximo de autocorrelação espacial contida no fenômeno de estudo e também pelo fato de que os resultados, apesar de tal arbitrariedade, podem ser muito sensíveis a escolha da matriz de ponderação.

O procedimento é composto por 3 passos:

- 1) Estima-se o modelo por MQO sem considerar o componente espacial;
- 2) Testam-se os resíduos para autocorrelação espacial por intermédio da estatística de I de Moran, usando os diferentes tipos de matrizes e, para matriz de k vizinhos mais próximos, testa-se 'L' matrizes de k vizinhos variando 'L' de k=1 a k=20;
- 3) Seleciona-se a matriz que tiver gerado o maior valor de I de Moran e estatisticamente significativo.

Como já visto, a estatística *I de Moran* é um importante teste de existência de autocorrelação espacial. No entanto, como no cômputo dessa estatística não se leva em consideração o componente espacial de tal modo que não se sabe se tal autocorrelação ocorre devido a dependência da variável dependente ( $Wy$ ) ou devido aos efeitos não modelados que compõe o erro ( $W\epsilon$ ). Ou seja, não se sabe se o ideal seria um modelo com autocorrelação espacial na forma de defasagem (SAR) ou um modelo de erro (SEM).

Baseado na terminologia de Florax *et al.* (2003, apud ALMEIDA, 2012), optou-se pelo procedimento de especificação clássico para escolha do modelo espacial. O procedimento só foi efetuado para a melhor matriz escolhida de acordo com o teste de especificação da mesma. Nesse procedimento são obtidas as estimativas através do método MQO sem consideração do componente espacial e, a partir dos resultados, testa-se a existência dos componentes “*spatial lag*” e “*spatial error*” nos modelos através de dois testes robustos baseados no Multiplicador de Lagrange: *i*) o  $ML_{lag}$ : teste focado unidirecional cuja hipótese nula é a de não autocorrelação espacial contra a alternativa do modelo de defasagem espacial (SAR) ser a especificação correta; *ii*)  $ML_{error}$ : teste focado unidirecional cuja hipótese nula é a de não autocorrelação espacial contra a alternativa do modelo de erro espacial (SEM) ser a especificação correta. Caso os dois testes sejam estatisticamente significativos, escolhe-se o modelo que obtiver o resultado mais significativo para o multiplicador de Lagrange.

Os resultados desses procedimentos estão resumidos na Tabela 2:

Tabela 2 - Teste de  $I$  de Moran para Especificação da Matriz de Ponderação e Testes de Multiplicador de Lagrange  $ML_{lag}$  e  $ML_{error}$  para Especificação do Modelo Espacial.

<i>TESTES</i>	<i>Queen</i>	<i>Rook</i>	<i>Distância Euclidiana</i>	$K_2$
$I$ de Moran*	0,4947	0,4985	0,1314	0,5673
<i>Teste de Dependência Espacial</i>				
ML (lag)	-	-	-	1426,2***
Robust ML (lag)	-	-	-	61,8***
ML (error)	-	-	-	1368,9**
Robust ML (error)	-	-	-	4,4**

Notas: (1)  $K_2$  refere-se à matriz de distância geográfica considerando dois vizinhos mais próximos; (2) Matrizes acima de dois vizinhos mais próximos obtiveram valores de  $I$  Moran menores que a matriz de  $K_2$  vizinhos mais próximos; (3) Considerou-se 999 permutações para calcular a estatística de  $I$  de Moran; (4) (\*\*\*), (\*\*) indicam significância de 1%, 5% respectivamente.

Assim, seguindo os critérios dos procedimentos relatados, a estatística  $I$  de Moran apontou que a matriz de  $k_2$  vizinhos mais próximos é a melhor matriz a ser utilizada como peso espacial por ter gerado o maior valor para essa estatística.

Nesse sentido, estendendo a análise para as estatísticas de  $ML_{lag}$  e  $ML_{error}$  verificou-se que o melhor modelo a ser estimado é de fato um SAR, pois, apesar ambos resultados terem sido estatisticamente significativos, o  $ML_{lag}$  robusto obteve uma estatística mais significativa do que o  $ML_{error}$  robusto. Assim, fica comprovado que o melhor modelo espacial a ser estimado é de fato um modelo autorregressivo ou SAR.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta primeiramente os resultados referentes à análise da dependência espacial na distribuição dos irrigantes. Em seguida, são apresentados e discutidos os resultados do modelo autorregressivo estimado.

### 5.1) Análise Preliminar da Dependência Espacial

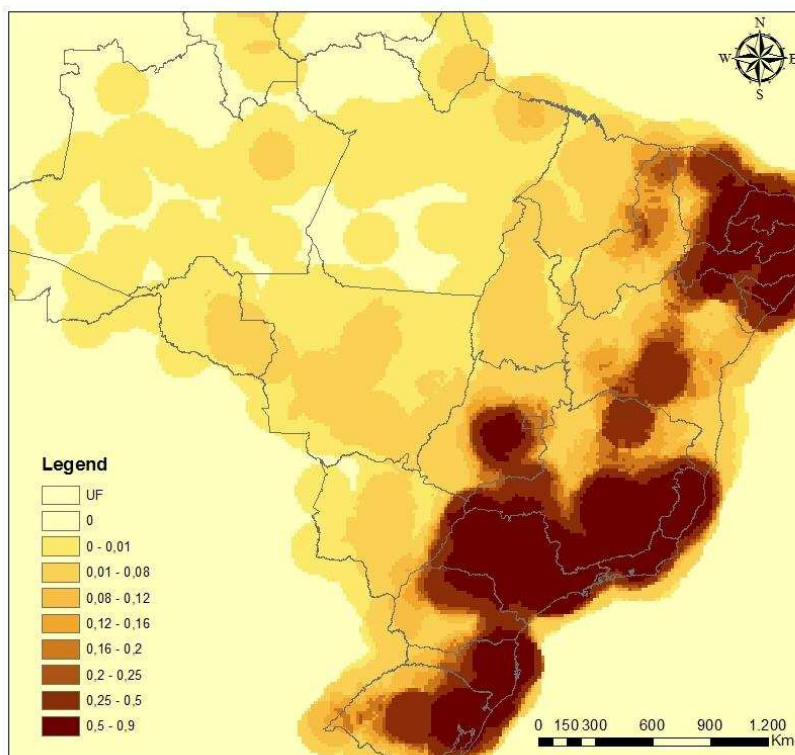
Como já referido, as inferências sobre a existência de autocorrelação espacial entre as observações inclui testes baseados em visualizações gráficas e estatísticas que irão determinar se a dependência espacial é de fato relevante no fenômeno estudado.

Uma das pressuposições básicas para iniciar essa análise é que a adoção da tecnologia de irrigação é um fenômeno que se intensifica a partir do processo de interação que ocorre entre municípios que partilham características semelhantes, sejam características socioeconômicas, características geográficas, características relacionadas aos recursos hídricos, entre outros. Esses fatores podem ser importantes para determinar os níveis de adoção da tecnologia de irrigação em dado município  $i$  a partir do momento em que o município vizinho a ele compartilha de experiências produtivas auspiciosas através da utilização da irrigação. Portanto, acredita-se que a força dessas interações, quando existentes, não deve ser negligenciada nos estudos sobre adoção dessa tecnologia.

