



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**INSTITUTO DE ECONOMIA**

**GIAN LUCCA RAUCCI**

**Derivativos climáticos no Brasil: Uma análise para  
gestão de risco da produção de soja**

**Campinas  
2019**



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**INSTITUTO DE ECONOMIA**

**GIAN LUCCA RAUCCI**

**Derivativos climáticos no Brasil: Uma análise para  
gestão de risco da produção de soja**

**Prof. Dr. Rodrigo Lanna Franco da Silveira – orientador**

**Prof. Dr. Daniel Henrique Dario Capitani – co-orientador**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Econômicas do Instituto de Economia da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do título de Mestre em Ciências Econômicas.

**ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO  
FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELO  
ALUNO GIAN LUCCA RAUCCI, ORIENTADA  
PELO PROF. DR. RODRIGO LANNA FRANCO  
DA SILVEIRA E CO-ORIENTADA PELO PROD.  
DR. DANIEL HENRIQUE DARIO CAPITANI.**

**Campinas  
2019**

Ficha catalográfica  
Universidade Estadual de Campinas  
Biblioteca do Instituto de Economia  
Mirian Clavico Alves - CRB 8/8708

R19d Raucci, Gian Lucca, 1992-  
Derivativos climáticos no Brasil : uma análise para gestão do risco da produção de soja / Gian Lucca Raucci. – Campinas, SP : [s.n.], 2019.

Orientador: Rodrigo Lanna Franco da Silveira.  
Coorientador: Daniel Henrique Dario Capitani.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Economia.

1. Derivativos (finanças). 2. Mercado de opções. 3. Produtos primários. 4. Risco (Economia). 5. Soja. I. Silveira, Rodrigo Lanna Franco da, 1976-. II. Capitani, Daniel Henrique Dario, 1983-. III. Universidade Estadual de Campinas. Instituto de Economia. IV. Título.

Informações para Biblioteca Digital

**Titulo em outro idioma:** Weather derivatives in Brazil : an analysis of production risk management in soybean production

**Palavras-chave em inglês:**

Derivatives (securities)

Options (Finance)

Primary commodities

Risk (economy)

Soyben

**Área de concentração:** Teoria Econômica

**Titulação:** Mestre em Ciências Econômicas

**Banca examinadora:**

Rodrigo Lanna Franco da Silveira [Orientador]

Antonio Marcio Buainain

José César Cruz Júnior

**Data de defesa:** 14-02-2019

**Programa de Pós-Graduação:** Ciências Econômicas

**Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)**

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0000-0001-5875-6693>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/3130748461569162>



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS**

**INSTITUTO DE ECONOMIA**

**GIAN LUCCA RAUCCI**

**Derivativos climáticos no Brasil: Uma análise para  
gestão de risco da produção de soja**

**Prof. Dr. Rodrigo Lanna Franco da Silveira – orientador**

**Prof. Dr. Daniel Henrique Dario Capitani – co-orientador**

**Defendida em 14/02/2019**

**COMISSÃO JULGADORA**

**Prof. Dr. Rodrigo Lanna Franco da Silveira - PRESIDENTE**  
**Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**

**Prof. Dr. Antonio Marcio Buainain**  
**Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**

**Prof. Dr. José César Cruz Júnior**  
**Universidade Federal de São Carlos (UFSCAR)**

A Ata de Defesa, assinada pelos membros da Comissão Examinadora, consta no processo de vida acadêmica do aluno.

## RESUMO

A atividade agropecuária está exposta a uma série de riscos. A variação nos preços das commodities e variações climáticas atípicas impactam diretamente a receita e custos do produtor, apontando para a necessidade do uso de instrumentos de gestão capazes de minimizar tais efeitos. Os derivativos climáticos (pluviométricos e de temperatura) se colocam como alternativa para o gerenciamento do risco de queda da produtividade em culturas agrícolas. Tais instrumentos possuem vantagens frente aos seguros agrícolas disponíveis, uma vez que não estão sujeitos aos problemas de risco moral e seleção adversa. Frente ao peso do setor agrícola na economia brasileira, o estudo de novos instrumentos de gestão de risco se mostra fundamental. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar a utilização dos contratos de derivativos climáticos como instrumentos de gestão de risco no mercado agrícola brasileiro, tendo como foco a cultura de soja no estado do Rio Grande do Sul. A presente pesquisa ganha relevância ao estruturar novos mecanismos de proteção à principal cultura exportadora nacional. Através da estruturação de uma opção de venda (*put*) pluviométrica com dois índices distintos (pesos iguais e ponderado pelas etapas de crescimento da planta) baseados na pluviosidade diária da área em estudo. A precificação do contrato se deu através do método de modelagem de índice (*index modeling*), utilizando-se a distribuição estimada dos *payoffs* para o cálculo do prêmio justo do contrato. Com a utilização do contrato, obteve-se redução da variabilidade da receita por hectare do produtor de soja, em torno de 30% no período analisado, sem sensível redução em sua receita média. O prêmio do contrato variou entre 10% e 15% da receita por hectare, dependendo da estrutura contratual utilizada. Dessa forma, apesar de possuir custo elevado para o produtor a contratação de um derivativo climático por parte do produtor pode se mostrar um instrumento relevante de controle do risco de produção. Por outro lado, atenção tem de ser dada a sustentabilidade financeira do contrato, tendo em vista a elevada relação indenizações-prêmio apresentada no período analisado.

**Palavras-chave:** Derivativos, Opções de commodities, Risco (Seguro), Soja.

## **ABSTRACT**

Farming activity is exposed to a number of risks. Fluctuation in commodity prices and atypical changes in weather have a direct impact in farmer's costs and revenue, bringing out the need for management tools capable of minimizing these effects. Weather derivatives (rainfall and temperature) can be an alternative to manage low productivity risk in crops. These tools have advantages when compared to the agricultural insurances currently available, given that they aren't subjective to moral hazard and adverse selection. In face of the importance of agriculture in Brazilian economy, the study of new risk management tools is essential. In light of this, the purpose of this study is to analyze how weather derivatives can be used as risk management tools in Brazilian agricultural market, with focus on soybeans production in the state of Rio Grande do Sul. The research is relevant in structuring new defense mechanisms to the main exported crop in the country, through put options for rainfall levels with two distinct indexes (unweighted and weighted by the different stages of development of the plant) using the daily rainfall level of the studied area. The price of the contract has been defined using index modelling, using the estimated payoff distribution to calculate the premium of the contract. Through the application of this contract, there has been an approximate 30% reduction of the variability of the farmer's revenue by soybean hectare, without meaningful reduction of average revenue. The premium of the contract varied between 10% and 15% of revenue per hectare, depending on the contract structure considered. In face of these results, the use of weather derivatives by farmers in Brazil can be important to help with their production risk management strategies, besides the high cost these products have. Nonetheless, attention must be given to the financial sustainability of these instruments, since their indemnity-primum rate is high throughout the analyzed period.

**Key-words:** Derivatives, Commodities options, Risk (Insurance), Soybean.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Volatilidade de 30 dias anualizada dos preços à vista da soja e café – 2008-2016 .....	18
<b>Figura 2.</b> Contratos futuros negociados na B3 entre 2010 e 2017.....	20
<b>Figura 3.</b> Derivativos climáticos comercializados em ambiente de bolsa no mundo....	28
<b>Figura 4.</b> Payoffs no mercado de opções.....	32
<b>Figura 5.</b> Payoffs limitados no mercado de opções.....	32
<b>Figura 6.</b> Localização geográfica das cidades em análise .....	46
<b>Figura 7.</b> Índice de pluviosidade acumulada entre dezembro e março entre 1992-2016 .....	49
<b>Figura 8.</b> Índice Simples e Ponderado por estação de coleta – 1992-2016 .....	50
<b>Figura 9.</b> Prêmio médio estimado do seguro, por hectare - 1992-2016 (US\$).....	53
<b>Figura 10.</b> Evolução da receita (US\$) por hectare por cidade - 1992-2016.....	57

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Riscos presentes na atividade agropecuária.....	16
<b>Tabela 2.</b> Resumo das principais contribuições das pesquisas sobre uso de derivativos climáticos em atividades agrícolas. ....	39
<b>Tabela 3.</b> Distâncias dos municípios sem estação meteorológica até as estações de coleta (km). ....	47
<b>Tabela 4.</b> Estatísticas descritivas dos índices de pluviosidade (em milímetros) no período entre 1992 e 2016. ....	48
<b>Tabela 5.</b> Ponderação da pluviosidade por período de 10 dias.....	51
<b>Tabela 6.</b> Coeficiente de correlação entre índice de pluviosidade e produtividade da soja. ....	51
<b>Tabela 7.</b> Razão prêmio-receita média no período 1992-2016.....	54
<b>Tabela 8.</b> Desvio-padrão da receita (US\$/ha) no período 1992-2016 .....	54
<b>Tabela 9.</b> Receita média (US\$/ha) no período 1992-2016 .....	55
<b>Tabela 10.</b> Coeficiente de variação da receita por hectare no período 1992-2016.....	56
<b>Tabela 11.</b> Relação indenização-prêmio média entre 1992 e 2016 .....	58
<b>Tabela 12.</b> Variação no desvio-padrão da receita por hectare no período 1992-2016 ..	59
<b>Tabela 13.</b> Variação na receita média por hectare no período 1992-2016 .....	60

## APÊNDICES

<b>Apêndice 1.</b> Índice de pluviosidade acumulada entre dezembro e março-1992-2016 ..	70
<b>Apêndice 2.</b> Jarque-Bera tests .....	71
<b>Apêndice 3.</b> Shapiro-Wilk tests .....	71
<b>Apêndice 4.</b> Komogorov-Smirnov tests.....	71

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>CAPÍTULO 1 - RISCO NA ATIVIDADE AGRÍCOLA .....</b>	<b>13</b>
1.1 – Identificação e Classificação dos Riscos .....	13
1.2 – Mitigação do Risco de Preço .....	17
1.3 – Mitigação do Risco de Produção .....	21
<b>CAPÍTULO 2 - DERIVATIVOS CLIMÁTICOS: CONCEITOS E OPERACIONALIZAÇÃO .....</b>	<b>26</b>
2.1 - Derivativos climáticos: surgimento e características principais.....	26
2.2 - Estrutura dos contratos .....	28
2.3 - Uso de derivativos climáticos na agricultura: uma revisão de literatura.....	34
<b>CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA.....</b>	<b>41</b>
3.1 Estruturação do derivativo .....	41
3.2 Precificação e efetividade do <i>hedge</i> .....	44
3.3 Dados do estudo.....	45
<b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>48</b>
4.1 Índices de pluviosidade.....	48
4.2 Precificação dos contratos.....	52
4.3 Performance do Derivativo .....	54
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>61</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>66</b>
WORLD BANK. Agriculture investment sourcebook. The World Bank. Washington, DC. 2005.....	69
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>70</b>

## INTRODUÇÃO

A agricultura possui uma característica que a diferencia das demais atividades, isto é, sua dependência de fatores naturais. Essa dependência se revela no peso que diversas variáveis climáticas têm sobre a produtividade do setor. Por possuir o resultado de seu ciclo produtivo sujeito a variáveis climáticas, externas ao controle do produtor, tende a apresentar riscos mais elevados que outros setores. Dessa forma, a utilização de instrumentos de gestão do risco é preponderante para a garantia da competitividade do agronegócio (BUAINAIN & SILVEIRA, 2017).

Diversos instrumentos para gestão de risco de preço e de produção, tais como seguro agrícola e derivativos agropecuários, têm sido desenvolvidos nas últimas décadas, no intuito de oferecer aos agentes das diferentes cadeias agroindustriais meios de proteção contra oscilações na renda. Um exemplo de instrumento que tem obtido visibilidade são os derivativos climáticos, cujas transações se iniciaram no final da década de 1990 e início de 2000, nos EUA. Ao contrário dos derivativos tradicionais, estes contratos não possuem ativo-objeto transacionável no mercado, isto é, o valor dos contratos varia conforme a ocorrência dos eventos climáticos que influenciam, por exemplo, a temperatura, o nível de precipitação, geadas, granizos, entre outros (CME, 2010).

O desenvolvimento de contratos baseados em diferentes variáveis climáticas vem atraindo a atenção de diversos setores da economia, tais como agricultura, entretenimento, turismo, construção e varejo (JEWSON & BRIX, 2005). Estudos recentes analisaram o uso de tais instrumentos no mercado de varejo, com foco na comercialização de bebidas (STULEC, 2017) e no mercado de transporte hidroviário (MEYER ET AL., 2015).

Ao analisar especificamente a atividade agrícola, observa-se que os instrumentos em questão possuem papel semelhante ao desempenhado pelos tradicionais seguros de produção, sendo baseados em índices de produtividade da lavoura (*crop yield*). No entanto, contratos baseados em derivativos climáticos, que utilizam tanto índices meteorológicos, quanto cobertura para eventos climáticos específicos, possuem algumas vantagens. Elenca-se como a principal delas, o fato dos contratos não estarem expostos a problemas de risco moral e seleção adversa, os quais são observados nos seguros agrícolas (WORLD BANK, 2005). Isso ocorre em função do resultado do derivativo climático não depender da safra colhida pelo produtor. Consequentemente, problemas de risco moral e

seleção adversa, que surgem da assimetria da informação e são inerentes aos seguros de produção tradicionais, são eliminados (TURVEY, 2001; VEDENOV; BARNETT, 2004; WORLD BANK, 2005).

Recentemente, diferentes estudos têm avaliado a utilização dos derivativos de clima como instrumentos de gestão de risco na agricultura (KHAN ET AL., 2013; PELKA; MUSSHOF, 2013; MUSSHOF ET AL., 2011). Nos mercados emergentes, tal processo é relevante ao proporcionar novos mecanismos de defesa da renda e, conseqüentemente, estabilidade financeira nessas economias (LIEN & ZHANG, 2008; SAXENA; VILLAR, 2008). No entanto, pouca atenção tem sido dada a esses instrumentos no Brasil, um dos principais *players* no mercado de *commodities* global, sendo inexistente um mercado de derivativos climáticos local. Com a gradual redução na capacidade financeira do Estado brasileiro nos últimos anos, sobretudo após 2014, o espaço fiscal para aporte de recursos destinados ao setor agrícola tende, também, a diminuir. Assim, abre-se espaço para a introdução de novos instrumentos de mercado voltados para proteção e gestão de risco dos produtores locais.

Diante de tais fatos, o presente estudo busca avaliar se os derivativos climáticos se mostram eficientes na gestão do risco de produção no mercado brasileiro, reduzindo o risco climático dos produtores. O objetivo aqui é desenvolver um instrumento de seguro atrelado a índices climáticos e examinar seu uso como instrumento de gestão de risco climático.

Como uma primeira aproximação do uso de tais instrumentos, investiga-se a mitigação de risco proporcionada pela contratação de um instrumento hipotético de proteção para a cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul. Como objetivos específicos, além de investigar a efetividade destes instrumentos para gestão de risco de produção, este trabalho visa entender a mecânica operacional dos derivativos climáticos e o seu potencial uso na agricultura. Como hipótese, considera-se que a adoção dos derivativos climáticos possui potencial de redução da volatilidade da renda do agricultor sem, por outro lado, incorrer em aumento expressivo dos custos com o pagamento de prêmios para a contratação do seguro.

O estudo tem foco no estado do Rio Grande do Sul devido a duas razões principais. Em primeiro lugar, pela importância do estado na produção de soja no Brasil – nos últimos 5 anos foi responsável por 15% da produção nacional. Em segundo lugar, pelo

clima subtropical da região, marcadamente instável e altamente sujeito ao efeito de massas polares (DA SILVA, 2010). As safras 2004/05 e 2016/2017, por exemplo, são exemplos da elevada variabilidade na produtividade do estado decorrentes de quebras ou supersafras, apresentando, respectivamente, rendimento de 698 kg/ha e 3.360 kg/ha (CONAB, 2017).

O estudo, portanto, permite evidenciar e introduzir novas questões referentes ao potencial do uso dos derivativos climáticos na agricultura brasileira, o que se mostra relevante frente às demandas por novas opções de gestão dos riscos em um cenário de mudanças climáticas. Em específico, o estudo para a soja na região Sul do Brasil tem potencial de abrir discussões acerca dos riscos dessa cultura nas condições edafoclimáticas encontradas. Além disso, coloca-se para análise o potencial do instrumento em questão na geração de novas práticas de gestão no campo, bem como na determinação de políticas agrícolas específicas, seja na concessão de créditos ou na subvenção do prêmio para o seguro rural. Ainda, tal estudo pode abrir espaço para o desenvolvimento de instrumentos semelhantes para outras culturas e outras regiões do Brasil, bem como para outros mercados emergentes.

Para atingir os objetivos propostos, o trabalho está dividido em quatro capítulos, além desta introdução e das considerações finais. No Capítulo 1, são abordadas questões gerais a respeito da gestão do risco no mercado agrícola e os principais instrumentos de gestão do risco disponíveis no mercado. No Capítulo 2, os conceitos e as características gerais dos derivativos climáticos são apresentados, realizando também uma revisão de literatura acerca dos trabalhos que avaliaram o uso destes instrumentos na agricultura. Em seguida, no Capítulo 3, é apresentada a metodologia que será utilizada para a análise da eficiência do uso de derivativos climáticos como instrumentos de gestão do risco de produção da soja. Por fim, no Capítulo 4, exploram-se os resultados obtidos de forma a analisar a eficiência do uso de opções pluviométricas em seis áreas do estado do Rio Grande do Sul.

## **CAPÍTULO 1 - RISCO NA ATIVIDADE AGRÍCOLA**

Como outras atividades produtivas, a agricultura opera com vista à obtenção de lucros através da produção de bens para a venda no mercado. Para isso, os produtores atuam tanto na esfera produtiva, quanto na comercialização, com o intuito de obter os melhores preços e os menores custos de produção. Os resultados auferidos são dependentes de diversas decisões tomadas pelos agentes envolvidos ao longo da cadeia produtiva. Dentre essas escolhas, estão, por exemplo, o período de plantio, a forma de financiamento, o pacote tecnológico adotado, entre outras. Cada uma dessas decisões traz consigo diferentes riscos, os quais devem ser continuamente administrados com o objetivo de mitigar as possíveis perdas na atividade.

O conceito de risco, para qualquer atividade econômica, pode ser apresentado como a possibilidade de o resultado obtido, após o processo produtivo, ser diferente do esperado devido a eventos não previstos de ocorrência aleatória. Como qualquer outra atividade produtiva, a agricultura está sujeita a diversos riscos que podem afetar o resultado obtido pelo produtor ao final de seu processo produtivo. Porém, sua diferença central frente a outras atividades produtivas se dá pela dependência de fatores naturais. Tal fato traz três consequências importantes ao setor. Em primeiro lugar, observa-se uma maior rigidez no processo produtivo; em segundo lugar, a sazonalidade da produção se faz presente, sendo determinada pelos ciclos climáticos e biológicos, o que acaba por impactar nos preços dos produtos comercializados. Por fim, constata-se uma significativa dependência de processos biológicos, responsáveis por grande parte do processo produtivo. Esses três fatores acabam por trazer dificuldades ao setor frente às mudanças conjunturais dos diferentes mercados, dada a reduzida capacidade de resposta de curto-prazo da produção (BUAINAIN & SILVEIRA, 2017).

