

# Modelagens atuariais para o seguro agrícola

## Revisão sistemática<sup>1</sup>

Suelen Cristina Gasparetto<sup>2</sup>  
Beatriz Salandin Dal Pozzo<sup>3</sup>  
Vitor Augusto Ozaki<sup>4</sup>

**Resumo** – Este estudo reúne as metodologias mais utilizadas em pesquisas sobre modelagens das variáveis do cálculo de precificação do seguro agrícola brasileiro, com o intuito de analisar as vantagens e desvantagens do emprego desses modelos. A pesquisa é uma revisão bibliográfica sistemática sobre o tema. Observou-se que a maioria dos trabalhos adota modelos paramétricos, o que se atribui ao fato de serem bem definidos matematicamente e computacionalmente. Para as variáveis produtividade e preço, o uso da distribuição normal se destaca. Por sua vez, a distribuição conjunta é, em sua grande parte, modelada pela teoria de cópulas.

**Palavras-chave:** modelos empíricos, modelos não paramétricos, modelos paramétricos, modelos semiparamétricos.

## Actuarial models for the agricultural insurance: systematic review

**Abstract** – This study gathers the most used methodologies in research on the modeling of variables for the estimation of the pricing of Brazilian agricultural insurance, to analyze the advantages and disadvantages of using these models. The research is a systematic literature review on the subject. It was observed that most of the works made use of parametric models, which is attributed to the fact that they are well defined mathematically and computationally. For the productivity and price variables, the use of the normal distribution is outstanding. In turn, the joint distribution is for the most part modeled by the copula theory.

**Keywords:** empirical models, nonparametric models, parametric models, semiparametric models.

## Introdução

O setor agrícola é essencial para a economia de muitos países, em especial para a do Brasil. De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa, 2020), trata-se de um dos setores que mais contribui para o aumento do PIB nacional. Em 2019, a produção agropecuária respondeu por 21% da soma de todas as riquezas

produzidas, bem como por 43,2% das exportações brasileiras, chegando a arrecadar US\$ 96,7 bilhões.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) (Acompanhamento..., 2022), os atuais protagonistas do setor agrícola no Brasil, para a safra 2021/2022 são: a soja, com uma projeção de 125,47 milhões de toneladas, queda de

<sup>1</sup> Original recebido em 27/2/2023 e aprovado em 10/5/2023.

<sup>2</sup> Esalq/USP. E-mail: suelengasparetto@usp.br

<sup>3</sup> Esalq/USP. E-mail: beatriz.pozzo@usp.br

<sup>4</sup> Professor do Departamento de Ciências Exatas e do Departamento de Economia, Administração e Sociologia – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Esalq/USP). E-mail: vitorozaki@usp.br

9,2% em relação à safra passada; o milho, com produção projetada de aproximadamente 112 milhões de toneladas, alta de 29% em relação à safra anterior; e o algodão, com produção projetada de 2,71 milhões de toneladas, acréscimo de 15% em relação à safra anterior.

Como o cultivo de diversas culturas oscila entre uma safra e outra, diante dessas mudanças na oferta de produtos agrícolas os produtores desenvolveram mecanismos de defesa e de mitigação de risco, como a diversificação espacial, de culturas, intersetorial e o uso de seguros (Ozaki, 2005b).

O seguro agrícola é uma modalidade de serviço que protege o produtor rural de perdas decorrentes de catástrofes climáticas e adversidades (CNA, 2019). Além da segurança financeira para as propriedades, o seguro serve como instrumento de independência em relação ao Estado, no sentido de proteger o produtor de infortúnios, sem que ele precise esperar por processos, aprovações e filias (Humber Corretora de Seguros, 2020).

De acordo com o superintendente de produtos agro da Tokio Marine Seguradora, no caso de um infortúnio o produtor rural sem seguro pode recuperar suas perdas monetárias de sua safra em até três anos depois da colheita, enquanto o que possui seguro recebe o pagamento em até 30 dias, ou seja, uma rapidez que beneficia toda a cadeia produtora (Canal Agro, 2020).

Nos últimos três anos, o Brasil avançou muito no que diz respeito às modalidades de seguros voltados para o ambiente rural, o que mostra aos produtores que existe uma mudança de comportamento do governo em relação a anos anteriores, quando o produtor fazia a contratação e depois não tinha subvenção governamental (CNA, 2021). A subvenção governamental é uma assistência do governo, em geral na forma de dinheiro, mas não só restrita a ele, concedida a uma instituição, normalmente em troca do cumprimento passado ou futuro de certas condições relacionadas às atividades operacionais dessa instituição (CVM, 2010).

O Programa de Subvenção Rural (PSR) foi criado em dezembro de 2003 pela Lei 10.823

(Brasil, 2003) e autoriza a concessão da subvenção econômica, em percentual, ou valor do prêmio do seguro, ao produtor rural adimplente com a União. Essa Lei estabeleceu também que o seguro rural deveria ser contratado nas sociedades seguradoras autorizadas pela Superintendência de Seguros Privados (Susep).

O Congresso aprovou, inicialmente, um orçamento de R\$ 990 milhões para o PSR em 2022, valor menor do que o exigido pela equipe da Agricultura, que era de R\$ 1,3 bilhão. Em julho do mesmo ano, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) solicitou um aporte extra de recursos, no valor de R\$ 200 milhões, o qual foi aprovado pela Junta de Execução Orçamentária (JEO), mas continua pendente no Congresso. Além disso, 2022 foi o primeiro ano em que os recursos para o benefício foram considerados despesas obrigatórias, o que implica que o governo tem de honrar com tal compromisso (Oliveira Júnior, 2021).

O seguro agrícola é uma modalidade do seguro rural, e existem diversas modalidades de seguro agrícola comercializadas no Brasil: seguro de custeio, de produção (produtividade e preço), de faturamento ou receita e de índices climáticos (paramétrico). A base de cobertura de sinistros dos produtos é semelhante para cada modalidade de seguro, mas pode haver variação dessas coberturas de acordo com a seguradora (Duarte, 2018).

Em linhas gerais, o limite máximo de indenização do seguro agrícola é calculado pelo produto da produtividade estimada, ou seja, quantos frutos/grãos podem ser colhidos por unidade de planta (kg/planta); número de plantas seguradas por quadra/talhão/gleba ou área plantada (ha); e valor estimado da venda da produção (R\$/kg) (Susep, 2007).

Mas existem barreiras que afetam o mercado de seguros, como os problemas relacionados ao risco moral, que, de acordo com Quiggin et al. (1993), trata-se do fato de que o segurado pode tomar decisões que a seguradora é incapaz de monitorar, levando ao aumento no risco da produção. Outro ponto a ser atribuído a esse contratempo é a seleção adversa, um fenômeno de

informação assimétrica no qual a seguradora não consegue distinguir os diferentes grupos de risco e, por essa razão, acaba “selecionando” de maneira incorreta determinados bens e serviços de mercado (Duarte, 2018). Além disso, vale ressaltar a possibilidade de ocorrer um risco sistêmico, ou risco generalizado, que, conforme Ozaki (2007), pode ser definido como o fenômeno climático que pode causar perdas em diferentes localizações (furacões e tornados, por exemplo), bem como a falta de séries de dados de produtividade relativamente longas, em toda a sua escala – regional, microrregional ou para fazendas.

Esses entraves dificultam o cálculo, de maneira precisa, das taxas de prêmio e limitam o número de metodologias atuariais de precificação dos riscos do seguro agrícola, as quais, por sua vez, resultam em taxas imprecisas e mal calculadas (Duarte, 2018). Segundo Ozaki (2005b), o escasso número de metodologias atuariais adequadas para a precificação dos contratos de seguro agrícola é um atraso para o desenvolvimento desse mercado no Brasil.

Diferentes modelagens das variáveis produtividade e preço são propostas, sendo o produto delas conhecido como receita ou faturamento, e este influencia diretamente a precificação do seguro. Como a área de plantação é definida na contratação do seguro, ela se mantém fixa até o fim do processo, diferentemente das demais variáveis, que podem oscilar de acordo com o mercado ou com as condições climáticas, por exemplo, para qualquer modalidade de seguro agrícola comercializado no Brasil.

Diante desses possíveis imprevistos, alguns estudos analisaram a modelagem da precificação, observando-se uma assimetria dos dados, bem como uma falta de independência entre eles (Adami & Ozaki, 2012; Duarte, 2018; Mota, 2019).

Segundo Brisolara & Ozaki (2022), o principal problema no cálculo do produto entre preço e produtividade está na determinação do grau de correlação entre eles, pois dificilmente essas variáveis possuem comportamentos independentes.

Para o cálculo da precificação, os estudos adotam diversas abordagens. Lançam mão de distribuições paramétricas, com o intuito de capturar a simetria e a assimetria dos dados, das quais pode-se citar as distribuições normal, beta, skew-normal, skew e t-student. Mas como os dados podem não apresentar normalidade, são encontradas análises que fazem uso de modelos semiparamétricos, com a aplicação de modelos lineares generalizados (MLG), ou métodos não paramétricos, como a teoria de cópulas e kernel (Brisolara, 2013; Jesus, 2016; Duarte, 2018).

