

MATEUS PEREIRA LAVORATO

**RISCOS E RETORNOS ASSOCIADOS À UTILIZAÇÃO DA AGRICULTURA  
DE PRECISÃO EM MATO GROSSO DO SUL: UM ESTUDO DE CASO**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2016

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

T

L414r  
2016

Lavorato, Mateus Pereira, 1992-  
Riscos e retornos associados à utilização da agricultura de  
precisão em Mato Grosso do Sul : um estudo de caso / Mateus  
Pereira Lavorato. – Viçosa, MG, 2016.  
x, 69f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Marcelo José Braga.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Referências bibliográficas: f.64-69.

1. Agricultura de precisão - Mato Grosso do Sul.  
2. Agricultura de precisão - Risco (Economia). 3. Incerteza  
(Economia). I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento  
de Economia Rural. Programa de Pós-graduação em Economia  
Aplicada. II. Título.

CDD 22 ed. 631.3098171

MATEUS PEREIRA LAVORATO

**RISCOS E RETORNOS ASSOCIADOS À UTILIZAÇÃO DA  
AGRICULTURA DE PRECISÃO EM MATO GROSSO DO SUL: UM  
ESTUDO DE CASO**

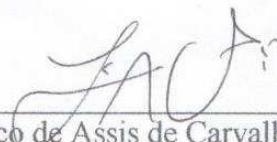
Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 27 de julho de 2016.



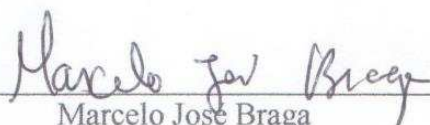
---

Thiago de Melo Teixeira da Costa



---

Francisco de Assis de Carvalho Pinto  
(Coorientador)



---

Marcelo José Braga  
(Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus pela força de me manter inabalável perante as dificuldades que se puseram em meu caminho e por me proporcionar a companhia de pessoas que, cada qual à sua maneira, colaboraram para que mais esta etapa fosse concluída.

Agradeço aos meus pais, José Angelo e Maria da Consolação, por todo carinho e apoio a mim dispensados durante todos estes anos. Sem a base familiar que tive a sorte de possuir, nada do que conquistei até aqui seria possível. Ao meu irmão Marcos, pelo companheirismo de sempre.

À Lívia, minha companheira de sempre, peça mais que fundamental para que tudo pudesse dar certo. Minha maior incentivadora, meu amor maior. Sem dúvida, sua paciência e seu companheirismo fizeram deste caminho menos sinuoso. Ainda chegaremos muito longe! Juntos!

À UFV por me proporcionar uma estrutura inigualável durante estes seis anos e meio de Viçosa. Ao Departamento de Economia Rural e ao Programa de Pós-Graduação em Economia Aplicada, principalmente à Margarida e ao Romildo, pela presteza, dedicação e paciência. Aos meus professores por tudo que me ensinaram, principalmente Marcelo José Braga pela orientação durante estes dois anos. Aos membros da banca pelas sugestões.

Finalmente, agradeço à Capes pela concessão de apoio financeiro imprescindível para realização e conclusão de meu curso de mestrado.

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS.....	II
LISTA DE TABELAS .....	V
LISTA DE FIGURAS E QUADRO .....	VI
RESUMO .....	VII
ABSTRACT.....	IX
1. INTRODUÇÃO .....	1
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	1
1.2. O PROBLEMA E SUA IMPORTÂNCIA .....	4
1.3. HIPÓTESES.....	7
1.4. OBJETIVOS.....	7
1.4.1. Geral.....	7
1.4.2. Específicos .....	8
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	9
2.1. RISCOS E INCERTEZAS NA AGRICULTURA.....	10
2.2. TOMADA DE DECISÃO SOB CONDIÇÕES DE RISCO E INCERTEZA .....	13
2.2.1. Teoria das probabilidades.....	13
2.2.2. Teoria da Utilidade Esperada .....	14
3. METODOLOGIA .....	17
3.1. MODELO ANALÍTICO .....	17
3.1.1. Value at Risk (VaR).....	17
3.1.2. Conditional Value at Risk (CVaR).....	19
3.1.3. Índice de Sharpe Modificado Monetário.....	21
3.2. MODELO ESTATÍSTICO.....	23
3.3. PROCEDIMENTOS .....	25
3.3.1. Algumas considerações acerca do objeto de estudo .....	25
3.4. VARIÁVEIS E FONTE DOS DADOS .....	28
4. RESULTADOS.....	32
4.1. ANÁLISE DOS CUSTOS OPERACIONAIS .....	32
4.1.1. O caso do milho .....	32
4.1.2. O caso da soja.....	35
4.2. ANÁLISE DE RISCO .....	38
4.2.1. O caso do milho .....	39
4.2.2. O caso da soja.....	46

4.3. ANÁLISE DO TRADE-OFF ENTRE RISCO E RETORNO.....	52
5. RESUMO E CONCLUSÕES .....	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CUSTOS OPERACIONAIS DA PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E DE PRECISÃO, EM REAIS POR SACA, MÉDIA DAS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	33
TABELA 2 – CUSTOS OPERACIONAIS DA PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS CONVENCIONAL E DE PRECISÃO, EM REAIS POR SACA, MÉDIA DAS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	36
TABELA 3 - VAR ESTIMADO, EM R\$/HA, PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	39
TABELA 4 - VAR ESTIMADO, COMO PERCENTUAL DO LUCRO ESPERADO, PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	40
TABELA 5 - CVAR ESTIMADO EM R\$/HA PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	43
TABELA 6 - CVAR ESTIMADO COMO PERCENTUAL DO LUCRO ESPERADO PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	44
TABELA 7 - VAR ESTIMADO EM R\$/HA PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	46
TABELA 8 - VAR ESTIMADO COMO PERCENTUAL DO LUCRO ESPERADO PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	47
TABELA 9 - CVAR ESTIMADO EM R\$/HA PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	50
TABELA 10 - CVAR ESTIMADO COMO PERCENTUAL DO LUCRO ESPERADO PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% E 99% DE CONFIANÇA. ....	51
TABELA 11 - LUCRO ESPERADO PARA PRODUÇÃO DE MILHO E SOJA SOB OS SISTEMAS CONVENCIONAL E DE PRECISÃO, EM R\$/HA, NAS SAFRAS 2008/09 A 2014/15 .....	53
TABELA 12 - ÍNDICE DE SHARPE MODIFICADO PARA A PRODUÇÃO DE MILHO, A 95% E 99% DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	55
TABELA 13 - ÍNDICE DE SHARPE MODIFICADO PARA A PRODUÇÃO DE SOJA, A 95% E 99% DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015. ....	56

## LISTA DE FIGURAS E QUADRO

FIGURA 1 - ILUSTRAÇÃO DO VAR: DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADES E NÍVEL DE CONFIANÇA.....	19
FIGURA 2 – COMPOSIÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL TOTAL NA PRODUÇÃO DE SOJA PELOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, MÉDIA DAS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015.....	34
FIGURA 3 – COMPOSIÇÃO DO CUSTO OPERACIONAL TOTAL NA PRODUÇÃO DE MILHO PELOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, MÉDIA DAS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015.....	38
FIGURA 4 - VAR CALCULADO, EM TERMOS MONETÁRIOS E PERCENTUAIS, PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% (A) E 99% (B) DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015.....	41
FIGURA 5 - VAR E CVAR CALCULADOS, EM TERMOS PERCENTUAIS, PARA A PRODUÇÃO DE MILHO NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% (A) E 99% (B) DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015.....	45
FIGURA 6 - VAR CALCULADO, EM TERMOS MONETÁRIOS E PERCENTUAIS, PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% (A) E 99% (B) DE CONFIANÇA, PARA AS SAFRAS 2008/2009 A 2014/2015.....	48
FIGURA 7 - VAR E CVAR CALCULADOS, EM TERMOS PERCENTUAIS, PARA A PRODUÇÃO DE SOJA NOS SISTEMAS DE PRECISÃO E CONVENCIONAL, A 95% DE CONFIANÇA.....	52
QUADRO 1 - OPERACIONALIZAÇÃO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA PELOS SISTEMAS CONVENCIONAL E DE PRECISÃO .....	26

## RESUMO

LAVORATO, Mateus Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Riscos e retornos associados à utilização da agricultura de precisão em Mato Grosso do Sul: um estudo de caso.** Orientador: Marcelo José Braga. Coorientador: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

Os processos de desenvolvimento tecnológico e de capitalização que ocorreram sobre a agricultura mundial e brasileira nas últimas quatro décadas, além de contribuírem para a expansão da produção agrícola, aumentaram a competição e os riscos da atividade, tornando os investimentos contínuos em tecnologia um fator de vital importância para a permanência do produtor no setor. A agricultura de precisão foi introduzida no início da década de 1990, caracterizando-se como um sistema produtivo alternativo ao modelo convencional, sendo fortemente baseada em avanços tecnológicos introduzidos no meio agrícola. Embora possua apelo econômico e ambiental, não foi observado um significativo processo de difusão deste conjunto tecnológico ao redor do mundo, inclusive no Brasil. Destarte, a presente pesquisa busca explorar o trade-off existente entre risco e retorno, mensurando os riscos relacionados à utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo e os contrastando com os resultados econômicos alcançados pela atividade agrícola. O estudo foi baseado na teoria da tomada de decisões em condições de risco e incerteza e também nas teorias que versam sobre as fontes de riscos e incerteza na agricultura. Os custos de produção foram definidos a partir da construção dos custos operacionais totais para cada uma das culturas estudadas, sob os dois sistemas produtivos analisados. A análise de risco foi realizada a partir das estimativas obtidas para o Value at Risk e para o Conditional Value at Risk. O Índice de Sharpe Modificado Monetário foi utilizado no intuito de se avaliar o trade-off existente entre riscos e retornos relacionados a produção de milho e soja através da agricultura de precisão. Os custos operacionais relacionados à produção pelo sistema de precisão foram maiores do que aqueles apresentados pelo sistema convencional para ambas as culturas. Este resultado está relacionado aos maiores gastos relacionados à operacionalização da atividade agrícola sob os conceitos da agricultura de precisão. A análise de risco apresentou resultados que foram de encontro às hipóteses anteriormente levantadas. Tanto para o Value at Risk, quanto para o Conditional Value at Risk, a produção de milho e soja pelo sistema de precisão apresentou menor risco, estimado como potencial de perda nos lucros, do que calculado para o sistema convencional. Os resultados favoráveis ao sistema de precisão estão relacionados à menor variabilidade dos gastos com fertilizantes e das

produtividades alcançadas. Entretanto, na análise do trade-off existente entre risco e retorno, medido pelo Índice de Sharpe Modificado Monetário, ficou observado que, principalmente para o milho, a produção através da agricultura de precisão não é vantajosa sob esta ótica. Isto se deve ao fato de, para o milho, o sistema convencional ter apresentado lucros esperados mais elevados do que o observado para o sistema de precisão. Embora os lucros esperados para a produção de soja via agricultura de precisão tenham sido maiores do que aqueles relacionados à produção convencional, a diferença entre estes valores não foi capaz de cobrir o risco calculado para o sistema de precisão, gerando índices menores do que a unidade. Com base nos resultados encontrados, salienta-se que a agricultura de precisão, dada a consideração da variabilidade espacial da produtividade da lavoura e seu tratamento específico, pode ser vista como uma estratégia de mitigação dos riscos enfrentados pelos produtores de milho e soja. Apesar disso, ficou observado, para o caso do milho, que os altos custos relacionados à operacionalização deste método produtivo acabam por penalizar os lucros obtidos pela atividade agrícola, podendo diminuir sua atratividade para com os produtores rurais.

## ABSTRACT

LAVORATO, Mateus Pereira, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Risks and returns associated with the use of precision agriculture in Mato Grosso do Sul state, Brazil: a case study.** Adviser: Marcelo José Braga. Co-adviser: Francisco de Assis de Carvalho Pinto.

The processes of technological development and capitalization affected the world agriculture in the last four decades, contributing to the agricultural production expansion and the leverage of competition and risks, making the continued investment in technology a crucial factor to the permanence of the producer in agriculture. Precision agriculture was introduced in the early 90's as an alternative production system, highly based on technological advances. Although it has economic and environmental appeal, a significant diffusion process of the precision agriculture set around the world has not been observed. Thus, this research aims to explore the trade-off between risk and return through the measurement of the risks related to the use of precision agriculture as an agricultural production system and the contrast of it with agriculture economic results. This study was based on the theory of decision making under uncertainty and on the theories of agricultural risks. The production costs were defined through the construction of the operational total costs to each of the analyzed production systems. The risk analysis was conducted through the estimations of the Value at Risk and the Conditional Value at Risk. The Sharpe Monetary Modified Index was utilized in order to evaluate the risk-return trade-off of the maize and soybean precision production. For both crops, the operational costs of the precision system were bigger than those of the conventional system. These results are linked to the bigger outlays related to the operationalization of precision agriculture. The risk analysis results were against the initial hypothesis of this research. Both methods showed smaller risks for the production of maize and soybean through the precision system than the conventional one. These results are related to the smaller variability of the agricultural productivity and the fertilizers outlays in the precision production system. However, the Sharpe Monetary Modified Index showed that, thorough the optic of the risk-return trade-off, the production of maize is not advantageous. It is explained by the fact that the expected profit of the precision system were smaller than that of the conventional system. Although the expected profits of the soybean's precision production were bigger than that of the conventional system, the difference between them were smaller than the risks of the precision agriculture. Based on these results one could stress the power of the precision agriculture on the maize and

soybean production risk management. However, the high costs of the maize precision production end up penalizing the agricultural production profits, being less attractive to the producers.

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Considerações iniciais

Os avanços técnicos e tecnológicos promovidos nas últimas quatro décadas foram capazes de transformar radicalmente a produção agrícola mundial. Estas mudanças foram pautadas nos desenvolvimentos científicos concebidos pela Revolução Verde. No Brasil, os impactos desta evolução foram evidentes, tendo o País passado de importador líquido de alimentos na década de 1960 para importante player no comércio internacional de commodities agropecuárias a partir do início do século XXI (VIEIRA FILHO, 2012).

A prática agropecuária vigente no Brasil até meados dos anos 1970, que era fortemente baseada em expansões na área produtiva e apresentava aumentos de produtividade relativamente baixos, foi rejeitada a partir da introdução de um novo modelo de desenvolvimento da atividade agropecuária nacional (ALVES; CONTINI; GASQUES, 2008). Buscou-se modernizar a atividade a partir da geração e adaptação de conhecimentos e tecnologias voltadas para os distintos biomas brasileiros, considerando-se suas especificidades e potencialidades (PEREIRA et al., 2012).

Destaca-se, neste contexto, a transformação realizada na região do Cerrado brasileiro. No início da expansão da fronteira agrícola nacional, em meados da década de 1970, os ganhos de produtividade da terra foram comprometidos, dada baixa potencialidade produtiva dos solos desta região; contudo, os conhecimentos técnicos e tecnológicos aplicados possibilitaram que, já na década de 1980, fossem observados ganhos de produtividade (VIEIRA JÚNIOR; VIEIRA; BUAINAIN, 2006).

Durante as últimas quatro décadas, além destas transformações produtivas, observou-se também uma mudança radical no padrão de acumulação da agricultura brasileira, dado que o capital foi elevado ao papel de protagonista da atividade agrícola. Atualmente, cadeias produtivas mais capitalizadas – como as do milho e da soja – têm sua produção e geração de rendas agropecuárias fortemente dependentes de investimentos em infraestrutura, maquinários, aparatos tecnológicos e capital humano (BUAINAIN et al., 2013).

Os processos de desenvolvimento técnico e tecnológico e de capitalização do negócio agrícola foram capazes de aumentar ainda mais os riscos ligados à agricultura. Analisando-se a trajetória das transformações experimentadas pela agricultura brasileira, fica revelado que os riscos vêm aumentando à medida que o setor se moderniza e passa a apresentar um novo padrão baseado na intensificação do capital em suas várias dimensões (BUAINAIN et al., 2014). Aos riscos já inerentes à produção e comercialização agrícola,

como aqueles ligados às variações climáticas e à volatilidade dos preços das commodities, foram adicionadas as incertezas relacionadas à mudança de paradigma observada na agricultura nacional, tornando esta atividade ainda mais arriscada.

Concomitantemente ao aumento dos riscos na agricultura, o desenvolvimento tecnológico e o intenso processo de capitalização da atividade tornaram o negócio agrícola contemporâneo significativamente mais competitivo, por exemplo, do que em meados do século XX. A produção brasileira se expandiu em direção ao mercado internacional, criando novas possibilidades aos produtores do País e aumentando, por conseguinte, a pressão competitiva do negócio agrícola. No passado o Brasil ocupava posição de quase monopolista em diversos mercados de commodities agrícolas, enquanto atualmente a concorrência se acirrou substancialmente, inclusive em segmentos de destaque para a agropecuária nacional, como soja, carne e produtos tropicais (BUAINAIN et al., 2014).

Embora o estabelecimento de uma nova dinâmica produtiva – baseada no uso intensivo de tecnologia – tenha possibilitado expressivos aumentos na produção agrícola, tornou-se necessário também a manutenção e continuidade do processo de inovação, de modo a assegurar os ganhos cada vez mais elevados de produtividade e rentabilidade requeridos pelo negócio agrícola contemporâneo (BUAINAIN, 2014). Fica evidente, desta maneira, que a garantia da competitividade da atividade agrícola atual exige investimentos contínuos em tecnologias aplicadas à agricultura, de modo a possibilitar que os produtores se apropriem de vantagens competitivas, aumentando assim suas receitas.

A necessidade da continuação dos investimentos tecnológicos na agricultura se torna ainda mais evidente quando se analisam as tendências demográficas e migratórias esperadas para o Brasil, além das projeções acerca das mudanças climáticas. Projeta-se que o trabalho na agricultura se torne cada vez mais escasso, dada a tendência de aumento no número de idosos e redução da população jovem (INDICADORES..., 2011) e a continuidade da migração rural-urbana (VISÃO..., 2014). Além disso, a esperada intensificação dos efeitos relacionados às mudanças climáticas, tendem a tornar os ambientes produtivos menos previsíveis. A efetivação destes cenários torna lógica a demanda, por parte dos produtores rurais brasileiros, de alternativas tecnológicas ligadas à mecanização e automação das atividades agrícolas, visando maior velocidade e precisão no manejo da produção.

Assim sendo, considerando-se o cenário atual da agricultura brasileira e mundial, a introdução de novas tecnologias aplicadas à produção e gerenciamento da atividade

agrícola pode ser vista como um fator central no ganho de competitividade do negócio agrícola e também no controle dos riscos por parte dos produtores rurais. Os possíveis benefícios relacionados com o aumento da receita podem ter relação com a diminuição dos custos de produção, com o aumento da produtividade da lavoura ou com a melhoria da qualidade das culturas produzidas. Fica evidenciado, deste modo, o papel fundamental daquelas tecnologias ligadas à utilização racional e eficiente de recursos escassos. A otimização destes recursos pode ter impacto direto na produtividade das culturas produzidas e na estrutura de custos do negócio agrícola, podendo aumentar as receitas da atividade e a renda do produtor rural.

Neste sentido, foram introduzidas junto à atividade agrícola, no início da década de 1990, as ferramentas de tecnologia de informação e comunicação (TIC). Estas tecnologias, ao integrarem diversos avanços tecnológicos e aplicá-los à agricultura, possibilitaram a criação de uma nova técnica de produção e gerenciamento da atividade agrícola, a agricultura de precisão (SCHIMMELPFENNIG; EBEL, 2011; ARNHOLT, 2001; WHELAN; MCBRATNEY; BOYDEL, 1997). A partir de então, uma quantidade incomensurável de informações referentes à atividade agrícola passou a ser processada, de modo cada vez mais detalhado, tornando-se considerável fonte de vantagem estratégica competitiva para os produtores agrícolas ao serem capazes de modificar as estruturas produtivas da agricultura (BOEHLJE, 1998).

As tecnologias de precisão, quando aplicadas ao manejo produtivo nas propriedades rurais, são vistas como potenciais indutoras de reduções nas perdas e aumentos na eficiência global do processo de produção, podendo então contribuir substancialmente para a competitividade da agricultura brasileira. Além disso, as tecnologias de TICs aplicadas ao meio rural através da agricultura de precisão podem se configurar como estratégias voltadas à questão da escassez de trabalho no meio rural e a pressão de custos e salários, exercendo contribuições acerca do crescimento da produtividade do trabalho agrícola (VISÃO..., 2014).

Entretanto, por melhores que sejam os resultados esperados pela adoção de uma nova tecnologia ou pacote tecnológico, como a agricultura de precisão, esta mudança pode aumentar os riscos associados com a atividade agrícola (SUNDING; ZILBERMAN, 2001). O produtor, dependendo de seu nível de aversão ao risco, tenderá a contrabalancear os potenciais ganhos prometidos pela adoção de determinada tecnologia com os riscos que podem acompanhar esta tomada de decisão. Ou seja, mesmo que a adoção eleve os riscos da atividade agrícola, os ganhos potenciais advindos da utilização desta tecnologia podem sobrepor esta exposição adicional ao risco.