Neste contexto, este capítulo tem o objetivo de apresentar os principais riscos associados à produção rural e os mais importantes mecanismos de mitigação e gestão desses riscos atualmente comercializados no mercado.

### **1.1 – Identificação e Classificação dos Riscos**

Com o objetivo de desenvolver estratégias eficientes de gestão do risco, é necessário, em primeiro lugar, entender as características e a natureza dos diversos fatores

de risco incorridos pelo setor. Sob esse prisma, é possível enquadrá-los em quatro categorias: risco de produção, risco de preço, risco de contratos e risco de crédito.

Principal diferencial do setor agropecuário em relação às outras atividades produtivas, o risco de produção está associado à possibilidade de ocorrência de eventos climáticos adversos, como secas ou geadas, ou na incidência de doenças e/ou pragas, as quais levam à redução da produtividade da lavoura, trazendo prejuízos financeiros ao produtor. A relevância de fatores ambientais, externos ao controle dos gestores no processo produtivo, traduz-se em um maior risco de perdas ao produtor (BERG ET AL., 2004).

O risco de preço, por sua vez, ocorre como consequência da variação tanto dos preços dos produtos agrícolas, como também dos insumos utilizados no processo produtivo e, ainda, por elementos relacionados às dinâmicas dos mercados que afetam o comportamento de variáveis macroeconômicas (como taxa de juros, taxa de câmbio, consumo e renda). A taxa de câmbio é especialmente relevante, pois interfere diretamente na formação dos preços, dado que a precificação de grande parte da produção agropecuária ocorre no mercado internacional (WORLD BANK, 2005).

Duas características únicas ao setor acabam por tornar a gestão do risco de preço ponto sensível para a rentabilidade da atividade: a perecibilidade e a sazonalidade da produção. A primeira acaba por restringir o ciclo de comercialização do produto, limitando a capacidade dos produtores de responderem a mudanças nos preços tanto internos quanto no mercado internacional.

Ambos, riscos de preço e de produção, atuam em conjunto sobre o resultado. A gestão de tais riscos nunca será capaz de eliminá-los por completo; agem, no entanto, no sentido de reduzir suas consequências sobre o resultado financeiro do produtor.

O risco do ambiente de contratos resulta de possíveis alterações não previstas na legislação, regulamentações ou no marco regulatório que rege a economia nacional e o comércio mundial (BUAINAIN & SILVEIRA, 2017). Também pode ser entendido como decorrente da possibilidade de não cumprimento de cláusulas contratuais específicas por alguma - ou ambas - partes de uma operação.

Por fim, o risco de crédito pode ser entendido como a possibilidade de não pagamento de juros e/ou principal na operação de crédito contratada. O claro

entendimento do agente do risco de crédito é fundamental, dado a vinculação deste a todos os demais vetores de risco. Um produtor segurado está em melhores condições de arcar com seu passivo do que um sem seguro. Na ocorrência de um sinistro e a consequente quebra de safra, o produtor segurado terá os recursos financeiros necessários para cumprir o pagamento de seu crédito, o que permite melhor planejamento de longo prazo (BESSADA, BARBEDO & ARAÚJO, 2013).

Jaffee et al. (2008) lista uma série de outros fatores de risco que influenciam o resultado e a gestão da atividade agropecuária, tal como expressos na Tabela 1. Fatores associados à logística/infraestrutura e à operação das atividades são exemplos colocados pelos autores, ampliando o quadro exposto acima.

**Tabela 1.** Riscos presentes na atividade agropecuária

<b>Tipo de risco</b>	<b>Eventos</b>
<b>Risco associado ao clima</b>	Déficit periódico e/ou excesso de chuvas ou temperatura, tempestade de granizo, ventos fortes
<b>Desastre natural (incluindo eventos climáticos extremos)</b>	Grandes inundações e secas, ciclones, tufões, terremotos, atividade vulcânica.
<b>Risco biológico e do meio ambiente</b>	Pestes e doenças nas atividades agrícolas e pecuária; contaminação associada ao problema sanitário; contaminação humana; contaminação e degradação dos recursos naturais e do meio ambiente; contaminação e degradação da produção e do processo produtivo.
<b>Riscos relacionados ao mercado</b>	Mudanças na oferta e/ou demanda que impacta os preços domésticos e/ou internacionais dos insumos e/ou dos produtos, mudanças na demanda de mercado (quantidade e qualidade), mudanças nos requerimentos associados à segurança alimentar; mudanças na demanda de mercado relativas ao tempo de distribuição do produto; mudanças de reputação e confiança relativas à cadeia de suprimento.
<b>Risco da logística e da infraestrutura</b>	Mudanças nos custos de transporte, comunicação e de energia; degradação do transporte, comunicação e infraestrutura de energia; destruição física, conflitos, disputas trabalhistas que afetam transportes, comunicação, infraestrutura de energia e serviços.
<b>Risco de gestão e operacional</b>	Decisões ineficientes relativas à alocação dos ativos e uso de insumos; controle de qualidade deficiente; erros de planejamento e de previsão; avaria nos equipamentos da fazenda ou da empresa; uso de sementes obsoletas; falta de preparação para mudança de produto, processo e mercado; incapacidade de adaptação às mudanças nos fluxos financeiros e de trabalho.
<b>Riscos institucionais e de política pública</b>	Mudança e/ou incerteza acerca das políticas monetárias, fiscais, financeiras (crédito, poupança e seguro), regulatórias e legais, comerciais, de terras etc. Fraca capacidade institucional para implantar regras regulatórias.
<b>Risco político</b>	Instabilidade sócio-política do país ou em países vizinhos, interrupção de comércio em razão de disputas com outros países, confisco de ativos especialmente em relação a investidores estrangeiros

Fonte: Adaptado de Jaffee et al. (2008).

Para lidar com a diversa gama de vetores de riscos existentes, uma variedade de ações e estratégias pode ser escolhida pelo produtor ao longo de seu ciclo produtivo. As ações específicas de gerenciamento de risco podem ser classificadas em três tipos distintos: prevenção, mitigação e enfrentamento. A prevenção atua de forma a reduzir a frequência de ocorrência de eventos adversos. A mitigação busca reduzir o potencial impacto de eventos adversos pela transferência das consequências do risco a outros agentes através de instrumentos contratuais e/ou financeiros. Por último, o enfrentamento se caracteriza por ações de redução dos efeitos de eventos adversos já ocorridos (OSAKI,

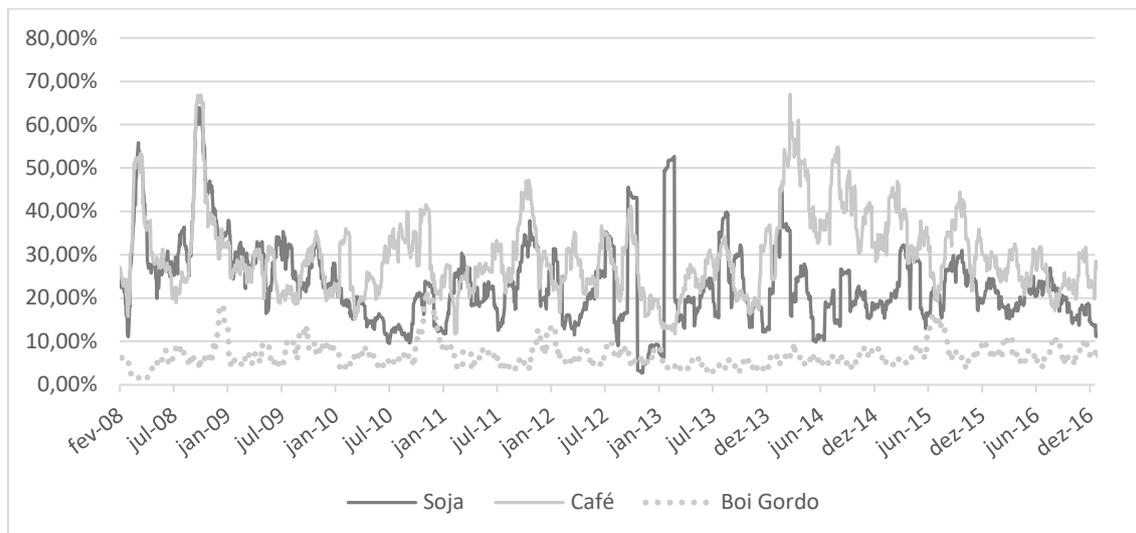
2007; BERG ET AL, 2006; TURVEY, 2001). Os próximos tópicos apresentam os mais tradicionais instrumentos de mitigação do risco de preço e de produção.

## **1.2 – Mitigação do Risco de Preço**

As flutuações dos preços de insumos e produtos finais no mercado interno e externo podem se mostrar fator de risco central para o sucesso ou fracasso de negócios. Intensas oscilações nos preços são capazes de inviabilizar empreendimentos de elevada eficiência operacional no setor agrícola. Neste contexto, produtores precisam conhecer a dinâmica dos preços em seu mercado de atuação para definir suas estratégias de gestão do risco (BUAINAIN & SILVEIRA, 2017).

A volatilidade dos retornos do preço de um ativo ou commodity é uma medida usualmente utilizada para análise do risco de preço. A Figura 1, a seguir, apresenta a volatilidade anual da soja, café e boi gordo no Brasil, utilizando janela móvel de 30 dias, no período 2008 e 2018. Os dados mostram momentos de picos na volatilidade dos preços, o que, conseqüentemente, indica aumento do risco de preço do produtor. Enquanto commodities como soja e café, caracterizados por apresentarem formação de preços no mercado internacional, apresentaram volatilidade na faixa de 20% a 40% ao ano, o risco no mercado de boi gordo, cujas cotações se formam no mercado doméstico, esteve próximo a 10% a.a.

**Figura 1.** Volatilidade de 30 dias anualizada dos preços à vista da soja, boi gordo e café no período 2008-2016.



Fonte: CEPEA (2018). Elaboração Própria.

Ademais, Capitani e Mattos (2017) sugerem que algumas *commodities* como soja e açúcar possuem grande volatilidade de preços, porém, com pequenas probabilidades de perdas extremas, enquanto outras como trigo, arroz e café apresentam pequena dispersão em seus preços e retornos, mas com altas probabilidades de perdas extremas, reforçando a necessidade do uso de ferramentas diversas como forma de gerir o risco de preços.

Além da diversificação da cultura e da adoção de integração vertical por parte das agroindústrias, a gestão do risco de preço pode ser realizada pelos chamados contratos de derivativos. Tendo como função econômica principal a mitigação das oscilações dos preços a partir das denominadas operações de *hedge*, esses instrumentos podem ter características específicas, sendo negociados em mercados de bolsa e de balcão (HULL, 2008).

### 1.2.1 – Derivativos no Agronegócio

Frente à importância do risco de preço no setor agrícola, o uso de derivativos se mostra central para a definição de estratégias eficientes para sua gestão. No mercado de derivativos tradicional, há instrumentos em todas as categorias (futuro, termo, opções e swap) que podem ser utilizados por produtores (e demais agentes) em estratégias de mitigação do risco de preço.

No mercado a termo, são negociados contratos customizados, em que, em geral, as partes acertam um preço do ativo para liquidação em data futura, sendo tal liquidação financeira ou física. Nesse mercado, dois instrumentos se destacam como principais dispositivos utilizados pelos agentes do agronegócio, o *Barter* e a Cédula de Produto Rural (CPR) (FORTUNA, 2011).

- **Operações de *Barter*:** a partir de uma transação triangular, o produtor se compromete a entregar parte de sua produção a uma *trading*, recebendo em troca os insumos necessários ao plantio. Após o recebimento da produção, a *trading* realiza a venda da *commodity* e paga a empresa de insumos.

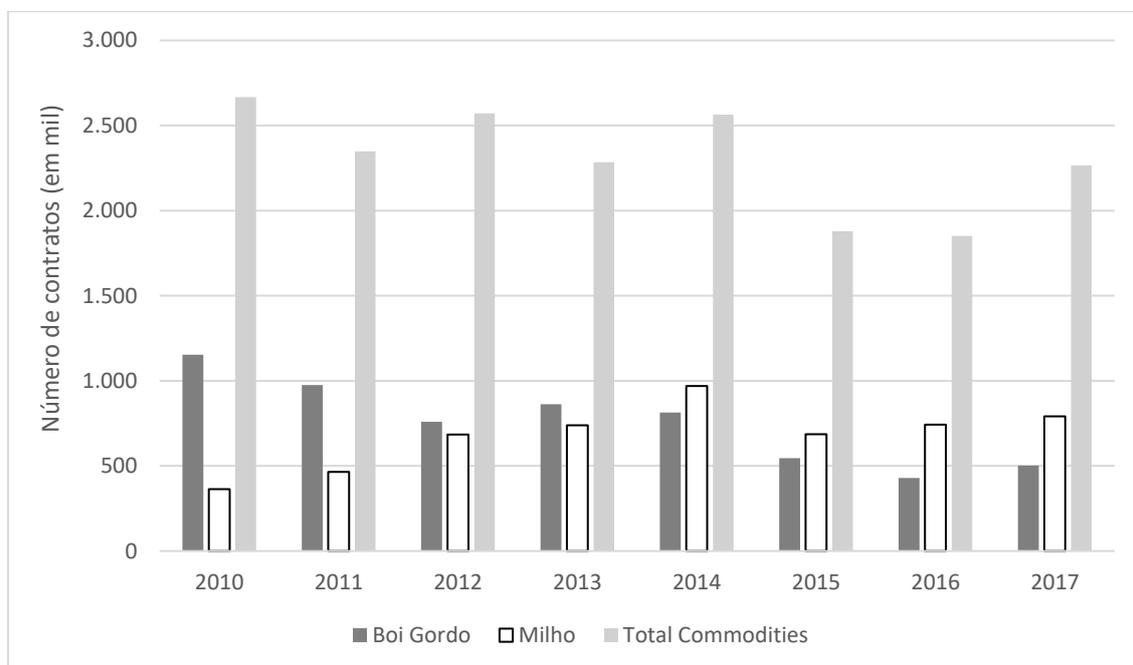
Tais operações são comumente realizadas por produtores de milho, soja, café, algodão e açúcar. Essas operações trazem consigo diversas vantagens para o produtor. Primeiramente, a redução do risco de preço dos insumos e do produto final, pois na realização do contrato ambos os preços são determinados entre as partes. Em segundo lugar, a operação opera como financiamento da produção ao permitir o recebimento dos insumos e pagamento apenas após o ciclo produtivo. E, por último, diminui os riscos de comercialização, pois parte do risco é transferido à *trading* que adquiriu parte da produção. Por outro lado, a utilização desse tipo de operação acaba por permitir que grandes *tradings* atuando do mercado capturem parcelas maiores da rentabilidade do setor, dado que grande parte dessas empresas atua tanto na comercialização de fertilizantes quanto na de grãos (SAES & SILVEIRA, 2014).

- **Cédula de produto rural:** a emissão de uma CPR por um produtor rural (cooperativa ou associação de produtores) permite a obtenção de recursos antecipados da venda da produção. O emitente do título (produtor) se compromete a pagar o investidor em data futura, nas condições compactuadas em contrato. Tais operações podem ter liquidação física, com entrega da commodity negociada ao final do contrato ou financeira, com o valor de liquidação do contrato podendo variar conforma o movimento dos preços e os termos negociados no contrato. A negociação dos contratos se dá em ambiente de bolsa ou balcão (FORTUNA, 2011; SILVA & LAPO, 2012).

O mercado futuro também pode ser utilizado pelos produtores com o objetivo de mitigar o risco de preço. A operação com contratos futuros em ambiente de bolsa é

comumente utilizada para limitar a flutuação dos preços pelos agentes do mercado agrícola. Contratos nesse mercado são padronizados e o risco de contraparte é mitigado em grande parte pela atuação da *clearing house*. Diferentemente do mercado a termo, aqui as operações possuem ajustes diários das posições, de forma que desembolsos e recebimentos ocorrem diariamente pelos agentes que atuam nesse mercado (FORTUNA, 2011). No Brasil, derivativos agropecuários de milho, boi gordo, café arábica, soja, açúcar e etanol são negociados na B3, existindo maior liquidez para os dois primeiros mercados – Figura 2.

**Figura 2.** Contratos futuros sobre commodities negociados na B3 entre 2010 e 2017.



Fonte: B3 (2018). Elaboração Própria.

As opções se constituem em instrumentos alternativos para gestão do risco de preço. Negociadas em ambientes de bolsa ou de balcão, tais contratos garantem ao produtor uma forma interessante de se protegerem das oscilações das cotações. A partir da compra de opções de venda (*puts*), os produtores obtêm um direito de vender o ativo a um preço predeterminado. Estabelecem, assim, um preço mínimo de venda de seu produto. Na bolsa brasileira, B3, é possível negociar opções de milho, soja, açúcar cristal, café, boi e etanol hidratado

### **1.3 – Mitigação do Risco de Produção**

Diante de um cenário de mudanças climáticas, o risco de produção na agropecuária tende a se elevar. Em estudo realizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e citado por Marcovitch (2010), mostra-se a existência de elevação da temperatura na América do Sul, o que tem influenciado mudanças no ciclo hidrológico. Tal quadro, segundo o autor, acaba por contribuir para ocorrência de eventos climáticos extremos, os quais impactam a produtividade das culturas e alteram o quadro de incidência de doenças e pragas no campo. De acordo com a FAO (2015), de 78 relatórios de necessidades pós-catástrofes analisados em 48 países, entre 2003 e 2013, um quarto apresentou forte incidência sobre as atividades agropecuárias, sendo os principais motivos secas e enchentes (BUAINAIN & SILVEIRA, 2017).

Dois efeitos distintos que fenômenos catastróficos trazem ao setor agrícola podem ser apontados. Em primeiro lugar, as consequências espaço-temporais, em que o fenômeno pode afetar diversos municípios simultaneamente, levando a graves consequências para o PIB local. Em segundo lugar, os efeitos multiplicadores setorial e temporal. O primeiro decorre dos efeitos encadeados que uma crise no setor agrícola leva para os outros setores da economia, dependentes de sua produção, enquanto o segundo decorre do tempo que o setor leva para absorver o choque, o que pode levar à persistência de tais efeitos nos períodos subsequentes ao evento (OZAKI, 2007).

Diante disso, o uso de instrumentos de prevenção e mitigação do risco de produção se torna fundamental. Dois mecanismos importantes são o zoneamento agrícola e a adoção de tecnologias apropriadas por parte dos produtores. Outro instrumento relevante ao setor é o seguro rural. Através desses instrumentos, torna-se possível transferir a um terceiro, as consequências de eventos climáticos prejudiciais ao produtor.