A Figura 11 mostra a distribuição da variável dependente (PROP\_IRRIG) em cada município da amostra. Nessa figura é possível observar que a maior proporção de irrigantes encontra-se altamente concentrada principalmente nas regiões onde a atividade irrigada é praticada mais intensivamente, ou seja, nas regiões Nordeste, Sudeste e Sul. Já as regiões com baixa proporção de irrigantes encontram-se em áreas com menor intensidade do uso dessa tecnologia, principalmente a região Norte.

Igualmente nota-se na Figura 11 que os locais onde a atividade irrigada tem baixa representatividade entre os agricultores são áreas que também estão próximas umas das outras. Assim, da mesma maneira que se observa alta concentração espacial de irrigantes em determinadas regiões do mapa, o inverso também pode ser observado. Essas inferências sugerem que há dependência espacial positiva na proporção de irrigantes entre os municípios brasileiros analisados no estudo.





Fonte: Elaboração própria com base nos dados do Censo Agropecuário de 2006.

Figura 11: Distribuição da proporção de irrigantes ao longo dos municípios brasileiros de acordo com o Censo Agropecuário de 2006.

Partindo para inferência básica da estatística global de  $I$  de Moran, é possível observar que, de fato, a distribuição dos irrigantes ao longo do território nacional não se dá de forma aleatória. Como pode ser visto na Tabela 3, o p-valor para essa estatística foi igual a 0,001 e indica que a hipótese nula de padrão aleatório na distribuição dos dados pode ser rejeitada. Além disso, o sinal positivo do coeficiente indica que há similaridade na distribuição dos municípios irrigantes, ou seja, municípios com proporção de irrigantes acima da média (abaixo da média) estão rodeados por municípios com proporção de irrigantes também acima da média (abaixo da média).

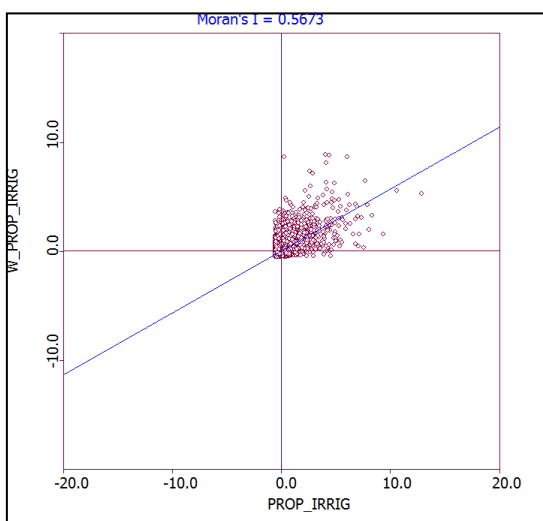
Tabela 3 -  $I$  de Moran Global Univariado para a Proporção de Irrigantes no Brasil no Ano de 2006.

Variável	I de Moran		
	Univariado	p-valor	Permutações
PROP_IRRIG	0,5673	0,001	999

Fonte: Resultado da Pesquisa.

Estendendo a análise, utilizou-se o diagrama de dispersão de Moran, apresentado na Figura 12, para mostrar a relação entre os valores de desvios médios da variável de interesse (proporção de irrigantes) plotada no eixo horizontal e, no eixo vertical, os valores médios da variável de interesse ponderado pelos valores dessa mesma variável nos municípios vizinhos. Através desse diagrama é possível investigar qual tipo de associação linear existe entre essas duas variáveis.

Como pode ser verificado, a maior parte dos municípios estão localizados no quadrante AA (acima e à direita) indicando uma associação positiva (negativa) entre municípios irrigantes, ou seja, municípios com alta (baixa) proporção de irrigantes são rodeados de municípios também com altos (baixos) níveis de produtores que adotam essa tecnologia.



Fonte: Resultado da Pesquisa.

Figura 12: Diagrama de Dispersão de Moran Global Univariado para a proporção de irrigantes nos municípios brasileiros no ano de 2006.

A reta disposta através dos pontos do diagrama de dispersão, cujo coeficiente angular é o próprio  $I$  de Moran, também poder ser usada como teste formal para detecção da dependência espacial. Sua inclinação também vai permitir verificar que a autocorrelação espacial existe é positiva. A hipótese alternativa a este teste é que a inclinação igual a zero indica que não há dependência espacial (LeSAGE, 2008).

Essa análise preliminar dos dados indicou, sobretudo, a existência da autocorrelação espacial na proporção de irrigantes nos municípios brasileiros considerados na amostra. A estatística  $I$  de Moran foi estatisticamente significativa a 1% e positiva e, o diagrama de dispersão de Moran mostrou que, sobretudo, municípios

com altas proporções de irrigantes são circundados por municípios também com altas proporções de produtores que adotam essa tecnologia.

Na perspectiva da existência de *spillover* de adoção da tecnologia de irrigação dado a distribuição geográfica dos municípios da amostra, os resultados dessa análise sugerem fortes evidências à corroboração de sua existência. Na próxima seção serão então analisados os resultados da aplicação empírica através do modelo espacial autorregressivo (SAR) que irá confirmar ou não a hipótese de transbordamento tecnológico na adoção da tecnologia de irrigação originada da dependência espacial entre as unidades observadas.

## 5.2) Análise dos Resultados Econométricos do Modelo SAR

Além da estimativa do SAR, como geralmente o método de MQO é tido como o melhor processo desde que atenda algumas hipótese, gerou-se uma regressão estimada por esse método. Além do MQO, a mesma regressão também foi estimada por Tobit. A estimação do Tobit é levada em consideração devido a existência de dados censurados na variável dependente (PROP\_IRRIGA) que é a proporção de irrigantes em cada município. Do total de municípios que compõe a amostra desse estudo, 9,2% não adotam nenhum tipo de sistema de irrigação<sup>10</sup>. No caso, o Tobit considera em sua estimação as observações que assumem o valor zero na variável dependente, ou seja, aqueles municípios que não adotam irrigação, tratando essas observações em termos de variável latente com probabilidade de ocorrência positiva. (CAMERON; TRIVEDI, 2005).

Todavia, quando há interdependência entre as observações o termo de erro pode estar afetado, comprometendo a eficiência tanto dos estimadores de MQO quanto dos estimadores do modelo Tobit. Isso decorre da violação da pressuposição de que os erros são distribuídos independentemente em uma distribuição normal com média zero e variância constante  $\sigma^2$  quando estimados por esses dois modelos.

Portanto, desde que se verifique a ocorrência da dependência espacial, as estimativas convencionais que poderiam ser usadas na estimação do modelo de estudo da adoção da tecnologia de irrigação não são as mais adequadas, pois além de conduzir a estimativas não confiáveis, nessa aplicação, os modelos mais convencionais não

---

<sup>10</sup> Todavia, considerando municípios com até 1% de área irrigada, estes compõe aproximadamente 55% da amostra.

levam em consideração a variável que indica o componente espacial (variável defasada espacialmente) que é de suma importância para a determinação do fenômeno estudado caso sua significância estatística seja comprovada.

Os resultados dessas estimativas estão reportados na Tabela 4. As estimativas do MQO e do modelo SAR foram feitas usando *GeodaSpace* e o Tobit utilizando Stata12. A primeira coluna da Tabela 4 reporta os resultados da regressão estimada por MQO, a segunda coluna mostra os resultados do modelo Tobit, a terceira coluna reporta os resultados do modelo autorregressivo (SAR). A quarta coluna especifica efeito marginal total de cada variável sobre a variável dependente.