## 1.2. O problema e sua importância

Desde o início da década de 1990, a agricultura de precisão passou a ser apresentada como uma nova alternativa ao manejo e gerenciamento da produção agrícola, sendo capaz de definir as especificidades e singularidades de cada talhão<sup>1</sup>, permitindo o tratamento individual e diferenciado de cada um deles. As principais ferramentas relacionadas a este sistema produtivo são o Sistema de Posicionamento Global (GPS, do inglês Global Positioning System), o Sistema de Informação Geográfica (GIS, do inglês Geographic Information System), os aplicadores de insumos à taxa variável (VRT, do inglês Variable Rate Technology) e os mapas de produtividade (ROBERTSON; LYLE; BOWDEN, 2008). Estas tecnologias, em conjunto, operacionalizam a prática de precisão, buscando satisfazer, de modo simultâneo, as crescentes pressões na demanda por alimentos e na conservação do meio ambiente.

A hipótese básica por trás da agricultura de precisão reside na possibilidade de o gerenciamento localizado da lavoura beneficiar tanto os produtores quanto o meio-ambiente (HURLEY; MALZER; KILLIAN, 2003). Utilizando-se dos conceitos e das ferramentas relacionadas à agricultura de precisão, os insumos seriam aplicados de forma mais eficiente, evitando seu desperdício, o que, em última instância, seria revertido em maior lucratividade da propriedade rural, considerando-se o potencial de diminuição dos gastos com insumos e aumento da produtividade da lavoura.

A agricultura de precisão fornece aos produtores informações detalhadas sobre o solo e a lavoura, possibilitando um maior controle sobre o sistema produtivo. Admitindo-se esta possível capacidade de redução da variabilidade tanto da produtividade quanto dos retornos econômicos entre as safras, a agricultura de precisão é vista como uma potencial ferramenta de gestão de riscos na produção agrícola (LOWENBERG-DEBOER; SWINTON, 1997; LOWENBERG-DEBOER; AGHIB, 1999; ADAMS; COOK; CORNER, 2000; ROBERTS; ENGLISH; LARSON, 2002).

Entretanto, apesar de seus potenciais benefícios e do tempo decorrido desde sua concepção, diversos estudos têm mostrado que este conjunto de tecnologias aplicadas à agricultura não se difundiu efetivamente ao redor do globo (MCBRIDE; DABERKOW, 2003; GRIFFIN; LOWENBERG-DEBOER, 2005; REICHARDT; JÜRGENS, 2009; MONDAL; BASU, 2009). Griffin e Lowenberg-DeBoer (2005) apontaram que, àquela época, a agricultura de precisão estava sendo adotada de forma lenta e desigual no Brasil. Estes autores destacaram, como fatores determinantes ao atraso na adoção desta

---

<sup>1</sup> Talhão é o nome dado a cada parte da divisão da área cultivável de uma propriedade rural.

tecnologia no País, os baixos preços relativos da terra, o baixo custo da mão-de-obra, o alto custo das ferramentas de precisão importadas e a baixa disseminação da informática nas propriedades rurais. Por outro lado, Bernardi e Inamasu (2014), em estudo mais recente, apontaram para um aumento da adoção da agricultura de precisão entre os produtores rurais das principais regiões agrícolas do Brasil, embora não tenha ocorrido ainda sua plena disseminação pelos setores do agronegócio brasileiro.

Khanna, Epouhe e Hornbaker (1999) pontuaram alguns fatores que explicariam as baixas taxas de adoção da agricultura de precisão, tais como a incerteza em relação aos retornos da atividade agrícola e os altos custos fixos relativos ao investimento em equipamentos e aquisição de informações. Observa-se, deste modo, a existência de um contraste entre os potenciais benefícios relacionados à utilização da agricultura de precisão e os baixos níveis de adoção destacados pela literatura. Esta contradição poderia ser explicada pelos riscos associados à transição para além do manejo tradicional da lavoura e operacionalização da produção agrícola pelo sistema de precisão.

Ao se optar pela transição entre o manejo tradicional da lavoura e a agricultura de precisão, o produtor rural pode elevar potencialmente os riscos que o cercam, dada a incerteza em relação aos resultados da atividade agrícola sob este novo sistema de produção. Neste sentido, aqueles produtores que possuem maior aversão ao risco somente utilizarão da agricultura de precisão para o gerenciamento localizado da lavoura quando forem convencidos de que o tempo e o investimento dispendidos na transição entre os sistemas de produção forem justificados por ganhos de produtividade ou redução de custos e riscos (PLANT, 2001). Neste caso, é observada uma aproximação ao conceito de prêmio de risco<sup>2</sup>, onde, admitindo-se que a agricultura de precisão realmente apresente maior exposição ao risco, o produtor rural somente a escolherá se houver uma compensação, como um aumento nos retornos da atividade.

A introdução de uma nova técnica ou tecnologia agrícola, como a agricultura de precisão, geralmente requer um substancial investimento em capital (MOSCHINI; HENNESSY, 2001). Há também a incerteza advinda da evolução tecnológica que acompanha a transição entre duas técnicas produtivas, visto que, dada a veloz evolução pela qual passa o setor agrícola, os aparatos tecnológicos podem rapidamente se tornar obsoletos, gerando custos irrecuperáveis potencialmente fatais ao empreendimento agrícola (CANNARELLA; PICCIONI, 2011). Ademais, mesmo que os riscos de

---

<sup>2</sup> O prêmio de risco é caracterizado como a maior quantidade monetária que o produtor está disposto a pagar para mitigar o risco de possíveis variações no lucro pela atividade, sendo normalmente calculado como a diferença entre o valor esperado do lucro e seu equivalente certo.

produção possam vir a serem mitigados, a opção pelo manejo de precisão poderia aumentar outros riscos ligados à atividade agrícola, quais sejam o risco financeiro, o risco tecnológico e o risco ligado à qualificação da mão de obra (LOWENBERG-DEBOER, 1999). Os equipamentos de precisão estão em constante avanço tecnológico, podendo se tornar obsoletos rapidamente, e ainda necessitam de um grande aporte financeiro para sua aquisição, além de requererem profissionais especializados para sua operação e interpretação dos dados coletados.

Neste contexto, evidencia-se o papel de destaque que as considerações sobre as incertezas e os riscos possuem no tangente à escolha pela utilização ou não de determinada tecnologia ou conjunto tecnológico – como é o caso da agricultura de precisão – por parte dos produtores rurais. Apesar de haver distinção, na literatura especializada, sobre a agricultura de precisão e sua relação com os riscos na agricultura, estes termos estão evidentemente conectados, possuindo desdobramentos significativos acerca da análise econômica da atividade agrícola conduzida sob este método produtivo.

No Brasil, de modo específico, são relativamente escassos os estudos que tenham versado sobre a ótica econômica da prática de precisão, sendo que a maior parte destes buscou discorrer acerca da adoção e difusão de tecnologias de AP (GRIFFIN; LOWENBERG-DEBOER, 2005; SILVA; MORAES; MOLIN, 2011; CIRANI; MORAES, 2010; ANSEMI, 2012; BERNARDI; INAMASU, 2014). Embora tenham sido feitos apontamentos visando explicar o baixo nível de emprego da agricultura de precisão no País, a questão dos riscos não foi abordada explicitamente na literatura nacional. Apenas Silva et al. (2007) tratou, de modo complementar à sua análise de viabilidade econômica da agricultura de precisão em Mato Grosso do Sul, sobre a questão do risco de investimento.

Neste sentido, a presente pesquisa busca explorar justamente o trade-off existente entre risco e retorno, avaliando os riscos – medido como o potencial de perdas no lucro – relacionados à utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo e os contrastando com os resultados econômicos alcançados pela atividade agrícola. Pretende-se, a partir de um estudo de caso, apresentar evidências acerca da exposição ao risco – medida em termos monetários – observada pelo produtor que utiliza os conceitos e as ferramentas relacionadas à prática de precisão no manejo da lavoura. Buscar-se-á, também, comparar estes resultados com aqueles apresentados pelo sistema de produção convencional.

A investigação da relação entre os retornos e os riscos ligados à utilização deste sistema de produção se faz relevante, visto que estas observações podem afetar

diretamente a escolha do produtor acerca deste conjunto tecnológico. Deste modo, o presente estudo contribui com a literatura através da avaliação do risco envolvido na utilização das técnicas de precisão, bem como pela mensuração do retorno obtido pela utilização da agricultura de precisão nas culturas do milho e da soja.

Foco é dado ao milho e à soja, visto que estas culturas são apontadas como aquelas que mais se utilizam do manejo de precisão no Brasil e no resto do mundo (GRIFFIN et al., 2004; GRIFFIN; LOWENBERG-DEBOER, 2005; BERNARDI; INAMASU, 2014). Além disso, deve-se destacar que, segundo dados da Produção Agrícola Municipal realizada anualmente pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, estas duas culturas em conjunto representaram, em média, mais de dois terços do valor da produção agrícola da Região Centro-Oeste, do Estado do Mato Grosso e do município de Chapadão do Sul durante o período analisado neste estudo, de 2008 a 2014. Evidencia-se, desta maneira, a importância das culturas do milho e da soja para a região estudada e sua relação com a adoção da agricultura de precisão no País.

Assim sendo, fica evidente a importância de se estudar o retorno advindo da utilização desta técnica produtiva, bem como os riscos aos quais os produtores que optem por ela possam estar expostos. Confrontando-se os retornos provenientes a partir de sua utilização com os riscos inerentes a esta técnica produtiva, poder-se-á beneficiar os produtores e gestores rurais em seus processos de tomada de decisão, sobre investir ou não em tecnologias de precisão. Por conseguinte, ficando observado que os ganhos de receita compensem os riscos da atividade, este estudo poderia guiar políticas públicas de incentivo à utilização de tecnologias de precisão na agricultura brasileira.

### **1.3. Hipóteses**

- a) A utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo é capaz de aumentar o retorno da produção de milho e soja, através de diminuições de custos e ganhos de produtividade.
- b) Os riscos envolvidos na utilização da agricultura de precisão para a produção de milho e soja são mais elevados do que sem a utilização deste pacote tecnológico.

### **1.4. Objetivos**

#### **1.4.1. Geral**

Comparar os riscos e retornos para sistemas de produção de milho e soja que adotem a agricultura de precisão com aqueles que não adotem.

#### **1.4.2. Específicos**

i. Identificar as diferenças dos custos de produção para as culturas do milho e da soja entre os sistemas de produção que adotem e não adotem a agricultura de precisão.

ii. Mensurar os retornos para as culturas do milho e da soja nos sistemas de produção que adotem e não adotem a agricultura de precisão.

iii. Definir os potenciais de perda (risco) na produção das culturas do milho e da soja com e sem a utilização da agricultura de precisão.

iv. Comparar os potenciais de perda (risco) para as culturas do milho e da soja entre os sistemas de produção que adotem e não adotem a agricultura de precisão.

v. Calcular a relação entre risco e retorno para as culturas do milho e da soja a partir da utilização da agricultura de precisão como método de produção.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Risco e incerteza são termos intimamente ligados, sendo necessário observar as definições encontradas na literatura econômica sobre eles. Knight (1971), por exemplo, os diferenciou sob uma perspectiva de probabilidades: enquanto o risco implica o conhecimento numérico de probabilidades objetivas, a incerteza está relacionada a um cenário onde as probabilidades de ocorrência de determinado evento não são conhecidas. Entretanto, Just (2001) aponta que tal distinção entre risco e incerteza não seria muito útil, visto que os casos onde as probabilidades de ocorrência de um evento são objetivamente conhecidas não são a regra, mas sim a exceção.

Com o passar do tempo, segundo Hardaker et al. (2015), a maioria dos autores acabou trabalhando com a ideia de que a incerteza se traduz em informação imperfeita, enquanto o risco diz respeito à exposição dos agentes a consequências econômicas desfavoráveis e imprevisíveis. Em geral, aceitou-se a visão de que as probabilidades seriam consideradas sob uma ótica subjetiva, o que tornou a distinção realizada por Knight sem sentido (MOSCHINI; HENNESSY, 2001).

Deste modo, no presente estudo, os termos risco e incerteza serão utilizados como sinônimos, intercambiando-se no decorrer do texto. Seguindo a exposição de Chavas (2004), considera-se, assim, que os indivíduos sejam capazes de – objetiva ou subjetivamente – observar a possibilidade relativa de ocorrência de eventos incertos, podendo representar esta observação em termos de probabilidades.

A certeza (ou incerteza) em relação à ocorrência de determinado evento depende da habilidade individual de mensuração e controle do risco, da capacidade de obtenção e processamento de informações e do custo destas informações (CHAVAS, 2004). Uma vez comprometido algum destes pontos, adiciona-se risco ao processo de tomada de decisões, e a principal característica dos eventos incertos é a de que não há conhecimento absoluto de sua ocorrência no decorrer do tempo.

Esta seção procura expor os principais riscos e incertezas envolvidos na atividade agrícola, explicitando aqueles mais comumente relacionados com a utilização da AP. Além disso, são fornecidas as bases teóricas para a utilização do Value at Risk como metodologia de análise empírica, ao se analisar o processo de tomada de decisão em condições de incerteza a partir da Teoria das Probabilidades e da Teoria da Utilidade Esperada.

## 2.1. Riscos e incertezas na agricultura

O risco e a incerteza estão presentes no dia-a-dia do ser humano, pois, em geral, cada uma das muitas decisões tomadas pode gerar uma diversa quantidade de resultados, favoráveis ou não. De modo lógico, visto que a incerteza faz parte da vida cotidiana, ela também se faz significativamente presente no mundo dos negócios. Todas as atividades econômicas apresentam riscos, que variam de acordo com o nível de complexidade da atividade e a influência de elementos imprevisíveis sobre o produto gerado (DAMODARAN, 2007).

Quanto maior a possibilidade de controle sobre os elementos que afetam a produção, maior será a previsibilidade da quantidade e da qualidade do produto final, de modo que o nível de riscos e incertezas da atividade seja minimizado. Entretanto, em alguns setores econômicos, elementos-chave do processo produtivo são muitas vezes imprevisíveis e, portanto, incontroláveis. O melhor exemplo para este segundo caso seria a atividade agrícola. A agricultura, por depender diretamente da natureza, possui um considerável nível de riscos, visto que o produtor rural não possui controle sobre o clima, um dos elementos – imprevisíveis – que pode afetar os resultados da atividade de maneira drástica (OZAKI, 2007).

Os riscos que envolvem a atividade agrícola possuem características diversas, levando a diferentes definições e classificações daqueles que seriam os mais relevantes na análise da produção agrícola sob condições de risco e incerteza. A OECD (2010) separou os riscos em dois grandes grupos: os que habitualmente são comuns a todas as atividades econômicas e os que afetam a agricultura de modo mais específico. O primeiro grupo compreende os riscos ligados às condições familiares e de saúde, aos acidentes pessoais, às condições macroeconômicas, entre outros. Já o segundo diz respeito aos riscos de produção, ecológico, de mercado e institucional. Especificamente, o risco de produção está relacionado a condições climáticas, incidência de pragas e doenças e mudanças tecnológicas; o risco ecológico diz respeito a variações climáticas e a gestão de recursos naturais; o risco de mercado se refere à variabilidade dos preços e das preferências dos consumidores; e o risco institucional emerge das políticas agrícolas e de segurança alimentar e das regulações ambientais.

Moschini e Henessy (2001), por seu turno, preferem realizar a análise em termos de incerteza, destacando que esta pode afetar a atividade agrícola a partir de quatro grandes fontes: a) incerteza de produção, associada às variações climáticas; b) incerteza de preços, relacionada à variabilidade nos preços de insumos e produtos agrícolas; c) incerteza tecnológica, referente à evolução das técnicas produtivas e à obsolescência

tecnológica; e d) incerteza política, que tem a ver com as intervenções governamentais realizadas sobre o ambiente agrícola.

Sob a ótica de Buainain et al. (2014), além dos riscos mais comumente relacionados com a atividade agrícola – de produção e de preço – outros cinco grandes riscos ameaçam a agricultura atualmente, quais sejam, o risco político e institucional, o risco tecnológico, o risco financeiro, o risco sanitário e o risco social. Enquanto os dois primeiros tipos de riscos possuem definições similares às de Moschini e Henessy (2001), os demais dizem respeito, respectivamente, à exagerada alavancagem financeira do negócio agrícola, à crescente preocupação quanto à segurança dos alimentos e à ameaça em relação ao trabalho e renda agrícolas dos segmentos sociais rurais mais pobres.

Para Buainain et al. (2013), a emergência destes novos riscos associados à atividade agrícola é relacionada com as substanciais mudanças pelas quais passou a agricultura nas últimas décadas, destacando-se a alteração radical do padrão de acumulação agrícola, onde o capital foi elevado ao papel de protagonista do desenvolvimento agrícola e agrário. Pannell, Malcolm e Kingwell (2000) apontam a limitada habilidade dos produtores quanto a previsão de aspectos fundamentais à atividade produtiva – tais quais o clima, os preços e a efetividade das práticas produtivas (tecnologias) empregadas no processo produtivo – como sendo um fator preponderante à incerteza que permeia a produção agrícola.

Na presente pesquisa, interesse maior é dado ao risco de produção, tendo em vista a hipótese de que utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo afetaria os dispêndios com insumos e, conseqüentemente, as produtividades alcançadas pelas lavouras. Kimura (1998), tratando especificamente acerca deste tipo de risco, ressaltou dois aspectos inerentes a ele: a dependência da produção em relação a aspectos biológicos e à influência de fatores ambientais, e o surgimento de novas tecnologias. O primeiro aspecto afeta a possibilidade de previsão da produção, enquanto o segundo diz respeito à possibilidade de que a implantação de novos processos produtivos, mesmo na observação de ganhos de produtividade, possa trazer incertezas quanto à eficiência e eficácia dessa nova tecnologia. Fica evidente, desta forma, a variedade de possíveis resultados associados à adoção de uma nova tecnologia ou pacote tecnológico, podendo eles serem positivos ou negativos, o que eleva substancialmente a incerteza e o risco da atividade agrícola.

Alguns autores apontaram as tecnologias de agricultura de precisão como potenciais ferramentas de gestão de riscos na agricultura (LOWENBERG-DEBOER; SWINTON, 1997; LOWENBERG-DEBOER; AGHIB, 1999; ADAMS; COOK;

CORNER, 2000; ROBERTS; ENGLISH; LARSON, 2002). Destaque é dado à capacidade deste pacote tecnológico em mitigar os riscos de produção através da potencialização do controle do produtor rural sobre o sistema produtivo. Pode-se então fazer uma relação com o primeiro aspecto que Kimura (1998) aponta como sendo inerente ao risco de produção, considerando-se que a utilização do sistema de precisão poderia levar a uma maior capacidade preditora da produção futura, por parte do produtor.

Por sua vez, Lowenberg-DeBoer (1999) afirma que a agricultura de precisão poderia aumentar outros riscos ligados à atividade agrícola, como aqueles relacionados à questão financeira da atividade, à sofisticação tecnológica e à necessidade de mão de obra altamente especializada. Deste modo, a visão deste autor estaria relacionada ao segundo aspecto destacado por Kimura (1998), de que a implantação de novas tecnologias e/ou processos produtivos, como a agricultura de precisão, traria consigo incertezas quanto a sua eficiência e eficácia. Miller et al. (2004), por seu turno, aponta que mesmo que novos desenvolvimentos sejam testados e demonstrados, os benefícios que de fato estarão associados à sua utilização usualmente serão sensíveis à realidade de cada propriedade rural.

Neste sentido, realiza-se uma conexão com a noção de risco operacional, que, embora não esteja explicitamente presente na literatura de risco agrícola, pode ser relacionada com a adoção de novas tecnologias ou processos produtivos, como a agricultura de precisão. Girling (2013) define que o risco operacional reside na possibilidade de perdas que podem ter origem em processos ou sistemas inadequados, fatores humanos e eventos externos. No sistema bancário, como ilustrado por Moosa (2007), a observação de uma dependência cada vez maior de desenvolvimentos tecnológicos aumentou o risco operacional dessa indústria. Guardadas as devidas proporções, é possível relacionar a crescente dependência da produtividade agrícola à introdução de novas tecnologias com a possível presença do risco operacional. No caso da utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo, por exemplo, podem ocorrer perdas de produção e, conseqüentemente, de lucratividade do negócio agrícola que estejam relacionadas a erros na operação de máquinas e equipamentos de tecnologia complexa que poderiam gerar falhas no sistema de produção como um todo.

Observa-se, deste modo, a existência de uma divergência na literatura especializada – tanto em termos teóricos, quanto empíricos – acerca da relação entre a agricultura de precisão com os riscos e retornos da atividade agrícola. Visto isso, a comparação deste sistema produtivo com a produção convencional deve considerar a conexão entre os elementos que potencialmente afetem os riscos associados à produção

agrícola. Sendo assim, a comparação entre os distintos métodos produtivos deve ser guiada a partir de considerações acerca dos retornos e dos riscos de produção, analisando-os de maneira isolada e também em conjunto.

## 2.2. Tomada de decisão sob condições de risco e incerteza

### 2.2.1. Teoria das probabilidades

A abordagem probabilística fornece uma maneira relativamente simples de se caracterizar a natureza e a extensão da exposição individual ao risco (CHAVAS, 2004). Considerando-se o risco que permeia os eventos incertos, admite-se a existência de mais de um resultado futuro possível. Ou seja, em termos de probabilidades, qualquer evento  $B$  possui uma probabilidade  $Pr(B)$ , de modo que  $0 \leq Pr(B) \leq 1$ . Enquanto para eventos certos  $Pr(B) = 1$ , os eventos incertos, onde o risco se faz presente, são caracterizados por  $Pr(B) < 1$ .