#### **1.3.1 – Seguro Rural**

Formalmente, pode-se definir um seguro como um mecanismo de transmissão de uma despesa futura incerta de valor elevado (indenização), por uma despesa antecipada e certa de valor menor (prêmio). Para o funcionamento eficiente do mercado de seguro,

algumas condições mínimas são requeridas. Tais questões são chamadas de Condições de Segurabilidade. Dificilmente um mercado consegue cumprir todas as condições rigorosamente, porém o bom funcionamento dos contratos requer o cumprimento de boa parte dos requisitos, os quais são listados a seguir, conforme Ozaki (2007):

1. A perda esperada deve ser calculável, porém, no caso do setor agrícola a produtividade das propriedades rurais é de difícil mensuração com a precisão adequada para o contrato.
2. As circunstâncias da perda devem ser bem definidas. Além disso, devem ser não intencionais.
3. Grande número de unidades expostas, homogêneas e independentes. Aqui se supõe que as unidades seguradas estejam geograficamente dispersas, ou seja, não sejam correlacionadas entre si.
4. O prêmio deve ser economicamente viável. Porém, é importante ressaltar que, em caso de cobertura de risco de alta frequência e baixa severidade, o aumento do custo de transação do contrato é considerável, podendo inviabilizá-lo economicamente.
5. Não haja perda catastrófica.

Diversos problemas limitam a capacidade de crescimento do seguro rural como instrumento de gestão do risco de produção. Ozaki (2007) aponta problemas intrínsecos ao produto, independente da estrutura normativa e legal do mercado onde é comercializado. Risco moral e seleção adversa são inconvenientes constantemente apontados na literatura como centrais para o difícil desenvolvimento desse produto (TURVEY, 2001; MARTIN ET AL., 2001; BERG ET AL., 2004). Essas dificuldades decorrem da cobertura sobre a produtividade da safra proporcionada pelo seguro, o que permite a alguns produtores não executarem as melhores práticas no desempenho da atividade, dado que a seguradora é incapaz de observar se o produtor utilizou adequadamente os fatores de produção (fertilizantes, defensivos, etc.), caracterizando o risco moral. Em consequência disso, o custo do seguro no mercado acaba se elevando, expulsando a parcela de produtores que possui boa gestão (WORLD BANK, 2005; OZAKI, 2007).

A seleção adversa ocorre no mercado de seguros quando os indivíduos mais sujeitos a eventos adversos são os mais propensos a demandá-lo. No caso do seguro rural,

tal dificuldade pode surgir como consequência da elevação do prêmio pelo risco moral. A saída dos produtores de boa gestão do mercado aumenta o risco agregado do produto pelo aumento da participação dos produtores de gestão ineficiente, mais sujeitos a perdas. Assim, caso a seguradora precifique o produto com base no risco médio, duas situações ocorrem: i) o prêmio cobrado será maior que os produtores de baixo custo estão dispostos a entrar no mercado e ii) o prêmio será menor que aquele que os produtores de risco elevados estão dispostos a pagar (OZAKI, 2007).

Somam-se aos problemas acima a alta exposição a eventos catastróficos<sup>1</sup>, a abrangência restrita dos contratos e o elevado custo de fiscalização e peritagem, o que culmina em um produto de risco elevado para as seguradoras que, conseqüentemente, acaba tendo custo elevado para os produtores. Por outro lado, na ótica dos produtores, o uso desses contratos possui dificuldades relacionadas à avaliação do efeito de eventos climáticos adversos sobre a produtividade. Como o produtor depende da avaliação da seguradora sobre as condições de sua lavoura para receber a indenização, problemas de estimação podem ocorrer frente ao nível real das perdas, reduzindo a capacidade do seguro de proteger a receita dos produtores (WORLD BANK, 2005).

A baixa margem de cobertura proporcionada pelo seguro rural para os produtores também atua negativamente sobre o desenvolvimento do setor. O rendimento garantido nas operações pode ser menor que a produtividade mínima apresentada pelo produtor nos últimos anos, de forma que o seguro deixa de ser uma garantia para sua rentabilidade (BUAINAIN ET AL., 2011).

Para o caso brasileiro, as principais dificuldades estão na concentração do risco no espaço e em culturas específicas, a alta exposição a eventos catastróficos, o pouco conhecimento da mecânica operacional dos contratos de seguro e a cultura dos produtores (OZAKI, 2007; ALMEIDA, 2007). Esses processos acabam por potencializar a seleção adversa no setor, aumentando o custo do prêmio. Além disso, a cultura dos produtores e o desconhecimento dos produtos disponíveis no mercado atuam também para a difícil massificação do seu uso. Diferentemente dos mercados europeu e americano, o produtor brasileiro não possui cultura de segurar sua produção (ALMEIDA, 2007).

---

<sup>1</sup> O risco catastrófico se caracteriza quando o valor da indenização ultrapassa 100% do valor do prêmio. De acordo com World Bank (2005), o risco catastrófico deveria ser de responsabilidade do setor público, enquanto os riscos de menor magnitude absorvidos pelo setor privado.

### 1.3.2 - Derivativos Climáticos

O uso dos derivativos climáticos abre novas alternativas de gestão do risco de produção aos agentes de diversas etapas da cadeia produtiva do agronegócio. O desenvolvimento desse mercado permite mudanças nas estratégias de gestão do risco através da substituição do seguro rural tradicional (*crop yield*) pelos seguros atrelados a índices climáticos ou aos próprios contratos de derivativos climáticos. A utilização desses instrumentos na mitigação do risco de produção é avaliada em diversos estudos apresentados no capítulo seguinte. Tais estudos ratificam sua capacidade de aperfeiçoamento para a gestão de risco dos produtores agrícolas. Tanto derivativos climáticos, quanto seguros atrelados a variáveis climáticas, apresentam características semelhantes e, para fim da presente análise, serão discutidos de forma agrupada.

Dentre alguns dos estudos sobre o tema, Morduch (2001), Turvey (2001) e Ciumas et al. (2012) apontam que o uso de derivativos climáticos, ou seguros rurais atrelados a variáveis climáticas, reduzem sensivelmente os problemas existentes nos contratos baseados em indicadores de produtividade (*crop yield*). Ao terem seus *payoffs* atrelados a variáveis climáticas, as quais não são determinadas pelo comportamento do segurado, os derivativos climáticos incentivam a utilização das melhores práticas de gestão da lavoura, reduzindo o risco moral na atuação dos produtores. Ademais, existe uma redução da seleção adversa, pois produtores que adotam as melhores práticas de plantio passam a ter incentivo à contratação da operação. A atuação conjunta desses dois processos leva à redução no risco agregado do produto na ótica das seguradoras, o que, conseqüentemente, reduz o custo do seguro no mercado.

A estrutura de pagamento dos derivativos também possui vantagens relevantes frente à utilizada pelo seguro tradicional. Em primeiro lugar, o valor da indenização é independente da produtividade obtida pela lavoura, não sendo necessária a avaliação da seguradora. Isso permite uma maior clareza para o produtor no comportamento das variáveis relevantes para o recebimento da indenização, além de um menor risco de problemas na estimação de suas perdas. Em segundo lugar, há uma queda no custo do seguro para a seguradora, decorrente da baixa necessidade de fiscalização e perícia para o cálculo da indenização ao final do contrato (TURVEY, 2001; BERG ET AL., 2004).

Outro ponto relevante que os derivativos climáticos apresentam é a maior transparência do desempenho do contrato ao longo do tempo. Tanto produtor quanto seguradoras possuem capacidade de acompanhar o desempenho da variável climática ao longo do prazo do contrato, o que permite que ambas as partes possam estimar com maior precisão o valor a ser pago ou recebido ao término do contrato (STOPPA & HESS, 2003).

## **CAPÍTULO 2 - DERIVATIVOS CLIMÁTICOS: CONCEITOS E OPERACIONALIZAÇÃO**

Novos instrumentos para gestão de risco de preço e de produção têm sido desenvolvidos nas últimas décadas com o intuito de oferecer aos agentes de diferentes atividades produtivas meios de proteção contra oscilações na renda. Mais recentemente, os riscos climáticos, que acarretam em incertezas sobre a produção e preços, têm sido gerenciados com o uso de derivativos baseados em diferentes variáveis, como temperatura, nível de pluviosidade, quantidade de neve, vento, geada, furacão, entre outros.

Neste contexto, este capítulo tem o objetivo de apresentar as características e mecânica operacional dos derivativos climáticos. Além disso, busca-se fornecer um panorama dos estudos até aqui realizados a respeito destes instrumentos no gerenciamento de riscos da atividade agrícola.

### **2.1 - Derivativos climáticos: surgimento e características principais**

Conforme já observado na Introdução deste trabalho, o início das negociações dos derivativos de clima ocorreu entre os anos 1990 e início dos anos 2000 nos EUA. O primeiro instrumento negociado nos moldes modernos foi transacionado entre a Aquilla Energy e a ConEdison Company. A operação foi estruturada para que a Aquilla Energy vendesse energia elétrica com desconto para a ConEdison Company caso as temperaturas do mês de agosto de 1996 fossem mais baixas que as esperadas (WEAGLEY, 2014).

O ativo subjacente em tais contratos consistiu, originalmente, nas temperaturas de regiões norte-americanas, proporcionando um meio de mitigar o risco de variabilidade no preço da energia elétrica, decorrente de mudanças em seus níveis de consumo (CME, 2010). Derivativos baseados em índices meteorológicos também foram desenvolvidos, sendo estes baseados na pluviosidade de determinadas regiões. Com isso, obteve-se um meio alternativo de gerir, por exemplo, o risco de flutuações na produtividade agrícola e na produção de energia elétrica, resultantes de variações na pluviosidade de uma região.

Um contrato de derivativo climático padrão apresenta os seguintes atributos: periodicidade (data de início e encerramento da operação), estação de medida, variável climática, índice *proxy* da variável climática que o contrato busca acompanhar, função de

*payoff* e, para algumas estruturas contratuais, um prêmio (pago pelo contratante no início da operação). O valor de tais papéis varia conforme a ocorrência de eventos climáticos como, por exemplo, flutuações na temperatura, o volume de chuvas, a quantidade de neve, geadas, granizos, entre outros (JEWSON & BRIX, 2005). Diferente dos contratos de derivativos tradicionais, o derivativo climático não possui ativo-objeto transacionável no mercado, como ações, moedas ou *commodities*.

Dados divulgados pela Weather Risk Management Association (WRMA, 2011), para o período 2010-2011, mostram o tamanho do mercado dos derivativos de clima e os principais produtos negociados pelos agentes. O valor negociado no mercado de balcão (*over-the-counter* - OTC) no mundo chegou à marca de US\$ 2,45 bilhões, sendo o valor médio dos contratos igual a US\$ 1,98 milhões para os contratos de verão e US\$ 2,65 milhões para os contratos de inverno. No mercado de bolsa, aqui representado pelos contratos negociados na Chicago Mercantile Exchange (CME Group), o valor negociado foi de US\$ 9,38 bilhões, sendo negociados 466 mil contratos no período citado anteriormente.

Os instrumentos mais negociados nesse mercado possuem como ativo-objeto a temperatura, chegando a quase 70% dos contratos negociados no mercado de balcão e próximo da totalidade dos contratos negociados em bolsa. Derivativos baseados em precipitação possuem participação relevante no mercado de balcão, chegando a cerca de 20% da participação do mercado. Grande parte dos contratos OTC é negociada na Europa, representando algo em torno de 60% das operações, seguido pelos EUA, com 25% do mercado. A situação se inverte quando se analisa o mercado de bolsa, onde mais de 90% dos contratos são transacionados nos EUA.

Atualmente, podem ser negociados na CME Group contratos futuros e opções climáticos, sendo os instrumentos baseados na temperatura de 10 cidades diferentes, tanto nos EUA (oito cidades), quanto na Europa (duas cidades), tal como representado na Figura 3. Os contratos seguem duas estruturas de periodicidade diferentes, podendo ser mensais ou sazonais. Este último resulta do desempenho obtido pela variável climática ao longo de vários meses, facilitando a atuação de *hedgers* que tenham interesse em proteger sua produção por períodos mais longos. Grande parte do interesse nesse mercado advém de empresas do setor de energia, seguidos pelo setor de construção e, em terceiro lugar, a agricultura (WRMA, 2011).

**Figura 3.** Derivativos climáticos comercializados em ambiente de bolsa no mundo.



Fonte: CME Group (2018)

## 2.2 - Estrutura dos contratos

Os derivativos climáticos são compostos basicamente por contratos a termo, contratos futuros e opções. Os primeiros contratos dessa natureza a surgirem possuíam seu ativo-objeto vinculado a alguma variável climática, normalmente temperatura ou pluviosidade, enquanto os instrumentos mais recentes englobam outras variáveis ou eventos climáticos como furacões, geadas, tornados, etc. Tais papéis são negociados tanto em mercado de bolsa (contratos futuros e opções) quanto balcão (contratos a termo e opções) (JEWSON & BRIX, 2005). As características específicas de cada um destes contratos são avaliadas a seguir.

### 2.2.1 - Contratos a termo e futuros

A partir da ótica de um agente com a posição comprada (*long*), o resultado de um contrato a termo ou futuro climático sem limitação financeira pode ser apresentado da seguinte maneira:

$$PO(x) = D(x - K) \quad (1)$$

em que,  $PO$  representa o *payoff* do contrato,  $D$  é o valor monetário estabelecido para cada unidade do índice climático (seu ativo-objeto),  $x$  é o valor do índice para o período do contrato e  $K$  é o *strike price* da operação.

Os contratos com limitação apresentam composição semelhante. Aqui os valores de  $L_{\$}$ ,  $L_1$  e  $L_2$  são, respectivamente, o limite em valor monetário e os limites superior e inferior para o índice utilizado no contrato em questão (JEWSON; BRIX, 2005).

$$PO(x) = \begin{cases} -L_{\$} & \text{se } x < L_1 \\ D(x - K) & \text{se } L_1 \leq x \leq L_2 \\ L_{\$} & \text{se } x > L_2 \end{cases} \quad (2)$$

De forma geral, ambas as operações não possuem custo para o agente na contratação, ou seja, não possuem o pagamento de prêmio no início do contrato. Um agente comprado (vendido) nessa operação está se segurando contra aumento (queda) do índice climático.

Operações realizadas em ambiente de balcão apresentam, em geral, liquidação apenas ao final do contrato. Por outro lado, contratos realizados dentro do ambiente de bolsa apresentam ajustes diários das posições. As operações atualmente mais negociados em mercados de bolsa são derivativos que possuem como evento climático a variação na temperatura. Tais contratos trabalham com dois índices principais: o *Heating Degree Day* (HDD) e o *Cooling Degree Day* (CDD). Os índices possuem esses nomes devido à sua ligação com o mercado de energia elétrica, onde surgiram as primeiras operações deste tipo. Em dias mais frios (índice HDD maior), o uso de equipamentos de aquecimento aumenta e, conseqüentemente, o consumo de energia elétrica se eleva. Situação semelhante ocorre para os dias mais quentes (índice CDD maior), em que o uso de ar-condicionado se acentua, elevando o consumo de energia (WEAGLEY, 2014).

Ambos os índices capturam a variação da temperatura diária de um local durante um período predeterminado de tempo. De forma geral, tais contratos possuem

periodicidade mensal, com o resultado financeiro da operação atrelado ao valor obtido pelo índice, conforme expresso nas equações 3 e 4 (CME GROUP, 2010; WEAGLEY, 2014).

$$HDD_{im} = \sum_{t=1}^{T_m} \max\{65 - Temp_{it}, 0\} \quad (3)$$

$$CDD_{im} = \sum_{t=1}^{T_m} \max\{Temp_{it} - 65, 0\} \quad (4)$$

sendo  $HDD_{im}$  ( $CDD_{im}$ ) os índices para o aquecimento (resfriamento) da locação  $i$  no mês  $m$ ,  $T_m$  o número de dias do mês  $m$  e  $Temp_{it}$  é a temperatura média para a área  $i$  no dia  $t$ . O índice é definido como a média aritmética simples entre a temperatura máxima e mínima no dia, de acordo com CME Group (2010). Considerando os contratos climáticos operacionalizados na CME, aqueles negociados para cidade localizadas nos EUA, as temperaturas são dadas em graus Fahrenheit, e o valor de 65° é tido como temperatura média, em que o uso de aquecimento ou refrigeração não varia.<sup>2</sup> A forma de cálculo do *payoff* desses contratos precifica o índice, dando um valor monetário para cada unidade, de forma que quanto maior o valor do índice, maior o *payoff* do contrato.

Tais contratos podem ser utilizados, por exemplo, por um produtor de trigo que queira se proteger de um inverno rigoroso. Para isso, é possível adquirir um contrato futuro baseado em HDD. Nesse exemplo, se as temperaturas durante o período de vigência da operação forem mais baixas que o valor estipulado em contrato (65° F), o índice HDD sobe, de forma que a posição futura do agente permite o recebimento de recursos que compensem a perda de produtividade de sua safra decorrente das temperaturas mais baixas (JONES, 2007).

### 2.2.2 - Opções climáticas

Opções de compra (*calls*) e opções de venda (*puts*) de clima são negociadas nos mercados de bolsa e de balcão. Em geral, possuem modalidade europeia, ou seja, o exercício do direito de comprar (nas *calls*) ou vender (nas *puts*) só pode ser realizado no vencimento do contrato. Com relação ao mecanismo de indenização, tais contratos são estruturados de forma semelhante aos contratos futuros, seja pelo estabelecimento de um

---

<sup>2</sup> No caso de contratos negociados para cidades europeias, é utilizado o índice CAT (*Cumulative Average Temperature*), o qual é definido com a soma das temperaturas médias para a localidade durante a vigência do contrato.

valor monetário para cada unidade do índice, ou através da determinação de uma indenização limite. As equações 5 e 6, a seguir, apresentam as estruturas de *payoff* das opções de compra e venda, respectivamente:

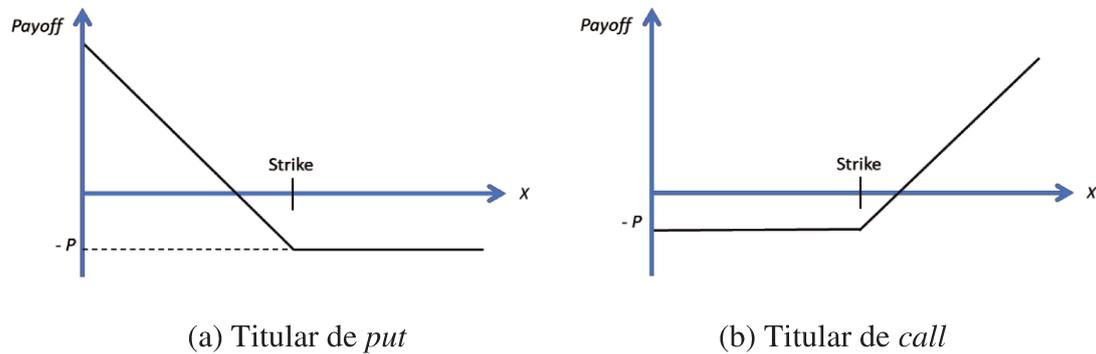
$$Call(x): PO = \begin{cases} D(x - K) & \text{se } x > K \\ 0 & \text{se } x \leq K \end{cases} \quad (5)$$

$$Put(x): PO = \begin{cases} 0 & \text{se } x \geq K \\ D(K - x) & \text{se } x < K \end{cases} \quad (6)$$

Onde  $x$  é o índice escolhido como ativo-objeto do contrato,  $K$  é o *strike* e  $D$  é o valor monetário do índice. Para a *call (put)*, o *strike* é usualmente definido entre zero e um desvio padrão acima (abaixo) do valor esperado para o índice. O valor total do lucro em tais contratos se dá pelo resultado obtido no *payoff* menos o valor pago de prêmio na contratação da operação. O uso de opções se mostra relevante para alguns agentes devido à limitação do risco da operação ao valor pago como prêmio no início do contrato (JEWSON & BRIX, 2005).