Este estudo é uma revisão sistemática das metodologias adotadas na precificação do seguro agrícola, considerando as quatro modalidades (custeio, faturamento, produção e de índices climáticos) comercializadas no Brasil. O objetivo foi reunir as mais diversas modelagens, apontar as metodologias mais utilizadas e o motivo do uso de cada uma delas. Por conseguinte, espera-se aprimorar os cálculos de precificação dos seguros e ajudar as seguradoras na escolha da melhor metodologia.

## Aspectos metodológicos

A abordagem desta pesquisa foi predominantemente qualitativa, com enfoque na compreensão e diversificação de modelagens das variáveis envolvidas na precificação do seguro agrícola. Esse método é caracterizado pela objetivação do fenômeno e pelo caráter interativo entre os objetivos investigados pelos pesquisadores, suas orientações teóricas e seus dados empíricos. Possui natureza aplicada, já que sua finalidade é agregar conhecimentos para futura aplicação prática, visando ao desenvolvimento e ao aprimoramento das metodologias atuais de precificação do seguro agrícola (Gerhard & Silveira, 2009).

Este estudo é uma revisão bibliográfica, essencialmente uma coleção organizada de referências ou citações de trabalhos anteriores. Segundo Feltrim (2007), essa metodologia serve basicamente a três funções importantes: promover a fase exploratório-descritiva, ou seja, proporcionar a investigação dos conteúdos necessários para

entender o estudo em foco; facilitar a familiaridade com as pesquisas relevantes da área; e estabelecer um elo entre o presente estudo e a pesquisa que está se desenvolvendo no campo de atuação destacado (modelagem de variáveis de seguro agrícola).

Além disso, Figueiredo (1990) assinala que o autor de um artigo de revisão precisa assimilar os dados e usar esse material de forma coerente, de modo a aprofundar sua compreensão e seu entendimento sobre o assunto, pois as revisões são materiais de suma importância e amplamente utilizadas na transferência de informações entre cientistas e seus pares.

Gil (2002) menciona que a principal vantagem da revisão é o fato de ela permitir ao investigador a cobertura de fenômenos de forma muito mais ampla do que ele mesmo poderia pesquisar diretamente. No entanto, é necessário que sejam verificadas e analisadas de forma crítica as fontes secundárias, pois a falta destas pode comprometer a qualidade da pesquisa, bem como a coleta ou o processamento de dados equivocados.

As principais características dessa metodologia são: dar ao leitor as informações necessárias para o entendimento do assunto em foco; expor pesquisas, análises e inferências já publicadas, que podem servir de base tanto para a investigação do autor quanto para futuras investigações; e comparar informações de fontes diferentes e compactar essas pesquisas (Figueiredo, 1990; Feltrim, 2007).

Em suma, a pesquisa bibliográfica sistemática tem como características a coleta e a síntese sistemática de trabalhos passados, sendo fundamental ao embasamento de novos estudos e à identificação de áreas que necessitam ser mais bem desenvolvidas. Esse tipo de estudo é uma boa ferramenta metodológica para o fornecimento de respostas, avaliação e validação de determinada teoria (Snyder, 2019).

Assim, o procedimento metodológico adotado aqui foi a revisão bibliográfica sistemática, a qual analisou pesquisas da literatura nacional e internacional, relacionadas aos estudos de seguro agrícola, cujo objetivo era examinar ou comparar

modelagens das variáveis envolvidas na precificação desse tipo de seguro, com enfoque à produtividade e aos preços de culturas.

A busca foi feita pela ferramenta Google Scholar (2023), que contempla trabalhos publicados nos portais Wiley Online Library, Taylor and Francis Online, Elsevier, JSTOR e SciELO Brasil, entre outros. Foi utilizada uma estratégia de pesquisa com palavras-chave, como modeling AND agricultural AND insurance; modeling AND agricultural AND insurance AND Bra\*il; agricultural AND insurance; agricultural AND insurance AND Bra\*il; e crop AND insurance. As datas de publicação dos artigos variam de 1987 a 2022, para não só contextualizar de forma abrangente a trajetória do seguro agrícola, mas também analisar a diversidade de metodologias de modelagens.

No total, foram pesquisados 127 artigos que exploraram o tema “métodos atuariais aplicados à determinação de precificação do seguro agrícola”, tanto no Brasil quanto no mundo. Os critérios de inclusão foram: i) artigos diretamente relacionados ao tema em questão; ii) trabalhos amplamente citados em outros estudos de seguro agrícola; e iii) estudos que tivessem como objetivo entender e diferenciar as metodologias de modelagens das variáveis envolvidas na precificação do seguro agrícola. Já os critérios de exclusão foram: i) artigos que não focassem o tópico em discussão; e ii) estudos que não possuíam os requisitos mínimos exigidos para publicações científicas.

## Revisão de literatura

### Contexto histórico do seguro agrícola no Brasil

Um dos registros mais antigos do seguro agrícola brasileiro é de 1939. Sob o governo de Getúlio Vargas, foi regulamentado o seguro contra o granizo para a lavoura algodoeira, bem como a criação do Instituto de Resseguros do Brasil (IRB). Em 1940, foi a vez da criação desse tipo de seguro para as lavouras de arroz no Rio Grande do Sul. Em 1948, em razão dos bons resultados dessa inicia-

tiva, foi criada a carteira agrícola contra granizo para os produtores de uva do Estado de São Paulo (Ozaki, 2008; Ramos, 2009).

Em 1954, ocorreram as primeiras tentativas de expandir o seguro agrícola para todo o Brasil. O principal exemplo foi a criação da Companhia Nacional de Seguro Agrícola (CNSA), uma sociedade de economia mista cujo objetivo era desenvolver operações de seguros rurais. A Companhia oferecia basicamente duas modalidades de seguro agrícola: o de colheitas mínimas, aplicado ao algodão herbáceo, ao trigo e ao arroz; e o seguro de danos às plantações, que cobria as culturas de café e da videira.

Em 1965, foi criado o Sistema Nacional de Cadastro Rural (SNCR), com o objetivo de financiar boa parte dos custos de produção e de comercialização agrícola, bem como promover o acréscimo de bens de capital para agricultura, acelerar a expansão de tecnologias e fortalecer economicamente os pequenos e médios produtores agrícolas (Búrigo, 2010).

No ano seguinte, 1966, a CNSA interrompeu suas atividades. O insucesso da companhia decorreu de diversos fatores, entre eles a excessiva centralização da administração na cidade do Rio de Janeiro, que, mesmo com filiais em boa parte do Centro-Sul, monopolizava as maiores decisões. Outro ponto crucial para o encerramento das atividades foi a extrema dificuldade de a CNSA equilibrar suas contas, pois vários anos exibiram resultados deficitários (Ozaki, 2005b).

Também em 1966, foi constituído o Fundo de Estabilidade do Seguro Rural (FESR), com o intuito de viabilizar a consolidação do seguro agrícola privado no Brasil, administrado pelo IRB. O objetivo dessa medida foi estimular o crescimento do mercado de seguro rural, por meio da mitigação dos prejuízos das seguradoras em casos de sinistros de grandes proporções, como os grandes danos decorrentes de secas e granizos.

As seguradoras que faziam parte do seguro rural eram obrigadas a pagar 50% de seu lucro anual ao FESR, para que, caso uma catástrofe ocorresse, o fundo tivesse condições de suportar

parcialmente o pagamento das seguradoras e do IRB. Além disso, se houvesse a necessidade de uma cobertura de deficiência operacional, o FESR poderia recorrer ao Tesouro Nacional (Buainain & Vieira, 2011).

Em 1967, foi criada a Ipesp Seguros Gerais S.A. A seguradora assumiu todas as carteiras de seguro agrícola da Secretaria da Agricultura e o Serviço Autônomo de Seguros Ipesp, instituto que segurava o patrimônio de imóveis do governo estadual (Ozaki, 2005b).

Em 1969, a Ipesp Seguros Gerais S.A. passou a operar com o nome de Companhia de Seguros do Estado de São Paulo (Cosep). Segundo Buainain & Vieira (2011), a Companhia foi um dos poucos exemplos de sucesso na área de seguro agrícola. O segredo do êxito foi manter uma carteira agrícola pequena, como seguros de poucas culturas e alguns sinistros de certos municípios de São Paulo e do Paraná.

Em 1973, o governo brasileiro voltou a fazer iniciativas de proteção ao setor rural, criando o Programa de Garantia da Atividade Agropecuária (Proagro), com apoio do SNCR. Seu objetivo era desobrigar o produtor rural de pagar por operações de crédito e de custeio rural em casos de prejuízos decorrentes de fenômenos climáticos adversos que atingissem seus bens, rebanhos e plantações (Ozaki, 2005b; Buainain & Vieira, 2011).