O efeito marginal total, que é a soma dos efeitos diretos e indiretos das interações espaciais, foi obtido utilizando a fórmula da equação [12] desse estudo. De acordo com LeSage (2008), esse efeito pode ser interpretado como a medida do impacto cumulativo (ou médio) total de uma mudança na região *i* sobre todas as outras regiões. Foram somente calculados os efeitos marginais totais para as variáveis estatisticamente significativas do modelo SAR.

Tabela 4 - Resultados das estimativas por MQO, Tobit, SAR e Efeito Marginal Total do Modelo SAR– Variável Dependente: PROP\_IRRIG (Proporção de Irrigantes no Município *i*).

	MQO	TOBIT	SAR	<i>Efeito Marginal Total do SAR</i>
W_PROP_IRRIG	-	-	0,46993*** (0,011049)	-
AR_AG_PTTL	0,0118038*** (0,0039406)	0,0083335** (0,004283)	0,005651* (0,003321)	0,011
P_ENS_MED	0,0328513 (0,0219144)	0,0429459** (0,023333)	0,040866** (0,018298)	0,077
P_EXPERIEN	0,0276093*** (0,0087719)	0,0256415*** (0,009375)	0,016616** (0,007339)	0,031
P_RC_TT_ES	0,000000*** (0,000000)	0,00000005*** (0,00000001)	0,0000001*** (0,000000)	0,000
P_OBT_FIN	-0,0525273*** (0,0154763)	-0,058903*** (0,016501)	-0,012296 (0,012949)	-

---

P_ORI_GOV	0,052037*** (0,0093436)	0,0445256*** (0,009957)	0,038799*** (0,007808)	0,073
P_ORI_PROP	0,0003696 (0,0134793)	0,0020323 (0,014424)	0,004738 (0,0112701)	-
P_ORI_COOP	-0,0643791*** (0,0135685)	-0,0696541*** (0,014379)	-0,056390*** (0,011329)	-0,106
P_ORI_INT	0,0140829 (0,0219905)	0,007237 (0,02338)	-0,00948 (0,0184)	-
P_ORI_PRIV	0,255203*** (0,0249137)	0,2880371*** (0,026554)	0,204872*** (0,021045)	0,387
P_ORI_ONG	-0,0653448 (0,1441598)	-0,0586518 (0,151521)	-0,05771 (0,120206)	-
P_ORI_OUT	0,1673207*** (0,0396935)	0,1753323*** (0,0417617)	0,1250182*** (0,033099)	0,236
P_TER_OCUP	-0,0388153** (0,0158723)	-0,0418395** (0,0171646)	-0,022328** (0,0132352)	-0,042
P_TER_ARRE	0,1807817*** (0,0173948)	0,189236*** (0,0184928)	0,1503294*** (0,014546)	0,284
MI_INTER_P	-0,0000337*** (0,0000052)	-0,000045*** (0,0000057)	-0,000023*** (0,000004)	-0,000043
VR_PREC	0,000000 (0,000000)	-0,00000008* (0,00000004)	0,000000 (0,000000)	-
MI_INTER_T	-0,0007927* (0,0004246)	-0,000276 (0,000456)	-0,000372 (0,0003577)	-
VR_TEMP	0,0174952*** (0,0058314)	0,0257801*** (0,006311)	0,0152262*** (0,004941)	0,023
VR_INTRA_P	0,0000025*** (0,0000003)	0,0000035*** (0,00000035)	0,0000014*** (0,0000003)	0,000003
VR_INTRA_T	-0,0001486 (0,0005646)	-0,0009231 (0,000628)	-0,0009202** (0,0004933)	-0,0002
PO_AGR_S1	-0,0001121*** (0,0000344)	-0,000109*** (0,000036)	-0,000086*** (0,000028)	-0,000016

---

PO_AGR_S2	-0,0001304 (0,0001149)	-0,000138 (0,000125)	-0,000096 (0,000096)	-
PO_AGR_S3	0,0002477*** (0,0000821)	0,000178** (0,000089)	0,0001393** (0,000068)	0,00003
PO_AGR_S4	-0,0000395* (0,0000206)	-0,0000212 (0,000022)	-0,000023 (0,000017)	-
PO_AGR_S5	0,0000612** (0,0000279)	0,0000627** (0,000029)	0,000034 (0,000023)	-
PO_AGR_S6	0,0000572** (0,0000248)	0,000075*** (0,000026)	0,000033** (0,000018)	0,000062
PO_AGR_S7	-0,0000731* (0,0000453)	-0,000076 (0,000048)	-0,000012 (0,000037)	-
PERCB_AMAZ	0,0000935* (0,0000493)	0,000051 (0,000054)	0,0000951** (0,000041)	0,00018
PERCB_CAAT	0,0000103 (0,0000388)	-0,000017 (0,0000415)	-0,000017 (0,000032)	-
PERCB_MATA	0,000038 (0,000026)	0,000036 (0,000028)	0,000010 (0,000022)	-
PERCB_PAMP	0,000403*** (0,000063)	0,000368 *** (0,0000675)	0,00021*** (0,000053)	0,0004
PERCB_PANT	0,0000028 (0,000173)	0,000214 (0,000183)	0,000118 (0,00014)	-
<i>Efeitos Fixos Estaduais</i>	sim	sim	sim	sim
CONSTANTE	0,0496995*** (0,014761)	0,071981*** (0,016209)	0,0398003*** (0,012691)	0,075
Sigma	-	0,044401*** (0,000446)	-	-
Observações	5.507	5.507	5.507	-
R2	0,2358	-	-	-
R2 ajustado	0,2276	-	-	-
Log Likelihood	9.6510,12	8.103,1	10.375,1	-

---

Pseudo-R2	-	-0,1061	0,4657	-
<i>Spatial Pseudo-R2</i>	-	-	0,408	-

---

Fonte: Resultados da Pesquisa. Notas: (1) (\*\*\*), (\*\*), (\*) indicam significância de 1%, 5%, 10% respectivamente; (2) Erros padrão entre parênteses; (3) Tabela incluindo os coeficientes estimados para os efeitos fixos estaduais segue no anexo desse estudo.

Primeiramente, é importante observar que não há alternâncias de sinal quando se avalia os parâmetros estatisticamente significativos estimados pelos três modelos. A não ser a variável referente aos indivíduos que obtiveram financiamento (P\_OBT\_FIN) que obteve significância estatística no MQO e no Tobit, porém com sinal contrário ao esperado pelos conhecimentos *a priori*, e perdeu significância quando estimado pelo SAR.

Partindo para a análise dos resultados para os determinantes da adoção da tecnologia de irrigação sob hipótese de autocorrelação espacial entre as unidades observadas, algumas inferências importantes surgem na estimação do modelo SAR.

Em primeiro lugar e, de forma mais pertinente, a hipótese da existência do efeito *spillover* ou de transbordamento na adoção da tecnologia de irrigação entre os municípios brasileiros foi comprovada ao nível de 1% de significância estatística. O resultado para a variável defasada espacialmente ( $W\_PROP\_IRRIG$  ou  $\rho$ ) mostra a importância das interações proporcionadas pela proximidade geográfica que certamente favorece a existência de redes de influência mútua oriundas de experiências agrícolas compartilhadas por municípios mais próximos entre si, sendo a questão espacial então determinante fundamental da adoção de tecnologia de irrigação.