Na aquisição de uma *call (put)*, o agente está em busca de proteção contra possíveis aumentos (quedas) do índice utilizado no contrato. Nesses contratos, o comprador da *call* possui, teoricamente, potencial ilimitado de lucro no *upside* (altas), enquanto no *downside* (quedas) arrisca apenas o prêmio pago na contratação da operação (JONES, 2007). Por outro lado, na aquisição de uma *put*, os *payoffs* apresentam, em geral, valores limites. Isso decorre do fato de muitas das variáveis relativas a preço e clima (como pluviosidade, volume de neve e vento) não apresentarem valores negativos. Ou seja, quando a variável de interesse tende a zero, o *payoff* tende ao seu valor máximo (igual ao *strike* menos o prêmio). A Figura 4 a seguir apresenta o resultado do *payoff* decorrente de variações no valor do índice para cada contrato pela ótica do comprador (titular da opção), sendo  $P$  o prêmio pago pelo contratante da operação ao emissor do instrumento.

**Figura 4.** *Payoffs* no mercado de opções.



Fonte: Elaborado pelo autor.

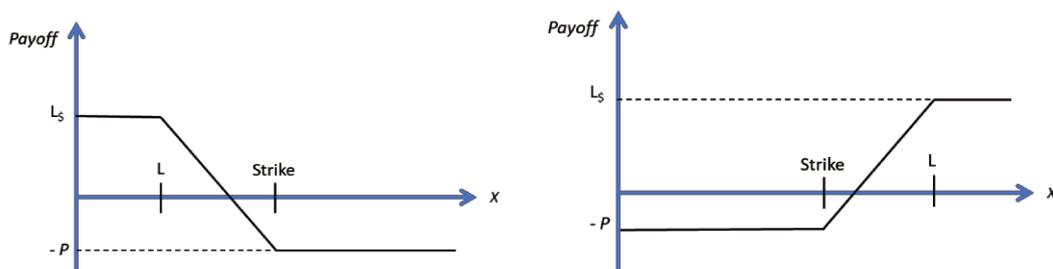
As opções também apresentam a possibilidade de serem estruturadas com limite financeiro ao *payoff*. Esses contratos podem ser tanto *calls* quanto *puts* e são muito semelhantes aos apresentados na seção anterior, porém aqui o limite atua em apenas um dos lados da distribuição, conforme as equações a seguir (JONES, 2007).

$$Call(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < K \\ D(x - K) & \text{se } K \leq x \leq L \\ L_{\$} & \text{se } x > L \end{cases} \quad (7)$$

$$Put(x) = \begin{cases} L_{\$} & \text{se } x < L \\ D(x - K) & \text{se } L \leq x \leq K \\ 0 & \text{se } x > K \end{cases} \quad (8)$$

Conforme observado anteriormente, o uso de limites para *puts* climáticas nem sempre é necessário devido à existência de limitação física para valores negativos de muitas variáveis climáticas. O uso de limitadores pode se mostrar necessário para contratos que utilizem índices que podem atingir valores negativos – exemplo: temperatura. Operações realizadas com limitação no *payoff* seguem o comportamento apresentado na Figura 5.

**Figura 5.** *Payoffs* limitados no mercado de opções.



(a) Titular de *put*(b) Titular de *call*

Fonte: Elaborado pelo autor.

Opções climáticas podem ter como ativo-objeto, por exemplo, o volume de precipitação em determinada região. Nessas operações, o titular do instrumento busca se proteger de variações da pluviosidade durante o período de vigência do contrato. Como exemplo, considere uma localidade com média aritmética histórica de precipitação em torno de 100 mm para o período de um mês. São simulados dois contratos distintos (uma *call* e uma *put*), em que  $x$  é o valor da pluviosidade acumulada no período. A *call* é contratada com limitador de 200 mm. Para a *put* não é necessário o uso de limitador dado que pluviosidade não apresenta valores negativos. Os contratos teriam a seguinte estrutura de *payoff*:

$$Call(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x < 100 \\ D(x - K) & \text{se } 100 \leq x \leq 200 \\ L_{\$} & \text{se } x > 200 \end{cases} \quad (9)$$

$$Put(x) = \begin{cases} L_{\$} & \text{se } x = 0 \\ D(x - K) & \text{se } 0 < x \leq 100 \\ 0 & \text{se } x > 100 \end{cases} \quad (10)$$

Para as *calls*, o agente titular da opção estaria recebendo a indenização em períodos em que a pluviosidade acumulada tenha sido maior que 100 mm, se protegendo de excesso de chuvas que possam prejudicar sua produção. No exemplo acima, foi determinado um valor limite de 200 mm – ou seja, a partir deste patamar, o volume de chuva não afeta o resultado final do contrato.

No caso da *put*, a situação se inverte. A indenização passa a ocorrer em períodos em que o volume de chuvas for menor que 100 mm. No caso limite de seca (nenhuma precipitação), o agente recebe o valor limite da indenização possível pelo contrato. Tais instrumentos podem ser utilizados por produtores com o objetivo de protegerem suas receitas em situações de estiagem.

### 2.3 - Uso de derivativos climáticos na agricultura: uma revisão de literatura

O aprofundamento do mercado de derivativos climáticos pode abrir espaço para um novo período de desenvolvimento do mercado de seguro rural devido às vantagens que esses instrumentos apresentam. Assim, a partir dos anos 2000, muitos estudos foram feitos com o intuito de explorar as reais capacidades desses contratos de mitigar o risco de produção em diversas culturas e regiões. Um dos primeiros trabalhos a buscar uma organização sistemática dos desenvolvimentos mais recentes no segmento foi feito por Lablois e Quirion (2013). Em seu trabalho, são retomados três das principais experiências recentes sobre o uso de derivativos climáticos em países em desenvolvimento: Índia, Etiópia e Malawi. Os autores apontam que, apesar dos resultados positivos obtidos no número de produtores segurados, o custo fiscal dos programas, decorrente da necessidade de subvenção do prêmio a ser pago pelos agricultores, e a dificuldade de mensuração dos efeitos diretos aos pequenos produtores tornam os benefícios dessas experiências questionáveis.

Estudo de caráter complementar foi feito por Seth et al. (2009) com agricultores de pequeno porte na Índia. Os autores buscaram entender os determinantes da utilização de derivativos climáticos pelos produtores. A partir das respostas obtidas em questionários, modelos probit e logit foram usados com o intuito de identificar as variáveis mais relevantes na tomada de decisão. Os resultados obtidos apontam que a probabilidade do uso de derivativos climáticos aumenta com a queda do valor do prêmio, com o aumento da escolaridade do produtor e com maior conhecimento sobre diferentes produtos de seguro rural. Interessante apontar que a probabilidade também aumenta quando o produtor tem interesse em se segurar contra flutuações na pluviosidade, e ainda mais quando a proteção se dá por meio de índice híbrido entre temperatura e pluviosidade. Por último, os autores realizaram o cálculo do valor que os produtores estariam dispostos a pagar na contratação do seguro, chegando ao valor de 8,8% do *payout* máximo da operação.

Khan et al. (2013), em trabalho semelhante, avaliaram as práticas de gestão relativa ao risco climático dos produtores de grão da província de Saskatchewan, Canadá, em uma região caracterizada por uma alta incidência de eventos climáticos de baixa severidade. A partir de informações obtidos em questionários respondidos por 397 produtores, constatou-se um baixo uso de derivativos climáticos (menos de 10% dos produtores). A baixa penetração do produto tem como principal razão o desconhecimento

sobre tais instrumentos - 59% dos que não utilizavam seguros baseados em índices climáticos não tinham conhecimento dessa modalidade contratual. Importante ressaltar que tais resultados se deram em ambiente de elevada insatisfação dos produtores locais com os seguros tradicionais comercializados na região.

A efetividade do *hedge* com derivativos de clima foi objeto de diversos estudos realizados a partir dos anos 2000 (TURVEY, 2001; MARTIN ET AL., 2001; STOPPA; HESS, 2003; VEDENOV; BARNETT, 2004; BERG ET AL., 2004; TORRIANI ET AL., 2008; MUSSHOF ET AL., 2011; PELKA; MUSSHOF, 2013). Como um exemplo desse tipo de estudo, Vedenov e Barnett (2004), baseando-se nas principais praças produtoras de milho, algodão e soja dos Estados Unidos, concluíram que a efetividade de tais instrumentos varia conforme a região produtora e cultura analisada. Já o estudo de Berg et al. (2004) teve foco na produção de batatas da Alemanha, observando que, em situações onde a correlação entre o índice utilizado no derivativo e a produtividade da lavoura era menor que 0,6, a redução do risco climático do produtor era pequena. O estudo de Stoppa e Hess (2003), por sua vez, avaliou o uso de derivativo vinculado a um indicador de pluviosidade acumulada para a gestão do risco climático na produção de grãos no Marrocos. A partir da construção de um indicador de pluviosidade ponderado pelos períodos de crescimento das plantas, os autores constataram que o índice em questão foi capaz de explicar 92% da variabilidade da produtividade. Analisou-se ainda a eficiência do *hedge* e verificou-se que a opção construída a partir do indicador foi capaz de reverter parte importante das perdas dos produtores decorrentes da baixa precipitação.

Turvey (2001), por outro lado, comparou a eficiência da cobertura de um seguro utilizando derivativos climáticos baseados em índices de temperatura e de pluviosidade para o feno, milho e soja, no Canadá. Enquanto para o milho e a soja, o derivativo de temperatura se mostrou mais eficiente, para o feno, o contrato de pluviosidade proporcionou melhores resultados. Martin et al. (2001) avaliaram ainda a gestão do risco de produção de algodão nos Estados Unidos a partir de um contrato de pluviosidade acumulada. Os autores, porém, analisaram a eficiência de uma *call* para chuvas em momento de colheita da safra, diferentemente dos trabalhos anteriormente citados, os quais trataram, de forma geral, de situações de baixa precipitação.

Já Pelka e Musshoff (2013), ao tomar como base a produção de trigo da região central da Alemanha, analisaram a efetividade de operações *hedge* com contratos de

opções de temperatura e de precipitação. Os resultados apontaram que o uso destes derivativos teve alto potencial de redução do risco relativo às receitas desta atividade. O estudo de Wang et al. (2013), ao analisar o mercado de milho na África do Sul, constatou que contratos que usam índices baseados em múltiplas variáveis apresentam melhores resultados na gestão de risco do produtor, decorrente de sua maior correlação com a produtividade da lavoura. Shi e Jiang (2016) em sua análise da produção de arroz da China também utilizam de contratos com múltiplas variáveis climáticas. Os autores ressaltam, porém, que, apesar dos bons resultados obtidos pelo contrato, a maior complexidade no cálculo do índice pode prejudicar a comercialização do contrato para produtores e seguradoras.

O trabalho de Musshoff et al. (2011), por sua vez, investigou o uso de opções de precipitação no nordeste da Alemanha, aplicando a análise para produção de trigo. Verificou-se que a efetividade do *hedge* se reduzia à medida que a fazenda do produtor se distanciava da estação meteorológica de referência, dada a elevação do risco de base, e quando existia baixa relação entre o índice pluviométrico e a produtividade agrícola.

Woodard e Garcia (2008a) avançaram as pesquisas na questão do risco de base, tendo como objeto de análise o mercado norte-americano de milho. Os resultados obtidos mostraram que tal risco não deve ser ignorado, porém isso não deve ser fator impeditivo para o uso de contratos de temperatura. Os autores apontam como variáveis com elevada correlação espacial podem compensar o risco de base, mantendo a eficiência do *hedge* obtido com contratos medidos com diferentes distâncias. Esse efeito fica mais claro ao se comparar contratos baseados em índices de temperatura com outros baseados em índices de pluviosidade. Devido a menor correlação espacial da pluviosidade, a perda de eficiência do *hedge* com a distância entre a unidade de medição e o local de produção é maior.

Manfredo e Richards (2009) também discutem o efeito do risco de base sobre os derivativos climáticos e mecanismos relevantes para sua mitigação. Ponto central do artigo reside no entendimento que, em situações onde o risco incorrido pela empresa apresenta comportamento não-linear, o uso de estratégias de *hedge* com instrumentos que possuem *pay-offs* também não-lineares permite melhores resultados. Como a relação entre a produtividade da lavoura e as variáveis climáticas em geral apresenta comportamento não linear, o uso de derivativos climáticos baseados em opções se mostra

uma estratégia de *hedge* mais eficiente. Os autores argumentam que essa melhor eficiência pode reduzir o risco de base nesses contratos, porém, para instrumentos baseados em pluviosidade, o risco de base ainda se mostra relevante devido à baixa correlação espacial da pluviosidade.

Em estudo complementar, Woodard e Garcia (2008b) observaram que, conforme se considera a exposição ao risco de produção de forma mais agregada, existe uma redução do risco diversificável (não sistemático). Restava, assim, o risco climático, o qual poderia ser gerenciado com derivativos de clima. Tal evidência revela o potencial de uso dos contratos pelas resseguradoras. Em consonância com boa parte dos estudos citados, Torriani et al. (2008) constataram que, apesar de um considerável risco de base, derivativos de pluviosidade apresentaram alto potencial de reduzir os riscos de produção de milho na Suíça.

Vale ainda apontar que outros mercados também foram alvo de pesquisas no que se refere ao uso de derivativos de temperatura no gerenciamento do risco climático. Chen et al. (2006), por exemplo, avaliaram o uso de opções de umidade relativa e de temperatura na gestão de produção de leite nos EUA. Diferentemente de muitos dos estudos empíricos na área, o instrumento analisado do estudo tinha como objetivo proteger a produção do excesso da variável climática, no caso a temperatura. Foi analisado o uso de opção de compra (*call*) para mitigar as perdas decorrentes da queda na produção de leite em períodos de elevada temperatura. Os resultados apontam para uma importante redução nas perdas dos produtores com a utilização do instrumento em substituição às tecnologias de redução da temperatura. A maior redução das perdas (48%) ocorreu na estratégia conjunta entre derivativos climáticos e equipamentos de redução da temperatura.

Deng et al. (2007) avaliaram ainda o efeito do risco de base temporal e espacial no setor lácteo americano, concluindo que o risco temporal pode ser mitigado ao se utilizarem estruturas contratuais diferentes para períodos quentes e frios. O risco espacial, por outro lado, é menos relevante devido à elevada correlação espacial da temperatura, corroborando as conclusões obtidas por Woodard e Garcia (2008a).

Os trabalhos de Cortina e Sánchez (2013), Cyr et al. (2010) e Zara (2010) examinaram a utilização de opções de temperatura na viticultura. Esses trabalhos dão especial importância aos possíveis efeitos que as mudanças climáticas podem trazer para

os resultados obtidos pelos contratos. Cortina e Sánchez (2013) argumentam que os dados obtidos apresentam tendência não desprezível, apontando para um processo de queda na temperatura mínima na região do estudo (Argentina). Tal processo pode elevar o risco de geadas tardias na região, prejudicando a capacidade do contrato de mitigar o risco de produção e elevando seu prêmio. Cyr et al. (2010) mostram como podem ocorrer não-linearidades nos extremos da distribuição (*tail-dependence*) da correlação entre a variável climática (pluviosidade) e a produtividade, e também sobre a correlação espacial da precipitação. Por último, o trabalho de Zara (2010) constatou redução de 35% na volatilidade da receita dos produtores com o uso de contratos climáticos de estrutura semelhante a CDDs, combinados com o uso de uma estratégia *strangle* de *hedge*, em que o agente adquire opções de compra (*call*) e venda (*put*) de uma mesmo ativo, para a mesma data de maturação.

No Brasil, os derivativos climáticos foram abordados em poucas pesquisas. Três dos principais trabalhos discutem modelos de precificação específicos para estes tipos de contratos (RODRIGUES, 2006; DONANGELO, 2008; LEMOS, 2014). O trabalho de Rodrigues (2006) apresenta metodologias para a modelagem e previsões da temperatura da cidade do Rio de Janeiro através do uso de séries temporais, com foco na construção de um índice CDD para a cidade. Donangelo (2008), por sua vez, apresenta importante sistematização das metodologias atuariais de precificação de derivativos climáticos. Já Lemos (2014) desenvolve metodologia de preenchimento de dados faltantes nas séries temporais de variáveis climáticas, problema comum nas bases de dados disponíveis no Brasil. Por outro lado, não foram encontrados trabalhos que discutam a eficiência dos derivativos climáticos no agronegócio nacional através de estudos detalhados das principais lavouras brasileiras.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos principais artigos discutidos neste tópico, evidenciando as principais contribuições de cada trabalho para a literatura internacional de derivativos climáticos.

**Tabela 2.** Resumo das principais contribuições das pesquisas sobre uso de derivativos climáticos em atividades agrícolas.