O Proagro, cujo desempenho foi deficitário nos primeiros anos, foi constante alvo de denúncias de fraudes, além de ser considerado financeiramente inviável. Entre 1989 e 1990, o programa deixou de honrar as indenizações abonadas pelos produtores vinculados, e seus passivos acumularam mais de R\$ 700 milhões, fato que levou as instituições financeiras privadas a abandonarem a parceria (Rossetti, 2001; Ramos, 2009).

A partir de 1991, o Proagro passou por uma reformulação operacional, o que possibilitou melhoria em seus resultados nos anos posteriores. Uma das tentativas de recuperação do programa foi o pagamento de metade dos débitos com os produtores rurais (Rossetti, 2001). Ozaki (2008) frisa que, apesar de não apresentar bons resultados



no início, desde sua criação até meados de 2003, o Proagro foi (no âmbito do governo federal) a única forma de proteção ao financiamento disponível para os produtores rurais contra prejuízos causados por eventos climáticos adversos.

Em dezembro de 2003, foi criado o Comitê Gestor Interministerial do Seguro Rural, ligado ao Mapa. Seu objetivo era avaliar e encaminhar as propostas relativas ao percentual sobre o prêmio ou o valor máximo da subvenção econômica, bem como definir as culturas, as espécies de animais, as regiões que podem receber o benefício, as condições técnicas a serem cumpridas pelos beneficiários e a proposta do Plano Trienal do seguro Rural ou seus ajustes (Ramos, 2009).

Em 2004, foi implementado o Seguro de Agricultura Familiar (Seaf), ou o popularmente conhecido Proagro Mais, que alterou as disposições vigentes do Proagro, de modo a incluir os agricultores vinculados com o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) (Braga & Fialho, 2021). De acordo com Paredes (2016), esse programa é operado nas mesmas diligências do Proagro, assegurando ao agricultor familiar a exoneração de obrigações financeiras relativas à operação de crédito rural de custeio e de parcelas de crédito de investimento.

Em 2005, o setor agrícola passou por vários episódios no cenário de seguros. Depois de 30 anos de funcionamento, a Cosep encerrou suas atividades por causa do aumento expressivo de sinistralidade, isto é, o valor pago em indenizações pela seguradora, dividido pelo valor total arrecadado com vendas de seguros, aumentou, provocando enormes prejuízos e a inviabilização dessas operações (Buainain & Vieira, 2011).

Apesar de ter sido criado em 2003, pela Lei 10.823, o Programa de Subvenção ao Prêmio do Seguro Rural (PSR) só veio a ser instituído em 2005, por meio do Decreto 5.514/2005, que determinou os percentuais e os limites de subvenção. Era objetivo do programa promover a expansão do acesso ao seguro rural e garantir o papel do seguro como instrumento para estabilidade da renda agropecuária, além de induzir o uso de tecnologias ade-

quadas no ambiente agropecuário (Ramos, 2009; Buainain & Vieira, 2011; Adami et al., 2022).

Em 2006, o Decreto 5.514/2005 foi revogado pelo Decreto 5.782/2006, que fixou novos limites e patamares de subvenção. Além disso, o PSR passou da abrangência de sete culturas para todas elas, na modalidade agrícola. Atualmente, o programa contempla, além do seguro agrícola, os seguros pecuário, aquícola, de florestas, de penhor rural, de benfeitorias e produtos agropecuários, de vida e o de cédula do produtor rural (Buainain & Vieira, 2011; Adami et al., 2022).

De acordo com Adami et al. (2022), para o triênio de 2019/2021 os percentuais foram ajustados, variando com o nível e o tipo de cobertura do seguro. Os valores máximos de subvenção ao prêmio de seguro rural, por beneficiário (pessoa física ou jurídica), foram estabelecidos nas seguintes modalidades: agrícola, R\$ 72.000,00; e pecuário, florestal e aquícola, R\$ 24.000,00 (para cada uma). Apesar dos limites fixados, o produtor pode receber a subvenção para mais de uma modalidade desde que o somatório do benefício não ultrapasse o valor máximo de R\$ 144.000,00 por ano civil (Brasil, 2020).

## **Modalidades de seguro agrícola no Brasil**

### **Seguro de custeio agrícola**

Segundo Ozaki (2005a), em julho de 1970 foi implementado o seguro de custeio agrícola, que cobre perdas decorrentes de eventos climáticos, pragas e doenças. Ele indeniza o valor investido em sementes, defensivos, fertilizantes e outros recursos empregados no plantio, caso a produção seja afetada por alguma condição adversa de clima. As taxas de prêmios eram definidas pela Susep de acordo com a cultura e o nível tecnológico utilizado nas lavouras.

O limite máximo de indenização (LMI) é calculado com base no valor do desembolso para o custeio da área segurada. A indenização é paga quando a produtividade obtida com a cultura é in-

ferior à produtividade garantida na apólice (CNA, 2019).

### **Seguro agrícola de faturamento ou receita**

O seguro de faturamento ou receita foi lançado em 2010 como um projeto-piloto e arrecadou R\$ 126 mil em prêmios. Diferentemente do seguro de custeio agrícola ou produtividade, o seguro de faturamento cobre, ao mesmo tempo, as perdas na produção agrícola, decorrentes de eventos climáticos extremos, e a queda dos preços. Nesse seguro, a soja é a cultura de maior peso nas contratações (Adami et al., 2022).

O LMI é calculado com base no faturamento a ser obtido com a produção, considerando a produtividade esperada e o preço do produto de mercado futuro. O pagamento é feito quando a produtividade obtida ou os preços de mercado da cultura, em vigência na apólice na época de colheita, reduzem o faturamento obtido a um nível inferior ao garantido na apólice (CNA, 2019).

### **Seguro de produção (produtividade e preço)**

Essa modalidade é semelhante ao seguro de faturamento, mas é voltada para a compensação da produtividade com relação à variação de seu preço. De acordo com Brisolara (2013), a principal diferença entre o seguro de produção e o seguro de faturamento é que o primeiro tem como gatilho (valor predeterminado em apólice que estabelece quando se deve pagar a indenização) a produtividade média da área segurada, enquanto o segundo, o faturamento total.

O LMI dessa modalidade é calculado com base na produtividade garantida para a área a ser segurada multiplicada por um preço estabelecido no momento da contratação para cada unidade a ser produzida. Esse preço utilizado na contratação será o mesmo usado no caso de eventual indenização (CNA, 2019).

### **Seguro de índices climáticos (paramétricos)**

Trata-se de uma modalidade de seguro que se baseia na oscilação de uma variável climática predeterminada – a precipitação pluvial, por exemplo, geralmente a mais utilizada. Considera-se o fato de que para cada cultura segurada existe uma faixa ideal dessa variável. Assim, se a medida do índice estiver fora do intervalo determinado, a produção agrícola sofre perdas e, então, o produtor é indenizado.

De acordo com Guimarães & Igari (2019), por se voltar ao controle regional ou microrregional dos riscos relacionados com fenômenos climáticos, o custo operacional desse tipo de seguro é significativamente menor do que o dos demais modelos fundamentados na análise individual dos produtores. Segundo Miquelluti et al. (2022), o seguro paramétrico no Brasil, atualmente, é promovido apenas por uma seguradora, a Swiss Re, que oferece produtos de seguro de índice climático personalizado desde 2018.

O LMI é calculado com base no valor esperado pelo cliente a ser obtido com a produção. A indenização é determinada por meio da verificação dos índices coletados e os índices segurados pelo cliente, ocorrendo de forma simplificada depois da apuração dos índices (CNA, 2019).

### **Precificação do seguro agrícola**

A precificação adequada do seguro agrícola é fundamental para o desenvolvimento desse instrumento de mitigação de risco, já que esse processo é responsável por encontrar as taxas de prêmios pagas pelo produtor. Em outras palavras, uma má precificação pode gerar taxas mal ajustadas e, assim, elevar o risco de seleção adversa, no qual há maior adesão de produtores de alto risco. Tal fato aumenta a incerteza da seguradora e reduz a demanda pelo produto, principalmente por parte dos produtores de baixo risco (Duarte, 2018).

Portanto, usar uma modelagem apropriada pode resultar em taxas de prêmios mais justas e

eficientes, que, por sua vez, proporcionam redução nos problemas de seleção adversa e possibilitam a massificação do seguro agrícola.

### Abordagem univariada

Na abordagem univariada, a taxa de prêmio do seguro agrícola é dada pela expectativa de perda ou perda esperada de produtividade da cultura segurada,

$$E(\text{perda}) = E(\max\{y_g - Y; 0\}) = P(Y < y_g)(\lambda y_e - E(Y | Y < y_e)) \quad (1)$$

em que  $Y$  é produtividade observada após a colheita,  $Y_g$  é a produtividade garantida no contrato de seguro,  $Y_e$  é a produtividade média esperada. Vale ressaltar que a produtividade garantida é definida como  $Y_g = \lambda Y_e$ , sendo  $\lambda$  o nível de cobertura escolhido pelo produtor ( $0 < \lambda < 1$ ).