Quanto a importância da produção de lavouras no estabelecimento para a adoção da tecnologia de irrigação, o resultado também foi de acordo com o esperado. A maior vocação agrícola dos estabelecimentos exerce um impacto positivo e com significância estatística de 10% sobre a adoção da tecnologia de irrigação.

Enquanto fator determinante da adoção, esse resultado é considerado semelhante a alguns dos resultados encontrados do estudo de Vicente (1998) sobre a adoção de tecnologia na agricultura paulista. Em seu estudo, ele considera a área plantada de culturas anuais e perenes como proporção da área total do estabelecimento, e também encontra relação positiva dessa variável com a intensificação do uso de tecnologias mecânicas na agricultura.

Em linhas gerais, tanto o nível de escolaridade quanto a experiência do produtor apresentaram sinal esperado e com impacto relevante sobre a adoção da tecnologia de irrigação. Autores como Bragança, Assunção e Hemsley (2013), Lanna *et al.*(2011) e Vicente (1998) encontraram resultados semelhantes para o nível educacional na adoção de tecnologias na agricultura. Outros autores que tratam especificamente dos condicionantes da adoção de sistemas de irrigação, como Genius *et al.* (2013), Cunha *et al.* (2014), Koundouri, Nauges e Tzouvelekas (2006), também encontraram que a educação tem impactos significativos sobre o comportamento de adoção do agricultor.

Quanto as variáveis relacionadas aos diversos tipos de serviços de assistência técnica e extensão rural, as orientações técnicas prestadas por empresas integradoras, ONGs e àquelas de origem própria ou do produtor não tiveram efeito sob a adoção da tecnologia de irrigação. Em relação ao resultado encontrado para as demais orientações alguns apontamentos importantes merecem destaque.

O resultado para o impacto negativo da orientação técnica fornecida por cooperativas sob a adoção da tecnologia de irrigação pode ser atribuída à baixa qualidade dos serviços prestados pelas cooperativas rurais de assistências técnicas dos municípios no que diz respeito a sua função de desenvolver projetos e difundi-los entre os produtores da região.

Já o resultado para aqueles agricultores que receberam orientações técnicas de empresas governamentais de pesquisa e extensão e produtores que foram assistidos por orientação de origem privada tiveram sinal esperado pelos conhecimentos *a priori*. Ambos os tipos de assistência técnica tiveram impacto positivo em relação à adoção da tecnologia de irrigação. Todavia, o impacto dos serviços de orientação de origem particular sobre a adoção da tecnologia de irrigação é relativamente maior do que o impacto dos serviços de orientações prestadas por órgãos governamentais.

Uma das explicações para esse fato é que, apesar da capacidade acumulada do setor público em oferecer algum tipo de assistência técnica ser relevante, de acordo com Souza Filho *et al.* (2011) essa capacidade é subaproveitada devido às restrições de recursos para melhor aproveitamento do conhecimento gerado nesse setor. E ainda existe o lado desfavorável de que algumas empresas públicas que oferecem serviços de extensão aos produtores possuem técnicos com baixa formação não os permitindo cumprir de forma satisfatória o seu papel na transmissão de conhecimento entre os produtores da região.



No que tange a importância do argumento geral de orientação técnica prestada aos produtores, os mesmos efeitos esperados sobre a adoção de tecnologia agrícola foram encontrados nos estudos de autores como Bragança, Assunção e Hemsley (2013), Lanna *et al.* (2011), Monte e Teixeira (2006) e, mais especificamente, por Cunha *et al.* (2014) que tratou esses efeitos diretamente sobre a adoção de sistemas de irrigação. Para esses autores a orientação técnica também foi de fundamental importância para que ocorresse a adoção de tecnologias na atividade agrícola.

No grupo de fatores relacionados à renda e financiamento, só não se encontrou efeitos para a variável de financiamento. Esse resultado contradiz algumas literaturas sobre adoção de tecnologia (VICENTE, 1998; SUNDING; ZILBERMAN, 2001; SOUZA FILHO *et al.*, 2011; MONTE; TEIXEIRA, 2011) que consideram o crédito um fator elementar para tornar viável economicamente o acesso à tecnologias na agricultura. O resultado contraditório dessa variável pode ter ocorrido pela forma como a variável foi construída não capturando corretamente a relação entre as condições de financiamento e probabilidade de adoção da tecnologia em questão.

A variável relacionada à renda, tratada na estimação como percentual de renda gerado pelas atividades agrícolas nos estabelecimentos rurais do município, teve impacto baixo sobre a adoção da tecnologia de irrigação, porém estatisticamente significativo. A importância da renda também foi verificado nos estudos de Lanna *et al.* (2011), Monte e Teixeira (2006), Vicente (1998) que utilizaram inclusive outras especificações conjunturais para definir nível de capitalização e encontraram efeitos relevantes desses fatores sobre a adoção de tecnologia de intensificação da produtividade da atividade agrícola.

Em relação ao direito de propriedade, o fato da posse precária de terra remeter a altas taxas de descontos dos produtores foi corroborado pela elevada significância estatística do coeficiente que retrata o percentual de produtores em terras ocupadas. O impacto da existência de produtores nessa situação de posse de terras reduz os níveis de adoção da tecnologia de irrigação por motivos já explicitados. Já as terras arrendadas tiveram impacto positivo sobre a adoção da tecnologia de irrigação. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de que as terras arrendadas podem ser de veras produtivas sendo incentivo para o produtor investir em infraestruturas tecnológicas agregando ainda mais rentabilidade às atividades empreendidas nesses negócios.

Quanto ao conjunto de variáveis climáticas algumas inferências importantes também podem ser feitas. Em geral era esperado que os produtores respondessem mais

aos riscos de precipitação, mas houve também impactos relevantes a respeito da variável relacionada à temperatura. Não foram encontrados efeitos significativos para o risco associado à precipitação (variância da precipitação), nem para a média de temperatura. No entanto, a variável de precipitação média exerceu impacto negativo sobre a adoção da tecnologia de irrigação. Uma justificativa pode estar relacionada ao fato de que quanto maior a média de chuvas ao longo dos anos menor seria a necessidade de adotar tecnologias que visem o suprimento de déficit hídrico.

Já para variância de temperatura (mede o risco associado à temperatura) está positivamente associada a adoção de tecnologia de irrigação com significância de 1% e com impacto relativamente expressivo em contraposição aos valores associados as demais variáveis que medem o risco climático. Esse resultado é um indicativo de que os produtores buscam na adoção da irrigação se proteger da vulnerabilidade climática a qual ficam expostos. Esse resultado é reforçado por Cunha *et al.* (2014) que, em seus estudos mostra que os produtores são de fato avessos aos riscos associados a mudanças na temperatura sendo, portanto, mais propensos a adotar a tecnologia de irrigação com vistas a mitigar os efeitos das adversidades climáticas na atividade agrícola empreendida no estabelecimento.

Considerando agora o risco climático associado a variações de temperatura e precipitação intra-anuais é possível perceber que a adoção da irrigação responde positivamente ao risco intra-anual da precipitação e negativamente ao risco intra-anual da temperatura. Um risco intra-anual de precipitação mais elevado significa que as estações do ano são mais heterogêneas de modo que a distribuição das chuvas entre elas seja mais improvável. Sendo assim, é plausível que o produtor reaja a essa imprevisibilidade adotando a tecnologia de irrigação uma vez que ele pode ser surpreendido por um período de seca em uma época do ano que supostamente deveria ser mais chuvosa. Esse é mais um resultado que corrobora com o fato do produtor ser avesso ao risco, adotando a tecnologia de irrigação quando exposto a situações que possam lhe trazer déficits produtivos na agricultura devido ao risco de abastecimento dos recursos hídricos disponíveis.