Considera-se, a princípio, uma situação particular onde o conjunto  $E$  abrange todos os possíveis resultados de um evento. O conjunto  $E$  é chamado de espaço amostral e os elementos  $B_1, B_2, B_3, \dots$ , deste conjunto representam os eventos particulares. Deste modo, para dado espaço amostral  $E$ , a distribuição de probabilidades  $Pr$  é uma função que satisfaz as seguintes propriedades (CHAVAS, 2004):

- a.  $Pr(B_i) \geq 0$  para todos os eventos  $B_i$  no conjunto  $E$ ;
- b.  $Pr(E) = 1$ ;
- c. Se  $B_1, B_2, B_3, \dots$ , são eventos disjuntos<sup>3</sup>, então  $Pr(B_1 \cup B_2 \cup B_3 \dots) = \sum_i Pr(B_i)$ .

Segundo Chavas (2004), considerando-se tais propriedades, quando se mensura os eventos incertos através de números reais, são geradas variáveis aleatórias. Uma variável aleatória  $X$  é uma função que toma um valor real específico  $X(e)$  em cada ponto  $e$  no espaço amostral  $E$ . Logo, a função de distribuição de uma variável aleatória  $X$  é dada pela função  $F$  que satisfaz  $F(t) = Pr(X \leq t)$ . Ou seja, a função de distribuição mede a probabilidade de  $X$  ser menor ou igual a  $t$ . Como será observado adiante, esta ideia é fundamental na construção teórica do Value at Risk e do Conditional Value at Risk, que medem a probabilidade de ocorrência de um evento extremo (perdas monetárias), sendo diretamente utilizada na análise de Simulação de Estocástica conduzida neste estudo.

---

<sup>3</sup> Dois eventos são ditos disjuntos se entre eles não houver qualquer ponto em comum, ou seja, se  $(A_1 \cap A_2) = \emptyset$ , onde  $\emptyset$  denota o conjunto vazio.

### 2.2.2. Teoria da Utilidade Esperada

A teoria-padrão neoclássica de escolha individual do consumidor é constituída sob condições de certeza, presumindo racionalidade por parte dos tomadores de decisão. Deste modo, as preferências dos consumidores podem ser ordenadas em cestas de consumo que satisfazem determinados pressupostos<sup>4</sup> capazes de arranjar as escolhas dos consumidores em termos de uma função de utilidade ordinal. Entretanto, o comportamento humano é muito mais complexo do que a perfeita racionalidade pressuposta e, além disso, a enorme maioria das situações estudadas em economia se desenvolvem em ambientes cercados de incertezas.

O pioneiro trabalho de von Neumann e Morgenstern (1944), ao considerar que, tipicamente, os indivíduos não se comportam de modo a maximizar o valor esperado dos retornos, deu as bases necessárias para construção da Teoria da Utilidade Esperada. De acordo com esta abordagem teórica, assume-se que os indivíduos tomam suas decisões com base na utilidade esperada dos retornos. Ou seja, ao considerar a incidência de risco no processo de tomada de decisão, os indivíduos escolhem qual o melhor resultado esperado, aquele que maximiza sua utilidade esperada.

De modo a ilustrar a Teoria da Utilidade Esperada, assume-se que  $A$  represente um conjunto de todas as possíveis ações disponíveis para os tomadores de decisão – por exemplo, utilizar ou não a agricultura de precisão – e que  $S$  represente o conjunto de todos os possíveis estados da natureza (eventos) – por exemplo, realizações aleatórias das variáveis de risco em um modelo de simulação estocástica. Os resultados esperados são determinados pela ação escolhida pelo tomador de decisão e pelo estado da natureza realizado, isto é, os resultados são variáveis aleatórias determinadas pela função  $c: S \times A \rightarrow C$ , onde  $C$  é o conjunto de todos os possíveis resultados (MAS-COLELL; WHINSTON; GREEN, 1995).

Seguindo com a ilustração, supõe-se ainda que o conjunto  $C$  seja finito, originando-se uma distribuição de probabilidades sobre os resultados a partir da escolha de uma ação em particular e da ocorrência de determinado estado da natureza. Ou seja, a distribuição de probabilidades pode ser representada por  $L \equiv (l_1, l_2, \dots, l_N)$ , onde  $l_i$  é a probabilidade de o resultado  $c_1 \in C$  acontecer, dado que  $l_i \in [0,1]$  e  $\sum_i l_i = 1$ . Por exemplo, a consideração de determinado método de produção agrícola,  $a \in A$ , quando relacionado conjunto  $C$  de todos os possíveis valores de certa variável aleatória, dará

---

<sup>4</sup> Sob condições de certeza, de modo a garantir a consistência teórica, as preferências dos consumidores devem ser completas, reflexivas e transitivas.

origem à uma distribuição de probabilidades relacionada ao método de produção considerado.

Tendo em vista que a probabilidade relacionada à determinado resultado pode ser entendida como sua chance de ocorrência, a distribuição de probabilidade oferece um tratamento mais quantitativo do risco ligado a determinado ativo (GITMAN; ZUTTER, 2012). A partir do conhecimento da distribuição de probabilidade dos retornos da atividade agrícola, por exemplo, pode-se empregar ferramentas estatísticas para medir quantitativamente a exposição ao risco dos retornos desta atividade.

Mas-Colell, Whinston e Green (1995) apontam que, assumindo uma relação de preferência racional (completa e transitiva) e que satisfaça a pressuposição de continuidade, todas as distribuições de probabilidades podem ser ranqueadas através de uma função  $V: L \rightarrow \mathbb{R}$ , de modo que, para duas distribuições de probabilidades  $L$  e  $L'$ , obtém-se  $L \succeq L' \Leftrightarrow V(L) \geq V(L')$ . O mesmo é válido para distribuições de probabilidades compostas, de modo que duas distribuições de probabilidades,  $L$  com probabilidade  $\lambda$  e  $L'$  com probabilidade  $(1 - \lambda)$ , são equivalentes a uma simples distribuição de probabilidades dada por  $\lambda L + (1 - \lambda)L'$ .

Até este ponto a análise se aproxima muito da teoria-padrão do comportamento do consumidor. Para complementar a fundamentação do modelo de Utilidade Esperada é necessário o cumprimento da suposição de independência, visto que os possíveis resultados são mutuamente exclusivos (MOSCHINI; HENNESSY, 2001). Sob esta suposição, considerando-se uma terceira distribuição de probabilidades  $L''$ , tem-se que:

$$L \succeq L' \Leftrightarrow \lambda L + (1 - \lambda)L'' \succeq \lambda L' + (1 - \lambda)L'' \quad (1)$$

onde  $\lambda \in (0,1)$  e o ordenamento da preferência é independente da parte em comum  $L''$ .

As pressuposições de completude, reflexividade e transitividade, juntamente com a suposição de independência são capazes de garantir que exista uma função de utilidade definida em relação aos possíveis resultados,  $U: C \rightarrow \mathbb{R}$ , de tal modo que:

$$L \succeq L' \Leftrightarrow \sum_{i=1}^N l_i U(c_i) \geq \sum_{i=1}^N l'_i U(c_i) \quad (2)$$

Como exposto por Jehle e Reny (2011), ao se considerar a condição de independência, juntamente com as demais pressuposições da escolha racional padrão, a função de utilidade referente às distribuições de probabilidades podem ser expressas

como a esperança matemática de uma função de utilidade definida sobre os possíveis resultados, ou seja,  $V(L) = E[U(c)]$ , onde  $E[\cdot]$  é o operador matemático de esperança. A função de utilidade  $U(c)$  é monotonicamente crescente e é definida através de uma transformação linear positiva. Logo, se  $U(c)$  é a função de utilidade de um indivíduo, então  $\hat{U}(c) \equiv \alpha + \beta U(c)$  também o é para qualquer escalar  $\alpha$  e qualquer escalar  $\beta > 0$ .

Observa-se, deste modo, que na Teoria de Utilidade Esperada o problema inicial, de selecionar determinada ação que leve à uma distribuição de probabilidade preferida, se reduz a uma simples maximização da utilidade esperada dos retornos. Logo, a partir da distribuição de probabilidade dos possíveis eventos, fica possível a escolha da melhor opção, considerando-se os riscos e os retornos esperados.

Observa-se também que, além da consideração da variabilidade, a distribuição de probabilidades possibilita que os resultados relacionados à cada uma das possíveis decisões a serem tomadas possam ser avaliados em relação à chance de perda (PEREIRA, 2008). Isto vai ao encontro das metodologias propostas para mensuração de risco que serão utilizadas neste estudo, o Value at Risk e o Conditional Value at Risk, que são capazes de avaliar a possibilidade de perdas a partir da distribuição dos retornos observados para a atividade agrícola.

Como exposto por Tomek e Peterson (2001), a gestão de risco se torna mais eficiente quando se vai além da simples consideração dos valores esperados e de suas variações, dado que é a observação de casos extremos que realmente traz risco ao negócio. Visto isso, deve-se buscar pautar as decisões financeiras prioritariamente com base em expectativas sobre os riscos e retornos da atividade, focando-se na maximização dos lucros e nas possibilidades de perdas (GITMAN; ZUTTER, 2012).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Modelo Analítico

No intuito de se realizar uma análise comparativa entre os riscos relacionados ao cultivo de milho e soja, com e sem utilização da agricultura de precisão, o presente estudo se utilizará de duas ferramentas de avaliação e acompanhamento de risco: Value at Risk (VaR) e Conditional Value at Risk (CVaR). Além destas ferramentas, será utilizado o Índice de Sharpe Modificado Monetário (ISMM) para realização da análise comparativa a partir da relação risco/retorno das culturas.

##### 3.1.1. Value at Risk (VaR)

Mesmo tendo sua origem relacionada à gestão de riscos de instituições financeiras, o VaR vem sendo muito utilizado na gestão de riscos de instituições não-financeiras, como, por exemplo, aquelas ligadas diretamente à comercialização agrícola. Para Manfredo e Leuthold (1998), o VaR é de grande utilidade também para a administração de riscos agropecuários, haja vista a alta volatilidade dos preços dos insumos produtivos e das commodities agropecuárias.

Segundo Jorion (2003), o VaR é capaz de definir a mais significativa (maior) perda esperada para uma atividade, projetada sobre um horizonte temporal estipulado e considerando um nível de confiança pré-determinado. Por exemplo, definindo-se  $\alpha$  como o nível de confiança a ser considerado, o VaR corresponderá ao percentil  $(1 - \alpha)$  das observações da distribuição analisada. Ou seja, evidencia-se que os dois componentes de maior importância nos modelos VaR de gerenciamento de riscos são o intervalo temporal definido pelo administrador e o nível de confiança determinado a priori (HENDRICKS, 1996).

O modelo analítico do VaR para distribuições gerais é derivado por Jorion (2003). Para o cálculo do VaR de uma atividade, define-se  $W_0$  como seu valor inicial (investimento) e  $R$  como a taxa de retorno associada a este investimento, de modo que, ao final do horizonte temporal considerado, o valor da atividade será dada por  $W = W_0(1 + R)$ . O valor esperado e a volatilidade de  $R$  são dados, respectivamente, por  $\mu$  e  $\sigma$ . O menor valor possível para a atividade, considerado um nível de confiança  $\alpha$ , é definido por  $W^* = W_0(1 + R^*)$ . Deste modo, pode-se definir o VaR como a perda, em valores monetários, em relação à média:

$$VaR = E(W) - W^* = -W_0(R^* - \mu) \quad (3)$$

O VaR pode também ser derivado da distribuição de probabilidade do valor futuro alcançado pela atividade,  $f(w)$ . Sob determinado nível de confiança,  $\alpha$ , deseja-se descobrir a pior realização possível,  $W^*$ , de modo que a probabilidade de se exceder este nível seja dada por  $\alpha$ :

$$\alpha = \int_{W^*}^{\infty} f(w)dw \quad (4)$$

Pode-se considerar também a probabilidade  $(1 - \alpha)$  de ocorrência de um valor menor que  $W^*$ ,  $p = P(w \leq W^*)$ :

$$1 - \alpha = \int_{-\infty}^{W^*} f(w)dw = P(w \leq W^*) = p \quad (5)$$

onde o intervalo compreendido entre  $-\infty$  e  $W^*$  deve somar  $p = 1 - \alpha$ .

Como exposto por Hawes (2003), este modelo geral é de grande versatilidade, visto que é aplicável a qualquer tipo de distribuições de retornos de um portfólio ou atividade produtiva, seja ela discreta ou contínua, com caudas gordas ou magras. Este modelo é geralmente resolvido por meio de técnicas de simulação capazes de gerar uma distribuição de probabilidades dos retornos da atividade, de modo que o VaR possa ser observado diretamente da distribuição de probabilidades simulada (HOLTON, 1998).

Destaca-se que  $W^*$  também pode ser compreendido como um quantil da distribuição de probabilidade, correspondendo a um valor de referência, de modo que a probabilidade de se exceder este valor seja fixa. A Figura 1 apresenta a ilustração do Value at Risk em dada distribuição de probabilidade. A área quadriculada da distribuição de probabilidade, compreendida entre  $E(W)$  e  $W^*$ , define o valor em risco associado ao nível de confiança  $\alpha$ .

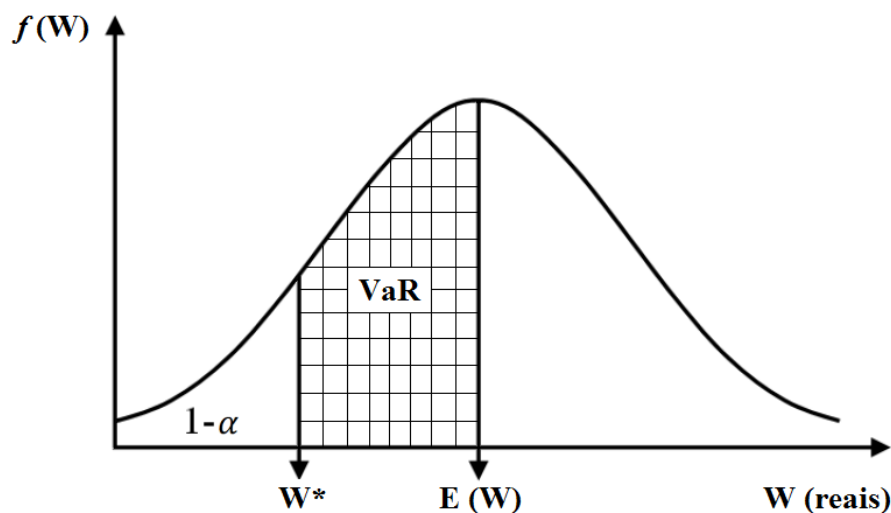


Figura 1 - Ilustração do VaR: distribuição de probabilidades e nível de confiança.

Fonte: Adaptado de Manfredo e Leuthold (1998).

Como exposto por Manfredo e Leuthold (1998), o cálculo do VaR pode ser traduzido como um processo de previsão da volatilidade de uma carteira de ativos dentro de determinado horizonte temporal, dando-se atenção especial à cauda esquerda da distribuição de probabilidades e à consequente possibilidade de perdas. Neste estudo, considera-se cada uma das culturas produzidas como um ativo. Destaca-se que, como se mede o retorno e os riscos separadamente para cada uma das culturas sob os dois métodos de produção considerados, trabalha-se com a ideia de uma carteira de ativos univariada.

### 3.1.2. Conditional Value at Risk (CVaR)

Embora o VaR esteja no mainstream da análise de risco financeiro desde o final da década de 2000, recaem sobre ele algumas críticas em relação ao seu poder como medida de risco. Alega-se que o VaR, sendo definido com base em um quantil da distribuição dos retornos, pauta-se basicamente na definição de um limiar de risco, não realizando inferências acerca da exposição de riscos quando este limiar for ultrapassado.

Uma das principais críticas ao modelo VaR como medida de risco está em sua incapacidade de cumprir completamente as quatro propriedades desejáveis estipuladas por Artzner et al. (1999) para que uma medida de risco seja considerada coerente. As propriedades fundamentais são:

- a) Monotonicidade: Se um portfólio A apresenta, sistematicamente, retornos menores do que determinado portfólio B, então, para todos os possíveis estados da natureza, o risco de A deve ser maior do que o de B.

- b) Invariância translacional: Ao se adicionar  $k$  unidades monetárias em determinado portfólio, seu risco deve ser reduzido na mesma proporção.
- c) Homogeneidade: O aumento de um portfólio em uma razão  $b$  deve simplesmente elevar o risco na mesma proporção.
- d) Subaditivade: A fusão de dois portfólios não pode implicar em um maior risco do que a soma dos riscos destes dois portfólios separadamente.

Como exposto por Artzner et al. (1999), o VaR satisfaz todas estas propriedades, com exceção da última. Na maioria dos casos<sup>5</sup>, o VaR de um portfólio multivariado será maior do que a soma individual das posições de risco que o compõem, de modo a desencorajar o princípio da diversificação definido por Markowitz (1952). No intuito de se contornar esta fragilidade do VaR como medida de risco, foi apresentada a medida coerente do Conditional Value at Risk (CVaR).

Enquanto o VaR, baseado na mensuração de determinado quantil da distribuição de probabilidades, mede um limiar para o qual os retornos não serão excedidos sob determinado nível de confiança, o CVaR é capaz de captar o valor das possíveis perdas quando este limiar é ultrapassado. Ou seja, o CVaR tem o potencial de avaliar as perdas extremas localizadas na cauda esquerda da distribuição de probabilidades.

Quando se trabalha com distribuições de probabilidade contínuas, pode-se inferir o CVaR diretamente do VaR. Neste caso, para determinado nível de confiança, o CVaR é definido como o valor esperado quando se ultrapassa o limiar definido pelo VaR para a distribuição de probabilidade dos retornos (ROCKAFELLAR; URYASEV, 2002). Visto isso, o CVaR pode ser definido como:

$$CVaR_{(1-\alpha)} = \frac{1}{1-\alpha} \int_{-\infty}^{W^*} f(w)dw \quad (6)$$

onde  $W^*$  é o limiar determinado pelo VaR como o menor retorno possível sob o nível de confiança  $\alpha$ , com base na distribuição de probabilidades dos retornos,  $f(w)$ .

Mesmo que haja uma forte corrente na literatura a favor do CVaR em detrimento do VaR (DOWD; BLAKE, 2006; ROCKAFELLAR; URYSAEV, 2002; ACERBI; TASCHE, 2002), as duas medidas de risco serão utilizadas no presente estudo, haja visto que o cálculo do VaR pode ser visto como um componente da estimação do CVaR. Sendo

---

<sup>5</sup> Para distribuições de probabilidade de carácter elíptico – como as distribuições Normal e Student-t – o VaR é capaz de satisfazer também a propriedade de subaditividade, se tornando uma medida coerente, sob a noção de Artzner et al. (1999).

assim, como colocado por Capitani e Mattos (2012), o CVaR pode ser visto como um complemento ao VaR, dado que através dele são estimados as perdas esperadas relacionadas a situações de risco extremas que acabem indo além do limiar definido pelo VaR.

### 3.1.3. Índice de Sharpe Modificado Monetário

De modo a comparar os riscos sob os quais a atividade agrícola está exposta, considerando-se o diferencial nos retornos gerados pela produção com e sem a utilização da agricultura de precisão, lançar-se-á mão do Índice de Sharpe Modificado Monetário, ISMM. Esta modificação é baseada no índice originalmente proposto por William F. Sharpe em 1966. O Índice de Sharpe é um importante indicador financeiro capaz de medir a rentabilidade de uma atividade em relação ao seu grau de risco, sendo definido por:

$$IS = \frac{E(r_i) - R_f}{\sigma_i} \quad (7)$$

onde  $E(r_i)$  é o retorno esperado do ativo  $i$ ;  $R_f$  é a taxa de juros livre de risco; e  $\sigma_i$  é o desvio padrão do retorno do ativo  $i$ , ou seja, a medida do risco desse ativo.

O IS demonstra o retorno obtido por unidade de risco assumido. Caso o retorno esperado do ativo seja superior à taxa de juros livre de risco, o investidor estará recebendo um “prêmio” pelo risco assumido e o índice será positivo. Caso contrário, o investidor estará recebendo um “prêmio” negativo pelo risco assumido e o índice será negativo. Idealmente, espera-se que o índice apresente valor maior do que a unidade, representando o recebimento de um “prêmio” por parte do investidor que seja proporcionalmente superior ao risco assumido.

Leismann (2002), por sua vez, propôs a modificação da medida de ponderação, substituindo o desvio padrão pelo VaR, de modo a mensurar a relação entre o retorno e a medida de risco como uma chance de perda monetária. Pode-se então definir o Índice de Sharpe Modificado, *ISM*, como:

$$ISM = \frac{\mu_i}{VaR_i} \quad (8)$$

onde  $VaR_i$  é o VaR calculado para o ativo  $i$ ; e  $\mu_i$  é o diferencial do retorno para o ativo  $i$ , o qual é dado por:

$$\mu_i = \frac{\sum_{j=1}^t D_{ij}}{t} \quad (9)$$

em que  $D_{ij}$  é uma variável aleatória que representa o ganho (ou perda) líquido entre o retorno do ativo de risco,  $R_{ij}$ , e o retorno do ativo livre de risco,  $R_{fj}$ , sendo definida como:

$$D_{ij} = R_{ij} - R_{fj} \quad \forall j = 1, 2, \dots, t \quad (10)$$

No presente estudo, contudo, optou-se por realizar uma adaptação ao *ISM* proposto por Leismann (2002). Como nesta pesquisa, o VaR – e conseqüentemente o CVaR – é mensurado apenas em termos monetários, não se observa uma medida de retorno capaz de ser utilizada no cálculo do ISM. Deste modo, propõe-se uma adaptação deste índice à análise realizada neste estudo, considerando-se a relação do retorno e do risco não mais em termos percentuais, mas sim em termos monetários. Logo, o Índice de Sharpe Modificado Monetário (ISMM) é dado pela seguinte fórmula:

$$ISMM = \frac{\mu_i}{CVaR_i} \quad (11)$$

onde  $CVaR_i$  é o CVaR calculado para o ativo  $i$ .