Assim, a taxa de prêmio atuarialmente justa de um contrato de seguro, que modela a variável produtividade, atributo principal dos seguros de custeio e de produção, pode ser descrita como

$$\pi = F_Y(\lambda y_e)[\lambda y_e - E(Y | Y < y_e)] / \lambda y_e \quad (2)$$

em que  $F_Y(\lambda y_e)$  é a distribuição acumulada da variável  $Y$ , denominada “probabilidade de perda do produtor” (Duarte, 2018).

As equações acima deixam claro o quanto importante é estimar corretamente a variável produtividade, da forma mais verossímil possível, para o cálculo de uma taxa de prêmio atuarialmente justa. Para a variável produtividade, foram encontradas modelagens paramétricas, como normal, gamma, beta e skew-normal; abordagens não paramétricas, como kernel e cópulas; abordagens semiparamétricas, como o método de kernel com distribuições normal e beta; e não paramétricas, utilizando kernel não paramétrico padrão, generalized autoregressive conditional heteroscedastic (GARCH) e cópulas, entre outros.

### Abordagem bivariada

Já na abordagem bivariada, a taxa de prêmio pode ser expressa por

$$E[\text{perda}] = E(\max\{x_g y_g - XY; 0\}) = P(X < x; Y < y | XY < x_g y_g) \times (x_g y_g - E(XY | XY < x_g y_g)) \quad (3)$$

em que  $X$  é o preço, e  $Y$  é a produtividade observada da cultura segurada, após a colheita. Vale ressaltar que a expressão  $U = XY$  é o faturamento dessa colheita. O preço garantido é definido como  $Y_g = \lambda Y_e$ , em que  $0 < \lambda < 1$  é o nível de cobertura escolhido pelo produtor, e  $Y_e$  é o preço esperado, normalmente calculado pela média dos últimos 15 dias do preço negociado na Chicago Mercantile Exchange Group (CME), uma das principais bolsa de valores de commodities do mundo (CMEGROUP, 2022).

Logo, a taxa ótima do prêmio do seguro, cujas variáveis modeladas são produtividade e preço, sendo elas componentes do seguro de faturamento, pode ser escrita como (Brisolara, 2013; Duarte, 2018)

$$\pi = P(X < x; Y < y | XY < x_g y_g)[x_g y_g - E(XY | XY < x_g y_g)] / x_g y_g \quad (4)$$

De modo análogo, como foi descrito para a abordagem univariada, a importância da modelagem correta dos dados é inquestionável. Nesse caso, as variáveis estimadas são: preço, produtividade e seu produto. Os estudos que analisaram tal taxa, equação 3, propuseram diferentes abordagens. Alguns focaram primeiramente as variáveis produtividade e preço de forma separada, e as metodologias descritas anteriormente (univariadas) são aplicadas para a produtividade.

Em contrapartida, para avaliar a variável preço foram encontradas modelagens paramétricas, como normal, log-normal e burr; abordagens não paramétricas, como kernel e cópulas; e abordagens com séries temporais, como autoregressive conditional heteroscedastic (ARCH), generalized autoregressive conditional heteroscedastic (GARCH) e autoregressive model (AR).

Outros estudos mostram que para modelar a distribuição conjunta, ou seja, o produto das duas variáveis (preço e produtividade), existe uma adversidade, pois, em muitos casos, essas variá-



veis não são independentes uma da outra, o que impede que a distribuição conjunta seja o produto das duas distribuições modeladas.

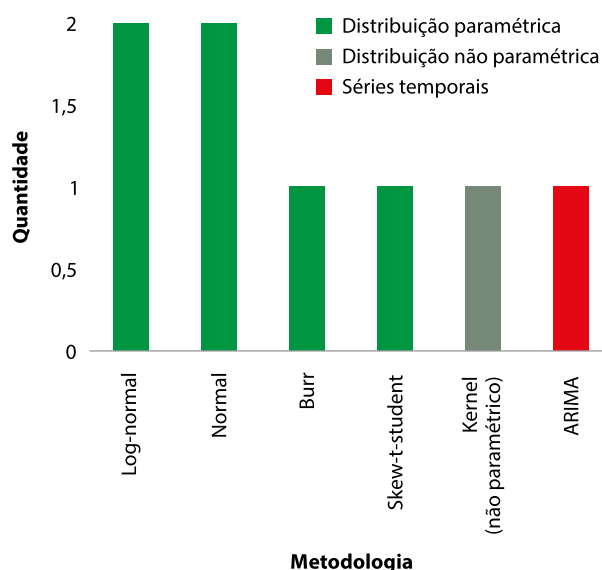
Tejeda & Goodwin (2008) e Duarte (2018) contornaram o problema de variáveis não independentes entre si por meio de modelagens semiparamétricas: cópula elíptica, cópula arquimediana (família Frank) e cópulas arquimedianas (Ali-Mikhail-Haq (AMH), Clayton, Frank e Gumbel).

### Revisão sistemática das metodologias de precificação de seguro agrícola

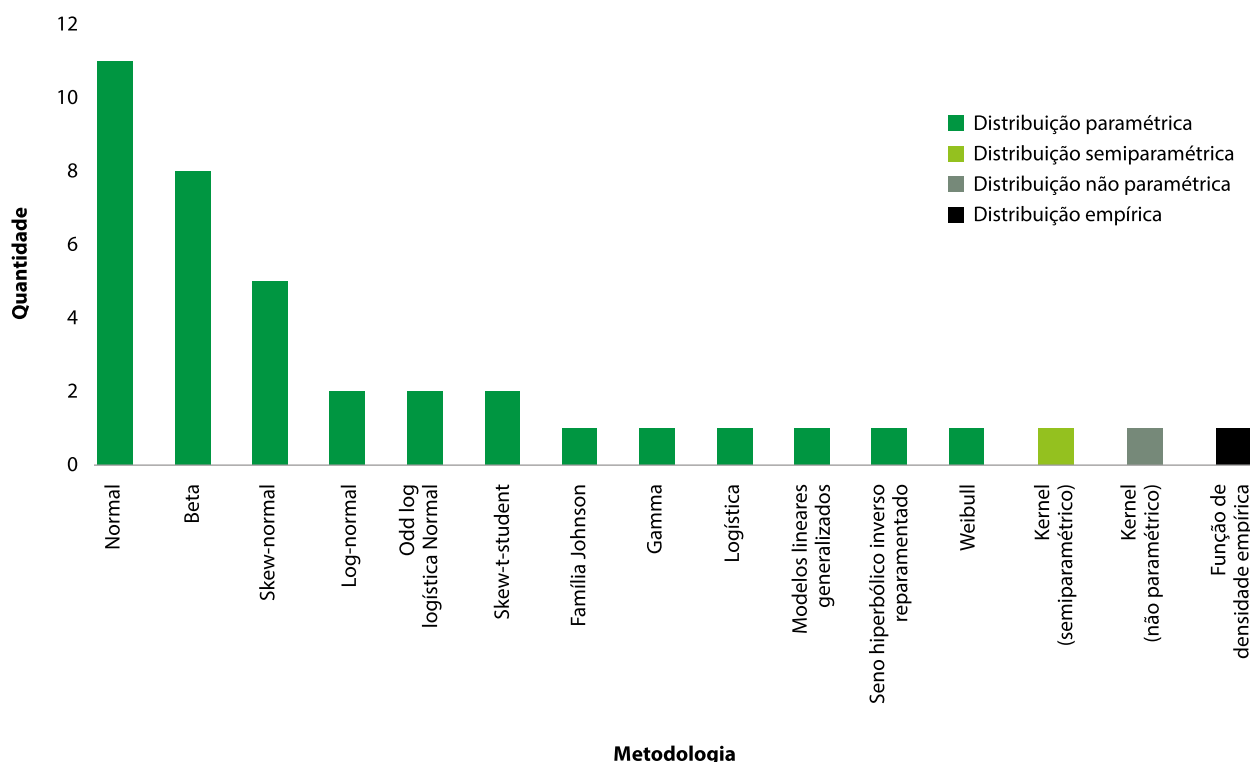
A Figura 1 mostra a quantidade de trabalhos conforme a metodologia adotada para modelar a variável produtividade, dentro do cenário de precificação de seguro.

A Figura 2 descreve a quantidade de trabalhos conforme a modalidade empregada para modelar a variável preço, dentro do cenário de precificação de seguro. Diferentemente do que

acontece com a variável produtividade, nesse caso foram encontrados poucos trabalhos.



**Figura 2.** Quantidade e modalidades de trabalhos conforme a metodologia de modelagem da variável preço.



**Figura 1.** Quantidade e modalidades de trabalhos conforme a metodologia de modelagem da variável produtividade.

Para a distribuição conjunta, ou seja, para a análise da distribuição do resultado entre o produto das variáveis preço e produtividade, com o enfoque de modelagem de precificação do seguro agrícola, foram encontrados três trabalhos amplamente citados: Miqueleto (2011), que usou a metodologia de cópulas, bem como Duarte

(2018), e Brisolará (2013), que executou a modelagem normal bivariada.