O impacto negativo na adoção da tecnologia de irrigação em relação à variância intra-anual da temperatura também já era esperado. Esse resultado é atribuído ao fato de que a persistência de variâncias anuais da temperatura torna a atividade agrícola inapropriada em algumas regiões, de modo que, nem a adoção de tecnologias para

corrigir essa persistência histórica de altas temperaturas seria economicamente viável nesse caso.

## 6 CONCLUSÕES

A irrigação tem se mostrado um importante instrumento na atividade agrícola para obter maior produtividade aliado ao menor uso extensivo de terras além de ser determinante na redução dos riscos inerentes às mudanças climáticas. Todavia, mesmo diante da sua importância e do potencial de incorporação de novas áreas irrigadas, o Brasil ainda é um país com baixos níveis de uso dessa tecnologia. São diversos os fatores que se associam positivamente ou não ao comportamento de adoção da tecnologia de irrigação pelo agricultor e, nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a importância da proximidade geográfica como elemento determinante da explicação desse comportamento.

Uma vez verificada sua importância, modelos que não consideram essa influência, provavelmente, podem subestimar os efeitos de fatores cujo impacto se potencializa quando há interação decorrente da proximidade geográfica entre os agentes. Tudo mais constante, agricultores são mais propensos a imitar histórias de sucesso dos seus vizinhos e, portanto, quando os efeitos da vizinhança estão presentes eles devem ser considerados.

A aplicação empírica mostrou que de fato a proximidade geográfica é um fator importante a ser considerado, primeiramente pela verificação da ocorrência de autocorrelação espacial positiva entre os municípios irrigantes no Brasil e, sobretudo, através da confirmação da existência do efeito *spillover* ou de transbordamento na adoção da tecnologia de irrigação através da estimação do modelo SAR proposto. O resultado tornou evidente que a influência do local em relação à vizinhança na forma de interdependência afeta as respostas relacionadas à alocação de recursos direcionada adoção de sistemas de irrigação e, portanto não deve ser desconsiderada como fator relevante para que ocorra a adoção dessa tecnologia.

As variáveis representativas de escolaridade, experiência e acesso à informação através dos diversos canais de orientação técnica também apareceram com influência esperada sobre o comportamento de adoção. Tanto o nível de escolaridade, considerando produtores que completaram o ensino médio, quanto a experiência, que considerou produtores que dirigem o estabelecimento a mais de dez anos, tiveram impacto positivo sobre a adoção da tecnologia de irrigação. Quanto a origem da orientação técnica, os resultados mais relevantes referem-se ao impacto negativo da orientação prestada por cooperativas, bem como a maior influência positiva das

orientações privadas em relação às de origem pública sobre o comportamento de adoção.

No grupo de fatores associados às características financeiras do produtor somente a renda foi significativa com impacto positivo esperado sobre a adoção. As variáveis referentes à legalidade da posse de terras também confirmaram as pressuposições elementares de que produtores com altas taxas de descontos tem relação negativa com a adoção da tecnologia de irrigação, enquanto produtores em terras arrendadas, consideradas mais produtivas, tiveram relação positiva com a adoção dessa tecnologia.

Quanto ao grupo de variáveis climáticas os resultados mostraram certa ambiguidade. Em primeiro lugar, a aversão ao risco foi verificada pelo impacto positivo da variância da temperatura sobre a adoção da tecnologia de irrigação indicando que a utilização desse método é importante para minimizar os efeitos das alterações climáticas. Em segundo lugar, a adoção da tecnologia de irrigação também foi favorável à maior variabilidade intra da precipitação prenunciando que estações do ano mais heterogêneas eleva a exposição ao risco induzindo a adoção dessa tecnologia. Por fim, a influência sobre o comportamento de adoção foi negativa quando avaliada pelo risco intra-anual da temperatura, indicando que em um contexto de persistência histórica de variações na temperatura a adoção de tecnologia não é viável, supostamente devido à baixa rentabilidade da atividade agrícola em locais com essas características.

Os resultados obtidos geram implicações adicionais que merecem ser comentadas. A partir do momento que é comprovada a existência do efeito *spillover* na adoção da tecnologia de irrigação é preciso levar em consideração que esse efeito estimula os canais de transmissão de informação que pode levar a propagação do uso dessa tecnologia. Em especial o contato pessoal favorece a troca de informações e é consideravelmente fortificado quando feito em uma vasta rede de produtores o que potencializa a formação da base de conhecimento entre esses indivíduos reduzindo as barreiras à adoção de novas metodologias agrícolas. A presença desses efeitos ainda pode potencializar a difusão de informação originada dos serviços de assistência técnica e extensão rural.

Sendo assim, a presença do efeito *spillover* mostra que mecanismos informais de transmissão de informação baseados nas relações de vizinhança podem ser tão importantes para o processo de adoção e difusão de tecnologias como àqueles fatores relacionados à escolaridade, experiência, renda, entre outros elementos discutidos ao

longo deste estudo. Nesse sentido, políticas públicas que encorajem os mecanismos de capital social, favorecendo a troca de informação e experiências entre os agricultores, podem ser importantes para que ocorra a adoção da tecnologia de irrigação.

Por fim, é necessário ressaltar algumas limitações do estudo. Uma das limitações mais importantes é que o SAR estimado não considera a censura que existe na variável dependente. Outra limitação diz respeito ao fato da heterogeneidade espacial não ter sido considerada devidamente. Mesmo que a inclusão de *dummies* estaduais permita capturar alguma diferenciação da variável de interesse entre os estados brasileiros, por si só elas não capturam os regimes espaciais na distribuição da proporção de irrigantes ao longo do território nacional. Outro ponto é que o modelo utilizado não permite inferir sobre a difusão da tecnologia no tempo, sugerindo a inclusão dessa questão em estudos futuros.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESINA, A. A.; ZINNAH, M. M. Technology characteristics, farmers' perceptions and adoption decisions: A Tobit model application in Sierra Leone. **Agricultural Economics**, v. 9, n. 4, p. 297-311, 1993.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil2013**. Brasília: ANA, 2013.

ALMEIDA, E. *Econometria Espacial Aplicada*. Campinas, SP. Alínea, 2012.

ANDRADE, A. S. D. J. **Viabilidade da Irrigação, sob Risco Climático e Econômico, nas Microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 586 f.. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura, Universidade de São Paulo (Esalq), Piracicaba, 2000.

ANSELIN, L. **Spatial econometrics**. A companion to theoretical econometrics, cap.14, v. 310330, 2001.

ANSELIN, L.; BERA, A. K. Spatial Dependence in Linear Regression Models with an Introduction to Spatial Econometrics. In: **Handbook of Applied Economic Statistic**. ULLAH, A.; GILES, D. E. A. (Eds). v. 155. New York: 1998.

BANCO MUNDIAL. **Reengaging in Agricultural Water Management: Challenges and Options**. Washington, 2006. Disponível em <[http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/DID\\_AWM.pdf](http://siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/DID_AWM.pdf)>. Acesso em abril 2015.

BRAGANÇA, A.; ASSUNÇÃO, J.; HEMSLEY, P. Geography and Technology Adoption: Evidence from Brazil. **European Economic Association & Econometric Society**. Agosto, 2013.