No cálculo do ISMM, a variável aleatória  $D_{ij}$ , utilizada no cálculo de  $\mu_i$ , passa a representar o ganho líquido entre o lucro do ativo de risco,  $L_{ij}$ , e o lucro do ativo livre de risco,  $L_{fj}$ . Logo:

$$D_{ij} = L_{ij} - L_{fj} \quad \forall j = 1, 2, \dots, t \quad (10)$$

Visto que se objetiva, neste estudo, comparar os riscos entre as produções agrícolas sob os sistemas convencional e de precisão, o lucro adicional é calculado a partir da diferença entre os lucros dos dois sistemas, onde o sistema convencional é considerado como a opção livre de risco. Deste modo, o *ISMM* é calculado apenas para o sistema de precisão, representando o prêmio auferido pelo produtor ao se utilizar da agricultura de precisão na produção agrícola. Acredita-se então que o *ISMM* para as duas culturas analisadas nesta pesquisa seja positivo e maior que a unidade, haja vista a hipótese de que o retorno obtido no sistema de precisão seja maior do que aquele obtido pelo sistema

convencional, além de se esperar que o diferencial destes retornos exceda o valor dos riscos relacionados à utilização da agricultura de precisão.

### 3.2. Modelo Estatístico

Duas classes de estimação se destacam no cálculo do VaR: os métodos paramétricos e os não paramétricos. Os procedimentos de cunho paramétrico se baseiam em estimativas de variâncias e covariâncias, objetivando a determinação de uma medida de desvio-padrão da carteira de ativos, enquanto os métodos de natureza não-paramétrica trabalham com a distribuição de retornos como um todo (MANFREDO; LEUTHOLD, 1999).

Entretanto, como observado por Lien et al. (2009), a escassez de dados relacionados à formação de séries históricas são uma constante em estudos de caso agrícolas, onde os horizontes temporais costumam ser inferiores a dez anos. Visto isso, o relativamente curto horizonte temporal desta pesquisa – sete anos-safra – acaba inviabilizando a utilização de outros métodos de cálculo do VaR que não a abordagem de Simulação Estocástica. Neste método, considera-se a interação de variáveis estocásticas na construção de uma série de possíveis retornos (lucros) simulados.

O método de Simulação de Estocástica é considerado a mais flexível das técnicas de estimação do VaR (JORION, 2003). Nesta abordagem são gerados valores pseudoaleatórios dos fatores de risco de uma carteira de ativos, tendo por base um processo estocástico definido (MANFREDO; LEUTHOLD, 1999). Inicia-se o processo a partir da equação:

$$f_{i,t} = f_{i,t-1} + \sigma_i Z_t \quad (15)$$

onde  $f_{i,t}$  é o fator de risco  $i$  simulado para o período  $t$ ;  $f_{i,t-1}$  é a última observação disponível do fator de risco  $i$ ;  $\sigma_i$  é o desvio-padrão do fator de risco  $i$ ; e  $Z_t$  são realizações aleatórias.

Simula-se, então, o valor do fator de risco para  $h$  períodos posteriores, obtendo-se:

$$f_{i,t+h} = f_{i,t-1} + \sigma_i \sum_{t+1}^h Z_{t+h-1} \quad (16)$$

onde  $f_{i,t+h}$  é o valor do fator de risco  $i$ ,  $h$  períodos a frente.

Observa-se que, deste modo, pode-se simular novos valores para o fator de risco a partir do último valor disponível para este fator, da volatilidade dos valores deste fator e das realizações aleatórias de  $Z$ . Ao se repetir este processo alguns milhares de vezes, obtém-se, a partir da função objetivo considerado, a distribuição inteira dos lucros e perdas (LEISMANN, 2002).

Embora o método de Monte Carlo seja a técnica de amostragem mais utilizada em análises de simulação, a sua operacionalização exige um grande número de iterações de modo a recriar, precisamente, a distribuição de probabilidade desejada. Além disso, pode-se originar o problema de aglomeração, tendo em vista a possibilidade de a amostragem se concentrar em determinadas partes da função de distribuição de probabilidade (RICHARDSON; SCHUMANN; FELDMAN, 2004). No intuito de se contornar estas limitações, McKay, Beckman e Conover (1979) apresentaram a técnica de amostragem por Hipercubo Latino.

A técnica de amostragem por Hipercubo Latino, operando de modo similar à uma amostragem estratificada, divide a função de distribuição acumulada em  $N$  intervalos iguais, sendo  $N$  o número de iterações a serem realizadas (MCKAY; BECKMAN; CONOVER, 1979). Cada intervalo é amostrado apenas uma vez, garantindo a cobertura homogênea da função de distribuição de probabilidade. Esta amostragem estratificada permite, então, que a abordagem do Hipercubo Latino recrie de modo preciso a distribuição de probabilidade com um menor número de iterações do que o exigido pelo método de Monte Carlo (RICHARDSON; SCHUMANN; FELDMAN, 2004).

Por explorar de modo homogêneo toda a função de distribuição de probabilidade, a técnica de amostragem por Hipercubo Latino garante que se considere, na análise de simulação de risco, a possibilidade de ocorrência de valores extremos localizados na cauda esquerda da distribuição. Portanto, esta técnica de amostragem é capaz de aumentar a precisão da análise de risco conduzida através da metodologia do Value at Risk.

Por fim, seguindo a proposta de Smithson e Minton (1997), a operacionalização do VaR pelo método de Simulação Estocástica empregado nesta pesquisa segue o seguinte passo-a-passo: i) gerar diversos cenários para os ativos de risco da atividade analisada; ii) calcular, para cada um dos cenários gerados, o novo valor da função objetivo; iii) agrupar os valores da atividade (lucros os perdas) em ordem crescente; iv) estimar, a partir de todos os valores (cenários) gerados, o VaR para o nível de confiança exigido.

### **3.3. Procedimentos**

#### **3.3.1. Algumas considerações acerca do objeto de estudo**

Buscando-se atingir os objetivos propostos, decidiu-se fazer a utilização do estudo de caso como modalidade de pesquisa. Segundo Ventura (2007), este procedimento “visa à investigação de um caso específico, bem delimitado, contextualizado em tempo e lugar para que se possa realizar uma busca circunstanciada de informações”. A presente pesquisa pode ainda, seguindo a definição deste autor, ser enquadrada como um estudo de caso instrumental, tendo em vista que se examina um caso particular, buscando fornecer evidências acerca de determinado processo ou fenômeno mais amplo – neste caso, a utilização da agricultura de precisão – a partir de observações individuais.

O objeto de estudo principal desta pesquisa é o sistema produtivo de precisão. Todavia, de forma a complementar a análise acerca deste primeiro sistema, são realizados também apontamentos em relação ao sistema produtivo convencional. Acredita-se que a comparação entre estes sistemas forneça insights ainda mais relevantes do que o mero estudo individual da agricultura de precisão.

O sistema de precisão foi analisado a partir de dados reais levantados junto à uma empresa agrícola localizada no município de Chapadão do Sul, estado de Mato Grosso do Sul. Esta empresa foi escolhida por ter sido uma das pioneiras na utilização de técnicas de agricultura de precisão no Brasil, iniciando a transição para este sistema produtivo no início da década de 2000. A partir da safra de 1999/2000 a propriedade passou a utilizar colhedoras autopropelidas equipadas com sistemas de mapeamento de produtividade de produtividade, softwares geoestatísticos e GPS. Nesta época a agricultura de precisão não era utilizada em toda a propriedade, mas os mapas de produtividade e fertilidade gerados para a área analisada serviam de base para o manejo de toda a área cultivada.

O cenário se manteve inalterado até a safra 2006/2007, quando foi introduzida a utilização de espalhadores de insumos à taxa variável. A taxa de aplicação do insumo é adaptada para cada talhão da propriedade com base na análise dos mapas de fertilidade e produtividade. Deve-se destacar que apenas a aplicação de fertilizantes é realizada com esta ferramenta de agricultura de precisão, enquanto outros insumos – como sementes e defensivos – são aplicados de modo uniforme para toda a lavoura. Para o intervalo temporal considerado neste estudo, 2008/2009 a 2014/2015, toda a área cultivada com milho e soja pela empresa agrícola utilizou os conceitos de agricultura de precisão.

No período considerado nesta pesquisa, observou-se que as colhedoras com sistemas de mapeamento de produtividade de produtividade e os aplicadores à taxa variável foram utilizados para toda a extensão da lavoura, enquanto a análise do solo foi

realizada, quando necessário, para áreas específicas. Apenas quando a simples inspeção visual dos mapas de produtividade e fertilidade não é capaz de revelar a causa dos desvios de produtividade das culturas em relação à média é que se realiza a análise específica do solo.

Para composição do sistema de produção convencional, aquele onde não são utilizadas ferramentas de agricultura de precisão, foram utilizados dados levantados junto à Conab, considerando-se o mesmo município onde está localizada a empresa agrícola que se utiliza do sistema de precisão. Admite-se que, para o sistema convencional, a tomada de decisão em relação à quantidade de insumos a ser aplicada na lavoura seja realizada em termos médios. Logo, diferentemente do sistema de precisão, os fertilizantes – e todos os outros insumos, como sementes e defensivos – são aplicados de modo uniforme para toda a lavoura, deixando-se de considerar as especificidades de cada talhão. Além disso, é considerado também que os maquinários e a mão-de-obra utilizados neste sistema sejam menos onerosos à estrutura de custos do que no sistema de precisão, tendo em vista a maior complexidade tecnológica apresentada pelas ferramentas ligadas à operacionalização da agricultura de precisão.

Os dois sistemas produtivos considerados neste estudo possuem determinadas características próprias a cada um deles, diferenciando-os em relação à operacionalização da atividade agrícola e, por conseguinte, no tangente aos resultados financeiros obtidos. A partir das considerações realizadas acerca do sistema de precisão empregado na empresa agrícola estudada, foi montado o Quadro 1, onde são expostas as principais diferenças entre os sistemas de produção estudados, quanto à operacionalização da atividade agrícola.

Quadro 1 - Operacionalização da atividade agrícola pelos sistemas convencional e de precisão

Fase	Operações	
	Sistema Convencional	Sistema de Precisão
Pré-plantio	Fertilizantes e defensivos são aplicados com base em termos médios.	Defensivos são aplicados com base em termos médios. Fertilizantes são aplicados de modo específico a partir dos dados observados nos mapas de fertilidade e produtividade.
Plantio	A operação de semeadura é realizada com base em termos médios.	A operação de semeadura é realizada com base em termos médios.

Pós-plantio	Fertilizantes e defensivos são aplicados com base em termos médios.	Defensivos são aplicados com base em termos médios. Fertilizantes são aplicados de modo específico a partir dos dados observados nos mapas de fertilidade e produtividade.
Colheita	A colheita é realizada por colhedadeiras mecanizadas.	A colheita é realizada por colhedadeiras mecanizadas, equipadas com GPS e sistemas de mapeamento de produtividade.
Pós-colheita	É contabilizada a produção total e a produtividade média por hectare.	A partir dos dados levantados durante a colheita são construídos mapas de produtividade que, somados aos mapas de fertilidade, guiarão a aplicação de fertilizantes na safra seguinte.

Fonte: Elaborado pelo autor.

A principal diferença observada entre os sistemas produtivos analisados está relacionada à ótica aplicada pela agricultura de precisão, onde se considera a variabilidade de atributos fundamentais à produção agrícola para cada talhão da propriedade de modo específico. Ou seja, questões ligadas à fertilidade do solo e produtividade das culturas não são analisadas pela média de toda área cultivada na propriedade, como convencionalmente realizado no denominado sistema de produção convencional, mas sim pela consideração individual de cada parte singular da lavoura.

Tendo em vista as características de cada sistema, considera-se que os distintos meios de operacionalização da atividade agrícola sejam capazes de gerar diferenças, principalmente, no tangente à quantidade dispendida com fertilizantes e, por conseguinte, à produtividade alcançada por cada sistema produtivo. Em ambos os sistemas podem haver variações na produtividade dentro da área cultivada, porém o diferencial dos resultados alcançados está justamente na consideração desta variabilidade por parte da agricultura de precisão.

Espera-se que a agricultura de precisão leve a um manejo ótimo da lavoura – através da aplicação localizada de insumos – e, por conseguinte, a ganhos de produtividade. Deve-se ressaltar que a exploração do máximo potencial produtivo de cada talhão pode levar a diminuições ou aumentos no valor dispendido com fertilizantes e, conseqüentemente, nos custos de produção. A direção da variação nestes custos dependerá do número de zonas identificadas com alta ou baixa fertilidade e potencial produtivo. Esta relação é analisada empiricamente na subseção seguinte, que versa sobre

os custos operacionais relacionados à produção de milho e soja em cada um dos sistemas estudados.

### **3.4. Variáveis e fonte dos dados**

Para análise da produção de milho e soja através do sistema convencional, sem a utilização da agricultura de precisão, serão utilizados os dados das planilhas de custos disponibilizadas pela Companhia Nacional de Abastecimento (Conab) para a cidade de Chapadão do Sul - MS. A escolha deste município é justificada no fato de ele estar localizado na região Centro-Oeste, a maior produtora de grãos do Brasil, que em 2014, segundo o Levantamento Sistemático da Produção Agrícola do IBGE, respondeu por quase 50% das produções de milho e de soja do País.

Nestas planilhas, além da produtividade média e dos custos de produção, ambos medidos em relação a um hectare, estão contidos dados referentes à escala de produção e ao nível tecnológico mais empregado pelas propriedades agrícolas da região. Para o cálculo dos custos de produção, a Conab contempla todos os itens de dispêndio que devem ser assumidos pelo produtor, desde as fases iniciais de preparo do solo até a fase inicial de comercialização do produto. Entretanto, nesta pesquisa, serão considerados apenas os custos operacionais da atividade, isto é, as despesas de custeio da lavoura. Esta decisão é tomada em vista de a utilização da agricultura de precisão, ao menos em teoria, impactar diretamente a utilização dos insumos produtivos como fertilizantes e defensivos, por exemplo.

Com o objetivo de se analisar a produção de soja e milho através da utilização da agricultura de precisão, serão analisados dados obtidos junto a uma propriedade agrícola representativa localizada no mesmo município considerado pela Conab, Chapadão do Sul - MS. Após o levantamento dos dados, serão definidos a produtividade média, em quilogramas por hectare, e também os custos operacionais, em reais por hectare, aproximando-se da mesma metodologia da Conab, de modo a compatibilizar os dados e possibilitar a comparação entre os dois sistemas de produção.

A partir da obtenção das produtividades médias e dos custos operacionais por hectare, são calculadas as séries de receita (R), custo operacional total (COT) e lucro (L), de modo próximo ao realizado por Lazzarotto (2009). A receita é obtida a partir da multiplicação do preço de venda<sup>6</sup>, obtido junto à administração da propriedade representativa, pela produtividade de cada cultura e o custo operacional total é dado pelo

---

<sup>6</sup> O preço utilizado é uma média dos preços recebidos pela propriedade na venda das culturas durante o ano/safra considerado.

somatório das despesas de custeio da lavoura, ambos considerados para cada um dos sistemas de cultivo analisadas neste trabalho. O cálculo da série de lucros pode ser então representado matematicamente por:

$$L_{ijt} = R_{ijt} - CO_{ijt} \quad (17)$$

onde  $L_{ijt}$  é o lucro da cultura  $i$ , sob o método de produção  $j$ , no ano agrícola  $t$ .

As análises dos lucros e dos custos são realizadas comparativamente para cada uma das culturas, sob os dois sistemas de produção, para os anos agrícolas considerados. Embora a propriedade representativa tenha produzido, no período analisado, as duas culturas de modo simultâneo, a análise realizada neste estudo admite que estas culturas sejam produzidas separadamente, considerando-se uma estrutura de custos para uma propriedade especializada na produção de cada uma das culturas de modo específico. Para a soja são considerados os anos-safras de 2008/2009 a 2014/2015, constituindo-se assim em uma série de sete observações para cada um dos sistemas de produção considerados. Já para o milho, são considerados seis anos-safra, tendo em vista que não foram obtidos registros de produção desta cultura no sistema de precisão para o ano-safra de 2010/2011. O presente estudo analisou a mesma propriedade estudada por Silva (2005), de modo que se torna plausível a comparação dos resultados obtidos.

Em razão de os dados relativos aos custos de produção terem sido obtidos junto a fontes distintas, houve a necessidade de compatibilização dos mesmos. Optou-se então por se trabalhar com a noção de custo operacional efetivo (COE) e custo operacional total (COT), assim como realizado por Pereira et al. (2010). Deste modo, construiu-se uma estrutura de custos relacionados à operacionalização da atividade agrícola, onde o COE foi calculado pelo somatório dos gastos com Sementes, Fertilizantes e Defensivos, das Despesas Operacionais (operações com máquinas, transporte e beneficiamento), dos gastos com Mão de Obra e Manutenção e dos Outros Gastos. Ao COE são adicionadas as Despesas Financeiras (juros dos financiamentos), os gastos assumidos com Depreciação,

a contribuição ao Fundersul<sup>7</sup> e o pagamento de Impostos (CSLL e IRPJ)<sup>8</sup>, de modo a formar o COT.

Todos os custos considerados neste estudo foram obtidos já em sua forma agregada. Ou seja, os dados disponibilizados se referem ao valor dispendido por hectare para cada um dos itens de dispêndio considerados, sem a determinação da quantidade utilizada de cada insumo e o seu preço relativo. Além disso, a análise aqui empreendida considera o mesmo intervalo temporal, na análise de cada cultura, para os dois sistemas produtivos estudados. Deste modo, dado que o objetivo é a realização de uma análise comparativa entre os sistemas de uma mesma cultura, o deflacionamento dos itens de dispêndio se torna desnecessário, pois a relação entre os mesmos itens, para métodos produtivos distintos, mantém a mesma proporção, considerando-se ou não os efeitos da inflação.

Deve-se destacar também que, dado o modelo de agricultura de precisão utilizado pela propriedade estudada, considerou-se os dispêndios com sementes e defensivos, em reais por hectare, como sendo idênticos para os dois sistemas de produção. Esta escolha é justificada pelo fato de, ao contrário do observado para os fertilizantes, a semeadura e a aplicação de defensivos são realizadas de modo uniforme para toda a lavoura, assim como é feito no sistema convencional.

Neste sentido, baseado no sistema de precisão efetivamente utilizado pela empresa agrícola estudada e em suas diferenças em relação ao sistema convencional utilizado na mesma região, determinou-se que as variáveis estocásticas consideradas no modelo seriam a produtividade das culturas e os valores gastos com fertilizantes, por estas serem variáveis que, teoricamente, são mais fortemente afetadas pela utilização da agricultura de precisão no manejo da lavoura. No presente estudo, o preço de venda não é considerado como uma variável estocástica, pois, espera-se captar as variações do resultado econômico da atividade agrícola relacionados apenas aos sistemas produtivos e suas características específicas, e não a oscilações das cotações dos produtos.

---

<sup>7</sup> O Fundersul – Fundo de Desenvolvimento do Sistema Rodoviário do Estado de Mato Grosso do Sul se caracteriza como uma contribuição estadual opcional, voltada para a manutenção da malha rodoviária estadual, onde o diferimento do ICMS é atrelado ao seu pagamento. Para operações de venda de milho contribui-se com 16,4% do valor vigente da Uferms – Unidade de Referência Fiscal do Estado de Mato Grosso do Sul, por tonelada; para operações de venda de soja, a contribuição equivale a 32,8% do valor vigente da Uferms, por tonelada vendida.

<sup>8</sup> Contribuição Social sobre o Lucro Líquido e Imposto de Renda sobre Pessoa Jurídica, respectivamente. Ambos os tributos incidem sobre o lucro real apurado para pessoas jurídicas. O primeiro possui alíquota de 9%, enquanto o segundo possui uma alíquota de 15% sobre o lucro total, com adicional de 10% sobre a parcela do lucro que exceder R\$ 20.000,00 por mês.

Dada a natureza esparsa dos dados utilizados nesta pesquisa, aplicou-se o método de suavização por núcleo (kernel smooth) às séries de valores observados para as variáveis estocásticas, possibilitando a geração de funções de densidade cumulativas mais suaves. Optou-se por não se fazer nenhuma pressuposição acerca da distribuição de probabilidades relacionadas às variáveis estocástica do modelo, sendo estas distribuições definidas empiricamente, de modo a deixar que os dados “falassem por si mesmos”.

O tratamento dos dados foi realizado através da planilha eletrônica Microsoft Office Excel e as simulações foram conduzidas a partir do software Simetar<sup>®</sup> – Simulation & Econometrics To Analyze Risk (RICHARDSON; SCHUMANN; FELDMAN, 2001).

## 4. RESULTADOS

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados encontrados na pesquisa, estando estes divididos em três subseções. A primeira trata das estimativas dos custos operacionais associados à produção de milho e soja, sob os sistemas de produção convencional e de precisão. Na segunda é realizada a análise de risco, expondo-se os valores em risco obtidos pelos métodos do VaR e do CVaR. Por fim, na terceira seção, são apresentados os resultados obtidos para o ISM e realizadas inferências acerca do trade-off existente entre risco e retorno.