A Tabela 1 mostra a descrição de todos os estudos analisados neste trabalho – suas contribuições, vantagens e desvantagens do uso de cada método e a variável modelada.

**Tabela 1.** Resumo das contribuições dos trabalhos que abordaram a modelagem de variáveis envolvidas no cálculo de precificação do seguro agrícola.

Fonte	Metodologia	Contribuição	Variável modelada
Gallagher (1987)	Modelagem paramétrica: gamma	O estudo encontrou evidências de que a distribuição de produtividade de soja analisada é assimétrica negativamente. O estudo apontou que um dos fatores contribuintes para esse fato é o declínio dos retornos marginais positivos e negativos dos insumos climáticos	Produtividade da soja
Ramírez (1997)	Modelagem paramétrica: seno hiperbólico inverso reparametrizado	A transformação do seno hiperbólico inverso reparametrizado exibiu suas vantagens quando aplicada à análise de simulação dos dados, ou seja, modelou de forma satisfatória variáveis dependentes aleatórias que são suspeitas de ser não normais, heterocedásticas e mutuamente correlacionadas, caso das variáveis produtividade de milho, soja e trigo simultaneamente. Os resultados desse estudo foram altamente consistentes com os atributos dos dados reais	Produtividades do milho, da soja e do trigo
Goodwin & Ker (1998)	Modelagem paramétrica: normal Modelagem não paramétrica: kernel	Os resultados demonstram que a eliminação das restrições paramétricas e a flexibilização dos procedimentos de classificação levam a taxas de seguro que muitas vezes são significativamente diferentes daquelas atualmente em uso. Tais taxas podem oferecer maior precisão na mensuração do risco de perda e, assim, melhorar o desempenho atuarial	Produtividades da cevada e do trigo
Just & Weninger (1999)	Modelagem paramétrica: normal	Os resultados sugerem que a distribuição normal não é uma distribuição empírica irracional para estudar programas de seguro agrícola e produção (embora outras também possam ser razoáveis). Da mesma forma, a falha em rejeitar a normalidade implica uma atenção à abordagem empírica de modelar a incerteza na agricultura. Tal resultado pode ser importante para estender os conceitos de modelagem empírica, que são facilmente aplicáveis e, portanto, mais prováveis de ser confiáveis do que métodos mais sofisticados	Produtividades do trigo, milho, sorgo, da soja e da alfafa
Ker & Coble (2003)	Modelagens paramétricas: normal e beta Modelagens semiparamétricas: estimador semiparamétrico usando a função de kernel com distribuições normal e beta Modelagem não paramétrica: kernel não paramétrico padrão	O estimador semiparamétrico usando função de Kernel com distribuição normal foi mais eficiente que o estimador semiparamétrico usando função de kernel com distribuição beta, os modelos paramétricos normal e beta e o estimador kernel não paramétrico padrão, para a produtividade do milho em 87 condados de Illinois, de 1956 a 2000	Produtividade do milho

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Fonte	Metodologia	Contribuição	Variável modelada
Sherrick et al. (2004)	Modelagens paramétricas: normal, logística, Weibull, beta e log-normal	Curiosamente, todas as distribuições analisadas exibiram a característica de que os pagamentos de prêmio esperado não são altamente correlacionados com os prêmios reais (de fato, muitas vezes negativamente correlacionados). As medidas de qualidade de ajuste indicam que as distribuições normal e log-normal falham em descrever os dados da amostra. Já as distribuições mais flexíveis, Weibull e beta, por exemplo, confirmam a evidência visual de que essas distribuições se encaixam melhor na maioria dos casos de modelagem de produtividade para milho, em qualquer teste. Os resultados do estudo demonstram que diferenças significativas nas probabilidades de produtividade implícita resultam exclusivamente de escolhas de parametrização	Produtividades do milho e da soja
Goodwin & Mahul (2004)	Modelagens paramétricas: Normal e beta Modelagem não paramétrica: kernel	O estudo comprova que as três estimativas de densidade (normal, beta e kernel) são muito semelhantes entre si, embora existam diferenças sutis, para o conjunto de dados analisado. A distribuição beta é restrita a ficar acima de zero, enquanto nenhuma restrição é imposta à densidade normal e à estimativa do kernel. Cada uma das abordagens tem méritos e deficiências relativas. A aplicação desses modelos aos dados de produtividade do amendoim mostra que os parâmetros de seguro, como taxas de prêmios, são suscetíveis de ser bastante sensíveis às suposições feitas na modelação das distribuições de rendimento	Produtividade do amendoim
Lawas (2005)	Modelagens paramétricas: distribuições da família Johnson (SB e SU) e beta	Os resultados ilustraram que a família de distribuições Johnson pode, de fato, ser uma abordagem paramétrica altamente flexível para estimar com precisão as distribuições de rendimento do milho. As distribuições SB e SU superam estatisticamente a distribuição beta em relação à modelagem de rendimentos em nível de fazenda, e pode-se concluir também que SU é a melhor distribuição de ajuste com base nas comparações de valor de probabilidade entre as demais distribuições	Produtividade do milho
Ozaki et al. (2008)	Modelagens paramétricas: normal e beta Modelagem não paramétrica: função de kernel Outra abordagem: função de distribuição empírica	Os resultados apontaram que, para todos os níveis de cobertura, as taxas de prêmio são maiores na abordagem não paramétrica. Isso significa que as companhias de seguros estão subestimando o contrato de seguro. A consequência para a seguradora é o prejuízo financeiro por causa da menor tarifa cobrada, além de os produtores de alto risco, beneficiados por essas taxas, demandarem mais contratos, aumentando assim a probabilidade de ocorrência de indenização. Assim, o estudo pôde concluir que o modelo de distribuição empírica é o mais adequado para o conjunto de dados analisado	Produtividades da soja e do milho
Tejeda & Goodwin (2008)	Modelagens paramétricas: Burr, log-normal, normal (para preço), beta (para produtividade) Modelagens semiparamétricas: cópula elíptica, e cópula arquimediana (família Frank)	Para a modelagem dos preços, os resultados apontaram um melhor ajuste da distribuição Burr em comparação com a log-normal e a normal, embora mais dados possam ser necessários para este último caso, pois para a cultura do milho não houve diferença significativa. Já para a produtividade, o estudo modelou essa variável de acordo com a distribuição paramétrica beta e mediu a correlação entre preços das colheitas e os rendimentos por meio dos sistemas de cópulas, os quais apontaram que há uma correlação negativa entre tais variáveis	Preços futuros e produção das safras de milho e soja

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Fonte	Metodologia	Contribuição	Variável modelada
Santos (2011)	Modelagens paramétricas: modelos lineares generalizados (MLG) normal e gama  Outras modelagens: distribuição empírica	O estudo concluiu que, com MLG – normal e gama –, houve bons ajustes, a ponto de propor que o modelo empírico é inconveniente para as seguradoras, já que com o uso de tal modelo a seguradora acaba tendo prejuízo por pagar indenizações maiores do que deveriam	Produtividade do milho
Miqueleto (2011)	Modelagem paramétrica: beta  Modelagens não paramétricas: GARCH e cópulas	Segundo o texto, diferentemente do que ocorre com a série de preços, a densidade da série de produtividade não pode ser estimada por métodos não paramétricos, pois não havia uma amostra suficientemente grande para que a estimativa ocorresse de forma adequada e gerasse resultados consistentes. Assim, o autor decidiu usar a distribuição beta para modelar a distribuição marginal da variável produtividade. Para corrigir o problema de tendência e heteroscedasticidade, uma vez que o estudo não estava interessado em observar essas questões, foi utilizada a abordagem de séries temporais, GARCH. Para aumentar o número de observações da série de produtividade e ter a mesma quantidade de observações da série de preço, o estudo empregou o método de estimação de cópulas	Produtividade do milho
	Modelagens não paramétricas: kernel Epanechnikov, GARCH e AR	O estudo propõe o estimador de kernel para avaliar a densidade dos preços futuros, visto que ele se destaca nas estimativas que permitem captar assimetria nas distribuições, bem como multimodalidade, como é o caso dos preços. As abordagens de GARCH e AR foram empregadas para a correção das séries de preços, ou seja, remover a presença de tendência e heteroscedasticidade dos dados	Preço por saca de milho
	Modelagem não paramétrica: cópulas (para distribuição conjunta)	Como o intuito do estudo era expor formas de calcular as taxas de prêmio de um seguro hipotético de renda, para a cultura de milho, mostrou-se que para isso havia a necessidade de estimar um modelo multivariado não linear, o qual é decorrente da distribuição conjunta entre preço e produtividade. Assim, o estudo optou por usar a metodologia de cópulas com estimação de decomposição (IFM – inference for the margens), que avalia os parâmetros do modelo por máxima verossimilhança. Tal metodologia, segundo o autor, é a forma de estimação mais genérica e com melhor aplicabilidade para o problema	Produtividade e preço do milho
Brisolara (2013)	Modelagem paramétrica: normal	A análise da distribuição da variável analisada não permitiu que se rejeitasse a hipótese de normalidade, admitindo, assim, o uso da distribuição normal para a representação das séries de produtividade	Produtividade da soja
	Modelagem paramétrica: normal  Modelagem não paramétrica: ARIMA (1,0,1)	Para a análise da variável preço por saca de soja, o estudo estimou um modelo ARIMA (1,0,1) à série de preços deflacionados, já que ele apresentou melhor ajuste, considerando a análise gráfica, a autocorrelação dos resíduos e o valor do critério de Akaike. A normalidade dos preços foi examinada pelo teste de Jarque-Bera, que indicou a não rejeição da hipótese nula de normalidade. Portanto, o estudo concluiu, pela viabilidade, aproximar a distribuição da série deflacionada por uma distribuição normal. Mas, com essa abordagem, ocorre a superestimação dos riscos para valores de cobertura baixos	Preço por saca de soja

Continua...