CAMERON, A. C.; TRIVEDI, P. K. **Microeconometrics: Methods and Application**. Cambridge, 2005.

CARVALHO, A. X. Y.; ALBUQUERQUE, P. H. M. **Tópicos em econometria espacial para dados cross-section**. Texto para Discussão. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), 2010.

CASE, A. Neighborhood Influence and Technological Change. **Regional Science and Urban Economics**, v. 22, n. 3, p. 491-508, 1992.

CHRISTOFIDIS, D. Água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista Ciências Exatas**, v. 12, n. 1, p. 37-46, 2006.

CHRISTOFIDIS, D. O futuro da irrigação e a gestão das águas. **Revista Item**, v. 1, n. 80, p. 40-47, 2008.

COMIN, D. A.; DMITRIEV, M.; ROSSI-HANSBERG, E. The spatial diffusion of technology. **National Bureau of Economic Research**, n. w18534, 2012.

CONLEY, T.; UDRY, C. Social learning through networks: The adoption of new agricultural technologies in Ghana. **American Journal of Agricultural Economics**, p. 668-673, 2001.

\_\_\_\_\_. Learning about a new technology: Pineapple in Ghana. **The American Economic Review**, p. 35-69, 2010.

CUNHA, D. A. **Efeito das mudanças climáticas globais na agricultura brasileira: análise da irrigação como estratégia adaptativa**. 2011.147 f.. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2011.

CUNHA, D. A.; COELHO, A. B., FÉRES, J. G.; BRAGA, M. J. Effects of Climate Change on Irrigation Adoption in Brazil. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 36, n. 1, p. 01-09, 2014.

DE SOUZA FILHO, H. M.; BUAINAIN, A. M.; DA SILVEIRA, J. M. F. J.; VINHOLIS, M. D. M. B. Condicionantes da adoção de inovações tecnológicas na agricultura. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 28, n. 1, p. 223-255, 2011.

DINAR, A.; CAMPBELL, M. B.; ZILBERMAN, D. Adoption of Improved Irrigation and Drainage Reduction Technologies under Limiting Environmental Conditions. **Environmental and Resource Economics**, v. 2, n. 4, p. 373-398, 1992.

DINAR, A.; YARON, D. Adoption and Abandonment of Irrigation Technologies. **Agricultural Economics**, v. 6, n. 4, p. 315-332, 1992.

DRIDI, C.; KHANNA, M. Irrigation Technology Adoption and Gains From Water Trading under Asymmetric Information. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 87, n. 2, p. 289-301, 2005.

FEDER, G.; SLADE, R. The acquisition of information and the adoption of new technology. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 66, n. 3, p. 312-320, 1984.

FERREIRA, M. D. P. **Climate Change, Farm size and land use in Brazilian Legal Amazon**. 2015.93 f.. Tese (Doutorado em Economia Aplicada). Departamento de Economia Rural, Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, 2015.

FIGUEIREDO, A. M. R.; TEIXEIRA, E. C.; BONJOUR, S. C. D. M. Introdução à Econometria Espacial na Agricultura. **Desafio: Revista de Economia e Administração**, v. 10, n. 21, p. 16-28, 2009.

FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; PAULINO, J.; ROMAN-SÁNCHEZ, R. M.; BEZERRA, M. O. Agricultura Irrigada no Brasil. **Informe Agropecuário - EPAMIG**, v. 31, n. 259, p. 17-24, 2010.



FOSTER, A. D.; ROSENZWEIG, M. k. R. Learning by doing and learning from others: Human capital and technical change in agriculture. **Journal of political Economy**, p. 1176-1209, 1995.

GENIUS, M.; KOUNDOURI, P.; NAUGES, C.; TZOUVELEKAS, V. Information Transmission in Irrigation Technology Adoption and Diffusion: Social Learning, Extension Services, and Spatial Effects. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 96, n. 1, p. 328-344, 2014.

IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo agropecuário 2006**: Brasil, grandes regiões e unidades da federação. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.

INTER-AMERICAN INSTITUTE FOR COOPERATION ON AGRICULTURE – IICA. **Serviço de Organização, Descrição, Análise e Interpretação de Dados Sobre Agricultura Irrigada no Brasil**. ALBUQUERQUE, F. G. D. (Consultor). Brasília, 2011.

INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. PACHAURI, R. k.; MEYER, L.; and Core Writing Team (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland: IPCC, 2014.

KOUNDOURI, P.; NAUGES, C.; TZOUVELEKAS, V. Technology Adoption under Production Uncertainty: Theory and Application to Irrigation Technology. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 88, n. 3, p. 657-670, 2006.

LANNA, G. B. M.; TEIXEIRA, E. C.; REIS, R. P. Determinantes da adoção da tecnologia de despolpamento na cafeicultura: estudo de uma região produtora da Zona da Mata de Minas Gerais. **Organizações Rurais & Agroindustriais**, v. 13, n. 3, 2012.

LeSAGE, J. P. An introduction to spatial econometrics. **Revue d'économie industrielle**, n. 123, p. 19-44, 2008.

LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. **O estado das águas no Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica**, 1999.

MARRA, M.; PANNELL, D. J.; GHADIM, A. A. The Economics of Risk, Uncertainty and Learning in the Adoption of New Agricultural Technologies: Where are we on the Learning Curve?. **Agricultural systems**, v. 75, n. 2, p. 215-234, 2003.

MATSUURA, K.; WILLMOTT, C. J. Terrestrial Air Temperature and Precipitation: Monthly and Annual Time Series (1900 - 2010). Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware, 2012. Disponível em: <<http://climate.geog.udel.edu/~climate/>>.

MELLO, J. L. P.; SILVA, L. D. B. D. **Irrigação**. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Setembro, 2009.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - MMA. **Caderno Setorial de Recursos Hídricos: Agropecuária**. Secretaria de Recursos Hídricos, Brasília, 2006.

MONACO, E.; BONFANTE, A.; ALFIERI, S. M.; BASILE, A.; MENENTI, M.; DE LORENZI, F. Climate Change, Effective Water Use for Irrigation and Adaptability of Maize: A Case Study in Southern Italy. **Biosystems Engineering**, v. 128, p. 82-99, 2014.

MONTE, E. Z.; TEIXEIRA, E. C. Determinantes da Adoção da Tecnologia de Despolpamento na Cafeicultura. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 44, n. 2, p. 201-217, 2006.

OLIVEIRA, M. A. S. **Nível tecnológico e seus fatores condicionantes na bananicultura do município de Mauriti-Ce**. 2003. 107 f.. Dissertação (Mestrado em Economia Rural). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2003.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S.; JOSÉ, J. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, v. 16, n. 2, p. 163, 2011.

ROUNSEVELL, M. D. A.; ANNETTS, J. E.; AUDSLEY, E.; MAYR, T.; REGINSTER, I. Modelling the Spatial Distribution of Agricultural Land Use at the Regional Scale. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 95, n. 2, p. 465-479, 2003.

SATURNINO, H. M.; CHRISTOFIDIS, D.; COSTA, E. L. D.; REIS, J. B. R. D. S. Agricultura irrigada: oportunidades e desafios. **Informe Agropecuário - EPAMIG**, v. 31, n. 259, p. 17-24, 2010.

SILVA, A. M. D.; MELLO, C. R. D.; OLIVEIRA, P. M. D.; MARQUES, R. F. D. P. V. Gestão de recursos hídricos nas atividades agrícolas. **Informe Agropecuário - EPAMIG**, v. 31, n. 259, p. 17-24, 2010.