### 4.1. Análise dos Custos Operacionais

Nesta subseção são apresentados os custos operacionais relacionados à produção de milho e soja sob os sistemas convencional e de precisão. Tendo em vista que os custos operacionais podem ser caracterizados como fatores-chave para a competitividade do negócio agrícola, os gastos por ano-safra não são detalhados neste estudo, em respeito à questão de confidencialidade à empresa agrícola estudada. Deste modo, os custos operacionais são apresentados em termos médios para o período compreendido entre os anos-safra de 2008/2009 a 2014/2015. No intuito de se incorporar os efeitos relacionados aos diferentes níveis de produtividade alcançados através de cada sistema de produção, os custos são apresentados em termos de reais por saca produzida.

#### 4.1.1. O caso do milho

No período analisado, a produção de milho via sistema de precisão apresentou COE e COT médios com valores superiores àqueles relacionados à produção convencional. Entretanto, como pode ser observado na Tabela 1, a diferença nestes valores foi ínfima. O COE médio observado para os dois sistemas produtivos de milho divergiu em apenas 1,66%, enquanto para o COT médio o diferencial foi de 3,14%.

A proporção do COE na formação do COT da produção de milho foi similar para os dois sistemas produtivos analisados. Na produção de precisão o COE respondeu por 80,33% do COT, ao passo que esta proporção foi de 81,50% para a produção convencional. Estes valores se mostram relativamente menores do que aqueles calculados por Silva (2005) para a mesma região de estudo, visto que, para a média das safras 2002/2003 a 2004/2005, a proporção encontrada pela referida autora foi de 86,24% para o sistema de precisão e de 83,26% para o sistema convencional.

Tabela 1 – Custos operacionais da produção de milho nos sistemas convencional e de precisão, em reais por saca, média das safras 2008/2009 a 2014/2015.

Item de dispêndio	Sistema convencional	Sistema de precisão
Sementes	3,02	2,18
Fertilizantes	3,65	5,38
Defensivos	2,33	1,63
Despesas operacionais	2,70	1,72
Mão de obra	0,24	1,04
Manutenção	0,21	0,44
Outros gastos	0,27	0,25
COE	12,43	12,63
Depreciações	0,28	0,59
Despesas financeiras	0,46	0,71
Fundersul	0,17	0,17
Impostos	1,92	1,63
COT	15,25	15,73

Fonte: Resultados da pesquisa.

Dentre os insumos produtivos, apenas os fertilizantes geraram maiores dispêndios por saca para o sistema de precisão em comparação ao sistema convencional. Tanto os gastos com sementes quanto com defensivos foram mais elevados para a produção convencional de soja. Estes valores podem ser apontados como indícios de que as maiores produtividades alcançadas pelo sistema de precisão, em comparação ao sistema convencional, estariam relacionadas a um maior volume de aplicação de fertilizantes na lavoura, o que, por conseguinte, gera maior dispêndio.

Para os demais itens de dispêndio que formam o COE, somente as despesas operacionais foram expressivamente mais onerosas ao sistema convencional do que ao sistema de precisão. Esta situação pode ser explicada pela maior eficiência na utilização de máquinas e implementos alcançada pela agricultura de precisão. Acredita-se que o fato de os gastos com mão de obra e manutenção terem sido mais elevados no sistema de precisão esteja relacionado ao impacto que a especificidade das máquinas de precisão e a necessidade de mão-de-obra mais especializada para sua operação e manutenção têm sobre os custos da agricultura de precisão. Já os outros gastos são praticamente idênticos entre os sistemas de produção. O desembolso referente a este item também foi mais elevado para o sistema convencional, embora esta diferença tenha sido quase que irrisória, de apenas R\$ 0,02 por saca.

Considerando-se os demais itens de dispêndio que são somados ao COE para a formação do COT, observa-se que os pagamentos ao Fundersul são iguais para os dois sistemas, as despesas financeiras e com depreciações são maiores na agricultura de precisão e o pagamento de impostos é mais elevado na produção convencional. Os pagamentos ao Fundersul apresentaram valores idênticos, pois são calculados a partir da produtividade alcançada pela produção; quando levada em consideração no cálculo dos custos, estes valores se igualam. O maior volume financeiro necessário para operacionalizar a produção com a utilização das ferramentas ligadas à agricultura de precisão pode explicar as diferenças observadas entre os sistemas quanto às despesas financeiras e o dispêndio com depreciações. O gasto mais elevado com impostos por saca para o sistema convencional pode ser relacionado ao nível de produtividade de cada sistema, tendo em vista que quanto maior o número de sacas produzidas por hectare, mais diluído o valor dos impostos se torna.

A participação individual de cada item de dispêndio na totalidade dos custos operacionais por sistema de produção é apresentada graficamente na Figura 2. Fica observado que os insumos agrícolas responderam, em conjunto, por mais da metade dos dispêndios totais da produção de milho. Enquanto os gastos com sementes, fertilizantes e defensivos responderam por 58,41% do COT no sistema de precisão, estes gastos corresponderam a 58,99% do COT da produção convencional. Embora, de modo geral, estes insumos tiveram impacto similar para os dois sistemas de produção, deve-se destacar que, comparativamente, os gastos com fertilizantes apresentam uma participação significativamente mais elevada no sistema de precisão, com a diferença para a produção convencional sendo superior a 10 pontos percentuais.

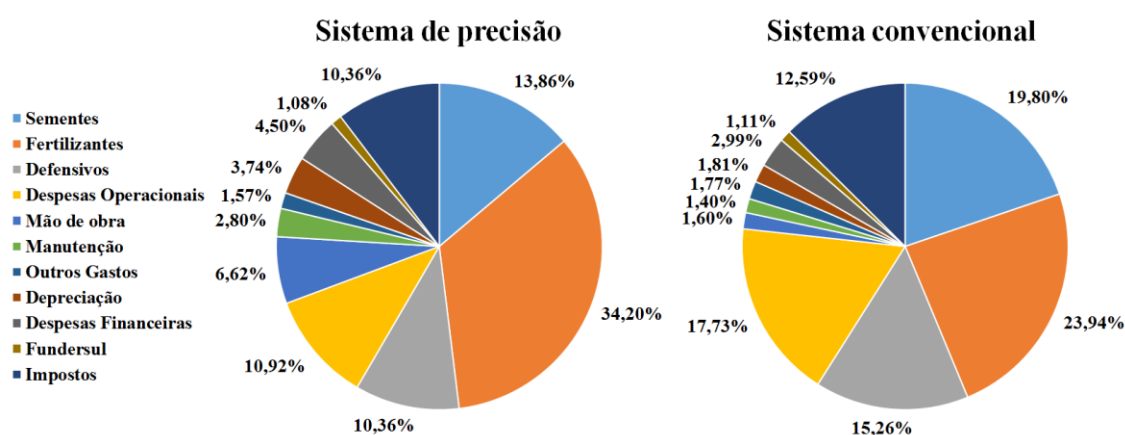


Figura 2 – Composição do custo operacional total na produção de soja pelos sistemas de precisão e convencional, média das safras 2008/2009 a 2014/2015.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Na agricultura de precisão as despesas operacionais responderam, em termos relativos, por uma proporção claramente inferior à agricultura convencional. Enquanto este item de dispêndio respondeu por 10,92% no COT do primeiro sistema, esta proporção foi de 17,73% para o segundo. Por outro lado, os dispêndios com mão de obra, manutenção e depreciação, além das despesas financeiras, responderam por uma maior fatia do COT no sistema de precisão do que no sistema convencional, com destaque para o primeiro item, cuja diferença de participação entre os dois sistemas foi de mais de cinco pontos percentuais. Os itens de dispêndio outros gastos e Fundersul responderam por proporções praticamente idênticas no COT de ambos os sistemas, sendo sutilmente mais elevados na produção convencional. Já a participação dos gastos com o pagamento de impostos nos custos totais foi ligeiramente superior para o sistema convencional do que para o sistema de precisão.

#### **4.1.2. O caso da soja**

Diferentemente do observado para a cultura do milho, o COE médio foi superior para a produção de soja via sistema convencional em relação ao sistema de precisão, enquanto que essa relação se inverte ao se comparar os COTs dos dois sistemas produtivos, como pode ser observado na Tabela 2. O sistema convencional apresentou um COE médio somente 2,44% maior do que o observado para o sistema de precisão. Por outro lado, a diferença em relação ao COT médio foi de apenas 1,19%, com o sistema de precisão apresentado o valor mais elevado.

A proporção do COE na formação do COT foi relativamente próxima para os dois sistemas produtivos, sendo de 70,12% para a produção convencional e de 67,60% para na agricultura de precisão. Percebe-se, deste modo, que esta proporção, para ambos os sistemas de produção de soja, é menor do que o observado para a produção de milho. Além disso, assim como observado para o milho, mas com uma maior diferença, a participação do COE no COT para os dois sistemas estudados foi expressivamente menor do que o apresentado no estudo de Silva (2005), onde a proporção foi de 87,13% e 89,45%, respectivamente, para os sistemas de precisão e convencional.

Tabela 2 – Custos operacionais da produção de milho nos sistemas convencional e de precisão, em reais por saca, média das safras 2008/2009 a 2014/2015.

Item de dispêndio	Sistema convencional	Sistema de precisão
Sementes	2,92	2,53
Fertilizantes	7,40	8,14
Defensivos	6,98	6,10
Despesas operacionais	4,53	2,42
Mão de obra	0,47	1,85
Manutenção	0,41	1,07
Outros gastos	0,55	0,57
COE	23,26	22,69
Depreciações	0,90	1,36
Despesas financeiras	0,66	1,36
Fundersul	0,34	0,34
Impostos	8,02	7,82
COT	33,17	33,56

Fonte: Resultados da pesquisa.

Considerando apenas os insumos produtivos, os números obtidos para a produção de soja se mostram consonantes àqueles observados para o milho. Os gastos com sementes foram mais elevados na produção convencional de soja do que na produção via agricultura de precisão, bem como os dispêndios com defensivos. Esta diferença entre os sistemas produtivos está diretamente relacionada com o nível de produtividade alcançado por cada um deles. Por outro lado, os fertilizantes geraram maiores custos para o sistema de precisão em comparação ao sistema convencional. Estes números se configuram como indícios de que, de modo similar ao milho, os ganhos de produtividade alcançados na produção de soja via agricultura de precisão se relacionam com maiores volumes de aplicação de fertilizantes na plantação.

Considerando-se os demais itens de dispêndio que formam o COE, ficou observado que os gastos com mão de obra e manutenção de máquinas e implementos foi expressivamente superior para o sistema de precisão do que para o sistema de produção convencional. Os gastos com manutenção e mão de obra foram aproximadamente 1,6 e 2,9 vezes, respectivamente, mais elevados na produção via agricultura de precisão. Levanta-se, deste modo, a hipótese de que esta discrepância entre os dois sistemas produtivos estaria ligada à especificidade inerente aos maquinários e implementos de

precisão, assim como à consequente necessidade de mão de obra altamente especializada para operar e realizar a manutenção destes equipamentos.

O item de dispêndio “outros gastos” foi apenas ligeiramente mais elevado no sistema de precisão do que no sistema convencional. Já as despesas operacionais na produção de soja, de modo análogo ao constatado para o cultivo do milho, foram aproximadamente 47% mais elevadas no sistema convencional em relação ao cultivo de precisão. A maior eficiência relacionada ao sistema de precisão em relação à utilização de máquinas e equipamentos – menor gasto de combustíveis, por exemplo – pode explicar essa relação.

Em se tratando dos demais itens de dispêndios que, somados ao COE, formam o COT, observa-se que, excetuando-se os impostos e a contribuição ao Fundersul, os outros itens apresentam expressiva discrepância entre os sistemas produtivos, sendo mais elevados na produção via agricultura de precisão. A depreciação no sistema de precisão foi aproximadamente 50% mais elevada do que na produção convencional, enquanto esse diferencial foi de cerca de 100% para as despesas financeiras. Os equipamentos relacionados à operacionalização do sistema de precisão são comparativamente mais onerosos ao produtor do que seus correspondentes utilizados na produção convencional, levando a depreciações e despesas financeiras – pagamento de juros do financiamento – mais elevados. O Fundersul, devido ao seu método de cálculo, é igual para os dois sistemas de produção, como explicitado na análise realizada para o milho. Por seu turno, os impostos pagos no sistema convencional são mais elevados do que no sistema de precisão, similarmente ao apresentado para a produção de milho, dada a diluição dos mesmos no total de sacas produzidas por hectare.

A participação individual de cada item de dispêndio na totalidade dos custos operacionais por sistema de produção é apresentada graficamente na Figura 3. Ao se observar a figura, fica evidente o impacto que os insumos agrícolas – sementes, fertilizantes e defensivos – impõem ao custo total de operacionalização da produção de soja. Os gastos com esses insumos responderam por fatias similares para os dois sistemas produtivos: essa proporção foi de 49,97% na produção via agricultura de precisão e de 52,15% na produção convencional. Diferentemente do observado para a cultura do milho, a proporção do COT com cada um dos insumos agrícolas foi relativamente próxima para os dois sistemas de produção, com a participação dos fertilizantes nos custos de produção convencional de soja, por exemplo, estando apenas dois pontos percentuais abaixo do observado para o sistema de precisão.

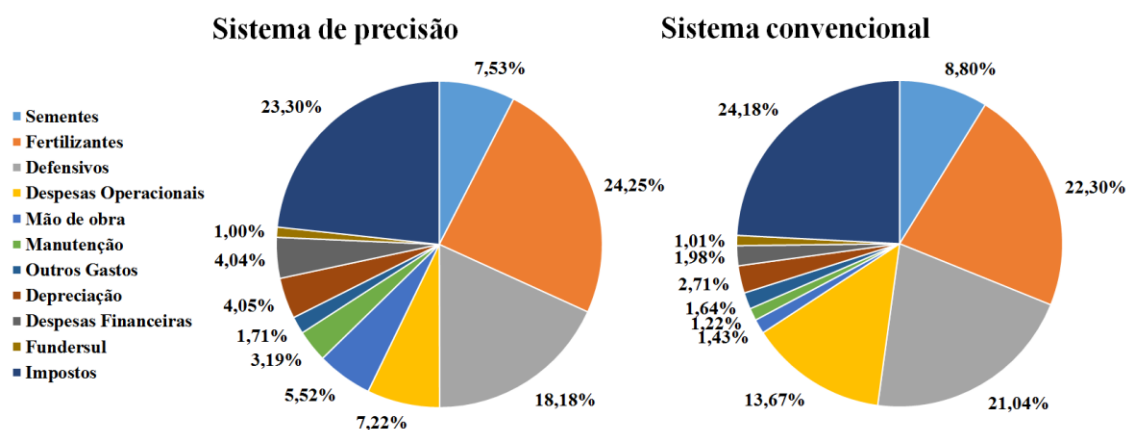


Figura 3 – Composição do custo operacional total na produção de milho pelos sistemas de precisão e convencional, média das safras 2008/2009 a 2014/2015.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Em termos relativos, as despesas operacionais responderam por uma proporção evidentemente superior no sistema convencional. Este item de dispêndio respondeu por 13,67% no COT deste sistema, ao passo que esta proporção foi de 7,22% para o sistema de precisão. A participação percentual dos gastos com mão de obra e com manutenção de máquinas e equipamentos foi expressivamente mais elevada no sistema de precisão do que na produção convencional, visto que estes dois itens responderam, em conjunto, por mais de 8% do COT do primeiro sistema e por menos de 3% do COT do último.

A proporção do COT relacionada às despesas financeiras e com depreciação também se mostrou maior para o sistema de precisão, com diferença aproximada de três pontos percentuais, enquanto a fatia gasta no pagamento de impostos foi proporcionalmente mais elevada para a produção convencional de soja. A contribuição ao Fundersul, por seu turno, impactou de modo quase idêntico os dois sistemas produtivos, sendo de aproximadamente 1% do COT em ambos os casos.

#### 4.2. Análise de risco

Utilizando-se a metodologia do Value-at-Risk (VaR) foram estimadas as piores variações, tanto em termos monetários quanto percentuais, nos lucros esperados por hectare que poderiam ser observadas em um ano-safra, sob os níveis de confiança de 99% e 95%. Calculou-se também, através da metodologia do Conditional Value-at-Risk (CVaR), o valor médio para as piores variações nos lucros esperados, no caso de se ultrapassar, pela ocorrência de cenários extremos, o limiar determinado pelo VaR. Cada um dos anos-safra estudados foi tomado separadamente como base da simulação

estocástica, de modo a gerar diferentes cenários para ambos os sistemas produtivos analisados.

#### 4.2.1. O caso do milho

A Tabela 3 apresenta as estimativas do VaR, em reais por hectare, com base nas safras de 2008/2009 a 2014/2015<sup>9</sup> de milho, produzidas sob os sistemas convencional e de precisão. Os valores em risco são apresentados para os níveis de confiança de 99% e 95%.

Tabela 3 - VaR estimado, em R\$/ha, para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	83,60	324,48	90,35	442,44
2009/2010	81,47	337,42	87,69	454,69
2011/2012	105,59	382,90	107,40	496,44
2012/2013	82,93	366,75	85,36	521,21
2013/2014	168,74	467,75	169,96	576,85
2014/2015	140,70	430,57	142,16	541,26
Média	110,50	384,97	113,82	505,48

Fonte: Resultado da pesquisa.

O valor em risco (VaR) foi calculado para cada uma das safras analisadas, tomando as condições específicas de cada uma delas como base. Assim sendo, considerando-se a safra 2014/2015 como exemplo, observa-se que a perda máxima calculada pelo VaR para a produção de milho pelo sistema de precisão é de R\$ 140,70, sob 95% de confiança. Para o sistema convencional, por outro lado, o potencial de perda é de R\$ 430,57, com base nesta mesma safra. Análise similar pode ser realizada para cada uma das safras analisadas.

Observa-se então que, em termos monetários, o valor em risco da produção de milho pelo sistema convencional é significativamente maior do que aquele apresentado pelo sistema de precisão. Este cenário se repete quaisquer que sejam as safras tomadas

<sup>9</sup> Exceção é feita à safra 2010/2011, visto que não houve produção de milho no sistema de precisão neste período.

como base para o cálculo do VaR e também para ambos os níveis de confiança considerados neste estudo. Em média, o valor em risco do sistema convencional foi 3,48 e 4,44 vezes maior do que o valor apresentado pelo sistema de precisão, a 95% e 99% de confiança, respectivamente.

Ressalta-se, novamente, que o potencial de perdas apontado pelo VaR é calculado em relação ao lucro esperado daquela safra. Ou seja, o VaR como calculado neste estudo estima as possíveis quedas no lucro da produção agrícola. A Tabela 4 traz o VaR da produção de milho em termos percentuais, calculado a partir da divisão do VaR (calculado em termos monetários) pelo lucro esperado para cada safra analisada.

Tabela 4 - VaR estimado, como percentual do lucro esperado, para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	20,10	43,87	21,73	59,82
2009/2010	16,15	41,57	17,38	56,02
2011/2012	16,45	57,15	16,74	74,10
2012/2013	24,08	95,89	24,79	136,27
2013/2014	27,74	53,30	27,94	65,74
2014/2015	43,47	52,90	43,91	66,50
Média	24,66	57,45	25,41	76,41

Fonte: Resultados da pesquisa.

O VaR percentual, medido em relação ao valor esperado do lucro, dá uma maior dimensão da exposição ao risco enfrentada na produção de milho sob cada um dos sistemas analisados. A análise dos resultados é análoga àquela realizada para os valores monetários. Considerando-se novamente a safra de 2014/2015, pode-se inferir que, para o sistema de precisão, a produção de milho apresenta um potencial de perda de até 43,47% do lucro esperado. Para a produção realizada pelo sistema convencional a perda máxima considerada é de 52,90% do lucro.

Assim como na análise do valor monetário em risco, a consideração do potencial percentual de queda nos lucros para o sistema convencional também apresentou valores relativamente piores do que aqueles obtidos pelo sistema de precisão. Em média, o valor

em risco do sistema convencional foi 2,33 e 3,01 vezes maior do que o valor apresentado pelo sistema de precisão, a 95% e 99% de confiança, respectivamente.

Observa-se também que na maioria dos cenários (anos-safra base) o potencial de perda não chega a se transformar em um efetivo prejuízo líquido, mas apenas em uma redução dos lucros esperados. Entretanto, destaca-se que para a safra 2012/2013, a 99% de confiança, há a possibilidade de se perder 136,27% do lucro esperado, configurando-se então um cenário de prejuízo financeiro na produção de milho pelo sistema convencional.

Fica evidente que o valor em risco medido em termos percentuais apresenta uma discrepância menor entre os dois sistemas produtivos do que a medida em termos monetários. Esta diferença se deve à magnitude dos lucros esperados para cada um dos sistemas analisados. As estimativas apresentadas nas Tabelas 3 e 4 são condensadas na Figura 4, possibilitando uma melhor análise da exposição ao risco na produção de milho para cada nível de confiança considerado.