Referência	Atividade/Mercado	Período	Conclusões
Berg, Schmitz, Starp e Trenkel (2004)	Batatas na Alemanha	1980-2002	Efetividade do hedge necessidade de correlação entre índice e produção superior a 0,6
Breustedt, Bokusheva e Heidelbach (2008)	Trigo no Cazaquistão	1980-2002	A redução do risco proporcionada pelo seguro baseado em índice climático foi menor que utilizando seguros baseados na produtividade. Apontam, porém, para problemas metodológicos que podem superestimar a redução do risco dos produtores
Chen et al. (2006)	Leite nos EUA	1949-1964 / 1984-2003	O uso de derivativos climáticos baseados em índice de temperatura foi capaz de reduzir as perdas por excesso de calor na ordem de 23%. Aliado a compra de equipamentos de controle de temperatura essa queda chega a 48% para os produtores analisados.
Cortina e Sánchez (2013)	Vinicultura na Argentina	11 anos	Estudo aponta para a existência de tendência de queda da temperatura mínima na região, possibilitando o aumento do risco de geadas tardias que prejudiquem a produção.
Cyr et al. (2010)	Viticultura no Canadá	43 anos	Através da utilização de modelos atuariais, os autores apontam que a opção de compra ( <i>call</i> ) construída no estudo apresenta prêmio de valor razoável, podendo ser adquirida até por produtores de pequeno porte da região.
Deng, Barnett, Vedenov e West (2007)	Leite nos EUA	1949-2000 / 1992-2002	Gestão do risco de base temporal e espacial. A utilização de contratos de temperatura com distinção entre períodos frios e quente parece reduzir a perda de eficiência decorrente do risco de base dessas operações
Khan et al. (2013)	Grãos no Canadá	não informado	Baixo conhecimento dos produtores sobre os derivativos climáticos. Baixa satisfação com os seguros tradicionais comercializados no mercado.
Lablois e Quirion (2011)	Teórico	Teórico	Trabalho apresenta discussão sobre os diferentes índices para contratos baseados em pluviosidade. Retoma as principais vantagens e desvantagens de cada um, além de problemas de mensuração e avaliação estatística.
Manfredo e Richards (2009)	Nectarina nos EUA	1982-2003	Situações onde o risco incorrido pela empresa apresenta comportamento não-linear o uso de estratégias com instrumentos de <i>payoffs</i> não-lineares gera melhores resultados
Martin et al. (2001)	Algodão nos EUA	1936-1995	Efetividade de hedge utilizando <i>call</i> para excesso de chuva no momento da colheita
Musshoff et al. (2011)	Trigo na região nordeste da Alemanha	1983-2003	A efetividade do <i>hedge</i> se reduz quando existe baixa relação entre o índice pluviométrico e a produtividade agrícola
Pelka e Musshoff (2013)	Trigo na região central da Alemanha	1995-2009	Uso de contratos com índice composto de diferentes variáveis climáticas se mostram mais eficiente que contratos de índices simples.
Seth, Ansari e Datta (2009)	Agricultura na Índia	não informado	Os modelos desenvolvidos pelos autores apontam que a disposição a pagar dos produtores na contratação de derivativos climáticos chega a 8,8% do <i>payout</i> máximo do contrato
Sharma e Vashishtha (2007)	Setor elétrico e agricultura na Índia	Teórico	Derivativos climáticos apresentam mais flexíveis, econômicos e sustentáveis para a gestão do risco de produção em países dependentes da agricultura e do setor elétrico
Shi e Jiang (2016)	Arroz na China	1991-2011	Contratos baseados em índices multivariados apresentam melhores resultados, porém a crescente complexidade do índice dificulta sua comercialização
Stoppa e Hess (2003)	Grãos no Marrocos	1978-2001	A opção construída a partir do indicador foi capaz de reverter parte importante das perdas dos produtores decorrentes da baixa precipitação
Torriani, Calanca, Beniston e Fuhrer (2008)	Milho na Suíça	1981-2003	Derivativos de pluviosidade apresentaram alto potencial de redução dos riscos de produção
Turvey (2001)	Feno, milho e soja no Canadá	1935-1996	Para o milho e a soja, o derivativo de temperatura se mostrou mais eficiente, para o feno, o contrato de pluviosidade proporcionou melhores resultados
Wand et al (2013)	Milho na África	1980-2003	Contratos que utilizam índices baseados em múltiplas variáveis apresentam resultados melhores que índices simples
Woodard e Garcia (2008a)	Milho nos EUA	1971-2005	Contratos baseados em índices de temperatura apresentam melhor capacidade de lidar com o risco de base dado sua maior correlação espacial
Vedenov e Barnett (2004)	Milho, algodão e soja nos EUA	30 anos	Hedge utilizando derivativos climáticos foi capaz de reduzir o risco de queda na receita do produtor, porém resultado não foi consistente para todas as lavoures e localidades
Zara (2010)	Vinicultura na França	1998-2008	O uso de uma estratégia <i>strangle</i> baseada em contratos climáticos semelhantes ao CDD permitiu redução da volatilidade da receita dos produtores

Fonte: Elaboração própria

Nota-se, no entanto, que no Brasil esse mercado ainda se mostra bastante incipiente. Ao não possuírem as limitações do seguro rural tradicional, o desenvolvimento desses contratos pode permitir uma gestão mais eficiente do risco de produção, permitindo que maiores áreas sejam cobertas. O desenvolvimento de uma solução essencialmente privada para o mercado de seguro pode permitir que o setor desenvolva novos mecanismos de gestão de risco sem a necessidade de grandes aportes do setor público brasileiro.

## CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

O presente capítulo apresenta a construção de um contrato para a gestão do risco de produção da soja no Rio Grande do Sul. Será analisada a estrutura contratual melhor indicada para a lavoura em questão e a eficiência desse instrumento na mitigação do risco climático dos produtores. O método da pesquisa explorou aspectos relativos ao desenho do contrato, cálculo do prêmio e efetividade da operação. A partir do uso de dados anuais de produção e diários de precipitação para três áreas produtoras do estado, realizam-se simulações de uso dos contratos de opções de venda de precipitação, estruturados de acordo com conceitos teóricos e metodológicos discutidos a seguir.

A pesquisa ganha relevância ao estruturar novos mecanismos de proteção à principal cultura agrícola nacional, em que as variações no ciclo das chuvas têm tido efeitos relevantes sobre a produtividade, em especial na região Sul, a qual apresenta risco climático associada à pluviosidade superior às demais áreas produtoras do Brasil, uma vez que esta região apresenta clima subtropical e com significativa influência de massas polares (DA SILVA, 2010).

De forma a organizar a apresentação dos pontos anteriormente destacados, o trabalho se utiliza de quatro etapas. Em primeiro lugar, explora-se o desenho do contrato de derivativo sugerido, tendo como pontos fundamentais a construção de seu ativo-objeto e a estrutura de *payoff*. Em uma segunda etapa, os métodos para precificar o derivativo climático são explicitados. Na sequência, apresenta-se como será feita a análise da efetividade do *hedge* e realiza-se uma breve discussão acerca da sinistralidade dos contratos aqui propostos para o período de estudo. O ponto seguinte apresenta a estratégia de análise do risco de base dos instrumentos.

### 3.1 Estruturação do derivativo

A presente pesquisa utiliza contratos de opção de venda (*put*) europeia de precipitação para gestão do risco de produção. A estruturação de tal instrumento depende de três variáveis distintas: o ativo-objeto, o preço de exercício (*strike*) e a duração do contrato. A partir de tais variáveis, obtém-se o custo do seguro de pluviosidade ao produtor, sendo este denominado de prêmio da opção.

O índice de pluviosidade utilizado no contrato ( $F_t$ ) corresponde à soma da pluviosidade diária para cada região produtora estudada, durante o ciclo de produção da soja na região Sul do Brasil (entre dezembro e o final de março). Dois tipos distintos de índices são utilizados: o primeiro possui ponderação fixa, dando peso igual para as etapas de desenvolvimento da planta; o segundo possui diferentes ponderações dependendo da etapa do ciclo de crescimento da planta.

No índice com pesos ponderados, de acordo com as etapas do ciclo de desenvolvimento da planta, as diferentes ponderações são obtidas a partir da otimização da correlação entre a pluviosidade e a produtividade da soja. Conforme Stoppa e Hess (2003) e Martin et al. (2001), ao se proteger contra o risco climático, é de fundamental importância que o indicador objeto do contrato tenha a maior correlação possível com a produtividade da cultura em análise. Dessa forma, o índice deve ser capaz de explicar grande parte da variabilidade da produção a partir do evento climático escolhido. Este índice do contrato é, então, construído ponderando-o de acordo com as etapas de desenvolvimento da planta, de forma a garantir a máxima correlação entre tal índice (ativo-objeto do contrato) e a produtividade agrícola, em kg por hectare (STOPPA & HESS, 2003). Sua formulação é expressa da seguinte maneira:

$$F_t = \sum_{i=1}^{12} \omega_i f_{it} \quad (11)$$

em que  $\omega_i$  é o peso dado para cada subperíodo  $i$  de dez dias dentro de um ciclo produtivo de 120 dias e  $f_{it}$  é a pluviosidade acumulada para cada subperíodo  $i$  para o ano safra  $t$ . A periodização utilizada para o cálculo do índice é definida pelo zoneamento agrícola de 2017, desenvolvido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), em que o ano é dividido em 36 períodos de 10 dias. Para as regiões do estudo, considerou-se um ciclo de cultivo de soja entre dezembro e março, totalizando 120 dias (12 subperíodos de 10 dias).

Para definição dos pesos do índice pluviométrico, utiliza-se um modelo de maximização da correlação entre tal indicador e a produtividade da soja nestas áreas, conforme Stoppa e Hess (2003). Sendo  $Y_t$  a produtividade no ano  $t$ , tem-se o problema de otimização, conforme a equação (12).

$$\max_{\omega_i} \text{corr}(F, Y) = \frac{\sum_t^T (F_t - \bar{F})(Y_t - \bar{Y})}{[\sum_t^T (F_t - \bar{F})^2]^{1/2} [\sum_t^T (Y_t - \bar{Y})^2]^{1/2}} \quad (12)$$

$$\text{sujeito a } 0 \leq \omega_i, \forall i \text{ e } \sum \omega_i = 1$$

em que  $t$  é o ano inicial e  $T$  é o último ano da amostra em análise.

Além de adotar o índice ponderado, o estudo também utiliza um índice de pesos iguais (Índice Simples) para cada período de desenvolvimento da planta. O uso de ambos os índices permite uma melhor análise dos possíveis ganhos de eficiência do índice ponderado.

Observa-se ainda que, de forma a evitar distorções no cálculo do indicador de pluviosidade, o trabalho utiliza um fator de limitação da capacidade diária de absorção de água pelo solo, sendo este igual a 75 mm (FONTANA ET AL., 2001). Assim, o valor máximo possível para a pluviosidade diária é fixado em 75 mm, de forma que não haja interferência de chuvas excessivas no resultado do índice.

Após definir o ativo-objeto do contrato, a próxima etapa se baseia na definição do *strike* da opção ( $K$ ). Este é dado pela média aritmética do índice utilizado no contrato para os anos disponíveis na amostra, 1992 a 2016.

Com relação a estrutura de *payoff*, a indenização ( $I$ ) ocorre quando o índice utilizado no contrato ( $F$ ) fica abaixo do valor do *strike* ( $K$ ) – equação 13. O pagamento é proporcional ao valor limite do montante financeiro definido entre as partes na contratação da operação ( $\theta$ ). A proporção é definida pela diferença entre o valor do *strike* e do índice, em que quanto maior a diferença, maior é o valor da indenização (STOPPA & HESS, 2003; MUSSHOFF ET AL., 2009).

$$I_t = \begin{cases} 0 & \text{se } F_t \geq K \\ \frac{K-F_t}{K} & \text{se } F_t < K \end{cases} \times \theta \quad (13)$$

No limite, considerando a não ocorrência de chuvas, o produtor recebe o valor total da indenização,  $\theta$ , sendo este definido pela equação (14):

$$\theta = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 Y_{t-i} \cdot A_t \cdot P \quad (14)$$

em que  $Y_t$  é a produtividade por hectare para o ano  $t$ ,  $A_t$  é a área colhida no ano  $t$  e  $P$  é o preço esperado para a soja ao final do contrato. Nota-se que a produtividade computada para a determinação da indenização máxima se refere à média móvel da produtividade dos últimos 5 anos. Espera-se assim considerar os ganhos de produtividade com o desenvolvimento tecnológico e mecanização da lavoura no período.

Na delimitação do preço, fixou-se um valor para todo o período da análise, igual a US\$ 0,346/kg, de forma que o efeito sobre o resultado financeiro do produtor seja exclusivamente consequência de mudança na sua produtividade. O valor apresentado acima corresponde à

média dos preços futuros de contratos futuros de primeiro vencimento negociados na *Chicago Mercantile Exchange (CME)* entre 1993 e 2016.

Ao se determinar um preço fixo para o estudo, limita-se as variações na receita do produtor apenas às mudanças da produtividade. Flutuações de caráter financeiro, como a inflação também não afetam os resultados dado a escolha por um valor constante para a soja no estudo.

### 3.2 Precificação e efetividade do *hedge*

O valor do prêmio a ser pago pelo produtor é calculado a partir da metodologia de modelagem de índices (*index modelling*), conforme discutido por Donangelo (2008) e Jewson e Brix (2005), e utilizado por Musshoff et al. (2011). A partir dos índices de pluviosidade, estima-se a distribuição estatística que melhor se adequa ao índice construído, obtendo-se os parâmetros da distribuição. A partir de tais parâmetros, 10.000 Simulações de Monte Carlo são realizadas para gerar valores aleatórios da distribuição do índice. A partir de cada simulação, estima-se o respectivo *payoff* do derivativo, permitindo o cálculo de sua distribuição e suas respectivas estatísticas. O valor esperado da distribuição dos *payoffs*, obtido através das simulações, é o prêmio justo do contrato (JEWSON & BRIX, 2005).

O desempenho das operações é analisado a partir da comparação entre as receitas de um produtor médio da região que não usa derivativos climáticos frente àquele que, hipoteticamente, utilizaria tal instrumento. O valor da receita do produtor no ano  $t$  ( $R_t$ ), que não faz uso de derivativo pluviométrico, é dado pela sua produção ( $\varphi_t$ ) multiplicada pelo preço de venda da soja ( $P$ ), conforme equação (15). Como já mencionado na seção 3.1, a fim de não incluir um componente de risco de preço no modelo, considerou-se uma cotação fixa.

$$R_t = \varphi_t \times P \quad (15)$$

Com o uso da *put* sobre pluviosidade, a receita do produtor no ano  $t$  ( $R_t^*$ ), é dada pela equação (16), em que se inclui o valor da indenização ( $I_t$ ) recebida pelo produtor no ano  $t$ , subtraindo o prêmio pago pelo derivativo climático no início da operação ( $pr$ ). Observa-se que

este último valor é atualizado para a data de vencimento do contrato, utilizando-se uma taxa de juros real livre de risco ( $r$ ), igual a 4% a.a.<sup>3</sup>

$$R_t^* = R_t + I_t - pr_o \cdot e^{r \cdot \Delta t} \quad (16)$$

A partir das receitas anuais, para o período entre 1992 e 2016, obtêm-se a média e o desvio padrão destas séries, confrontando-se o resultado das operações sem e com o uso dos derivativos de clima.

Conforme apresentado anteriormente, o efeito do risco de base para contratos baseados em índices pluviométricos pode se mostrar relevante devido à baixa correlação espacial dos volumes de chuva (WOODARD & GARCIA, 2008a). Dessa forma, o distanciamento da região produtora da estação de coleta pode se mostrar fator relevante para a eficiência do contrato. Para analisar esse efeito, são avaliadas três cidades onde as estações de coleta dos respectivos contratos situam-se a diferentes distâncias. O objetivo, neste caso, é observar como o distanciamento da estação afeta a receita média e o desvio padrão da receita por hectare dos produtores.

Em seguida, será feita breve discussão acerca da sinistralidade média dos contratos. Para isso, é analisado o valor médio da relação entre indenizações pagas e prêmios recebidos pela seguradora (hipotética) no período. O contrato pode ser viável comercialmente caso o valor da relação seja menor que 100%, sinalizando que, ao longo do tempo, a seguradora responsável pelo contrato receberá um valor maior do que o pago por indenizações.

### 3.3 Dados do estudo

Para execução desta pesquisa, foram utilizados dados de produção e precipitação de seis cidades produtoras do estado do Rio Grande do Sul, sendo estas Cachoeira do Sul, Cruz Alta, Santa Maria, São Luiz Gonzaga, Tupanciretã e Vacaria, tal como expressos na Figura 6. Os dados de produção foram obtidos da Pesquisa Agrícola Municipal (PAM/IBGE) para o período entre 1992 a 2016. Os dados de precipitação foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), através do Banco de Dados Meteorológicos para o Ensino e Pesquisa (BDMEP), utilizando-se dados diários entre 01/01/1992 e 31/12/2016 para a estimação da

---

<sup>3</sup> Foi escolhido o uso de uma taxa real devido ao fato do preço estar travado em um valor fixo para o estudo em questão e o valor é condizente com a taxa real brasileira para o ano de 2017.

distribuição de probabilidade do regime pluviométrico da região de referência. Os dados de preço da saca de soja foram obtidos junto a *Chicago Mercantile Exchange* (CME), a partir negociação de contratos futuros de primeiro vencimento, entre 1993 e 2016<sup>4</sup>.

**Figura 6.** Localização geográfica das cidades em análise.



Fonte: Elaborado pelo autor.

De forma a se investigar o efeito do distanciamento sobre o contrato foi analisada a efetividade do *hedge* para três cidades do estado onde não há estações de coleta (Cachoeira do Sul, Tupanciretã e Vacaria). Para esses contratos serão utilizadas as medições realizadas nas outras três cidades, permitindo um estudo dos contratos com crescente distanciamentos das estações de coleta. As distâncias são apresentadas na Tabela 3.

<sup>4</sup> Não se iniciou o cálculo do preço médio no ano de 1992 devido a indisponibilidade dos dados.

**Tabela 3.** Distâncias dos municípios sem estação meteorológica até as estações de coleta (km).

Áreas		Cidades com estação de coleta		
		Cruz Alta	Santa Maria	São Luiz Gonzaga
Cidades sem estação de coleta	Cachoeira do Sul	170,46	86,40	274,19
	Tupanciretã	56,62	82,89	119,25
	Vacaria	259,98	299,15	396,85

Fonte: Dados da pesquisa. Elaborado pelo autor.

Nota: as distâncias foram calculadas usando a localização das estações em relação às áreas centrais das cidades.

As cidades em questão foram escolhidas tendo em mente três fatores: volume produzido, localização e proximidade de estações de coleta. As três maiores produtoras de soja no estado são Tupanciretã, Cachoeira do Sul e Cruz Alta. Dessas, apenas a cidade de Cruz Alta possui estação de coleta. As cidades de São Luiz Gonzaga e Santa Maria (oitava e vigésima terceira maiores produtoras) foram escolhidas por serem produtoras relevantes e possuírem estações de coleta. Por último, a cidade de Vacaria (décima quarta produtora) foi selecionada por sua localização, a qual permite uma melhor análise do efeito do risco de base nos contratos desenvolvidos.

## CAPÍTULO 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Índices de pluviosidade

Ao longo da parte inicial da discussão do presente tópico, a análise dos contratos para as cidades sem estações de coleta será realizada tendo como base a estação mais próxima. A discussão do efeito do distanciamento sobre a efetividade do *hedge* será realizada ao final do tópico, em que cada cidade será analisada a partir dos dados das três estações de coleta.