SIMONET, C. **Changement Climatique, Chocs Pluviométriques et Sécurité Alimentaire: Essais Sur L'usage de L'information Climatique En Economie Du Developpement**. 2013. 182f.. Tese. Université d'Auvergne, Clermont-Ferrand, 2013.

SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. The Agricultural Innovation Process: Research and Technology Adoption in a Changing Agricultural Sector. **Handbook of Agricultural Economics**, v. 1, p. 207-261, 2001.

TALAMINI, E.; OLIVEIRA, L. D.. Sistemas de Irrigação: Vantagem Competitiva e/ou Incerteza. In: 46º Congresso SOBER - Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 2008, Rio Branco, AC. **Anais Eletrônicos...** Acre: UFAC 2008.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; NETTO, O. D. M. C. Cenários da Gestão da Água no Brasil: uma Contribuição para a "Visão Mundial da Água". **Interações**, v. 1980, p. 90, 2003.

UAIENE, R. N.; ARNDT, C.; MASTERS, W. A. Determinants of agricultural technology adoption in Mozambique. **Discussion papers**, n. 67E, p. 1-29, 2009.

VICENTE, J. R. Determinantes da Adoção de Tecnologia na Agricultura Paulista. **Estudos Econômicos**, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 421-451, 1998.

WOLLNI, M.; ANDERSSON, C. Spatial patterns of organic agriculture adoption: Evidence from Honduras. **Ecological Economics**, v. 97, p. 120-128, 2014.

WRIGHT, A.; HUDSON, D.; MUTUC, M. A Spatial Analysis of Irrigation Technology. **Natural Resources**, n. 4, p. 307-318, 2013.

## **ANEXOS**

Tabela A 1 - Descrição das Variáveis Utilizadas no Estudo.

<i>Variáveis</i>	<i>Descrição das Variáveis</i>
PROP_IRRIG	Proporção de irrigantes (exceto aqueles que irrigam pelo método de molhação e/ou regas manuais) no município <i>i</i> .
AR_AGR_PTTL	Proporção de área agrícola (lavoura permanente mais lavoura temporária dividido pela área total do estabelecimento) do estabelecimento representativo no município <i>i</i> .
P_ENS_MED	Proporção de produtores rurais respondentes com ensino médio completo no município <i>i</i> .
P_EXPERIEN	Proporção de produtores rurais respondentes que dirigem o estabelecimento agropecuário a mais de 10 anos no município <i>i</i> .
P_RC_TT_ES	Proporção da receita total do estabelecimento declarada pelos produtores rurais respondentes no município <i>i</i> .
P_OBT_FIN	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram financiamento no ano de 2006 no município <i>i</i> .
P_ORI_GOV	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica do governo no município <i>i</i> .
P_ORI_PROP	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica própria ou do produtor no município <i>i</i> .
P_ORI_COOP	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica de cooperativas no município <i>i</i> .
P_ORI_INT	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica de empresa integradora no município <i>i</i> .
P_ORI_PRIV	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica privada no município <i>i</i> .

P_ORI_ONG	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram orientação técnica de ONG no município <i>i</i> .
P_ORI_OUT	Proporção de produtores rurais respondentes que obtiveram outros tipos de orientação técnica no município <i>i</i> .
P_TER_OCUP	Proporção de produtores rurais respondentes em condição legal de ocupantes da terra no município <i>i</i> .
P_TER_ARRE	Proporção de produtores rurais respondentes em condição legal de arrendatários da terra no município <i>i</i> .
MI_INTER_P	Média da precipitação (mm) municipal interanual (1990-2006).
VR_PREC	Variância da precipitação (mm) municipal (1990-2006).
MI_INTER_T	Média da temperatura (°C) municipal interanual (1990-2006).
VR_TEMP	Variância da temperatura (°C) municipal (1990-2006).
VR_INTRA_P	Variância da precipitação (mm) municipal intra-anual (1990-2006).
VR_INTRA_T	Variância da temperatura (°C) municipal intra-anual (1990-2006).
PO_AGR_S1	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe boa/regular
PO_AGR_S2	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe regular/boa
PO_AGR_S3	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe regular
PO_AGR_S4	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe regular/restrita
PO_AGR_S5	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe restrita
PO_AGR_S6	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe restrita/desfavorável
PO_AGR_S7	Proporção da área de solo do município <i>i</i> com potencialidade agrícola na classe muito desfavorável

PERCB_AMAZ	Percentual do bioma Amazônia no município <i>i</i> .
PERCB_CAAT	Percentual do bioma Caatinga no município <i>i</i> .
PERCB_MATA	Percentual do bioma Mata Atlântica no município <i>i</i> .
PERCB_PAMP	Percentual do bioma Pampa no município <i>i</i> .
PERCB_PANT	Percentual do bioma Pantanal no município <i>i</i> .
D_RO	Dummy de estado – Rondônia
D_AC	Dummy de estado – Acre
D_AM	Dummy de estado – Amazonas
D_RR	Dummy de estado – Roraima
D_PA	Dummy de estado – Pará
D_AP	Dummy de estado – Amapá
D_TO	Dummy de estado – Tocantins
D_MA	Dummy de estado – Maranhão
D_PI	Dummy de estado – Piauí
D_CE	Dummy de estado – Ceará
D_RN	Dummy de estado - Rio Grande do Norte
D_PB	Dummy de estado – Paraíba
D_PE	Dummy de estado – Pernambuco
D_AL	Dummy de estado – Alagoas
D_SE	Dummy de estado – Sergipe
D_BA	Dummy de estado – Bahia
D_MG	Dummy de estado - Minas Gerais
D_ES	Dummy de estado - Espírito Santo
D_RJ	Dummy de estado - Rio de Janeiro
D_SP	Dummy de estado - São Paulo
D_PR	Dummy de estado – Paraná
D_SC	Dummy de estado - Santa Catarina
D_MS	Dummy de estado - Mato Grosso do Sul
D_MT	Dummy de estado - Mato Grosso do Sul
D_GO	Dummy de estado – Goiás
D_DF	Dummy de estado - Distrito Federal

Fonte: Elaborado pela autora.

Tabela A 2 - Resultados das estimativas por MQO, Tobit, SAR e Efeito Marginal Total do Modelo SAR– Variável Dependente: PROP\_IRRIG (Proporção de Irrigantes no Município  $i$ ) – Incluindo Efeitos Fixos Estaduais.

