

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS
PARA O AGRONEGÓCIO

EDUARDO GASPARIN

**OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA COM ANÁLISE DOS RISCOS NA
PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE UMA PROPRIEDADE RURAL DO
OESTE PARANAENSE**

DISSERTAÇÃO

MEDIANEIRA-PR

2018

EDUARDO GASPARIN

**OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA COM ANÁLISE DOS RISCOS NA
PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE UMA PROPRIEDADE RURAL DO
OESTE PARANAENSE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - PPGTCA da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR - Campus Medianeira, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio / Área de Concentração: Tecnologias Computacionais Aplicadas à Produção Agrícola e Agroindústria

Orientador: Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos

Coorientador: Prof. Dr. Levi Lopes Teixeira.

MEDIANEIRA-PR

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

G249o

Gasparin, Eduardo

Otimização econômica com análise dos riscos na produção agrícola de uma propriedade rural do oeste paranaense / Eduardo Gasparin - 2018

97 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: José Airton Azevedo dos Santos.

Coorientadora: Levi Lopes Teixeira.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio. Medianeira, 2018.

Inclui bibliografias.

1. Agricultura familiar. 2. Cultivos agrícolas. 3. Programação linear 4. Tecnologias Computacionais- Dissertações. I. Santos, José Airton Azevedo dos. orient. II. Teixeira, Levi Lopes, coorient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio. IV. Título.

CDD: 004

Biblioteca Câmpus Medianeira
Marci Lucia Nicodem Fischborn 9/1219



TERMO DE APROVAÇÃO

OTIMIZAÇÃO ECONÔMICA COM ANÁLISE DOS RISCOS NA PRODUÇÃO AGRÍCOLA DE UMA PROPRIEDADE RURAL DO OESTE PARANAENSE

Por

EDUARDO GASPARIN

Essa dissertação foi apresentada às 14:00 horas, do dia dez de maio de dois mil e dezoito, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio, Linha de Pesquisa Tecnologias Computacionais Aplicadas À Agroindústria, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio - PPGTCA, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof.Dr. José Airton Azevedo dos Santos
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof.Dr. Levi Lopes Teixeira.
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof.: Dr. Paulo Sergio Graziano Magalhães
UTFPR – Câmpus Medianeira

Prof.Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira
UNIOESTE – Câmpus Cascavel

A via original com as assinaturas encontra-se na Coordenação do Programa

A Elaine, aos meus pais e aos meus amigos...
companheiros de todas as horas...

AGRADECIMENTOS

Aos meus professores orientadores Dr. José Airton Azevedo dos Santos e Dr. Levi Lopes Teixeira, pelas inúmeras sugestões, essenciais ao desenvolvimento deste trabalho.

A minha querida esposa Elaine, por todos os momentos de apoio e compreensão.

Aos meus pais pelos ensinamentos e palavras de motivação.

Aos amigos e colegas, pela força e pela vibração em relação a esta jornada.

Aos professores e colegas de curso, pois juntos trilhamos uma etapa importante de nossas vidas.

A todos que, com boa intenção, colaboraram para a realização e finalização deste trabalho de pesquisa.

RESUMO

GASPARIN, Eduardo. **Otimização econômica com análise dos riscos na produção agrícola de uma propriedade rural do oeste paranaense**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 95 p.

A maior liberalização e globalização do mercado agrícola resultam em maiores pressões sobre os produtores nacionais. Buscando adequarem-se a esta nova dinâmica mercadológica e atender as expectativas de consumidores mais exigentes, muitos produtores rurais procuram especializar-se na produção de *commodities*, o que deveria resultar em melhores resultados financeiros. No entanto, alterações nas relações de oferta e demanda, políticas protecionistas, variações cambiais e eventos climáticos extremos, por vezes imprevisíveis, podem afetar negativamente e irreversivelmente a saúde financeira da propriedade rural. Este fato torna-se especialmente dramático para os produtores familiares, já que prejuízos decorrentes de problemas na produção podem colocar em risco não apenas a continuidade da atividade econômica, mas também a subsistência familiar. Diante desta situação, o presente trabalho buscou por meio da seleção de culturas apropriadas, da determinação dos recursos necessários ao desenvolvimento das atividades, adaptar o Modelo de Minimização do Desvio Absoluto Total – MOTAD à realidade dos produtores familiares. Por meio da utilização de series históricas da rentabilidade de diferentes culturas agrícolas, tornou-se possível ao modelo mensurar os riscos econômicos que tangem a produção agrícola e apresentar em diferentes cenários, planos produtivos que otimizem a relação entre recursos alocados, renda obtida e risco submetido. Com base em uma propriedade familiar localizada no oeste paranaense, aplicou-se a metodologia proposta, com os resultados encontrados apresentando planos produtivos com rendas bruta cinco vezes superiores ao atualmente praticado, sem a necessidade de contratação de mão de obra complementar e nem a necessidade de investimentos em grandes infraestruturas, apenas alocando eficientemente os recursos já disponíveis na propriedade rural.

Palavras-chave: MOTAD; Series Históricas; Subsistência Familiar.