Em primeiro lugar, de forma a apresentar os resultados dos índices considerados no estudo, observa-se na Tabela 4 as estatísticas descritivas básicas obtidas dos índices, com pesos iguais (índice simples) e ponderados conforme o desenvolvimento fisiológico da planta (índice ponderado). A Figura 7 apresenta o desempenho dos índices ao longo do período em análise por estação de coleta. Embora o período constitua o intervalo entre 1992 e 2016, é importante ressaltar a exceção do índice calculado para o ano de 2001, devido à falta de dados para alguns de seus meses. Ainda, observa-se que estes índices foram calculados apenas para três praças produtoras (Cruz Alta, Santa Maria e São Luiz Gonzaga), das seis analisadas, dado que apenas estas possuem estações de coleta de dados meteorológicos. Os valores dos índices se encontram no Apêndice 1.

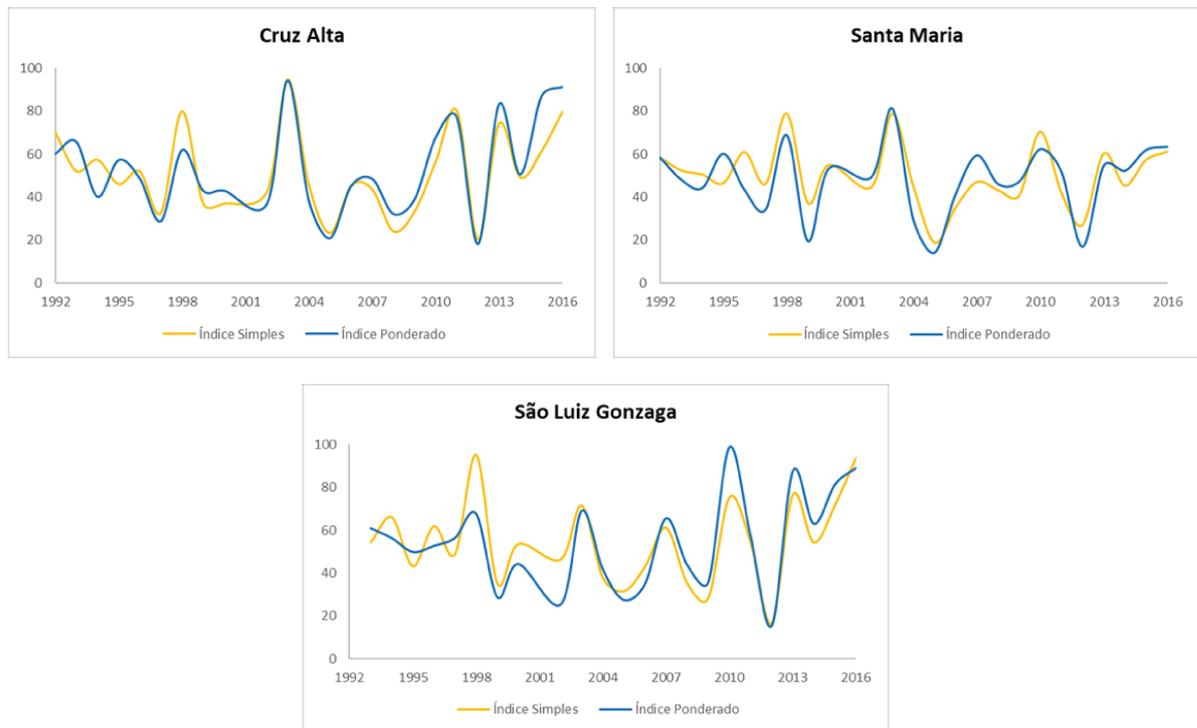
**Tabela 4.** Estatísticas descritivas dos índices de pluviosidade no período entre dezembro e março de 1992 a 2016.

Estatísticas	Cruz Alta		Santa Maria		São Luiz Gonzaga	
	Índice Simples	Índice Ponderado	Índice Simples	Índice Ponderado	Índice Simples	Índice Ponderado
Média	51,6	53,3	50,3	48,4	54,7	54,5
Mediana	47,6	48,6	46,9	50,5	54,4	56,4
Desvio Padrão	20,1	21,7	14,4	16,4	22,7	24,2
Mínimo	20,2	18,2	18,9	14,1	16,6	15,3
Máximo	94,8	94,4	79,1	81,1	95,3	99,0
Coef. de Variação	0,39	0,41	0,29	0,34	0,37	0,40

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados apresentados na Tabela 4 e na Figura 7 indicam elevada variabilidade do valor calculado para os índices, especialmente para os ponderados. Há ocorrência de anos de baixa pluviosidade e, conseqüentemente, baixo valor para os índices - marcadamente 2005 e 2012. Por outro lado, há exemplos de anos de maior pluviosidade em que os índices obtidos possuem valores mais elevados, como por exemplo, 1998 e 2016.

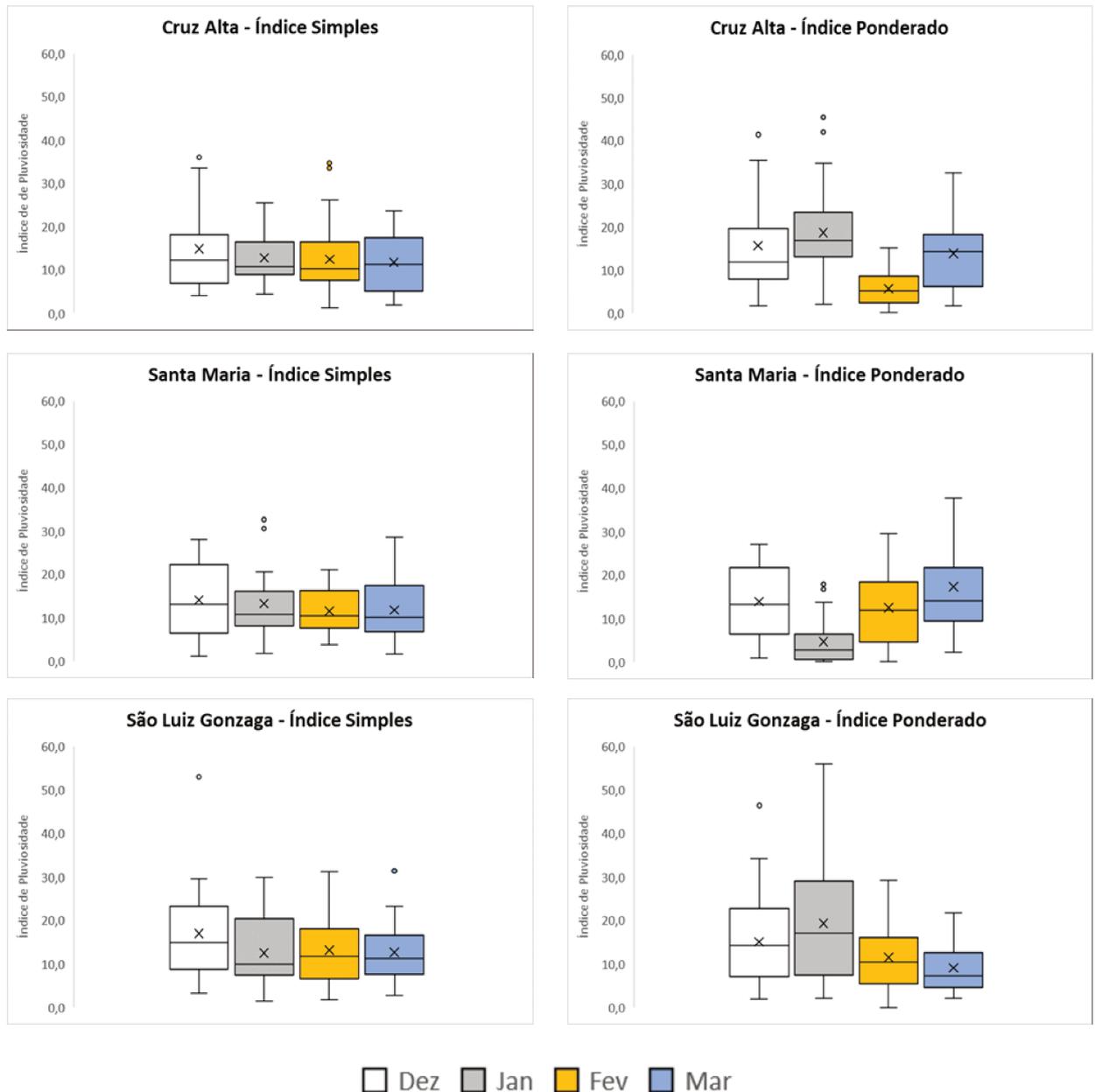
**Figura 7.** Evolução dos índices de pluviosidade acumulada entre dezembro e março de 1992 a 2016.



Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração Própria.

A Figura 8 apresenta a dispersão dos valores obtidos dos índices por mês, indicando como a ponderação atua de forma a alterar a relevância da chuva de acordo com o ciclo de crescimento da soja. No caso de Cruz Alta, por exemplo, observa-se como o mês de fevereiro perde importância dentro do índice ponderado frente ao com pesos iguais. Por outro lado, o mês de janeiro parece obter maior relevância. Processos semelhantes ocorrem para as outras duas cidades: no caso de Santa Maria, a diferença mais clara se dá no mês de janeiro, o qual perde participação no valor total do índice ponderado. Para a cidade de São Luiz Gonzaga, tem-se como grande diferença o aumento da participação do mês de janeiro na determinação do índice.

**Figura 8.** Box-plot dos índices de pluviosidade acumulada entre dezembro e março por tipo e estação de coleta no período 1992-2016.



Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração Própria.

A Tabela 5 apresenta a ponderação para os 12 períodos de 10 dias entre dezembro e março. Os valores são resultados do processo de otimização apresentado pela equação (2). De forma geral, os pesos são maiores nos períodos iniciais e finais do ciclo produtivo, em que a semeadura e a floração/maturação fisiológica da planta ocorrem. Tais estágios são de maior sensibilidade à falta d'água, reduzindo sensivelmente a produtividade da planta caso ocorram quedas na pluviosidade nesses períodos (MUDSTOCK & THOMAS, 2005).

**Tabela 5.** Ponderação da pluviosidade por período de 10 dias.

Mês	Dezembro			Janeiro			Fevereiro			Março		
Período	34	35	36	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Santa Maria	0,16	0,05	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,02	0,25	0,11	0,06	0,19
Cruz Alta	0,00	0,12	0,12	0,19	0,16	0,03	0,00	0,04	0,07	0,12	0,03	0,13
S. L. Gonzaga	0,04	0,14	0,05	0,19	0,13	0,06	0,00	0,14	0,09	0,09	0,03	0,05

Fonte: Dados da pesquisa.

A Tabela 6 mostra que o índice ponderado (conforme as etapas do ciclo da cultura) possui melhor capacidade explicativa sobre o comportamento da produtividade da soja em decorrência da maior correlação entre o índice e produtividade. Dentre as cidades com estação de coleta, Santa Maria apresenta as menores correlações, em que o índice simples (ponderado) possui correlação de 0,42 (0,63). As cidades de Cruz Alta e São Luiz Gonzaga apresentam resultados semelhantes, em que correlação obtida a partir do índice simples (ponderado) superou 0,70 (0,80) para ambas as cidades, apontando para uma alta capacidade explicativa do índice para a variabilidade da produtividade da soja na região. Para as demais cidades, os resultados estão em valores intermediários, em que o índice ponderado possui correlação sempre acima de 0,63. Vale observar que, para as cidades em que não há estação de coleta, utilizou-se a estação com localização mais próxima, baseado nos dados apresentados da Tabela 3.

**Tabela 6.** Coeficiente de correlação entre índice de pluviosidade e produtividade da soja.

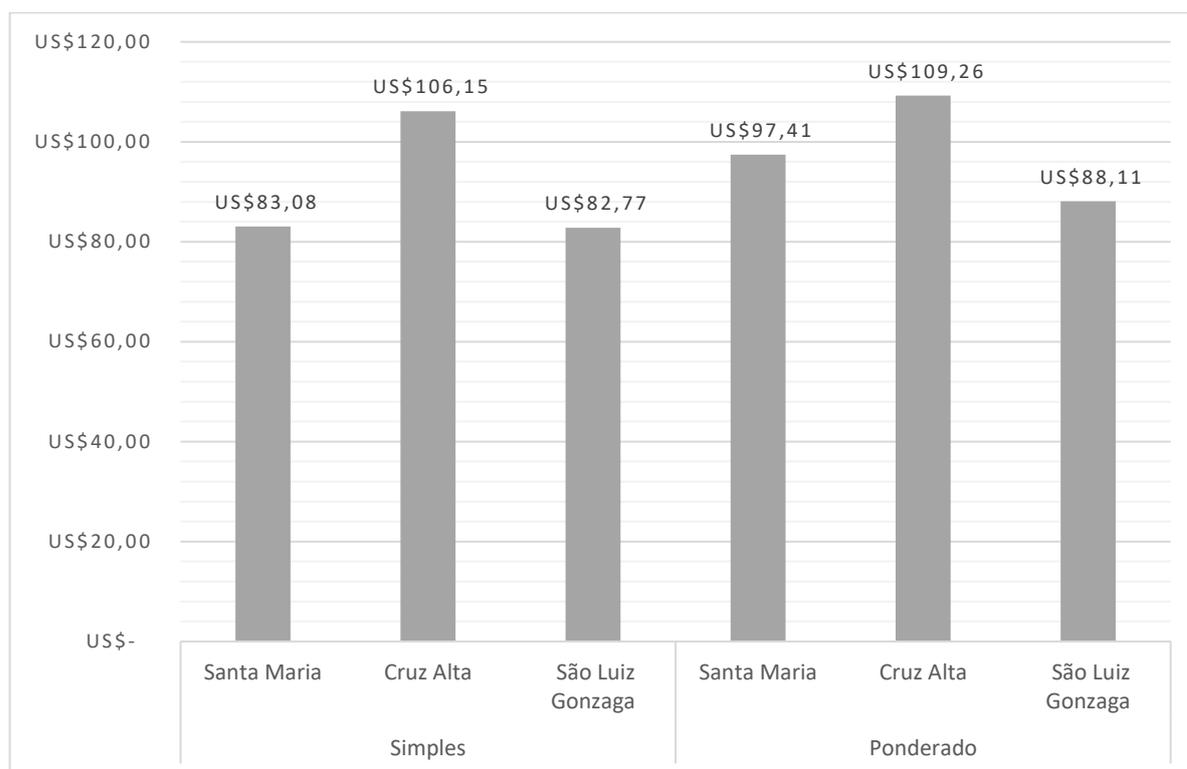
	Cidade	Índice Simples	Índice Ponderado
Com estação de coleta	Santa Maria	0,42	0,63
	Cruz Alta	0,76	0,87

	São Luiz Gonzaga	0,73	0,83
Sem estação de coleta	Cachoeira do Sul	0,45	0,69
	Tupanciretã	0,68	0,85
	Vacaria	0,54	0,75

Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.2 Precificação dos contratos

Conforme metodologia apresentada por Jewson e Brix (2005), foram realizados os testes de Jarque Bera, Komogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificar se os índices construídos possuem distribuição normal. Ao nível de significância de 5%, todos os testes indicaram que ambos os indicadores possuem distribuição normal. Estes resultados estão disponíveis nos Apêndices 2, 3 e 4 do trabalho. Conforme discutido no tópico 3.2, foram estimados os parâmetros de forma a realizar as simulações de Monte Carlo para cada uma das distribuições. Foram realizadas 10.000 simulações baseadas em uma distribuição normal para cada índice e, partir destas, os *payoffs* foram obtidos para cada estrutura de contrato. O prêmio justo do derivativo foi estimado como o valor esperado da distribuição dos *payoffs*. A Figura 9 apresenta o prêmio médio estimado pago pelo produtor para a cobertura de um hectare.

**Figura 9.** Prêmio médio estimado do seguro, por hectare, no período 1992-2016 (US\$/ha)

Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração Própria.

De forma geral, verifica-se que o prêmio a ser pago pelo produtor ao adquirir os instrumentos aqui estipulados variou conforme a estrutura do contrato. Contratos cujo ativo-objeto teve base no índice ponderado pelas fases do ciclo da cultura apresentaram maior custo ao produtor, reflexo da melhor capacidade de proteção que ofereceram, dada a maior correlação do índice com a produtividade da soja.

Conforme a Tabela 7, a razão entre o custo do prêmio e a receita do produtor se mostrou mais elevada a partir do contrato balizado pelo índice ponderado, atingindo 15,14% na cidade de Tupanciretã. Por outro lado, atingiu menor proporção pelo índice simples, sendo igual a 10,68%, para o contrato na cidade de Santa Maria.

**Tabela 7.** Razão prêmio-receita média no período 1992-2016

	Cidades	Índice Simples	Índice Ponderado
Com estação de coleta	Santa Maria	10,68%	12,56%
	Cruz Alta	13,97%	14,31%
	São Luiz Gonzaga	13,83%	14,66%
Sem estação de coleta	Cachoeira do Sul	10,84%	12,74%
	Tupanciretã	14,06%	15,14%
	Vacaria	14,04%	14,38%

Fonte: Dados da pesquisa.

### 4.3 Performance do Derivativo

A contratação do derivativo por parte do produtor resultou em queda da variabilidade da receita por hectare no período analisado para as seis cidades, conforme apresentado na Tabela 8. Em geral, observa-se que a redução da variabilidade da receita por hectare oscila entre 10% e 37%, dependendo da estrutura contratual e cidade em análise.

**Tabela 8.** Desvio-padrão da receita (US\$/ha) no período 1992-2016

Cidade	Sem seguro (A)	Com seguro e índice simples (B)	Variação (B versus A)	Com seguro e índice ponderado (C)	Variação (C versus A)
Cachoeira do Sul	191,07	160,68	-15,90%	136,52	-28,55%
Cruz Alta	226,97	158,44	-30,20%	143,64	-36,71%
Santa Maria	185,27	152,20	-17,85%	144,35	-22,03%
S. L. Gonzaga	282,37	212,47	-24,76%	194,26	-31,20%
Tupanciretã	237,33	182,18	-23,24%	154,34	-34,97%
Vacaria	202,53	182,03	-10,12%	166,83	-17,63%

Fonte: Dados da pesquisa.

As cidades em que a correlação entre o índice construído e a produtividade da soja foi mais alta, no caso Cruz Alta, São Luiz Gonzaga e Tupanciretã, apresentam quedas mais acentuadas da volatilidade – superiores a 20% (30%) para contratos com índice pesos iguais

(com ponderação pelo ciclo da planta). A queda na dispersão da receita se mostrou maior em todas as cidades para o índice ponderado pela fase da cultura em relação ao resultado obtido com o índice simples, corroborando as expectativas face à sua maior correlação com a produtividade da soja. O melhor resultado se deu na cidade de Cruz Alta, com queda de 36,71% (índice ponderado) do desvio padrão da receita, enquanto o resultado menos expressivo se deu em Vacaria, com queda de 10,12% (índice simples). Por outro lado, o valor pago como prêmio na contratação da operação não pareceu afetar a receita ao longo do tempo (Tabela 9).