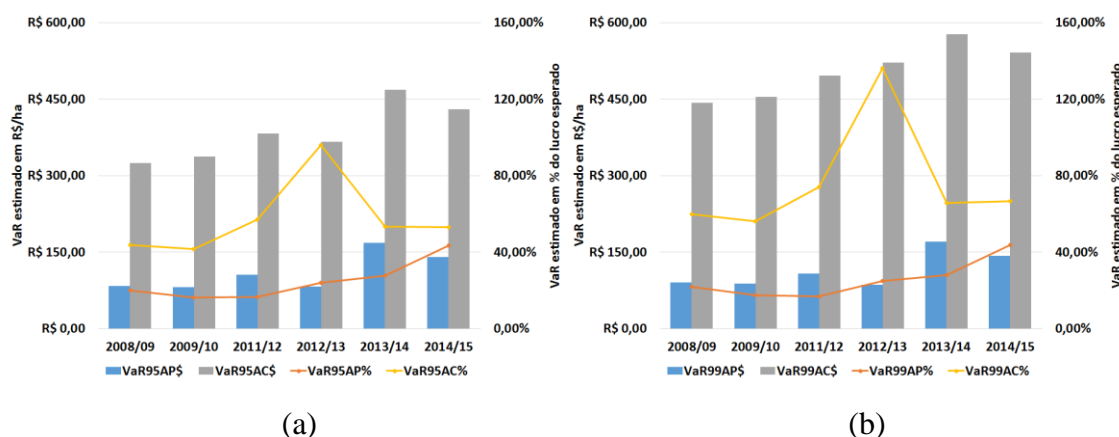


Figura 4 - VaR calculado, em termos monetários e percentuais, para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% (a) e 99% (b) de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 4 expõe mais claramente a discrepância apresentada entre os sistemas de produção de milho em relação ao valor em risco medido em termos monetários. Entretanto, analisando-se o valor em risco em termos de percentual do lucro esperado, evidencia-se que a diferença quanto a exposição ao risco relativa se torna menor entre os dois sistemas. Este resultado está ligado ao fato de os lucros esperados do sistema convencional estarem, para todas as safras analisadas, em patamares mais elevados do que aqueles calculados para o sistema de precisão. Destaque deve ser dado à discrepância

apresentada para o VaR percentual com base na produção convencional no ano-safra de 2012/2013 em comparação às demais safras. A origem desta divergência está na combinação, para este ano-safra específico, de uma cotação relativamente baixa do milho e custos elevados, o que deu origem a um lucro esperado mais baixo do que nos demais anos-safra.

A partir da análise desta figura, pode-se também realizar inferências preliminares sobre a volatilidade dos lucros em cada sistema. Como o VaR é medido, neste estudo, em relação ao lucro esperado, variações no valor em risco estarão ligadas a variações no lucro. Observa-se que, para a agricultura de precisão, o aumento do nível de confiança não leva a grandes aumentos na exposição ao risco, tanto em termos monetários quanto em termos percentuais. Para o sistema convencional, por outro lado, a passagem do nível de confiança de 95% para 99% leva a um significativo aumento do potencial de perda nos lucros esperados, evidenciando a maior volatilidade do lucro deste sistema de produção.

Outra inferência que pode ser feita, a partir da análise da Figura 3, tem a ver com a evolução do nível de exposição ao risco para os dois sistemas analisados. Enquanto o VaR, medido em termos monetários, mantém a tendência de grande discrepância entre os sistemas para todo o período analisado, o VaR medido em termos percentuais aponta que, após uma grande divergência para a safra 2012/2013, o valor em risco para os dois sistemas se torna bem próximo na safra 2014/2015. Este fato evidencia o aumento da exposição ao risco na produção de milho pelo sistema de precisão.

Foram demonstrados, através dos resultados apresentados até aqui, os máximos potenciais de perdas no lucro esperado em relação aos níveis de confiança considerados. Entretanto, qual seria o tamanho da exposição ao risco enfrentado na produção de milho caso o limiar determinado pelo VaR fosse ultrapassado? Ou seja, em cenários extremos, qual seria o risco esperado? Os resultados obtidos para o CVaR, que mede o risco esperado quando o VaR é sobrepujado, estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - CVaR estimado em R\$/ha para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	87,95	398,15	90,54	461,52
2009/2010	85,50	410,63	87,89	474,91
2011/2012	106,83	452,78	107,45	519,98
2012/2013	84,12	462,78	85,62	549,46
2013/2014	169,57	533,18	169,99	605,69
2014/2015	141,70	497,56	142,20	567,76
Média	112,61	459,18	113,95	529,89

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se que, de modo lógico, os valores calculados para o CVaR são mais elevados do que aqueles calculados para o VaR. O que se altera, neste caso, é a interpretação destes resultados, visto se tratar agora da medida do valor condicional em risco. Com base na safra 2014/2015, por exemplo, o valor condicional em risco, a 95% de confiança, é igual a R\$ 141,70 para a produção de milho no sistema de precisão. Admite-se então, com 95% de certeza, que quando o limiar de R\$ 140,70 definido pelo VaR for ultrapassado, o potencial de queda esperada nos lucros será de R\$ 141,70. De modo análogo, para esta mesma safra, o sistema convencional apresentou um valor condicional em risco de R\$ 497,56. Logo, espera-se que, em situações extremas, onde se ultrapasse o limite de R\$ 430,57 definido pelo VaR, aja uma queda de R\$ 497,56 no lucro esperado.

O CVaR da produção de milho medido em termos de percentual do lucro esperado é apresentado na Tabela 6. A interpretação destes dados é similar àquela realizada para o valor condicional em risco medido em termos monetários. Para a safra de 2014/2015, sob 95% de confiança, admite-se que haverá, em média, uma queda máxima de 43,77% nos lucros do sistema de precisão. Na produção de milho via sistema convencional, o valor condicional em risco seria de 69,15% do lucro esperado, isto é, espera-se que quando ultrapassado o limite determinado pelo VaR haja uma queda de pouco mais de 2/3 do lucro.

Tabela 6 - CVaR estimado como percentual do lucro esperado para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	21,15	53,83	21,77	62,40
2009/2010	16,94	50,59	17,42	58,51
2011/2012	16,65	67,58	16,74	77,61
2012/2013	24,43	121,00	24,86	143,66
2013/2014	27,88	60,76	27,95	69,02
2014/2015	43,77	61,13	43,93	69,76
Média	25,14	69,15	25,44	80,16

Fonte: Resultados da pesquisa.

A exposição ao risco na produção de milho medida pelo CVaR responde a alterações do nível de confiança de modo similar ao observado para o VaR. Para o sistema de precisão a passagem do nível de confiança de 95% para 99% leva a aumentos ínfimos na exposição ao risco. Já para o sistema convencional esta modificação do nível de confiança considerado acarreta uma significativa elevação do valor condicional em risco. Em termos médios, quando comparados os resultados do CVaR para os dois níveis de confiança analisados, observa-se uma elevação de R\$ 1,34 e R\$ 70,71 para os sistemas de precisão e convencional, respectivamente, em relação ao aumento do nível de confiança de 95% para 99%. Em termos percentuais essa diferença na resposta dos sistemas produtivos a um aumento do nível de confiança fica ainda mais evidente: enquanto o CVaR se eleva em 0,3 pontos percentuais no sistema de precisão, esse aumento é de 11,01 pontos percentuais para o sistema convencional.

Por fim, pode-se realizar inferências também sobre a volatilidade da exposição ao risco para cada um dos sistemas produtivos analisados. A partir da Figura 5 é possível observar, para os sistemas de precisão e convencional, a relação entre as duas medidas de exposição ao risco consideradas nesta pesquisa, sob os níveis de confiança de 95% e 99%, respectivamente.

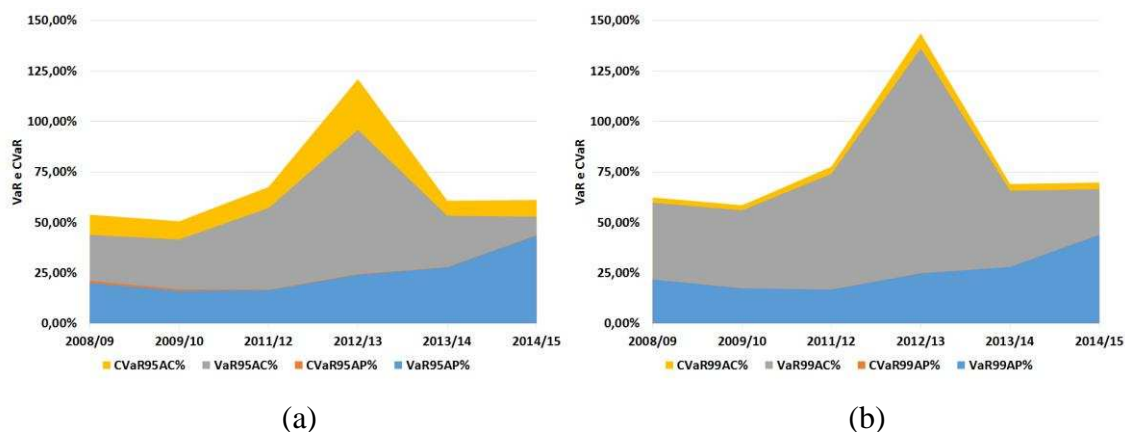


Figura 5 - VaR e CVaR calculados, em termos percentuais, para a produção de milho nos sistemas de precisão e convencional, a 95% (a) e 99% (b) de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Fica observado que, para ambos os níveis de confiança, o nível de exposição ao risco da agricultura de precisão apresenta elevação mínima quando calculado através do CVaR e não mais pelo VaR. Essa diferença se torna tão pequena quando considerado um nível de confiança de 99% que sequer é notada pela inspeção gráfica da Figura 5b. A 95% de confiança (Figura 5a) a diferença é perceptível, sendo ainda assim muito pequena. O sistema convencional, por seu turno, apresenta maiores discrepâncias entre o nível de exposição ao risco calculado pelos diferentes métodos, para ambos os níveis de confiança. Entretanto, deve-se destacar que, embora os riscos aumentem quando considerado um nível de confiança de 99%, a diferença entre os valores calculados para o VaR e o CVaR se torna menor do que quando calculados para 95% de confiança. Esta é mais uma amostra de que o sistema de precisão apresenta menor volatilidade no nível de riscos do que o sistema de precisão.

Assim como exposto na análise do VaR percentual, deve-se destacar os resultados obtidos, em termos percentuais, para o CVaR no sistema convencional no ano-safra de 2012/2013 em comparação às demais safras. Novamente, esta divergência advém da combinação, para este ano-safra específico, de custos elevados e uma cotação relativamente baixa do milho, o que originou um lucro esperado mais baixo do que nos demais anos-safra e, por conseguinte, uma maior relação entre o valor condicional em risco e o lucro esperado.

Logo, após a inspeção dos resultados alcançados, pode-se inferir que o nível de exposição ao risco na produção convencional de milho é mais elevado do que na produção via sistema de precisão. Novamente, assim como na análise dos custos, os resultados

encontrados refutaram a hipótese inicialmente levantada. Esperava-se que, dada as especificidades relacionadas à agricultura de precisão, este sistema estivesse mais exposto ao risco medido pela possível variação negativa dos lucros.

Mesmo que, no caso do milho, os lucros esperados na produção convencional sejam maiores do que aqueles da produção de precisão, o nível de risco assumido pelo primeiro sistema produtivo é substancialmente maior do que o do segundo. Observa-se, deste modo, que no caso do milho, maiores lucros estão diretamente relacionados à maiores riscos.

#### 4.2.2. O caso da soja

No caso da cultura da soja, os resultados indicaram uma realidade distinta daquela observada para a cultura do milho. Embora o sistema convencional também tenha apresentado estimativas do VaR, tanto para 95% quanto para 99% de confiança, mais elevadas do que aquelas observadas para o sistema de precisão, esta diferença é significativamente menor. A Tabela 7 apresenta as estimativas do VaR, em reais por hectare, com base nas safras de 2008/2009 a 2014/2015 de soja, produzidas sob os sistemas convencional e de precisão.

Tabela 7 - VaR estimado em R\$/ha para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	169,24	199,29	196,75	217,47
2009/2010	149,56	196,73	173,75	213,12
2010/2011	164,22	198,70	191,37	216,49
2011/2012	175,40	200,13	203,65	218,81
2012/2013	188,86	202,06	218,29	220,93
2013/2014	196,27	203,10	226,86	221,73
2014/2015	203,80	204,06	235,55	222,58
Média	178,19	200,58	206,60	218,73

Fonte: Resultados da pesquisa.

Tomando a safra 2014/2015 como exemplo, observa-se que, com 95% de confiança, o potencial de perdas em relação ao lucro esperado é igual a R\$ 203,80 para o

sistema de precisão. Já para o sistema convencional, a queda máxima no lucro esperado é de R\$ 204,06. Para o nível de confiança igual a 95% esta relação se mantém para todas as safras, com o risco experimentado pelo sistema convencional sendo superior ao do sistema de precisão.

Trabalhando com um nível de confiança de 99%, observa-se que para as safras de 2013/2014 e 2014/2015 o cenário fica revertido, de modo que o máximo de decréscimo no lucro da produção de soja passa a ser mais elevado para o sistema de precisão do que para o sistema convencional. Entretanto, em termos médios, o valor em risco da produção de soja foi superior para o sistema convencional do que para o sistema de precisão, sob os dois níveis de confiança considerados. Para 95% de confiança, o VaR do sistema convencional foi, em média, 12,57% maior do que no sistema de precisão. Trabalhando com 99% de confiança a diferença média para o valor em risco entre os sistemas é de 5,87%.

As estimativas do VaR em termos percentuais para a produção de soja são apresentadas na Tabela 8. Considerando-se a safra 2014/2015, pode-se afirmar, com 95% de segurança, que o lucro da produção de soja pelo sistema de precisão apresentará queda máxima de 14,26%. A produção pelo sistema convencional, por seu turno, pode ter uma queda máxima de 15,44%, considerando-se também um nível de confiança de 95%.

Tabela 8 - VaR estimado como percentual do lucro esperado para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	17,92	21,14	20,83	23,07
2009/2010	26,18	33,51	30,41	36,30
2010/2011	17,83	24,10	20,78	26,26
2011/2012	17,80	22,38	20,67	24,47
2012/2013	15,27	17,67	17,65	19,32
2013/2014	17,26	19,31	19,95	21,08
2014/2015	14,26	15,44	16,48	16,84
Média	18,07	21,93	20,97	23,90

Fonte: Resultados da pesquisa.

Além disso, ficou observado que, assim como na análise do valor em risco em termos monetários, a consideração do potencial de queda nos lucros em termos

percentuais também apresentou, em média, maior nível de risco para o sistema convencional do que para o sistema de precisão. O valor em risco médio para o sistema convencional foi menos de 10% superior àquele estimado para o sistema de precisão, para o VaR medido em termos percentuais, sob ambos os níveis de confiança considerados.

O potencial de diminuição dos lucros na produção de soja foi relativamente menor do que o observado para a produção de milho. Para o caso da soja, em nenhum dos cenários analisados foi observado, de fato, a possibilidade de ocorrência de prejuízos líquidos. A perda máxima relativa ao lucro não ultrapassou os 40% em nenhuma das safras de soja analisadas, para quaisquer sistemas produtivos e níveis de confiança.

A discrepância nos resultados encontrados para o VaR entre os sistemas de produção, diferentemente do observado para o caso do milho, foi relativamente similar para o valor em risco seja em termos monetários ou percentuais. Esta proximidade se deve à similar magnitude dos lucros esperados para cada um dos sistemas analisados. A Figura 6 condensa as estimativas apresentadas nas Tabelas 7 e 8, demonstrando graficamente a exposição ao risco na produção de soja para cada nível de confiança considerado.

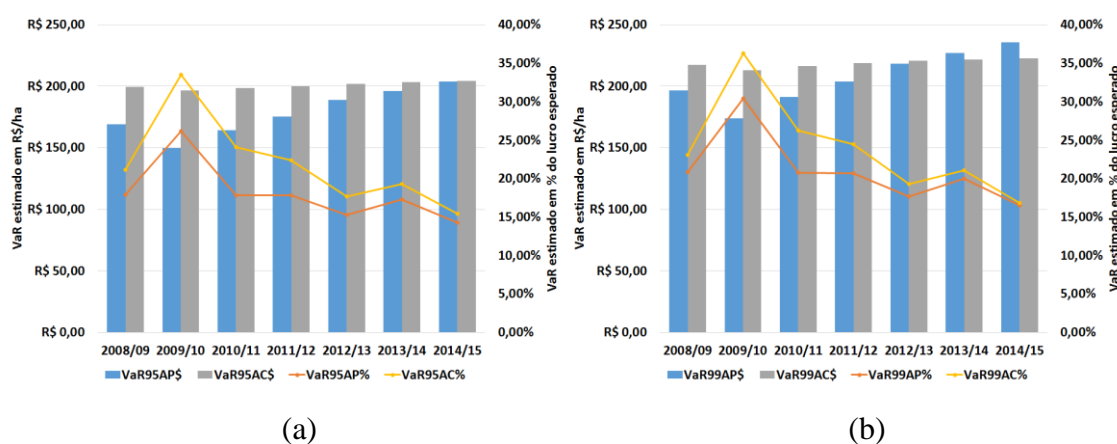


Figura 6 - VaR calculado, em termos monetários e percentuais, para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% (a) e 99% (b) de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Fonte: Resultados da pesquisa.

A Figura 6 expõe o VaR medido em termos monetários e percentuais para todas as safras estudadas, para 95% e 99% de confiança. Facilita-se, deste modo, a comparação do nível de exposição ao risco na produção de soja em relação à safra tomada como base de cálculo, ao tipo de VaR estimado (em reais ou percentual) e ao nível de confiança considerado. Destaca-se, na análise desta figura o VaR percentual com base no ano-safra

de 2009/2010, pois deu origem ao maior potencial de redução do lucro esperado para ambos os sistemas produtivos. A justificativa para este fato está na observação da menor cotação para a soja no período analisado, de modo que, para os dois sistemas produtivos, esta foi a safra que apresentou os menores lucros esperados.

Sob um nível de 95% de confiança, observa-se que, enquanto o VaR medido em termos monetários permanece praticamente estável para o sistema convencional durante as safras analisadas, enquanto é observada uma tendência de aumento no valor em risco para o sistema de precisão. Visto isso, na safra 2014/2015 é observada a menor diferença no valor em risco para os dois sistemas de produção, chegando a apenas R\$ 0,26. Em termos percentuais o VaR dos dois sistemas apresenta tendência de decréscimo com o passar das safras. Além disso, há uma tendência de diminuição da diferença no valor em risco calculado para os dois sistemas produtivos, embora o sistema convencional esteja mais exposto ao risco durante todo o período analisado.

Tomando-se um nível de 99% de confiança, a exposição ao risco para os dois sistemas se eleva, quando comparadas ao nível de confiança mais baixo. As tendências para o VaR medidos em termos monetários se mantêm a mesma para os dois sistemas, com relativa manutenção dos riscos no sistema convencional e elevação gradual da exposição observada para o sistema de precisão. Entretanto, ao se considerar um nível de 99% de confiança, em duas safras – 2013/2014 e 2014/2015 – o valor em risco do sistema de precisão sobrepuja aquele observado para o sistema convencional. Quando medido em termos percentuais, observa-se que, mesmo os riscos do sistema convencional sendo mais elevados do que os do sistema de precisão para todas as safras consideradas, para a safra 2014/2015 esta diferença quase é eliminada, chegando a apenas 0,36 pontos percentuais.

A partir da análise do VaR e do limiar por ele determinado, pode-se então realizar inferências acerca dos valores apresentados pelo CVaR para a produção de soja. As estimações feitas para o valor condicional em risco, medido em termos monetários, são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - CVaR estimado em R\$/ha para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	184,43	208,91	205,18	221,62
2009/2010	164,03	205,91	182,51	217,22
2010/2011	179,36	208,13	199,53	220,54
2011/2012	191,24	209,97	212,76	223,09
2012/2013	205,97	212,32	229,05	226,21
2013/2014	214,37	213,65	238,29	227,96
2014/2015	223,24	215,07	248,05	229,81
Média	184,43	208,91	205,18	221,62

Fonte: Resultados da pesquisa.

Analisando-se o valor condicional em risco, observa-se que, embora o potencial esperado de queda no lucro seja em média mais elevado para o sistema convencional do que para o sistema de precisão, esta lógica não é mantida para todas as safras analisadas. Sob 95% de confiança, o CVaR da produção de soja pelo sistema convencional foi mais elevado nas safras de 2008/2009 a 2012/2013, enquanto o cenário se reverteu para as duas outras safras subsequentes. Admitindo-se 99% de confiança, o CVaR do sistema de precisão se torna maior do que o do sistema convencional para as três últimas safras selecionadas. Para 95% de confiança, por exemplo, o CVaR do sistema convencional para a safra 2009/2010 foi R\$ 41,88 maior do que o do sistema de precisão, enquanto para a safra 2014/2015 esta diferença foi de R\$ 8,17, só que em favor do sistema de precisão. Logo, em situações extremas a exposição ao risco na produção de soja se torna relativamente próxima para os dois sistemas estudados.

O CVaR da produção de soja medido em termos de percentual do lucro esperado é apresentado na Tabela 10. Excetuando-se a safra de 2009/2010, fica observado que, sob ambos os níveis de confiança, o potencial de perda esperada não supera 1/3 dos lucros para nenhum dos dois sistemas de produção. Logo, fica evidente a menor exposição ao risco apresentada pela cultura da soja, quando comparada à produção de milho, especialmente para o sistema convencional. Esta situação pode estar ligada ao fato de, no sistema convencional, o milho tem sua produção guiada primordialmente por aspectos agrônômicos, enquanto para a soja as questões econômicas são levadas mais em consideração.

Tabela 10 - CVaR estimado como percentual do lucro esperado para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% e 99% de confiança.