**Tabela 1.** Continuação.

Fonte	Metodologia	Contribuição	Variável modelada
Brisolara (2013)	Modelagem paramétrica: normal bivariada (para distribuição conjunta)	O estudo aponta que as variáveis preço e produtividade têm uma correlação positiva. As taxas de prêmio (que consideram a distribuição conjunta de probabilidade de preço e produtividade) calculadas se mostraram inferiores às comercializadas no Brasil. As simulações empreendidas com o modelo bivariado justificaram a importância da determinação correta do grau de dependência das variáveis, pois o modelo se revelou extremamente sensível aos diferentes coeficientes de correlação simulados. A redução das taxas é significativa	Produtividade e preço da soja
Duarte et al. (2018)	Modelagens paramétricas: normal, beta, log-normal, skew-normal e odd log logística normal (OLLN)	O estudo permitiu concluir que, para todas as séries analisadas, o modelo mais bem ajustado foi o OLLN. Além disso, a bimodalidade encontrada nos municípios de Guarapuava e Palmeira foi considerada no cálculo da alíquota, para uma taxa do prêmio atuarial justa	Produtividade da soja
Duarte (2018)	Modelagens paramétricas: normal, beta, skew-normal, skew-t student, odd log-logística normal (OLLN)	O estudo usa modelagem com distribuições paramétricas, que capturam a simetria, a assimetria e a bimodalidade dos dados de produtividade de soja de alguns municípios do Paraná, para estimar corretamente a distribuição da produtividade e, assim, encontrar uma taxa de prêmio justa. De acordo com o estudo, o modelo OLLN foi o mais adequado, para todas as séries de municípios analisados	Produtividade da soja
	Modelagens paramétricas: normal, skew-normal, odd log-logística normal (OLLN) (para produtividade), log-normal e skew-t-student (para preço) Modelagens semiparamétricas: cópulas arquimedianas (Ali-Mikhail-Haq (AMH), Clayton, Frank e Gumbel) (para distribuição conjunta)	O estudo pôde concluir que os modelos paramétricos que melhor se ajustaram às séries de produtividade e preço foram OLLN e skew-t-Student, respectivamente. O estudo também mostrou que o uso da metodologia de cópulas (AMH), para distribuição conjunta das variáveis supracitadas, apresenta um ganho significativo, pois permite levar em consideração estruturas de dependência linear, não linear e dependência somente nas caudas da distribuição multivariada, além de especificar qualquer tipo de distribuição para as distribuições marginais	Produtividade da soja garantida e preços nominais recebidos pelos produtores
Santos (2021)	Modelagens paramétricas: skew-normal e normal	Os resultados mostraram que a densidade skew-normal é um modelo competitivo à distribuição normal para explicar a distribuições de produtividade agrícola do milho e, portanto, a autora sugere que tal densidade pode ser utilizada para cálculo dos pagamentos esperados no seguro agrícola no Brasil	Produtividade do milho

## Resultados e discussão

Dezesseis trabalhos foram analisados. Todos eles estudaram a modelagem da variável produtividade de diferentes culturas, e três trabalhos examinaram a distribuição conjunta entre preço e produtividade (Miqueleto, 2011; Brisolara, 2013;

Duarte, 2018). Todos eles fazem também suas análises de modo separado, ou seja, modelam as variáveis preço e produtividade individualmente. Um trabalho (Tejeda & Goodwin, 2008) investigou preço e produtividade separadamente, mas não abordou o estudo da distribuição conjunta, apenas a correlação entre as variáveis.



## Produtividade

Dos 16 trabalhos que analisaram produtividade, 11 basearam suas análises só em abordagens paramétricas (Gallagher, 1987; Ramírez, 1997; Just & Weninger, 1999; Sherrick et al., 2004; Lawas, 2005; Tejada & Goodwin, 2008; Miqueleto, 2011; Brisolara, 2013; Duarte et al., 2018; Duarte, 2018; Santos, 2021), dois em abordagens paramétricas e não paramétricas (Goodwin & Ker, 1998; Goodwin & Mahul, 2004), um trabalho verificou essa variável com abordagens paramétrica, semiparamétrica e não paramétrica (Ker & Coble, 2003), um trabalho examinou essa variável do ponto de vista paramétrico, não paramétrico e por outro tipo de modelagem, a de função de distribuição empírica (Ozaki et al., 2008), e um trabalho fez a análise de forma paramétrica, e com função de distribuição empírica, da variável produtividade (Santos, 2011).

Com relação à frequência do uso das distribuições nas análises sobre a produtividade, observa-se que a distribuição normal foi utilizada em 11 estudos; a beta, em oito; a skew-normal em cinco; e a odd log-logística-normal, a skew t-student e a log-normal foram citadas em dois trabalhos. Por sua vez, a gamma, a Johnson (SB e SU), a logística, os modelos lineares generalizados, o seno hiperbólico inverso reparametrizado e a distribuição Weibull foram empregados apenas uma vez. Além disso, quatro estudos adotaram o método de kernel, um adotou a teoria de cópulas e um abordou a teoria de séries temporais, fazendo uso dos modelos GARCH e AR para correção de tendência e heterocedasticidade dos dados; apenas um trabalho analisou a produtividade com um olhar semiparamétrico, o método de kernel com normal e beta, e dois trabalhos usaram a função de distribuição empírica.

Entre os 16 trabalhos analisados, 11 fizeram comparações entre abordagens (Goodwin & Ker, 1998; Ker & Coble, 2003; Goodwin & Mahul, 2004; Sherrick et al., 2004; Lawas, 2005; Ozaki et al., 2008; Tejada & Goodwin, 2008; Santos, 2011; Duarte et al., 2018; Duarte, 2018; Santos, 2021) e cinco admitem apenas um modelo e verificaram se ele foi adequado para o conjunto de dados examinados

(Gallagher, 1987; Ramírez, 1997; Just & Weninger, 1999; Miqueleto, 2011; Brisolara, 2013).

Dos 11 trabalhos comparativos, seis fizeram comparações apenas entre abordagens paramétricas (Sherrick et al., 2004; Lawas, 2005; Tejada & Goodwin, 2008; Duarte et al., 2018; Duarte, 2018; Santos, 2021), dois compararam abordagens paramétricas e não paramétricas (Goodwin & Ker, 1998; Goodwin & Mahul, 2004), um fez a comparação com modelagens paramétricas, não paramétricas e função de distribuição empírica (Ozaki et al., 2008), um fez a comparação com a abordagem paramétrica e a função de distribuição empírica (Santos, 2011), e um trabalho comparou as modelagens paramétricas, semiparamétricas e não paramétricas (Ker & Coble, 2003).

Ainda sobre os estudos comparativos, oito concluíram que um dos modelos comparados foi efetivamente melhor, para modelar a produtividade, dos quais dois elegeram o odd log-logística-normal como a melhor; um, a família Johnson (SU); um, o modelo linear generalizado; um, a skew-normal; um, o método de kernel semiparamétrico com normal e beta; um, o método de kernel padrão; e um, a função de distribuição empírica. Além disso, outros dois trabalhos comparativos foram inconclusivos, dos quais um ressaltou pouca diferença entre as distribuições Weibull e beta, e o outro ficou entre a distribuição normal e o método de kernel.

Já todos os seis estudos que admitiram só uma distribuição (Gallagher, 1987; Ramírez, 1997; Just & Weninger, 1999; Miqueleto, 2011; Brisolara, 2013) concordaram com o modelo proposto, exceto Just & Weninger (1999), que rejeitou a hipótese de o modelo ser normal, como havia proposto.

## Preço

Dos quatro trabalhos que examinaram a variável preço de modo separado, dois basearam suas análises apenas em modelos paramétricos (Tejada & Goodwin, 2008; Duarte, 2018), um comparou um modelo paramétrico com um modelo de séries temporais (ARIMA (1,0,1)) (Brisolara, 2013), e um admitiu que os dados de

preço se modelavam de forma mais apropriada pelo método de kernel e usou duas abordagens de séries temporais (AR e GARCH) para corrigir a tendência e a heterocedasticidade da série analisada (Miqueleto, 2011).