	MQO	TOBIT	SAR	<i>Efeito Marginal Total do SAR</i>
PROP_IRRIG_λ	-	-	0,46993*** (0,011049)	-
AR_AG_PTTL	0,0118038*** (0,0039406)	0,0083335** (0,004283)	0,005651* (0,003321)	0,011
P_ENS_MED	0,0328513 (0,0219144)	0,0429459** (0,023333)	0,040866** (0,018298)	0,077
P_DR_ES10A	0,0276093*** (0,0087719)	0,0256415*** (0,009375)	0,016616** (0,007339)	0,031
P_RC_TT_ES	0,000000*** (0,000000)	0,00000005*** (0,00000001)	0,0000001*** (0,000000)	0,000
P_OBT_FIN	-0,0525273*** (0,0154763)	-0,058903*** (0,016501)	-0,012296 (0,012949)	-
P_ORI_GOV	0,052037*** (0,0093436)	0,0445256*** (0,009957)	0,038799*** (0,007808)	0,073
P_ORI_PROP	0,0003696 (0,0134793)	0,0020323 (0,014424)	0,004738 (0,0112701)	-
P_ORI_COOP	-0,0643791*** (0,0135685)	-0,0696541*** (0,014379)	-0,056390*** (0,011329)	-0,106
P_ORI_INT	0,0140829 (0,0219905)	0,007237 (0,02338)	-0,00948 (0,0184)	-
P_ORI_PRIV	0,255203*** (0,0249137)	0,2880371*** (0,026554)	0,204872*** (0,021045)	0,387
P_ORI_ONG	-0,0653448 (0,1441598)	-0,0586518 (0,151521)	-0,05771 (0,120206)	-
P_ORI_OUT	0,1673207*** (0,0396935)	0,1753323*** (0,0417617)	0,1250182*** (0,033099)	0,236
P_TER_OCUP	-0,0388153** (0,0158723)	-0,0418395** (0,0171646)	-0,022328** (0,0132352)	-0,042
P_TER_ARRE	0,1807817*** (0,0173948)	0,189236*** (0,0184928)	0,1503294*** (0,014546)	0,284
MI_INTER_P	-0,0000337*** (0,0000052)	-0,000045*** (0,0000057)	-0,000023*** (0,000004)	-0,000043



---

VR_INTER_P	0,000000 (0,000000)	-0,00000008* (0,00000004)	0,000000 (0,000000)	-
MI_INTER_T	-0,0007927* (0,0004246)	-0,000276 (0,000456)	-0,000372 (0,0003577)	-
VR_INTER_T	0,0174952*** (0,0058314)	0,0257801*** (0,006311)	0,0152262*** (0,004941)	0,023
VR_INTRA_P	0,0000025*** (0,0000003)	0,0000035*** (0,00000035)	0,0000014*** (0,0000003)	0,000003
VR_INTRA_T	-0,0001486 (0,0005646)	-0,0009231 (0,000628)	-0,0009202** (0,0004933)	-0,0002
PO_AGR_S1	-0,0001121*** (0,0000344)	-0,000109*** (0,000036)	-0,000086*** (0,000028)	-0,000016
PO_AGR_S2	-0,0001304 (0,0001149)	-0,000138 (0,000125)	-0,000096 (0,000096)	-
PO_AGR_S3	0,0002477*** (0,0000821)	0,000178** (0,000089)	0,0001393** (0,000068)	0,00003
PO_AGR_S4	-0,0000395* (0,0000206)	-0,0000212 (0,000022)	-0,000023 (0,000017)	-
PO_AGR_S5	0,0000612** (0,0000279)	0,0000627** (0,000029)	0,000034 (0,000023)	-
PO_AGR_S6	0,0000572** (0,0000248)	0,000075*** (0,000026)	0,000033** (0,000018)	0,000062
PO_AGR_S7	-0,0000731* (0,0000453)	-0,000076 (0,000048)	-0,000012 (0,000037)	-
PERCB_AMAZ	0,0000935* (0,0000493)	0,000051 (0,000054)	0,0000951** (0,000041)	0,00018
PERCB_CAAT	0,0000103 (0,0000388)	-0,000017 (0,0000415)	-0,000017 (0,000032)	-
PERCB_MATA	0,000038 (0,000026)	0,000036 (0,000028)	0,000010 (0,000022)	-
PERCB_PAMP	0,000403*** (0,000063)	0,000368 *** (0,0000675)	0,00021*** (0,000053)	0,0004
PERCB_PANT	0,0000028 (0,000173)	0,000214 (0,000183)	0,000118 (0,00014)	-
D_RO	-0,0112434 (0,009333)	-0,037242*** (0,0111284)	-0,019625** (0,008661)	0,037

---

D_AC	-0,007497 (0,011732)	-0,052616*** (0,014545)	-0,016826** (0,01045)	-0,032
D_AM	0,001098 (0,009435)	-0,033532*** (0,011322)	-0,009984 (0,008568)	-
D_RR	-0,003531 (0,013903)	-0,035493** (0,016008)	-0,014918 (0,012225)	-
D_PA	-0,014844* (0,008598)	-0,046696*** (0,010505)	-0,018507** (0,008141)	-0,035
D_AP	-0,025474* (0,01331)	-0,0658018*** (0,015777)	-0,023662** (0,011739)	-0,045
D_TO	-0,020354*** (0,007132)	-0,0649212*** (0,009256)	-0,022345*** (0,007191)	-0,042
D_MA	-0,031253*** (0,0073112)	-0,074648*** (0,009373)	-0,031491*** (0,007319)	-0,059
D_PI	-0,0195277*** (0,007435)	-0,055281*** (0,0093065)	-0,022895*** (0,007276)	-0,043
D_CE	-0,013561* (0,008082)	-0,043877*** (0,0098557)	-0,022726*** (0,007733)	-0,042
D_RN	0,012314 (0,007837)	-0,0194772** (0,0096706)	-0,009576 (0,007572)	-
D_PB	0,003215 (0,00756)	-0,0242567*** (0,0091776)	-0,010083 (0,007191)	-
D_PE	0,005514 (0,007314)	-0,0184828** (0,008812)	-0,007753 (0,006915)	-
D_AL	-0,000282 (0,007332)	-0,0285469*** (0,008873)	-0,012432** (0,00695)	-0,023
D_SE	-0,002792 (0,007791)	-0,032784*** (0,00931)	-0,011426* (0,007269)	-0,022
D_BA	-0,005057 (0,006277)	-0,032426*** (0,0079273)	-0,013496** (0,006211)	-0,025
D_MG	-0,012204** (0,005271)	-0,039862*** (0,006812)	-0,016955*** (0,005324)	-0,032
D_ES	0,068374*** (0,007163)	0,0443383*** (0,008521)	0,0264183*** (0,006725)	0,049
D_RJ	0,009094 (0,006531)	-0,0140253* (0,00775)	-0,002871 (0,006086)	-
D_SP	0,012303**	-0,00991*	-0,005015	-

	(0,004249)	(0,00563)	(0,004408)	
D_PR	-0,007286** (0,003464)	-0,021588*** (0,0042415)	-0,009668*** (0,003325)	-0,018
D_SC	0,0174864*** (0,003504)	0,0091158** (0,003944)	0,006552** (0,003078)	0,012
D_MS	-0,0451575*** (0,006975)	-0,04771*** (0,007449)	-0,025364*** (0,005846)	-0,048
D_MT	-0,0231296*** (0,006696)	-0,055307*** (0,008676)	-0,027275*** (0,006793)	-0,051
D_GO	-0,0177646*** (0,0061519)	-0,0513201*** (0,008154)	-0,023476*** (0,006397)	-0,044
D_DF	0,1862128*** (0,042829)	0,1584955*** (0,045157)	0,180734*** (0,035881)	0,341
CONSTANTE	0,0496995*** (0,014761)	0,071981*** (0,016209)	0,0398003*** (0,012691)	0,075
Sigma	-	0,044401*** (0,000446)	-	-
Observações	5.507	5.507	5.507	
R2	0,2358	-	-	-
R2 ajustado	0,2276	-	-	
Log Likelihood	9.6510,12	8.103,1	10.375,1	-
Pseudo-R2	-	-0,1061	0,4657	
<i>Spatial</i> Pseudo-R2	-	-	0,408	-

Fonte: Resultado da Pesquisa.