**Tabela 9.** Receita média (US\$/ha) no período 1992-2016

Cidade	Sem seguro	Com seguro e índice simples	Variação	Com seguro e índice ponderado	Variação
	(A)	(B)	(B <i>versus</i> A)	(C)	(C <i>versus</i> A)
Cachoeira do Sul	693,37	694,68	0,19%	699,31	0,86%
Cruz Alta	754,87	759,82	0,66%	763,38	1,13%
Santa Maria	777,83	777,68	-0,02%	775,65	-0,28%
S. L. Gonzaga	598,65	598,31	-0,06%	600,92	0,38%
Tupanciretã	750,15	752,96	0,37%	756,86	0,89%
Vacaria	800,63	801,6	0,12%	805,46	0,60%

Fonte: Dados da pesquisa.

Os valores da Tabela 10 indicam os coeficientes de variação da receita hipotética de um produtor no período. De forma geral, verifica-se que a utilização dos instrumentos proposto reduz o valor do coeficiente tanto no caso de operações que usam o índice simples como quanto o ponderado. É relevante apontar, porém, que o índice ponderado obtém reduções maiores que o índice simples para todas as cidades estudadas.

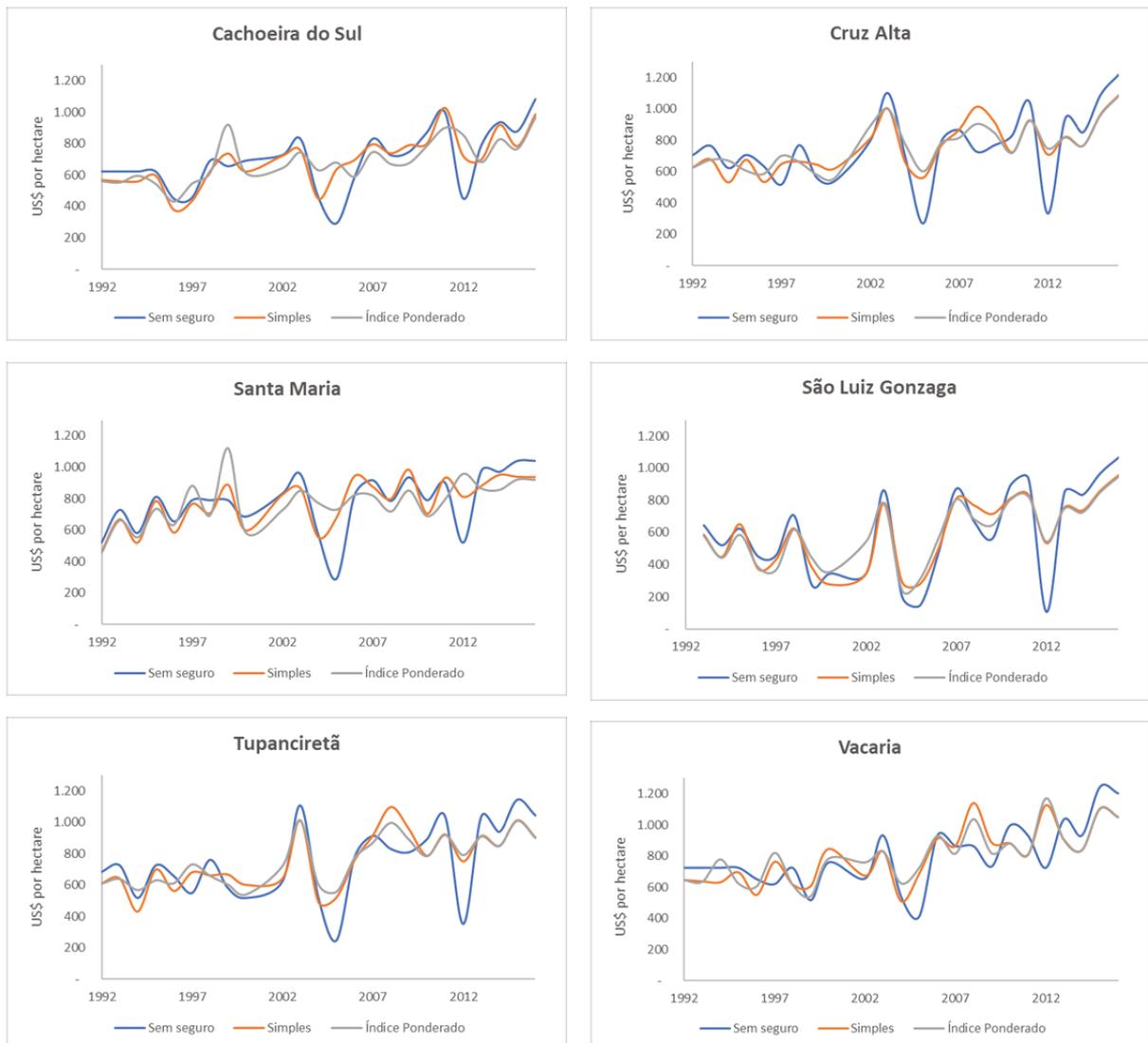
**Tabela 10.** Coeficiente de variação da receita por hectare no período 1992-2016

Cidade	Sem seguro	Com seguro e índice simples	Com seguro e índice ponderado
Cachoeira do Sul	0,28	0,23	0,20
Cruz Alta	0,30	0,21	0,19
Santa Maria	0,24	0,20	0,19
S. L. Gonzaga	0,48	0,36	0,33
Tupanciretã	0,32	0,24	0,21
Vacaria	0,26	0,23	0,21

Fonte: Dados da pesquisa.

A contratação do derivativo pelo produtor leva a uma suavização da receita ao longo do tempo, permitindo uma melhor previsibilidade do retorno do investimento realizado, mesmo em situações de queda expressiva na pluviosidade. Conforme as Figura 10, os anos de 2005 e 2012 foram de queda acentuada da pluviosidade e, conseqüentemente, da produtividade da soja na região. Verifica-se, assim, uma relevante queda na receita por hectare para o caso dos produtores que, hipoteticamente, não teriam feito o uso do derivativo climático, diferentemente do que ocorreria para produtores que contratassem o instrumento. Os seguros baseados em índice simples e ponderado pela fase da cultura seriam capazes de manter a receita do sojicultor no patamar histórico, incorrendo em maior estabilidade com contratos que usassem este segundo indicador.

**Figura 20.** Evolução da receita (US\$) por hectare por cidade no período 1992-2016



Fonte: Dados da pesquisa. Elaboração Própria.

A análise da relação entre volume de indenizações recebidas e volume de prêmios pagos pelos produtores, apresentada na Tabela 11, a seguir, mostra a possível insustentabilidade financeira da operação pela ótica da seguradora. No período de 1992 a 2016, a sinistralidade superou levemente a marca dos 100% para grande parte dos contratos com índice ponderado.

**Tabela 11.** Relação indenização-prêmio média entre 1992 e 2016

Cidades	Índice Simples	Índice Ponderado
Cachoeira do Sul	93,18%	91,87%
Cruz Alta	99,60%	104,10%
Santa Maria	93,18%	91,87%
São Luiz Gonzaga	96,92%	100,35%
Tupanciretã	99,61%	104,12%
Vacaria	99,61%	104,12%

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir dos resultados obtidos, dois pontos se mostram relevantes: primeiramente, a sinistralidade anual do contrato aponta anos em que o indicador supera consideravelmente a marca do 100%, indicando que o contrato teria potencial para apresentar resultados financeiros fortemente negativos para a seguradora. No entanto, observa-se que, apesar de resultados negativos, os resultados indicam uma compensação em anos posteriores. Em segundo lugar, o contrato simulado no presente trabalho utiliza o prêmio justo como método de precificação, de forma que não supõe a existência de taxas administrativas para as seguradoras.

Em último lugar, a análise do efeito do distanciamento da estação de coleta sobre a efetividade do *hedge* se mostra relevante para contratos baseados em índices climáticos, tal como evidenciado em estudo de Woodard e Garcia (2008a). Conforme resultados sumarizados na Tabela 12, a efetividade do *hedge* cai expressivamente a partir de distâncias superiores a 250 km da estação de coleta, no caso de estado do Rio Grande do Sul. Os resultados são evidentes, sobretudo, para as cidades de Cachoeira do Sul e Vacaria.

**Tabela 12.** Variação no desvio-padrão da receita por hectare no período 1992-2016

Cidade	Estação	Cruz Alta		Santa Maria		São Luiz Gonzaga	
		Simple	Ponderado	Simple	Ponderado	Simple	Ponderado
Cachoeira do Sul		-15,05%	-27,18%	-15,90%	-28,55%	-9,08%	-12,76%
Tupanciretã		-23,24%	-35,15%	-19,78%	-33,25%	-19,58%	-25,94%
Vacaria		-10,13%	-17,90%	-12,44%	-19,51%	-9,24%	-10,45%

Fonte: Dados da pesquisa.

No caso de Cachoeira do Sul, apenas com a estação de coleta de São Luiz Gonzaga, com a maior distância superior a 250 km, o desvio-padrão caiu menos, em torno de 12,76%, sendo que para as outras estações meteorológicas, menos distantes, esse valor ultrapassa os 25%, considerando os contratos com índice ponderado. Para a cidade de Vacaria, onde todas as estações de coleta estão a distâncias superiores a 250 km, nenhum contrato conseguiu uma redução de volatilidade superior a 20%, com o contrato baseado na estação de São Luiz Gonzaga apresentando o pior resultado para os índices simples e ponderado, com 9,24% e 10,45%, respectivamente.

Para título de comparação, para a cidade de Tupanciretã, os resultados apresentados superam 25% de queda no desvio-padrão para todos os contratos com índices ponderados, chegando a valores superiores para as estações de Cruz Alta e Santa Maria, onde as distâncias são inferiores a 100 km.

Com relação aos dados de variação da receita média para o período, observa-se melhora para algumas estruturas contratuais e piora para outras. Ao analisar os resultados considerando ambos os índices utilizados, a piora nos resultados é mais evidente para contratos que utilizam o índice ponderado, chegando a perdas próximas de 1% para a cidade de Vacaria. Em geral, as maiores perdas são observadas onde se obteve os menores desvios-padrão (Tabela 12), indicando que maiores distâncias tendem a aumentar a perda da receita média para o produtor. Os resultados estão expressos na Tabela 13, a seguir.

**Tabela 13.** Variação na receita média por hectare no período 1992-2016

Cidade	Cruz Alta		Santa Maria		São Luiz Gonzaga		
	Estação	Simple	Ponderado	Simple	Ponderado	Simple	Ponderado
Cachoeira do Sul		0,17%	0,19%	-0,26%	-0,67%	0,15%	-0,46%
Tupanciretã		0,36%	0,23%	-0,27%	-0,73%	0,10%	-0,55%
Vacaria		0,10%	-0,05%	-0,48%	-1,01%	-0,17%	-0,86%

Fonte: Dados da pesquisa.

Os resultados ratificam como o risco de base tem de ser tratado com cautela na elaboração de derivativos climáticos baseados em índices de pluviosidade. Os resultados podem não se repetir para outras regiões do país, e também para outras regiões do próprio estado do Rio Grande do Sul, devido às diferentes estruturas edafoclimáticas existentes. De forma geral, observa-se uma perda de eficiência do contrato com o aumento do distanciamento à estação meteorológica de referência, seguindo os resultados obtidos por Woodard e Garcia (2008a; 2008b) e Deng et al. (2007). Por outro lado, tal perda passa a se tornar relevante apenas em distâncias elevadas, o que permite mitigar, em certa medida, o risco de base, com uma estrutura instalada de estações de coleta em diferentes regiões.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O aprofundamento do mercado de derivativos climáticos pode se mostrar uma alternativa ao desenvolvimento de novos instrumentos de gestão de risco no agronegócio. A possibilidade de estruturar contratos atrelados a diferentes variáveis climáticas e a flexibilidade da estrutura de *payoff* permitem que esses contratos possam ser concebidos com foco em diferentes agentes e setores. Essa versatilidade explica a atenção que esses produtos vêm recebendo nos últimos anos no mercado mundial, sendo utilizados para a gestão do risco em diversas atividades.

É possível observar que os diferentes estudos realizados na área têm produzido resultados cada vez mais consistentes sobre a capacidade dos derivativos climáticos de mitigar o risco de produção no agronegócio. Pesquisas aplicadas para diferentes localidades, caracterizadas por regimes edafoclimáticos distintos, têm demonstrado a eficácia desses instrumentos para diferentes culturas agrícolas.

Somam-se a isso as vantagens que esses instrumentos possuem frente ao seguro rural tradicionalmente comercializado, notadamente marcado pelo problema de risco moral e seleção adversa. Ao não atrelarem o valor de indenização paga ao produtor à produtividade da lavoura, o incentivo à utilização de estratégias de gestão da produção sub-ótimas deixa de existir, de forma que produtores que antes não utilizavam as melhores práticas de gestão por estarem segurados, passariam a fazê-lo. Como consequência disso, haveria a redução do risco agregado para as seguradoras e, conseqüentemente, do custo do seguro, o que permitiria que agentes que antes estavam fora do mercado pudessem operar.

Ademais, os crescentes efeitos das mudanças climáticas sobre as diferentes regiões produtoras lançam novos desafios à atividade agrícola. Nesse cenário, o uso de derivativos climáticos pode ser importante para auxiliar os produtores na gestão de riscos.

Para se realizar essa análise no mercado brasileiro, estruturou-se uma opção de venda cujo ativo-objeto se baseou em dois tipos de índice pluviométrico: um primeiro ponderado conforme as fases do desenvolvimento da planta e outro indicador com pesos iguais. Os resultados obtidos mostraram que o indicador ponderado conforme o ciclo produtivo apresenta, potencialmente, uma melhor capacidade explicativa sobre o comportamento da produtividade da soja nas cidades estudadas. A precificação dos contratos reflete tal resultado, dados os maiores prêmios obtidos com a contratação deste tipo de seguro. O *hedge* obtido com o

instrumento se mostrou capaz de minorar o risco climático dos produtores, obtendo queda acentuada da variabilidade da receita por hectare no período analisado. Resultados similares foram obtidos por Stoppa e Hess (2003), Pelka e Musshoff (2013) e Torriani et al. (2008) para os mercados de grãos no Marrocos, trigo na Alemanha e milho na Suíça, respectivamente.

No que tange à sustentabilidade financeira do contrato, dois pontos se mostram relevantes. Em primeiro lugar, os resultados sugerem que, sem um ajuste no risco, o contrato tende a se mostrar insustentável no longo prazo, dado que a relação indenização-prêmio supera 100% para grande parte dos contratos que utilizam o índice ponderado. Em segundo lugar, o custo do seguro se mostrou elevado para todos os contratos simulados no estudo. O prêmio a ser pago pelo produtor na contratação da operação variou entre 10% e 15% da receita por hectare. Dessa forma, observa-se a relevância de se analisar a viabilidade da manutenção da cobertura oferecida pelo derivativo e diferentes estruturas contratuais menos custosas ao produtor.

Com o objetivo de reduzir o risco financeiro e melhorar a rentabilidade do produto algumas opções podem se mostrar viáveis. Como um primeiro movimento, o ajuste do valor do strike do contrato pode melhorar o retorno financeiro para as seguradoras ao reduzir o volume pago aos contratantes, trazendo a relação indenização-prêmio para patamares abaixo de 100%. Jewson e Brix (2005) argumentam que tal ajuste pode ser feito tendo como base 0,5 ou 1 desvio padrão do índice climático utilizado como base do contrato. A profundidade do ajuste, porém, necessita de estudos e discussões mais profundas dada a natureza fortemente simplificadora da hipótese aqui utilizada de preço justo, a qual ignora custos administrativos e margem de lucro da seguradora na operação.

Um segundo ponto importante é o papel das resseguradoras nesse mercado. Ao permitir a transferência parcial ou total do risco assumido pelas seguradoras na emissão de um contrato, as resseguradoras possuem papel ativo na sustentabilidade financeira do mercado de seguros ao permitir a diluição do risco e reduzir o risco de insolvência de uma instituição em caso de sinistro e, principalmente, em situações limites de grandes secas e/ou eventos catastróficos. Dado o recente fim do monopólio estatal sobre as operações de resseguro no Brasil, análises detalhadas acerca da capacidade e interesse das resseguradoras atuantes no mercado nacional de negociar esse tipo de contrato passa a se mostrar relevante para o setor.

O ponto anterior traz a reboque a terceira discussão relevante para a sustentabilidade financeira dos contratos de derivativos climáticos, os eventos catastróficos. Eventos

catastróficos para contratos climáticos podem ser chuvas torrenciais ou secas intensas e prolongadas. Com a ocorrência de um evento catastrófico diversos agentes terão o direito a indenizações e, no caso de contratos derivativos, essas indenizações podem alcançar valores extremamente elevados<sup>5</sup>. Nessas situações limite diversos agentes tem direito a elevadas indicações, o que pode por em risco a capacidade financeira de pagamento de diversas empresas do setor, podendo, no limite, levar a um processo de *default* generalizado de empresas seguradoras e resseguradoras.

Como apresentado pelo trabalho do World Bank (2005) o setor público se mostra uma gente importante para redução do risco sistêmico do mercado de seguro ao atuar sobre eventos catastróficos e permitir a redução do risco para as seguradoras nesse tipo de ambiente. Por outro lado, o custo fiscal desse tipo de proteção ao mercado pode se mostrar insustentável economicamente ou politicamente inviável, em face do panorama recente de restrição financeira que se encontra o Estado brasileiro nos últimos anos. Uma análise detalhada do real risco e custo de eventos catastróficos na agricultura brasileira, principalmente em face do aprofundamento das mudanças climáticas, pode dar um melhor panorama dos limites e necessidade da atuação estatal nesse mercado. A proteção dos agentes, tanto produtores quanto seguradoras, em caso de eventos extremos pode se mostrar positivo e permitir um avanço mais rápido desse mercado no Brasil.

Além da dificuldade encontrada para a sustentabilidade financeira do contrato, verificou-se também que a eficiência dos contratos poderia ser comprometida de forma relevante devido ao elevado risco de base, inerente a contratos baseados em índices climáticos, a partir de distâncias superiores a 250km da estação de coleta, conforme verificado também por Woodard e Garcia (2008a; 2008b). Tais resultados reforçam a importância da cautela no desenvolvimento de derivativos climáticos para o setor agrícola. Regiões com diferentes condições climáticas ou morfológicas podem interferir no comportamento das chuvas e alterar de forma relevante a efetividade do *hedge* (MUSSHOFF et al., 2011).