Todos os trabalhos que analisaram a modelagem da variável preço fizeram comparações entre as metodologias escolhidas, exceto Miqueleto (2011), que, desde o princípio, elegeu o método de kernel (não paramétrico) como o mais apropriado para a modelagem de seus dados. Dos que compararam, um deles considerou a distribuição Burr como a mais apropriada das distribuições comparadas (Tejeda & Goodwin, 2008), outro estudo não conseguiu identificar o melhor modelo entre a distribuição normal e um ARIMA (1,0,1), mas o trabalho optou por usar a distribuição normal (Brisolara, 2013; Duarte, 2018), e, ao comparar duas distribuições paramétricas, inferiu por meio dos critérios de decisão (AIC e BIC) que a skew-t-student foi a de melhor desempenho.

### **Distribuição conjunta (preço e produtividade)**

Como mencionado, dos 16 trabalhos analisados, três examinaram a distribuição conjunta entre preço e produtividade, dos quais dois usaram a teoria de cópulas (Miqueleto, 2011; Duarte, 2018), para verificar o grau de correlação entre as variáveis marginais, e Brisolara (2013) abordou a distribuição normal bivariada para modelar a distribuição conjunta.

Dos trabalhos que aplicaram a teoria de cópulas, um optou pelas cópulas com estimação de decomposição (IFM – inference for the margins), que avaliam os parâmetros do modelo por máxima verossimilhança (Miqueleto, 2011), e um trabalho comparou quatro metodologias de cópulas arquimedianas, sendo elas Ali-Mikhail-Haq (AMH), Clayton, Frank e Gumbel, no qual se pôde concluir que a AMH foi a de melhor ajuste (Duarte, 2018).

### **Vantagens e desvantagens de cada abordagem estatística**

Ao usar modelos paramétricos, os trabalhos têm a vantagem de poder se apoiar em distribuições bem definidas, matemática e computacionalmente, as quais garantem o uso de propriedades bem estabelecidas. No entanto, uma desvantagem desses modelos é o fato de eles não incorporarem a bimodalidade, característica específica da produtividade agrícola no Brasil (Duarte, 2018).

Por sua vez, o uso de modelos semiparamétricos traz a facilidade de ser uma abordagem prática, consistente e robusta para as análises, cuja forma funcional verdadeira do modelo é desconhecida. Além disso, essa abordagem permite a modelagem de formas funcionais complexas que contemplam simultaneamente componentes paramétricos e não paramétricos, além de se tratar de uma alternativa mais flexível que a abordagem paramétrica e menos restritiva para a estimação de curvas desconhecidas (Brisolara, 2013).

Por último, o uso de modelos não paramétricos tem a vantagem de ser uma opção que não necessita de especificação prévia do formato da distribuição e possui flexibilidade para descrever várias formas de densidade. No entanto, sua desvantagem é a necessidade de uma grande amostra para se ajustar (Goodwin & Mahul, 2004).

### **Considerações finais**

De acordo com o exposto, pode-se mencionar que, quando se usa uma modelagem apropriada, taxas de prêmios mais justas e eficientes podem ser geradas, que, por sua vez, reduzem os problemas de seleção adversa e possibilitam a massificação do seguro agrícola. Vale ressaltar que taxas superestimadas podem provocar grandes prejuízos para o governo, já que a subvenção é um percentual fixo da taxa de prêmio, ou seja, uma revisão sobre o assunto é de grande eficiência até mesmo para os cofres públicos.

Em todos os trabalhos estudados nesta pesquisa, com exceção de Miqueleto (2011), as abordagens adotadas para modelar a variável

preço e a distribuição conjunta foram os modelos paramétricos, justificando-se o uso deles por suas contribuições positivas, como a distribuição e propriedades conhecidas.

Dos trabalhos que adotaram a abordagem paramétricas, 60,9% usaram ou pelo menos testaram a distribuição normal. Considerando apenas a variável produtividade, 68,7% de todas as análises abordaram o emprego de tal distribuição, enquanto para a modelagem da variável preço o valor cai para 66,7%. Portanto, a distribuição normal é a mais implementada ou testada para modelar variáveis envolvidas no cálculo da precificação do seguro agrícola.

Para a distribuição conjunta, 25% dos trabalhos dedicados a essa análise usaram a distribuição normal, para o caso bivariada, e os outros 75% utilizaram a metodologia de cópulas, o que foi justificado pelo alto grau de correlação entre as variáveis produtividade e preço.

Apesar de a distribuição normal ter grande destaque entre os trabalhos analisados, em muitos casos ela não foi considerada a metodologia mais adequada para a modelagem dos dados, o que justifica uma análise apurada de outros métodos, com diferentes abordagens. Essa comparação entre métodos paramétricos, semiparamétricos e não paramétricos pode apresentar ganhos significativos para a pesquisa.

Os trabalhos futuros podem fazer uso das metodologias mais citadas neste estudo e compará-las. Portanto, um estudo robusto e decisivo pode surgir classificando e justificando qual é a melhor metodologia de modelagem para cada variável envolvida no cálculo de precificação do seguro agrícola.

## Referências

- ACOMPANHAMENTO DA SAFRA BRASILEIRA [DE] GRÃOS: safra 2021/22: quinto levantamento, v.9, n.5, fev. 2022. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Acesso em: 22 fev. 2022.
- ADAMI, A.C. de O.; OZAKI, V.A. Modelagem estatística dos prêmios do seguro rural. *Revista de Política Agrícola*, ano21, p.60-75,

2012. Disponível em: <<https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/view/73>>. Acesso em: 14 dez. 2022.

ADAMI, A.C. de O.; OZAKI, V.A.; MIQUELLUTI, D.L. Efeito de alterações no preço de referência sobre as indenizações do Seguro Agrícola de Faturamento da soja no Brasil. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, v.60, e247784, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.247784>.

BRAGA, G.B.; FIALHO, M.F. *Introdução ao Cadastro Nacional da Agricultura Familiar (CAF)*. Viçosa: Asa Pequena, 2021.

BRASIL. Lei nº 10.823, de 19 de dezembro de 2003. Dispõe sobre a subvenção econômica ao prêmio do Seguro Rural e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 22 dez. 2003. Seção 1, p.1-2.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Seguro rural**: programa de subvenção ao prêmio do Seguro Rural. 2020. Disponível em: <[https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/documentosseguro-rural/copy\\_of\\_RelatorioGeralPSR2019.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/documentosseguro-rural/copy_of_RelatorioGeralPSR2019.pdf)>. Acesso em: 20 abr. 2020.

BRISOLARA, C.S. **Proposições para o desenvolvimento do seguro de receita agrícola no Brasil**: do modelo teórico ao cálculo das taxas de prêmio. 2013. 238p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

BRISOLARA, C.S.; OZAKI, V.A. Uma proposição metodológica para a precificação de seguro de receita agrícola no Brasil. *Revista de Economia e Sociedade Rural*, v.60, e235656, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1806-9479.2021.235656>.

BUAINAIN, A.M.; VIEIRA, P.A. Seguro agrícola no Brasil: desafios e potencialidades. *Revista Brasileira de Risco e Seguro*, v.7, p.39-68, 2011. Disponível em: <[https://rbrs.com.br/arquivos/rbrs\\_13\\_2.pdf](https://rbrs.com.br/arquivos/rbrs_13_2.pdf)>. Acesso em: 3 mar. 2022.

BÚRIGO, F.L. Sistema Nacional de Crédito Rural: uma trajetória de privilégios, crises e oportunidades. In: VOLLES, A.; COLONIESE, C.; MITTELMANN, C.C.; RODRIGUES, L.M. da S.; CINTRA, T.C.A. (Org.). **Ensaio sobre o cooperativismo solidário**. Francisco Beltrão: Infocos, 2010. p.426-458.

CANAL AGRO. Por que é importante contratar o seguro agrícola? *Estadão*, 21 junho 2020. Disponível em: <<https://summitagro.estadao.com.br/noticias-do-campo/por-que-e-importante-contratar-seguro-agricola>>. Acesso em: 3 mar. 2022.

CMEGROUP. **Chicago Mercantile Exchange Group**. 2022. Disponível em: <<https://www.cmegroup.com/market-data/cme-group-benchmark-administration/cme-group-volatility-indexes.html>>. Acesso em: 24 out. 2022.

CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **CNA discute importância do seguro rural para o agro**. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://www.cnabrasil.org.br/noticias/cna-discute-importancia-do-seguro-rural-para-o-agro>>. Acesso em: 4 mar. 2022.