Safras	95% de confiança		99% de confiança	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	19,53	22,16	21,72	23,51
2009/2010	28,71	35,07	31,95	37,00
2010/2011	19,48	25,25	21,67	26,75
2011/2012	19,41	23,48	21,59	24,94
2012/2013	16,66	18,57	18,52	19,78
2013/2014	18,85	20,31	20,95	21,67
2014/2015	15,62	16,27	17,36	17,38
Média	19,53	22,16	21,72	23,51

Fonte: Resultados da pesquisa.

Evidencia-se que, também para a análise em termos percentuais, a exposição ao risco na produção de soja não se eleva tão significativamente quando comparadas as estimativas do VaR e do CVaR. A proporcionalidade entre o CVaR permanece praticamente idêntica entre os sistemas produtivos apesar da alteração no nível de confiança. O sistema convencional apresenta um valor condicional em risco 2,63 pontos percentuais mais elevado do que no sistema de precisão, quando considerado um nível de confiança de 95%. Aumentando-se esse nível para 99%, observa-se que esta diferença para a ser de 1,79 pontos percentuais.

Analisando-se a Figura 7 é possível realizar inferências acerca da volatilidade da exposição ao risco para a produção de soja sob cada um dos sistemas analisados. Apresenta-se, para os sistemas de precisão e convencional, a relação entre as duas medidas de exposição ao risco consideradas nesta pesquisa, sob os níveis de confiança de 95% e 99%.

Fica perceptível que, apesar de o sistema convencional apresentar uma maior exposição ao risco, neste sistema o potencial de perda aumenta menos que proporcional ao observado para o sistema de precisão, quando alterada a metodologia de cálculo, indo do VaR para o CVaR. Fica evidente também que, ao se aumentar o nível de confiança, passando de 95% para 99%, as estimativas do VaR e CVaR se tornam ainda mais próximas para ambos os sistemas produtivos.

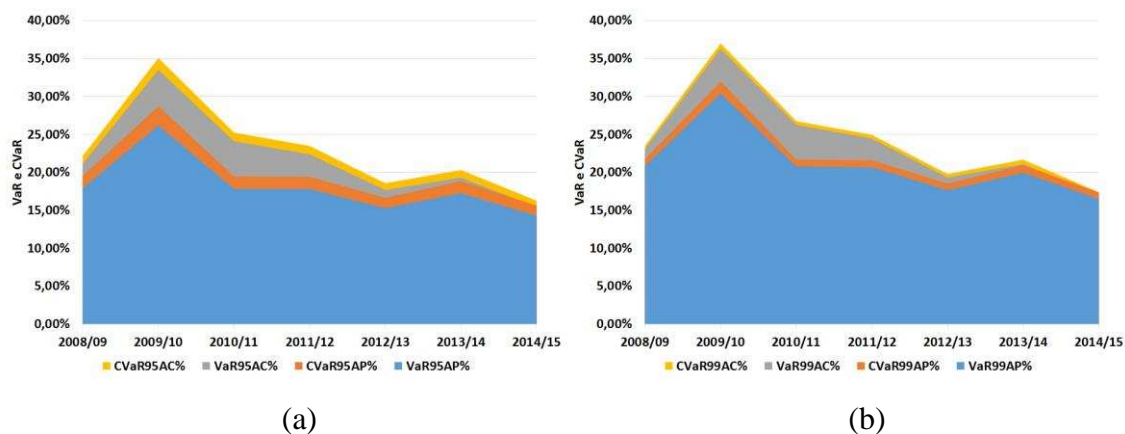


Figura 7 - VaR e CVaR calculados, em termos percentuais, para a produção de soja nos sistemas de precisão e convencional, a 95% de confiança.

Fonte: Resultados da pesquisa.

Após análise dos resultados apresentados para a questão do risco na produção de soja, pode-se inferir que o potencial de queda nos lucros esperados é maior para o sistema convencional do que para o sistema de precisão. Neste caso, a obtenção de maiores produtividades com a agricultura de precisão é capaz de gerar uma maior estabilidade (menor risco) para a produção agrícola. Assim como observado para o milho, refuta-se novamente a hipótese de que a utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo aumente a exposição do negócio agrícola ao risco.

Este resultado vai de encontro àquele apresentado por Silva et al. (2007) para a mesma região. Naquele trabalho, analisou-se conjuntamente a produção de milho e soja, tendo o sistema de precisão apresentado maior risco do que o sistema convencional. Contudo, deve-se ressaltar que não foi utilizada a mesma medida de risco que no presente estudo, sendo a variabilidade dos retornos, e consequentemente o risco do negócio agrícola, medido em termos de desvio padrão.

Os resultados expostos até aqui apontam que, mesmo não podendo ser considerada como uma ferramenta estratégica para a diminuição dos custos de produção, a agricultura de precisão pode ser vista como uma alternativa menos arriscada para a produção de milho e soja do que o sistema produtivo convencional, prevenindo reduções no lucro do negócio agrícola, inclusive em situações extremas.

#### 4.3. Análise do trade-off entre risco e retorno

Após a demonstração do nível de exposição ao risco possuído pelos sistemas de produção convencional e de precisão, pode-se determinar a relação entre os retornos e os riscos de cada cultura estudada. Desta maneira, analisando os riscos e retornos de modo

simultâneo, busca-se relacionar os diferentes resultados alcançados pelas culturas com o sistema de produção utilizado.

Neste sentido, utiliza-se o Índice de Sharpe Modificado Monetário (ISMM) como medida comparativa entre os riscos e retornos entre os dois sistemas produtivos, para as culturas do milho e da soja. Como se deseja, em última instância, analisar as possíveis vantagens da utilização da agricultura de precisão na produção agrícola, o ISMM é medido apenas para este sistema produtivo, calculando-se a diferença nos lucros esperados dos sistemas produtivos ponderada pelo nível de risco do sistema de precisão, medido pelo CVaR.

O diferencial entre os lucros esperados, ou lucro líquido, é definido como o possível prêmio recebido pelo produtor rural ao se utilizar o sistema de precisão em detrimento do sistema convencional. Ao ser ponderado pela medida de risco determinada pelo CVaR, pode-se analisar se o lucro líquido associado à utilização da agricultura de precisão é capaz de suprimir os riscos existentes neste sistema produtivo.

Primeiramente, expõem-se, para os dois sistemas produtivos utilizados em ambas as culturas, os lucros esperados para cada uma das safras analisadas. Estes valores são calculados através da média dos lucros obtidos em cada uma das 1.000 iterações realizadas na simulação estocástica e estão apresentados na Tabela 11. A partir das diferenças observadas no lucro esperado para cada um dos sistemas é que se fica observado a vantagem financeira em produzir, para os casos analisados neste estudo, milho e soja através do sistema de precisão.

Tabela 11 - Lucro esperado para produção de milho e soja sob os sistemas convencional e de precisão, em R\$/ha, nas safras 2008/09 a 2014/15

Cultura	Milho		Soja	
	Sistema de precisão	Sistema convencional	Sistema de precisão	Sistema convencional
2008/2009	415,87	739,58	944,56	942,63
2009/2010	504,59	811,64	571,31	587,13
2010/2011	-		920,84	824,43
2011/2012	641,69	669,99	985,42	894,33
2012/2013	344,38	382,47	1.236,57	1.143,64
2013/2014	608,29	877,51	1.137,39	1.051,78
2014/2015	323,72	813,91	1.429,19	1.322,08
Média	473,09	715,85	1.032,18	966,57

Fonte: Resultados da pesquisa.

A análise da Tabela 11 torna evidente as diferentes realidades observadas para cada uma das culturas analisadas. Enquanto para o milho é encontrada uma discrepância considerável entre os dois sistemas analisados quando ao lucro esperado, para a soja esta diferença não é tão expressiva assim. Pode-se relacionar esta situação ao fato de, no caso da soja, tanto para o sistema de precisão quanto para o sistema convencional, a produção ser guiada primordialmente pela ótica econômica. Por seu turno, como exposto anteriormente, a produção de milho no sistema de precisão é feita mais por considerações agrônômicas (rotação de culturas) do que econômicas.

Se por um lado a produção convencional apresentou níveis mais elevados de lucro esperado para o milho, por outro lado a produção de soja através da agricultura de precisão deu origem a lucros esperados, em média, maiores do que no sistema convencional. Na produção de milho o lucro médio esperado no sistema convencional, medido em reais por hectare, foi mais do que 50% maior do que aquele observado para o sistema de precisão. No caso da soja, essa diferença se reduz a pouco menos de sete pontos percentuais, dessa vez em favor do sistema de precisão, apontando uma similaridade muito maior nos lucros obtidos para os diferentes sistemas de produção de soja.

A Tabela 12 apresenta os valores estimados para o ISMM associado à produção de milho. O fato de, em todas as safras estudadas, o lucro esperado para o sistema convencional ser mais elevado do que o do sistema de precisão ajuda a explicar os resultados encontrados, tendo em vista o sinal negativo apresentado sob ambos os níveis de confiança estabelecidos. Deste modo, o produtor, ao optar pela produção via agricultura de precisão, estaria recebendo um “prêmio” negativo, tendo em vista que a outra possibilidade – produção via sistema convencional – apresenta resultados mais sedutores do ponto de vista da lucratividade.

Tabela 12 - Índice de Sharpe Modificado para a produção de milho, a 95% e 99% de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Safras	95% de confiança	99% de confiança
2008/2009	-3,68	-3,58
2009/2010	-3,59	-3,49
2011/2012	-0,26	-0,26
2012/2013	-0,45	-0,44
2013/2014	-1,59	-1,58
2014/2015	-3,46	-3,45
Média	-2,17	-2,13

Fonte: Resultados da pesquisa.

Observa-se também, pela análise da Tabela 12, que para quatro das seis safras analisadas, o valor do índice – apesar de negativo – é maior do que a unidade. Deste modo, evidencia-se que, para estas safras, o lucro esperado na produção convencional de milho é tão maior do que aquele relacionada ao sistema de precisão que acaba por sobrepor o nível de riscos expresso pelo CVaR. Poder-se-ia, deste modo, considerar a hipótese contrária, de que o sistema convencional possui maior nível de riscos, o que de fato foi observado. Entretanto, o nível de risco estimado para este sistema produtivo foi tão elevado – em comparação aos resultados do sistema de precisão – que o diferencial nos lucros não ultrapassaria a unidade.

No caso da soja, o panorama da relação risco e retorno mensurado pelo ISM é similar àquele observado para o milho. A Tabela 13 apresenta os valores estimados para o ISM associado à produção de soja. Ao contrário do observado para o caso do milho, os lucros esperados na produção de soja foram mais elevados no sistema de precisão para quase todas as safras analisadas. Exceção é feita ao ano-safra de 2009/2010 e, por isso, este é o único valor negativo encontrado para o ISMM relacionado à produção de soja. Logo, em média, pode-se apontar que o produtor, ao optar pela produção de soja via agricultura de precisão, pode ganhar lucros mais elevados do que aqueles apresentados para a produção no sistema convencional.

Tabela 13 - Índice de Sharpe Modificado para a produção de soja, a 95% e 99% de confiança, para as safras 2008/2009 a 2014/2015.

Safras	95% de confiança	99% de confiança
2008/2009	0,01	0,01
2009/2010	-0,10	-0,09
2010/2011	0,54	0,48
2011/2012	0,48	0,43
2012/2013	0,45	0,41
2013/2014	0,40	0,36
2014/2015	0,48	0,43
Média	0,32	0,29

Fonte: Resultados da pesquisa.

Mesmo dando origem a lucros esperados mais elevados do que aqueles observados para o sistema convencional, a produção de soja via sistema de precisão não seria capaz de cobrir o risco expresso em termos do CVaR. Isto ocorre porque, diferentemente do observado para a produção de milho, os dois sistemas de produção de soja apresentaram lucros esperados relativamente próximos um do outro, de modo que o diferencial calculado entre estes lucros não fosse capaz de suprimir os riscos estimados através do CVaR.

De modo geral, pode-se então afirmar que, ao menos para a cultura da soja, os ganhos de produtividade alcançados pelo sistema de precisão são capazes de compensar os custos de produção mais elevados apresentados por este sistema, dado o lucro esperado mais elevado em comparação à produção convencional. Por outro lado, isto não é verdade para a cultura do milho, dado que, mesmo com maior produtividade, o sistema de precisão alcançou lucros esperados em patamares inferiores ao sistema convencional.

Entretanto, ao se retornar aos resultados apresentados na seção anterior, que versou sobre a exposição ao risco da produção de milho e soja, pode-se inferir que o sistema de precisão possui um menor potencial de quedas no lucro esperado do negócio agrícola, esteja ele relacionado à produção de milho ou soja. Deste modo, fica evidenciado o potencial apresentado pela agricultura de precisão em relação ao controle dos riscos relacionados ao resultado do negócio agrícola, além do potencial de aumentos no lucro na produção de soja.

A partir destes resultados, poder-se-ia considerar, para o caso do milho, a escolha pelo sistema convencional como a mais atrativa do ponto de vista da lucratividade.

Entretanto, como destacado por Leismann (2002), deve-se levar em consideração as preferências individuais dos produtores em relação ao trade-off existente entre riscos e retornos. Quanto maior o nível de significância adotado, mais elevado se torna a exposição ao risco, sendo exigidos maiores retornos para a realização do investimento. Indivíduos avessos ao risco podem considerar abrir mão dos maiores retornos presentes no sistema convencional, preferindo os menores níveis de risco presentes no sistema de precisão, especialmente no caso do milho, onde foi observada grande discrepância entre os níveis de risco para os dois sistemas estudados.

Tomando-se a ótica do produtor, que busca maximizar seus retornos e minimizar sua exposição ao risco, pode-se inferir que, de modo especial para o caso da soja, a proximidade entre os resultados encontrados para os dois sistemas produtivos – tanto em termos de lucro esperado, quanto em termos de risco – torna a escolha entre os sistemas produtivos ainda mais sujeita a subjetividade de cada indivíduo (produtor). Deve-se deixar claro, entretanto, que a análise conduzida nesta pesquisa não leva em consideração os custos relacionados à aquisição dos equipamentos relacionados à prática da agricultura de precisão. Análises guiadas neste sentido foram realizadas por Silva (2005) e Silva et al. (2007) para a mesma região de estudo, onde foi confirmada a viabilidade da utilização da agricultura de precisão no cultivo de milho e soja.

Novamente ao se considerar o caso da soja, os resultados favoráveis alcançados para o sistema de precisão, poderiam guiar políticas públicas voltadas à promoção da difusão da agricultura de precisão no País. Em um cenário de alta pressão competitiva e de crescente demanda por alimentos, como observado atualmente, os resultados aqui apresentados tendem a apontar a produção de soja através da utilização da agricultura de precisão como uma resposta à estas necessidades.

Acredita-se também que os resultados apresentados para o milho foram tão discrepantes em relação àqueles observados para a soja pelo fato de, na empresa agrícola estudada, o sistema de precisão aplicado à esta cultura ter sido implementado para fins agronômicos, de modo a realizar a prática de rotação de culturas. Neste sentido, espera-se que, caso a ótica econômica prevalecesse na produção de milho, seriam observados resultados mais favoráveis à utilização da agricultura de precisão.

## 5. RESUMO E CONCLUSÕES

Nas últimas quatro décadas, a agricultura mundial foi transformada radicalmente pela introdução de avanços técnicos e tecnológicos, que propiciaram uma extraordinária elevação da produção agrícola. O Brasil, na esteira da evolução apresentada pela atividade agrícola, viu a prática agropecuária vigente no país ser significativamente modificada, neste período, a partir da modernização da produção nacional.

Além daquelas modificações advindas da introdução de novas técnicas e tecnologias aplicadas ao meio rural, foi observado também uma mudança radical no padrão de acumulação da agricultura brasileira, onde o capital – em suas diversas modalidades – foi elevado ao papel de protagonista da atividade agrícola. Os processos de modernização e capitalização da atividade agrícola ocorreram de modo concomitante, agregando maior nível de riscos à atividade agrícola. Soma-se ainda a este cenário de elevada incerteza, as crescentes pressões competitivas enfrentadas pelos produtores.

Assim sendo, considerando-se o cenário atual da agricultura brasileira e mundial, a introdução de novas tecnologias aplicadas à produção e gerenciamento da atividade agrícola pode ser vista como um fator central no ganho de competitividade do negócio agrícola e também no controle dos riscos por parte dos produtores rurais. Neste contexto, foram introduzidas junto à atividade agrícola, no início da década de 1990, ferramentas de tecnologia de informação e comunicação, que, juntamente à outras inovações tecnológicas aplicadas à agricultura, possibilitaram a criação de uma nova técnica de produção e gerenciamento da atividade agrícola, a agricultura de precisão.

O sistema de precisão, baseado na utilização de ferramentas de precisão, fornece aos produtores informações detalhadas sobre o solo e a lavoura, sendo visto como um potencial indutor de reduções nas perdas produtivas e de aumentos na eficiência global do processo de produção, podendo contribuir substancialmente para a competitividade da atividade agrícola. Além disso, considerando a possível capacidade de redução da variabilidade tanto da produtividade quanto dos retornos econômicos entre as safras, a agricultura de precisão é vista como uma potencial ferramenta de gestão de riscos na produção agrícola.

Entretanto, mesmo que os riscos de produção possam vir a serem mitigados, a opção pelo manejo de precisão poderia aumentar outros riscos ligados à atividade agrícola, como aqueles relacionados às questões financeira, tecnológica e de mão de obra. Neste contexto, evidencia-se o papel de destaque que as considerações sobre as incertezas e os riscos possuem no tangente à escolha pela utilização ou não de determinada

tecnologia ou conjunto tecnológico – como é o caso da agricultura de precisão – por parte dos produtores rurais.

Visto isso, a presente pesquisa buscou explorar e analisar o trade-off existente entre risco e retorno, avaliando os riscos – medido como o potencial de perdas no lucro – relacionados à utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo e os contrastando com os resultados econômicos alcançados pela atividade agrícola. Para tanto, estudou-se o caso de uma empresa agrícola situada no Estado do Mato Grosso do Sul, uma das pioneiras na utilização de ferramentas de precisão no Brasil. Foco foi dado ao milho e à soja, visto que estas culturas são apontadas como aquelas que mais se utilizam do manejo de precisão no Brasil e no resto do mundo.

A análise econômica conduzida neste estudo foi realizada em três etapas: construção e comparações dos custos operacionais entre os sistemas de produção convencional e de precisão, estimação dos riscos relacionados a cada sistema estudado, e análise do trade-off entre riscos e retornos apresentados para a agricultura de precisão. O referencial teórico do estudo foi baseado na teoria da tomada de decisões em condições de risco e incerteza e também nas teorias que versam sobre as fontes de riscos e incerteza na agricultura. O referencial analítico foi baseado no Value at Risk e no Conditional Value at Risk, como métodos de mensuração dos riscos, e no Índice de Sharpe Modificado Monetário, como ferramenta de avaliação simultânea dos retornos e riscos relacionados à utilização da agricultura de precisão como sistema produtivo.

No tangente aos custos operacionais, medidos em reais por saca, ficou observado que o sistema convencional obteve, em média, valores menores do que aqueles calculados para o sistema de precisão. Este resultado foi observado para as duas culturas analisadas, apesar do fato de, na empresa agrícola analisada, o milho ser produzido com foco na manutenção do sistema de rotação de culturas, enquanto o carro-chefe do negócio agrícola estudado é a soja. Deste modo, evidencia-se que este fato não apresenta significativos rebatimentos sobre os custos de produção.

Em relação à composição dos custos de produção, observou-se que, para ambas as culturas, os dispêndios com fertilizantes foram mais elevados no sistema de precisão, provendo evidências de que os ganhos de produtividade alcançados pela empresa agrícola estudada estariam relacionados à maior utilização deste insumo e, conseqüentemente, maiores gastos. Por outro lado, as despesas operacionais, tanto para o milho quanto para a soja, apresentaram valores inferiores no sistema de precisão, evidenciando os possíveis ganhos de eficiência na utilização de máquinas e implementos alcançados por esse sistema produtivo. Entretanto, a especificidade das máquinas de precisão e a necessidade

de mão-de-obra mais especializada para sua operação e manutenção oneram, mais que proporcionalmente, a agricultura de precisão do que a produção agrícola convencional.

A análise de risco, diferentemente da hipótese inicialmente levantada, demonstrou que a produção com utilização da agricultura de precisão apresenta uma menor exposição ao risco do que aquela calculada para o sistema convencional. Esta exposição ao risco foi calculada em termos de potencial de perdas no lucro esperado da produção de milho e soja. O valor em risco mede a possível perda máxima nos lucros e o valor em risco condicional mede a perda esperada no caso de se ultrapassar o limiar determinado pelo valor em risco calculado.

Destaca-se que os resultados apresentados para o milho foram mais discrepantes do que aqueles relacionados à produção de soja. O Value at Risk e o Conditional Value at Risk foram estimados em termos monetários e percentuais, considerando-se dois níveis de confiança, 95% e 99%.

No caso do milho, o risco medido pelo valor em risco foi quase cinco vezes maior, em termos monetários, no sistema convencional do que no sistema de precisão, para o maior nível de confiança. Ao se reduzir a confiança, a diferença média entre a exposição ao risco ainda se manteve elevada, sendo o valor em risco do sistema convencional mais de três vezes mais elevado do que o observado para o sistema de precisão. Em termos percentuais, significativa diferença ainda é observada entre os sistemas de produção, porém em menor proporção do que quando o potencial de perdas é medido em termos monetários. Este resultado é justificado pelos maiores lucros esperados associados à produção de milho pelo sistema convencional.