A baixa correlação espacial da chuva atua de forma determinante no elevado risco de base de contratos baseados em índices pluviométricos. Diversos trabalhos buscaram soluções através de diferentes caminhos (WOODDARD e GARCIA, 2008a; SHI e JIANG, 2016; DENG

---

<sup>5</sup> No caso de contratos em que não há limitadores, o valor da indenização pode crescer teoricamente de forma ininterrupta com o prolongamento e/ou agravamento do evento climático.

et al, 2007). Podemos elencar duas principais linhas de resposta ao risco de base nesses contratos: infraestrutura e índices híbridos.

Como resposta a baixa correlação espacial da pluviosidade alguns trabalhos apontam como solução para o problema o investimento em estações de coleta, o que permitiria reduzir as distancias médias entre estação e fazenda, permitindo mitigar parcialmente o risco de base. A segunda linha de pesquisa aponta a utilização de índices híbridos (pluviosidade e temperatura) como solução. Aqui a ideia é aproveitar a maior correlação espacial da temperatura para permitir que o índice, e consequentemente o contrato, captem melhor o comportamento das variáveis climáticas que diretamente afetam a produtividade da lavoura, apesar da distância entre zona produtora e a estação de coleta.

Assim, o presente trabalho traz uma análise de como o uso de derivativos climáticos baseados em indicadores de pluviosidade podem auxiliar produtores na gestão do risco de produção. Os resultados obtidos permitem o desenvolvimento de novas estratégias de mitigação do risco tanto por produtores quanto para seguradoras ou empresas de resseguro. A pesquisa também pode auxiliar os *policy makers* brasileiros na estruturação de novas políticas ao setor, buscando o desenvolvimento do setor agrícola e o aprofundamento do mercado de seguros rurais no país.

Vale, porém, apontar para as limitações da presente análise, especialmente relativas à forma de cálculo do prêmio. Os parâmetros utilizados para as Simulações de Monte Carlo são resultantes da amostra disponível. Diferentes amostras e períodos mais longos podem apresentar resultados distintos para os parâmetros das distribuições estatísticas dos índices (JEWSON & BRIX, 2005). Outro ponto, já abordado, está na utilização da metodologia do preço justo, em que se assume o lucro zero para ambas as partes e ignora-se a existência de custos administrativos para a seguradora na manutenção do contrato.

Pesquisas futuras podem avançar o estudo focando-se em dois pontos importantes que o estudo pouco aprofunda. Em primeiro lugar, a sustentabilidade financeira do contrato às seguradoras, dando atenção aos custos diretos e indiretos incorridos por tais empresas para a manutenção dos contratos e a geração de receitas via prêmios e a redução do custo para o produtor. Em segundo lugar, o uso de índices climáticos compostos (de temperatura e de pluviosidade), os quais apresentam potencial para a redução do risco de base dessas operações.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACWORTH, W. **Annual Volume Survey**. Global Futures and Options Volume Reaches Record Level. Futures Industry Association, 2017. Disponível em: <<http://marketvoicemag.org/?q=content/2016-annual-volume-survey>>. Acesso: 03 de Maio de 2017.

ALEMIDA, W. S. de. Massificação das operações do seguro rural O grande desafio brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, v. 16, n. 4, p. 21-26, 2007.

BANK OF INTERNATIONAL SETTLEMENTS. Exchange-traded futures and options, by location of Exchange. Disponível em: <<http://stats.bis.org/statx/srs/table/d1?p=20064&c=>>>. Acesso em: 16 de Abril de 2017.

BESSADA, O.; BARBEDO, C.; ARAÚJO, G. **Mercado de derivativos no Brasil: conceitos, operações e estratégias**. Rio de Janeiro: Editora Record, 2013

BERG, E.; SCHMITZ, B.; STARP, M.; TRENKEL, H. Weather derivatives as a risk management tool in agriculture. In: CAFIERO, C.; CIOFFI, A. (Org.) **Income Stabilization in Agriculture**. The Role of Public Policies. Edizione Scientifiche Italiane. Italy, p. 379-396. 2006

BREUSTEDL, G.; BOKUSHIEVA, R.; HEIDELBACH, O. Evaluating the potential of index insurance schemes to reduce crop yield risk in an arid region. **Journal of Agricultural Economics**, v. 59, n. 2, p. 312-328. 2008.

BUAINAIN, A. M.; JUNIOR, P. A. V.; CURY, W. J. M. (Ed.). **Gestão do risco e seguro na agricultura brasileira**. Escola Nacional de Seguros, FUNENSEG, 2011.

CAPITANI, D. H. D.; MATTOS, F. L. Measurement of commodity price risk: an overview of Brazilian agricultural markets. **Revista Brasileira de Economia e Sociologia Rural**, Piracicaba, v. 55, n. 3, p. 515-532, Jul./Set. 2017

CHEN, G.; ROBERTS, M. C.; THRAEN, C. S. Managing dairy profit risk using weather derivatives. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 31, n. 3, p. 653–666, 2006.

CIUMAS, C; BOTOS, H. M. Weather index – The basis of weather derivatives. Babes-Bolyai University. **Conference Proceedings. European Integration – New Challenges**. 7<sup>a</sup> ed., p. 362-369. May, 2011.

CHICAGO MERCANTILE EXCHANGE - CME GROUP. **The CME Group risk management handbook: products and applications**. Ed. Wiley. Hoboken, New Jersey. Julho, 2010.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO – CONAB. **Séries históricas de área plantada**. Disponível em: <http://www.conab.gov.br/conteudos.php?a=1252&t=2> Acesso em: 01/09/2017

CORTINA, E.; SÁNCHEZ, I. Hedging late frost risk in viticulture with exotic options. **Agricultural Finance Review**, 73(1), p. 136-160. 2013.

CYR, D.; KUSY, M.; SHAW, A. B. Climate change and the potential use of weather derivatives to hedge vineyard harvest rainfall risk in the Niagara Region. **Journal of Wine Research**, v. 21, n. 3, p. 207-227. 2010.

- DA SILVA, M. V. **Análise sazonal do regime hídrico do Rio Grande do Sul no período de 1977 a 2006: impactos de sistemas meteorológicos no regime hídrico do estado em 2006.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, p. 120. 2010.
- DENG, X.; BARNETT, B. J.; VEDENOV, D. V.; WEST, J. W. Hedging dairy production losses using weather-based index insurance. **Agricultural Economics**, v. 36, n. 2, p. 271-280. 2007.
- DONANGELO, M. **Apreçamento de derivativos climáticos no Brasil: análise de modelos atuariais.** Dissertação (Mestrado em Administração). Instituto COPPEAD de Administração, UFRJ. Rio de Janeiro, p.73. 2008.
- EMPRESA BRASILEIRA DE AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Zoneamento de risco climático.** 2017. Disponível em: <<http://indicadores.agricultura.gov.br/zarc/index.htm>>. Acesso 04 de fevereiro de 2017.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **The impact of natural hazards and disasters on agriculture and food security and nutrition: a call for action to build resilient livelihoods.** Roma, FAO, 2015.
- FERREIRA, D. B. **Relações entre a variabilidade da precipitação e a produtividade agrícola de soja e milho nas regiões sul e sudeste do Brasil.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, p. 125. 2005.
- FORTUNA, E. **Mercado Financeiro: produtos e serviços.** 18. ed. Rio de Janeiro: Editora Fortuna, 2011.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A., LAUSCHNER, M. H.; MELO, R. W. D. Modelo de estimativa de rendimento de soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3, p. 399-403. 2001.
- HULL, J. **Options, futures, and other derivatives.** 7. ed. New Jersey: Pearson, 2008.
- JAFFEE, S.; SIEGEL, P.; ANDREWS, C. **Rapid Agricultural Supply Chain Risk Assessment: a conceptual framework.** World Bank, 2008.
- JEWSON, S.; BRIX, A. **Weather derivative valuation.** The meteorological, statistical, financial and mathematical foundations. Cambridge University Press, UK. 2005.
- JONES, T. L. Agricultural applications of weather derivatives. **International business & Economic Research Journal**, v. 6, n. 6, p. 53-60. 2007.
- KHAN, S.; RENNIE, M.; CHARLEBOIS, S. Weather risk management by Saskatchewan agriculture producers. **Agricultural Finance Review**, v. 73, n. 1, p. 161-178. 2013.
- LEBLOIS, A.; QUIRION, P. Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges. **Meteorological Applications**, v. 20, n. 1, p. 1-9. 2013.
- LEMONS, G. B. de. **Precificação de derivativos climáticos no Brasil: uma abordagem estatística alternativa e construção de um algoritmo em R.** 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- MANFREDO, M. R., RICHARDS, T. J. Hedging with weather derivatives: a role for options in reducing basis risk, **Applied Financial Economics**, v. 19, n. 2, p. 87-97, 2009.

MARCOVITCH, J. (coord.). **Economia da mudança do clima no Brasil: custos e oportunidades**. São Paulo: IBEP Gráfica, 2010

MARTIN, S. W.; BARNETT, B. J.; COBLE, K. H. Developing and pricing precipitation insurance. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 26 n.1, p. 261-274. 2001.

MDIC. **Balança comercial: Janeiro a Dezembro de 2016**. Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/comercio-exterior/estatisticas-de-comercio-exterior/balanca-comercial-brasileira-acumulado-do-ano?layout=edit&id=2205>> Acesso em 01/09/2017.

MUDSTOCK, C. M.; THOMAS, A. L. **Soja: fatores que afetam o crescimento e o rendimento de grãos**. Porto Alegre, Departamento de Plantas de Lavoura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2005.

MORDUCH, J. **Rainfall insurance and vulnerability: Economic Principles and cautionary notes**. New York University. March, 2001.

MUSSHOFF, O.; ODENING, M.; XU, W. Management of climate risks in agriculture—will weather derivatives permeate? **Applied Economics**, v. 43 n. 9, p. 1067-1077. 2011.

PELKA, N.; MUSSHOFF, O. Hedging effectiveness of weather derivatives in arable farming – is there a need for mixed indices? **Agricultural Finance Review**, v. 73, n. 2, p. 358-372. 2013.

DE OLIVEIRA, A. C. B.; DA ROSA, A. P. S. A. Indicações técnicas para a cultura da soja no Rio Grande do Sul e em Santa Catarina, safras 2014/2015 e 2015/2016. **Embrapa Clima Temperado-Documents (INFOTECA-E)**, 2014.

OZAKI, V. A. O papel do seguro na gestão do risco agrícola e os empecilhos para o seu desenvolvimento. **Revista Brasileira de Risco e Seguro**, v. 2, n. 4, p. 75-92. 2007.

RODRIGUES, B. D. **Modelagem de séries temporais focada na precificação de derivativos climáticos**. 2006. Tese de Doutorado. PUC-Rio.

SAES, M. S. M.; SILVEIRA, R. L. F. da. Novas formas de organização nas cadeias agropecuárias brasileiras: tendências recentes. **Estudos Sociedade e Agricultura**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 2, p. 386-407, 2014.

SETH R.; ANSARI, V. A.; DATTA, M. Weather-risk hedging by farmers: an empirical study of willingness-to-pay in Rajasthan, India. **The Journal of Risk Finance**, v. 10, n. 1, p. 54-66. 2009.

SHARMA, A. K.; VASHISHTHA, A. Weather derivatives: risk-hedging prospects for agriculture and power sectors in India. **The Journal of Risk Finance**, v. 8, n. 2, p. 112-132, 2007.

SHI, H.; JIANG, Z. The efficiency of composite weather index insurance in hedging rice yield risk: evidence from China. **Agricultural Economics**, v. 47, n. 3, p. 319-328. 2016.

STOPPA, A.; HESS, U. Design and use of weather derivatives in agricultural policies: the case of rainfall index insurance in Morocco. **International Conference Agricultural Policy Reform and the WTO: where are we heading?** Capri (Italy), June 23-26, 2003.

TEIXEIRA, M. A. **Mercados futuros: fundamentos e características operacionais**. São Paulo, Bolsa de Mercadorias & Futuros, 1992.

- TORRIANI, D. S.; CALANCA, P.; BENISTON, M.; FUHRER, J. Hedging with weather derivatives to cope with climate variability and change in grain maize production. **Agricultural Finance Review**, v. 68, n. 1, p. 67-81. 2008.
- TURVEY, C. G. Weather derivatives for specific event risks in agriculture. **Review of Agricultural Economics**, v. 23, n. 2, p. 333-351. 2001.
- VEDENOV, D. V.; BARNETT, B. J. Efficiency of weather derivatives as primary crop insurance instruments. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 29, n. 3, p. 387-403. 2004.
- VERNETTI, F. de J.; VERNETTI JUNIOR, F. de J. Histórico da pesquisa de soja na região sudeste do Rio Grande do Sul: várzeas e coxilhas (do IAS à ETB). **Embrapa Clima Temperado-Livros técnicos (INFOTECA-E)**. 2013.
- VERNETTI JUNIOR, F. de J. Resultados de pesquisa de soja na Embrapa Clima Temperado-2014. **Embrapa Clima Temperado-Documentos (INFOTECA-E)**, 2011.
- WANG, H.H., KARUAIHE, R. N., YOUNG, D. L., ZHANG, Y. Farmers' demand for weather-based crop insurance contracts: the case of maize in south Africa. **Agrekon: Agricultural Economics Research, Policy and Practice in Southern Africa**, v. 52, n. 1, p. 87-110, 2013.
- WEAGLEY, D. R. **Essays on the weather derivatives market**. Tese de Doutorado. University of Michigan, 2014.
- WOODARD, J. D.; GARCIA, P. Basis risk and weather hedging effectiveness. **Agricultural Finance Review**, v. 68, n. 1, p. 99-117. 2008a.
- WOODGARD, J. D.; GARCIA, P. Weather derivatives, spatial aggregation, and systemic risk: implications for reinsurance hedging. **Journal of Agricultural and Resource Economics**, v. 33, n. 1, p. 34-51. 2008b.
- WORLD BANK. **Agriculture investment sourcebook**. The World Bank. Washington, DC. 2005.
- ZARA, C. Weather derivatives in the wine industry. **International Journal of Wine Business Research**, v. 22, n. 3, p. 222-237. 2010.
- WORLD BANK. Technical Training Program Agricultural Sector Risk Assessment. Disponível em: <[www.agriskmanagementforum.org/content/training-module-agriculture-sector-risk-assessment](http://www.agriskmanagementforum.org/content/training-module-agriculture-sector-risk-assessment)>. Acesso: 10/04/2018.
- WRMA. **Weather risk management survey**. 2012. <https://wrma.org/wp-content/uploads/2014/07/WRMA-2010-2011-Industry-Survey-Results.pdf>

## APÊNDICE

### Apêndice 1. Índice de pluviosidade acumulada entre dezembro e março - 1992-2016

Ano	Cruz Alta		Santa Maria		São Luiz Gonzaga	
	Índice Simples	Índice Ponderado	Índice Simples	Índice Ponderado	Índice Simples	Índice Ponderado
1992	70,3	60,2	58,6	58,5	-	-
1993	52,1	65,8	52,6	48,2	54,4	61,0
1994	57,4	40,2	50,6	44,2	66,2	56,4
1995	46,0	57,3	46,6	60,2	43,3	49,9
1996	51,9	48,7	61,1	43,4	62,0	52,8
1997	32,5	28,8	46,3	34,2	49,0	56,5
1998	80,1	62,0	79,1	68,9	95,3	67,7
1999	36,9	43,0	37,4	19,5	35,4	28,8
2000	36,9	43,0	55,1	53,4	53,7	44,3
2002	42,2	36,6	44,7	49,2	46,4	25,3
2003	94,8	94,4	79,0	81,1	71,7	69,2
2004	45,7	38,3	45,0	29,3	37,9	41,8
2005	23,1	20,8	18,9	14,1	31,6	27,4
2006	45,2	45,2	35,4	41,6	43,1	34,9
2007	43,5	48,5	47,2	59,4	61,3	65,7
2008	23,9	32,1	43,4	46,1	35,4	43,8
2009	33,2	39,0	40,9	47,2	28,5	35,8
2010	56,5	67,9	70,6	62,3	75,5	99,0
2011	80,2	77,2	42,1	51,8	54,5	57,4
2012	20,2	18,2	27,2	16,9	16,6	15,3
2013	74,3	83,4	60,4	54,6	76,7	87,7
2014	49,2	50,6	45,5	52,2	54,4	63,1
2015	61,3	87,0	57,4	61,9	71,9	81,5
2016	79,9	91,4	61,3	63,4	94,0	89,2

Fonte: Dados da pesquisa

**Apêndice 2.** Teste de Jarque-Bera

<b>Cidade</b>	<b>Índice</b>	<b>Obs.</b>	<b>Pr(Skewness)</b>	<b>Pr(Kurtosis)</b>	<b>adj chi2(2)</b>	<b>Prob&gt;chi2</b>
Cruz alta	Índice Simples	24	0,3408	0,6378	1,2200	0,5427
	Índice Ponderado	24	0,3459	0,4768	1,5200	0,4671
Santa Maria	Índice Simples	24	0,7250	0,5101	0,5800	0,7470
	Índice Ponderado	24	0,2455	0,6224	1,7500	0,4178
S. L. Gonzaga	Índice Simples	23	0,6483	0,7062	0,3600	0,8367
	Índice Ponderado	23	0,5893	0,6981	0,4600	0,7959

**Apêndice 3.** Teste de Shapiro-Wilk

<b>Cidade</b>	<b>Index</b>	<b>Obs.</b>	<b>W</b>	<b>V</b>	<b>z</b>	<b>Prob&gt;z</b>
Cruz alta	Índice Simples	24	0,9593	1,0980	0,1900	0,4247
	Índice Ponderado	24	0,9554	1,2030	0,3770	0,3532
Santa Maria	Índice Simples	24	0,9697	0,8170	-0,4130	0,6601
	Índice Ponderado	24	0,9525	1,2810	0,5050	0,3068
S. L. Gonzaga	Índice Simples	23	0,9751	0,6520	-0,8680	0,8074
	Índice Ponderado	23	0,9797	0,5310	-1,2870	0,9010

**Apêndice 4.** Teste de Komogorov-Smirnov

<b>Cidade</b>	<b>Grupos</b>	<b>Índice Simples</b>		<b>Índice Ponderado</b>	
		<b>D</b>	<b>p-value</b>	<b>D</b>	<b>p-value</b>
Cruz Alta	Simples	0,1145	0,5330	0,1332	0,4270
	Cumulative	- 0,0876	0,6920	-0,0840	0,7120
	Combined K-S	0,1145	0,9110	0,1332	0,7880
Santa Maria	Simples	0,1247	0,4740	0,0973	0,6350
	Cumulative	- 0,0914	0,6700	-0,1311	0,4380
	Combined K-S	0,1247	0,8490	0,1311	0,8040
S. L. Gonzaga	Simples	0,0915	0,6810	0,0781	0,7550
	Cumulative	- 0,0689	0,8040	-0,0651	0,8230
	Combined K-S	0,0915	0,9910	0,0781	0,9990