- CNA. Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. **Guia de Seguros Rurais**. Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural>>. Acesso em: 1 mar. 2022.
- CVM. Comissão de Valores Mobiliários. **Pronunciamento técnico CPC 07 (R1)**. 2010. Disponível em: <[http://conteudo.cvm.gov.br/export/sites/cvm/menu/regulados/normascontabeis/cpc/CPC\\_07\\_R1\\_rev\\_12.pdf](http://conteudo.cvm.gov.br/export/sites/cvm/menu/regulados/normascontabeis/cpc/CPC_07_R1_rev_12.pdf)>. Acesso em: 4 mar. 2022.
- DUARTE, G.V. **Precificação do seguro agrícola: novas abordagens utilizando distribuições de probabilidades alternativas e o uso de cópulas bidimensionais e tridimensionais**. 2018. 89p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2019.tde-17012019-152335>.
- DUARTE, G.V.; BRAGA, A.; MIQUELLUTE, D.L.; OZAKI, V.A. Modeling of soybean yield using symmetric, asymmetric and bimodal distributions: implications for crop insurance. **Journal of Applied Statistics**, v.45, p.1920-1937, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1080/02664763.2017.1406902>.
- EMBRAPA. **VII Plano Diretor da Embrapa 2020-2030**. Brasília, 2020. 31p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/vii-plano-diretor/a-agricultura-brasileira>>. Acesso em: 1 mar. 2022.
- FELTRIM, V.D. **Um levantamento bibliográfico sobre a estruturação de textos acadêmicos**. Maringá: Fundação Universidade Estadual de Maringá, 2007. Disponível em: <<http://wiki.icmc.usp.br/images/7/72/Feltrim2007.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2021.
- FIGUEIREDO, N. Da importância dos artigos de revisão da literatura. **Revista Brasileira de Biblioteconomia e Documentação**, v.23, p.31-135, 1990.
- GALLAGHER, P. US soybean yields: estimation and forecasting with nonsymmetric disturbances. **American Journal of Agricultural Economics**, v.69, p.796-803, 1987. DOI: <https://doi.org/10.2307/1242190>.
- GERHARDT, T.E.; SILVEIRA, D.T. (Org.). **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 2009. (Série Educação a Distância.) Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 28 out. 2021.
- GIL, A.C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.
- GOODWIN, B.K.; KER, A.P. Nonparametric estimation of crop yield distributions: implications for rating group-risk crop insurance contracts. **American Journal of Agricultural Economics**, v.80, p.139-153, 1998. DOI: <https://doi.org/10.2307/3180276>.
- GOODWIN, B.K.; MAHUL, O. Risk modeling concepts relating to the design and rating of agricultural insurance contracts. **World Bank Publications**, v.3392, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1596/1813-9450-3392>.
- GOOGLE SCHOLAR. Disponível em: <<https://scholar.google.com/schhp?hl=en>>. Acesso em: 26 fev. 2023.
- GUIMARÃES, T.C.; IGARI, A.T. Mudança do clima e seus impactos no seguro agrícola no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v.12, p.1583-1604, 2019. DOI: <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2019v12n4p1583-1604>.
- HUMBER CORRETORA DE SEGUROS. **Seguro agrícola no Brasil: o que você precisa saber**. Itapeva, 2020. Disponível em: <<https://blog.humberseguros.com.br/post/seguro-agricola-no-brasil>>. Acesso em: 3 mar. 2022.
- JESUS, E.S. **Modelagem Aditiva Generalizada para tarifação do seguro agrícola através da produtividade por município da cana-de-açúcar em Sergipe**. 2016. 48p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão.
- JUST, R.E.; WENINGER, Q. Are crop yields normally distributed? **American Journal of Agricultural Economics**, v.81, p.287-304, 1999. DOI: <https://doi.org/10.2307/1244582>.
- KER, A.P.; COBLE, K. Modeling conditional yield densities. **American Journal of Agricultural Economics**, v.85, p.291-304, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1111/1467-8276.0012>.
- LAWAS, C.P. **Crop insurance premium rate impacts of flexible parametric yield distributions: an evaluation of the Johnson family of distributions**. 2005. 71p. Thesis (Master os Science) – Texas Tech University, Texas. Disponível em: <[https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/1280/Lawas\\_thesis.pdf;sequence=1](https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/1280/Lawas_thesis.pdf;sequence=1)>. Acesso em: 4 mar. 2022.
- MIQUELETO, G.J. **Contribuições para o desenvolvimento do seguro agrícola de renda para o Brasil: evidências teóricas e empíricas**. 2011. 202p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2011.tde-12092011-163544>.
- MIQUELLUTI, D.L.; OZAKI, V.A.; MIQUELLUTI, D.J. Uma aplicação do lasso quantílico geograficamente ponderado ao seguro de índice climático. **Revista de Administração Contemporânea**, v.26, e-200387, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1590/1982-7849rac2022200387.en>.
- MOTA, A.A.L. **Previsão de prêmio e a ocorrência de sinistros no mercado de seguro agrícola brasileiro**. 2019. 90p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/D.11.2019.tde-19112019-181327>.
- OLIVEIRA JÚNIOR, D. Orçamento de 2022 para a Agricultura será superior a R\$ 15 bilhões. **Canal Rural**. 2021. Disponível em: <<https://www.canalrural.com.br/noticias/orcamento-de-2022-para-agricultura-sera-superior-a-r-15-bilhoes>>. Acesso em: 4 mar. 2022.
- OZAKI, V.A. Aspectos contratuais e performance do seguro de custeio agrícola. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, v.109, p.27-48, 2005a. Disponível em: <<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4813504>>. Acesso em: 11 mar. 2022.
- OZAKI, V.A. Em busca de um novo paradigma para o seguro rural no Brasil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**,



v.46, p.97-119, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-20032008000100005>.

OZAKI, V.A. **Métodos atuariais aplicados à determinação da taxa de prêmio de contratos de seguro agrícola: um estudo de caso.** 2005b. 324p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.11.2005.tde-11072005-160540>.

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, p.75-92, 2007.

OZAKI, V.A.; GOODWIN, B.K.; SHIROTA, R. Parametric and nonparametric statistical modelling of crop yield: implications for pricing crop insurance contracts. *Applied Economics*, v.40, p.1151-1164, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1080/00036840600749680>.

PAREDES, C.A.O. **Avaliação de impacto do Proagro mais: um estudo de caso.** 2016. 176p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

QUIGGIN, J.; KARAGIANNIS, G.; STANTON, J. Crop insurance and crop production: an empirical study of moral hazard and adverse selection. *Australian Journal of Agricultural Economics*, v.37, p.95-113, 1993. DOI: <https://doi.org/10.2307/1243953>.

RAMÍREZ, O.A. Estimation and use of a multivariate parametric model for simulating heteroskedastic, correlated, nonnormal random variables: the case of corn belt corn, soybean, and wheat yields. *American Journal of Agricultural Economics*, v.79, p.191-205, 1997. DOI: <https://doi.org/10.2307/1243953>.

RAMOS, R.C. O seguro rural no Brasil: origem, evolução e proposições para aperfeiçoamento. **Informações Econômicas**, v.39, p.5-16, 2009. Disponível em: <http://www.iea.agricultura.sp.gov.br/ftp/iea/publicacoes/IE/2009/tec1-0309.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2022.

ROSSETTI, L.A. Zoneamento agrícola em aplicações de crédito e seguridade rural no Brasil: aspectos atuariais e de política agrícola. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, p.386-399, 2001. Disponível em: <http://trigo.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap2.pdf>. Acesso em: 11 mar. 2022.

SANTOS, C.O. **A distribuição Skew-Normal como modelo para a produtividade de milho aplicada ao seguro agrícola.** 2011. 92p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, J.M.M. **Modelos lineares generalizados aplicados à precificação de seguro agrícola na produtividade de milho dos municípios de Sergipe.** 2021. 56p. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão. Disponível em: <https://ri.ufs.br/handle/riufs/14228>. Acesso em: 17 mar. 2022.

SHERRICK, B.J.; ZANINI, F.C.; SCHNITKEY, G.D.; IRWIN, S.H. Crop insurance valuation under alternative yield distributions. *American Journal of Agricultural Economics*, v.86, p.406-419, 2004. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.0092-5853.2004.00587.x>.

SNYDER, H. Literature review as a research methodology: an overview and guidelines. *Journal of Business Research*, v.104, p.333-339, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>.

SUSEP. Superintendência de Seguros Privados. **Processo n.º 15414.003367/2007-75 – Condições gerais do seguro agrícola sem cobertura do Fundo de Estabilidade do Seguro Rural (FESR).** 2007. Disponível em: [https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/documentos-seguro-rural/15414\\_003367\\_2007-75.pdf](https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/seguro-rural/documentos-seguro-rural/15414_003367_2007-75.pdf). Acesso em: 11 mar. 2022.

TEJEDA, H.A.; GOODWIN, B.K. Modeling crop prices through a Burr distribution and analysis of correlation between crop prices and yields using a Copula method. In: AMERICAN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2008, Orlando, Florida. **Proceedings.** Orlando: AAEA, 2008. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.6061>.