Considerando-se o valor condicional em risco, observa-se que, novamente, a exposição ao risco na produção de milho pelo sistema convencional é expressivamente superior àquela observada para a agricultura de precisão. Para os dois níveis de confiança estabelecidos, a diferença entre os sistemas de produção é muito próxima à observada para o valor em risco. Deve-se destacar, também, o fato de que o aumento da exposição dos lucros ao risco, quando considerado o CVaR e não mais o VaR, é maior para o sistema convencional do que para o sistema de precisão. Este é um indício de uma maior volatilidade nos lucros apresentados pelo sistema convencional, o que justificaria o maior nível de riscos associados a este sistema de produção de milho. Para o caso do milho, os lucros esperados na produção convencional foram maiores do que aqueles da produção de precisão, enquanto o nível de risco assumido pelo primeiro sistema produtivo é substancialmente maior do que o do segundo. Fica observado, deste modo, que no caso do milho, maiores lucros estão diretamente relacionados à maiores riscos.

Para a soja, os resultados indicaram uma realidade distinta daquela observada para a cultura do milho. Embora o sistema convencional também tenha apresentado, em média, estimativas de valor em risco mais elevadas do que aquelas observadas para o sistema de precisão, esta diferença é significativamente menor do que a observada para a produção de milho.

Medido em termos monetários, o valor em risco estimado para o sistema convencional foi apenas 5,87% mais elevado do que o do sistema de precisão, considerando-se um nível de 99% de confiança. Quando diminuído o nível de confiança, esta diferença foi de pouco mais de 12%. Quando mensurando em termos percentuais, o valor em risco médio para o sistema convencional foi menos de 10% superior àquele estimado para o sistema de precisão, sob ambos os níveis de confiança considerados. O potencial de diminuição dos lucros na produção de soja foi relativamente menor do que o observado para a produção de milho, não sendo observado, inclusive, em nenhum dos cenários analisados, a possibilidade de ocorrência de prejuízos líquidos na produção de soja.

Quando considerado o valor condicional em risco, medido pelo CVaR, observa-se uma maior similaridade na exposição de risco entre os sistemas de produção de soja. A exposição ao risco na produção de soja não se eleva tão significativamente quando comparadas as estimativas do VaR e do CVaR. Além disso, a proporcionalidade entre o CVaR permanece praticamente idêntica entre os sistemas produtivos apesar da alteração no nível de confiança. Logo, fica evidente a menor exposição ao risco apresentada pela cultura da soja, quando comparada à produção de milho, especialmente para o sistema convencional.

Considerando-se os resultados apresentados para os custos operacionais e para a análise de risco, fica evidente a incapacidade, ao menos no caso analisado, da agricultura de precisão em diminuir os custos de produção da soja e do milho. Entretanto, estes resultados ressaltam a capacidade do sistema de precisão, quando aplicado à estas culturas, de diminuir a exposição ao risco – medida pelo potencial de perdas nos lucros – da atividade agrícola. Até mesmo em situações extremas, analisadas pelo valor em risco condicional, foi observada a capacidade da agricultura de precisão em prevenir significativas reduções no lucro do negócio agrícola.

Ressalta-se, contudo, que a análise de risco empreendida neste estudo, apesar de ser designada como o estudo do valor em risco da atividade agrícola, relaciona-se de modo mais preciso com a ideia de mensuração de lucro em risco. Analisam-se os lucros, e os riscos a eles relacionados, para a produção de milho e soja, sem levar em

consideração os investimentos feitos para a operacionalização do sistema de produção. Esta pode ser apontada como uma lacuna a ser futuramente preenchida, tendo em visto que não se levou em consideração, na análise empreendida, os valores que deveriam ser dispendidos pelo produtor rural para realizar a transição entre o sistema convencional e o sistema de precisão.

Pela análise do trade-off entre risco e retorno ficou observado que os lucros esperados, foram maiores para a produção convencional de milho e para a produção de soja via agricultura de precisão. Deve-se, contudo, ressaltar que a diferença nos lucros esperados foi expressivamente maior para a produção de milho do que para a produção de soja. Em média, a diferença no lucro esperado dos dois sistemas produtivos foi de mais de 50% para a produção de milho, em favor da produção convencional. Por outro lado, este diferencial, para a cultura da soja, foi de menos de 7% em favor do sistema de precisão. Deste modo, fica evidente que, ao menos para a soja, os ganhos de produtividade alcançados pelo sistema de precisão são capazes de compensar os custos de produção mais elevados apresentados por este sistema. Já para o milho isto não é observado devido ao fato de, na empresa agrícola estudada, a produção de milho ser guiada por fins agronômicos, enquanto a soja é produzida sob uma ótica mais econômica, voltada diretamente à obtenção de lucros econômicos.

O fato de, em média, o lucro esperado para o sistema convencional ser mais elevado do que o do sistema de precisão ajuda a explicar os resultados encontrados para o Índice de Sharpe Modificado Monetário na produção de milho, tendo em vista o sinal negativo apresentado sob ambos os níveis de confiança estabelecidos. Logo, evidencia-se que o produtor de milho, ao optar pela produção via agricultura de precisão, estaria recebendo um “prêmio” negativo, tendo em vista que a outra possibilidade – produção via sistema convencional – apresenta retornos mais sedutores do ponto de vista da lucratividade do negócio agrícola.

Os resultados encontrados para a soja exprimem uma outra realidade, dado que o lucro esperado, em média, ter sido mais elevado no sistema de precisão do que no sistema de produção convencional. Deste modo, para a maior parte das safras de soja analisadas o ISMM apresentou valores positivos. Entretanto, mesmo com o diferencial entre os lucros esperados dos sistemas de precisão e convencional sendo positivo, esta diferença não é capaz de suprimir os riscos relacionados à produção de precisão, de modo que os índices tenham apresentado valores menores do que a unidade.

Especialmente para o caso do milho, poder-se-ia considerar o contrário da hipótese inicialmente levantada neste estudo, passando-se a entender o sistema de

precisão como aquele livre de risco. Entretanto, os riscos calculados para a produção convencional de milho são tão maiores do que aqueles estimados para o sistema de precisão que, apesar de o diferencial dos lucros esperados se tornar positivo, esta diferença não seria capaz de sobrepujar o risco relacionado à produção convencional.

Os resultados apresentados por este estudo, quando considerados em sua completude, poderiam guiar a inferência de que, sob um ponto de vista econômico, somente a produção de soja seria atrativa sob o sistema de precisão. Entretanto, a relação individual de cada produtor para com o trade-off existente entre riscos e retornos, faz com que a utilização da agricultura de precisão na produção de milho não seja descartada. Apesar da diferença entre os lucros esperados para os dois sistemas, um produtor de milho com maior aversão ao risco poderia abrir mão dos maiores ganhos relacionados à produção convencional e escolher produzir pelo sistema de precisão, onde a possibilidade de perda nos lucros é comparativamente menor.

Mesmo que tenham ido de encontro às hipóteses inicialmente levantadas, espera-se que esses resultados possam subsidiar, de modo especial, os produtores rurais quanto à gestão dos riscos enfrentados na atividade agrícola. Além disso, com destaque para a produção de soja, os resultados encontrados poderiam guiar políticas públicas voltadas à disseminação das técnicas de agricultura de precisão no Brasil, tendo em vista seu potencial de elevação da produtividade e também de diminuição dos riscos no resultado financeiro do negócio agrícola. Deve-se ressaltar, contudo, que pela natureza desta pesquisa, construída sobre um estudo de caso individual, os resultados aqui apresentados devem ser utilizados com parcimônia para outras localidades e, principalmente, outras culturas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACERBI, C.; TASCHE, D. Expected shortfall: a natural coherent alternative to value at risk. **Economic Notes**, v. 31, n. 2, p. 379-388, 2002.

ADAMS, M. L.; COOK, S.; CORNER, R. Managing Uncertainty in Site-Specific Management: What is the Best Model? **Precision Agriculture**, v. 2, n. 1, p. 39-54, 2000.

ALVES, E. R. A.; CONTINI, E.; GASQUES, J. G. Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. In: ALBUQUERQUE, A. C. S.; SILVA, A. G. (Ed.). **Agricultura tropical: quatro décadas de inovações tecnológicas, institucionais e políticas**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. v. 1. p. 67-99.

ARNHOLT, M. W. **Evaluating adoption and uses of precision farming technologies**. 2001. 176 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Agrícola, Ambiental e Econômico) – The Ohio State University, Columbus, OH, EUA, 2001.

ARTZNER, P. et al. Coherent measures of risk. **Mathematical Finance**, v. 9, n. 3, p. 203-228, 1999.

BERNARDI, A. C. C.; INAMASU, R. Y. Adoção da Agricultura de Precisão no Brasil. In: BERNARDI, A. C. C.; NAIME, J. M.; RESENDE, A. V.; BASSOI, L. H.; INAMASU, R. Y. (Ed.) **Agricultura de Precisão: Resultados de um Novo Olhar**. Brasília: Embrapa, 2014, ed. 1, cap. 60, p. 559-577.

BOEHLJE, M. Information and technology transfer in agriculture: the role of the public and private sectors. In: WOLF, S. A. (Ed.) **Privatization of Information and Agricultural Industrialization**. Boca Raton: CRC Press LLC, 1998. cap. 2, p. 23-38.

BUAINAIN, A. M. Alguns condicionantes do novo padrão de acumulação da agricultura brasileira. In: BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M.; NAVARRO, Z. (Ed.) **O mundo rural no Brasil do século 21: A formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa, 2014, ed. 1, cap. 4, p. 211-240.

BUAINAIN, A. M. et al. Quais os riscos mais relevantes nas atividades agropecuárias? In: BUAINAIN, A. M.; ALVES, E.; SILVEIRA, J. M.; NAVARRO, Z. (Ed.) **O mundo rural no Brasil do século 21: A formação de um novo padrão agrário e agrícola**. Brasília: Embrapa, 2014, ed. 1, cap. 4, p. 175-208.

BUAINAIN, A. M. et al. Sete teses sobre o mundo rural brasileiro. **Revista de Política Agrícola**, v. 22, n. 2, p. 105-121, 2013.

CANNARELLA, C.; PICCIONI, V. “Do the right thing”: Innovation diffusion and risk dimensions in the passage from conventional to organic agriculture. **Journal of Central European Agriculture**, v. 11, n. 1, p. 113-130. 2011.

CAPITANI, D. H. D.; MATTOS, F. Risk measurement in commodities markets: How much price risk do agricultural producers really face? In: AGRICULTURAL AND APPLIED ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2012, Seattle. **Proceedings...** Seattle: AAEA, 2012.

- CHAVAS, J. **Risk analysis in theory and practice**. Londres: Academic Press, 2004. 247 p.
- CIRANI, C. B. S.; MORAES, M. A. F. D. Inovação na Indústria Sucroalcooleira Paulista: Os Determinantes da Adoção das Tecnologias de Agricultura de Precisão. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 48, n. 4, p. 543-565, 2010.
- DAMODARAN, A. **Strategic risk taking: a framework for risk management**. Nova Jersey: Pearson Prentice Hall, 2007
- DOWD, K. **Measuring Market Risk**. Chichester: John Wiley & Sons Ltd., 1998.
- DOWD, K.; BLAKE, D. After VaR: The Theory, Estimation, and Insurance Applications of Quantile-Based Risk Measures. **The Journal of Risk and Insurance**, v. 73, n. 2, p. 193-229, 2006.
- GIRLING, P. X. **Operational Risk Management: A Complete Guide to a Successful Operational Risk Framework**. Chichester: John Wiley & Sons, 2013
- GITMAN, L. J.; ZUTTER, C. J. **Principles of managerial finance**. Boston: Prentice Hall, 2012.
- GRIFFIN, T. W. et al. Adoption, profitability and making better use of precision farming data. **Staff Paper**, n. 4-6. Purdue University: West Lafayette, IN, USA, 2004, 20 p.
- GRIFFIN, T. W.; LOWENBERG-DEBOER, J. Worldwide adoption and profitability of precision agriculture: Implications for Brazil. **Revista de Política Agrícola**, v. 16, n. 4, p. 20-37, 2005.
- HARDAKER, J. B. et al. **Coping with Risk in Agriculture: Applied Decision Analysis**. Wallingford: CABI, 2015. 289 p.
- HAWES, C. R. **Value at Risk: Agricultural Processor Procurement and Hedging Strategies**. 2003. 146 f. Tese (Mestrado em Ciências – Agronegócio e Economia Aplicada) – North Dakota State University, EUA, 2003.
- HENDRICKS, D. **Evaluation of value-at-risk models using historical data**. Federal Reserve Bank of New York Economic Policy Review, Nova Iorque, p.39-69, Apr. 1996.
- HOLÁ, A. **Mathematical Models of Value at Risk**. 2012. 74 f. Monografia (Bacharelado em Matemática) – University of West Bohemia, Pilsen, República Tcheca, 2012.
- HOLTON, G. A. Simulating Value at Risk. **Risk**, v. 11, n. 5, p. 60-63, 1998.
- HURLEY, T. M.; MALZER, G. L.; KILIAN, B. Estimating Site-Specific Nitrogen Crop Response Functions: A Conceptual Framework and Geostatistical Model. In: AMERICAN AGRICULTURAL ECONOMICS ASSOCIATION ANNUAL MEETING, 2003, Montreal. **Proceedings...** Montreal: AAEA, 2003.
- INDICADORES sociais municipais: uma análise dos resultados do universo do censo demográfico 2010. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 151 p.

JEHLE, G. A.; RENY, P. J. **Advanced Microeconomic Theory**. Harlow: Pearson Education Limited, 2011.

JORION, P. **Value at risk**: a nova fonte de referência para o controle de risco de mercado. 2. ed., São Paulo: BM&F, 2003. 487 p.

JUST, R. E. Addressing the Changing Nature of Uncertainty in Agriculture. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 83, n. 5, p. 1131-1153, 2001.

KHANNA, M.; EPOUHE, O. F.; HORNBAKER, R. Site-Specific Crop Management: Adoption and Incentives. **Applied Economic Perspectives and Policy**, v. 21, n. 2, p. 455-472, 1999.

KIMURA, H. Administração de riscos em empresas agropecuárias e agroindustriais. **Caderno de Pesquisas em Administração**, São Paulo, v. 1, n. 7, 1998.

KNIGHT, F. H. **Risk, uncertainty and profit**. Chicago: The University of Chicago Press, 1971. 381 p.

LAZZAROTTO, J. J. **Desempenho econômico e riscos associados à Integração Lavoura-Pecuária no Estado do Paraná**. 2009. 196 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.

LEISMANN, E. L. **Retornos e Riscos na Comercialização de Milho no Estado do Paraná: uma aplicação do modelo Value-at-Risk**. 2002. 177 f. Tese (Doutorado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

LIEN, G. et al. Risk programming and sparse data: how to get more reliable results. **Agricultural Systems**, v. 101, p. 42-48, 2009.

LOWENBERG-DEBOER, J. Risk Management Potential of Precision Farming Technologies. **Journal of Agricultural and Applied Economics**, v. 31, n. 2, p. 275-285, 1999.

LOWENBERG-DEBOER, J.; AGHIB, A. Average Returns and Risk Characteristics of Site Specific P&K Management: Eastern Corn Belt On-Farm Trial Results. **Journal of Production Agriculture**, v. 12, n. 2, p. 276-282.

LOWENBERG-DEBOER, J.; SWINTON, S. Economics of Site-Specific Management in Agronomic Crops. In: PIERCE, F. J.; SADLER, E. J. (Ed.) **The State of Site-Specific Management for Agriculture**. Madison: Agronomy Society of America, 1997, p. 369-396.

MANFREDO, M. R.; LEUTHOLD, R. M. **Agricultural applications of Value-at-Risk analysis**: a perspective. Champaign: University of Illinois at Urbana, 1998. 16p.

\_\_\_\_\_. **Market risk measurement and the cattle feeding margin**: an application of Value-at-Risk. Champaign: University of Illinois at Urbana, 1999. 30p.

MARKOWITZ, H. M. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91. Mar. 1952.

MAS-COLELL, A.; WHINSTON, M. D.; GREEN, J. R. **Microeconomic theory**. Nova York: Oxford University Press, 1995.

MCBRIDE, W. D.; DABERKOW, S. G. Information and the Adoption of Precision Farming Technologies. **Journal of Agribusiness**, v. 21, n. 1, p. 21-38, 2003.

MILLER, A. et al. Risk Management for Farmers. **Staff Paper**, Department of Agricultural Economics, Purdue University, p. 04-11, 2004.

MONDAL, P.; BASU, M. Adoption of precision agriculture technologies in India and in some developing countries: Scope, present status and strategies. **Progress in Natural Science**, v. 19, n. 6, p. 659-666, 2009.

MOOSA, I. A. **Operational risk management**. Nova York: Palgrave Macmillan, 2007

MOSCHINI, G.; HENNESSY, D. A. Uncertainty, Risk Aversion and Risk Management for Agricultural Producers. In: GARDNER, B. L.; RAUSSER, G. C. (Ed.) **Handbook of agricultural economics**. Amsterdã: Elsevier Science B. V., 2001. v. 1, cap. 2, p. 87-153.

NYGAARD, R. **Uma análise da emenda ao acordo da Basiléia e sugestões para implementação no Brasil**. 1999. Dissertação (Mestrado em Administração) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

OECD. **Managing Risk in Agriculture: A Holistic Approach**. Paris: OECD Publishing, 2009. 170 p.

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.

PANNELL, D. J.; MALCOLM, B.; KINGWELL, R. S. Are we risking too much? Perspectives on risk in farm modelling. **Agricultural Economics**, v. 23, n. 1, p. 69-78, 2000.

PEREIRA, P. A. A. et al. The development of Brazilian agriculture: future technological challenges and opportunities. **Agriculture & Food Security**, v.1, n. 4, 2012.

PEREIRA, V. F. **Efeitos da diferenciação sobre riscos e retornos da produção de café em Minas Gerais**. 2008. 153 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

PLANT, R. E. Site-specific management: the application of information technology to crop production. **Computers and Electronics in Agriculture**, v. 30, n. 1-3, p. 9-29, 2001.

REICHARDT, M.; JÜRGENS, C. Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. **Precision Agriculture**, v. 10, n. 1, p. 73-94, 2009.

RICHARDSON, J. W.; SCHUMANN, K. D.; FELDMAN, P. **Simetar**: Simulation and Econometrics to Analyze Risk. Department of Agricultural Economics, Texas A&M University, College Station, Texas, 2001.

ROBERTS, R. K.; ENGLISH, B. C.; LARSON, J. A. Factors Affecting the Location of Precision Farming Technology Adoption in Tennessee. **Journal of Extension**, v. 40, n. 1, p. -, 2002.

ROBERTSON, M. J.; LYLE, G.; BOWDEN, J. W. Within-field variability of wheat yield and economic implications for spatially variable nutrient management. **Field Crops Research**, v. 105, n. 3, p. 211-220, 2008.

ROCKAFELLAR, R. T.; S. URYASEV. Conditional value-at-risk for general loss distributions. **Journal of Banking and Finance**, v. 26, p. 1443-1471, 2002.

SCHIMMELPFENNIG, D.; EBEL, R. On the Doorstep of the Information Age: Recent Adoption of Precision Agriculture. **Economic Information Bulletin Number 80**. Economic Research Service (ERS). United States Department of Agriculture (USDA). Washington, DC. 2011.

SILVA, C. B. et al. The economic feasibility of precision agriculture in Mato Grosso do Sul State, Brazil: a case study. **Precision Agriculture**, v. 8, n. 6, p. 255-265, 2007.

SILVA, C. B. **Viabilidade econômica do uso da agricultura de precisão: Um estudo de caso**. 2005. 87 f. Tese (Mestrado em Economia Aplicada) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2005.

SILVA, C. B.; MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, v. 12, n. 1, p. 67-81, 2011.

SUNDING, D.; ZILBERMAN, D. The agricultural innovation process: research and technology adoption in a changing agricultural sector. In: GARDNER, B. L.; RAUSSER, G. C. (Ed.) **Handbook of agricultural economics**. Amsterdã: Elsevier Science B. V., 2001. v. 1, cap. 4, p. 207-261.

TOMEK, W. G.; PETERSON, H. H. Risk Management in Agricultural Markets: A Review. **The Journal of Future Markets**, v. 21, n. 10, p. 953-985, 2001.

VENTURA, M. M. O Estudo de Caso como Modalidade de Pesquisa. **Revista SOCERJ**, v. 20, n. 5, p. 383-386, 2007.

VIEIRA FILHO, J. E. R. **Políticas Públicas de Inovação no Setor Agropecuário: Uma avaliação dos fundos setoriais**. Brasília: Ipea (Texto para Discussão, n. 1.722), 2012. 30 p.

VIEIRA JUNIOR, P. A.; VIEIRA, A. C. P.; BUAINAIN, A. M. O Centro-Oeste brasileiro como fronteira agrícola. In: CONGRESO DE LA ASOCIACION LATINOAMERICANA DE SOCIOLOGIA RURAL, 7., 2006, Quito, Equador. **Anais...** Buenos Aires: ALASRU, 2006.

VISÃO 2014-2034: o futuro do desenvolvimento tecnológico da agricultura brasileira. Brasília: Embrapa, 2014. 194 p.

VON NEUMANN, J.; MORGENSTERN, O. **Theory of games and economic behavior**. Princeton: Princeton University Press, 1944.

WHELAN, B. M.; MCBRATNEY, A. B.; BOYDELL, B. C. The Impact of Precision Agriculture. In: ABARE OUTLOOK CONFERENCE: "THE FUTURE OF CROPPING IN NW NSW", 1997, Moree. **Proceedings...** Moree: ABARE, 1997.