ABSTRACT

GASPARIN, Eduardo. **Economic optimization with risk analysis in the agricultural production of a country estate of Paraná west**. 2018. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

The greater liberalization and globalization of the agricultural market results in greater pressure on domestic producers. Seeking to adapt to this new market dynamics and meet the expectations of more demanding consumers, many rural producers seek to specialize in the production of commodities, which should result in better financial results. However, changes in the supply and demand relationships, protectionist policies, currency fluctuations and extreme weather events, sometimes unpredictable, can negatively and irreversibly affect the financial health of rural property. This fact is especially dramatic for the family producers, since losses due to production problems can jeopardize not only the continuity of economic activity, but also family subsistence. Given this situation, the present work sought to select the appropriate crops, to determine the resources required to develop the activities, and to adapt the Total Absolute Diversion (MOTAD) Minimization Model to the reality of family farmers. Through the use of historical series, it became possible for the model to measure the economic risks affecting agricultural production and to present in different scenarios productive plans that optimize the relation between allocated resources, income obtained and risk submitted. Based on a family property located in the western part of the state of Paraná, the proposed methodology was applied, with the results found presenting productive plans with gross incomes five times higher than the one currently practiced, without the need to hire additional labor or the need to investments in large infrastructures, only efficiently allocating the resources already available in the rural property.

Key-words: MOTAD; Historical Series; Family Subsistence.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Representação gráfica do espaço de solução e plano ótimo.	29
Figura 2: Passos para a otimização proposta.	42
Figura 3: Temperaturas e precipitação média mensal da região estudada.	43
Figura 4: Gráfico da precipitação média mensal e Evapotranspiração de Referência (ET _o).	45
Figura 5: Exemplo do mapa de zoneamento agrícola da cultura de soja.	47
Figura 6: Evolução da rentabilidade da soja, milho e trigo no Plano Real.	59
Figura 7: Variação do preço em relação à oferta e demanda ao longo do tempo.	59
Figura 8: Variação anual do IGP-M no Plano Real.	61
Figura 9: Evolução do valor monetário do crédito equivalente a cem reais na implantação do Plano Real.	62
Figura 10: Evolução da rentabilidade real da Soja, Milho e Trigo no Plano Real.	63
Figura 11: Rentabilidade anual da Soja, dados originais e normalizados.	63
Figura 12: Fronteira eficiente entre renda e risco para o primeiro cenário.	67
Figura 13: Fronteira eficiente entre renda e risco para o segundo cenário.	69
Figura 14: Fronteira eficiente entre renda bruta e risco para o terceiro cenário "A". .	71
Figura 15: Fronteira eficiente entre renda e risco para o terceiro cenário "B".	74
Figura 16: Fronteira eficiente entre renda e variância (E-V) para o quinto cenário. ..	75
Figura 17: Renda bruta e a soma dos desvios negativos da solução inicial para os diferentes cenários.	77
Figura 18: Evolução da renda bruta estimada e do risco econômico dos planos produtivos propostos aos diferentes cenários.	78
Figura 19: Representatividade do risco em função da margem bruta.	79
Figura 20: Evolução do número de culturas e S.D.N. para o 4º cenário, sem restrição de culturas.	80
Figura 21: Evolução do número de culturas e variância para o 2º cenário.	80
Figura 22: Evolução do número de culturas e S.D.N. para o 1º cenário, que abrange apenas cereais tradicionais.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Área de cada setor da propriedade.	40
Tabela 2: Alguns valores de Radiação Solar Global Extraterrestre diária para duas latitudes.	45
Tabela 3: Atual resultado econômico da propriedade.	65
Tabela 4: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual.	66
Tabela 5: Alocação de área obtida por meio do MOTAD para o primeiro cenário	68
Tabela 6: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o segundo cenário.	69
Tabela 7: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o segundo cenário.	70
Tabela 8: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o terceiro cenário "A".	71
Tabela 9: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o terceiro cenário "A".	72
Tabela 10: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o terceiro cenário "B".	73
Tabela 11: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o terceiro cenário "B".	74
Tabela 12: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o quarto cenário.	75
Tabela 13: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o quarto cenário.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Utilização da área agricultável disponível ao longo do ano.	41
Quadro 2: Distribuição anual da época de semeadura de algumas culturas.	47
Quadro 3: Descrição dos equipamentos próprios do produtor.	50
Quadro 4: Equipamentos disponíveis em regime de comodato.	50
Quadro 5: Culturas agrícolas consideradas em cada cenário produtivo.	65

LISTA DE SIGLAS

ETo	Evapotranspiração de Referência.
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
IPARDES	Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social.
IAPAR	Instituto Agrônômico do Paraná.
MOTAD	Modelo de Minimização do Desvio Absoluto Total.
BACEN	Banco Central do Brasil.
PRONAF	Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar.
COVPA	Contratos de Opção de Venda de Produtos Agropecuários.
PIB	Produto Interno Bruto.
ICMS	Imposto Sobre Circulação de Mercadorias E Serviços.
PO	Pesquisa Operacional.
FAO	Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura.
PM FAO-56	Método Estimativo Padrão Penman-Monteith FAO 56.
EMATER	Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural do Paraná.
IAC	Instituto Agrônômico de Campinas.
SPVS	Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental.
IBRE	Instituto Brasileiro de Economia.
ha	Hectare – 10000 m ² .

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	12
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Objetivo Geral	14
1.2.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1 PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO	15
2.2 O RISCO NA AGRICULTURA.....	19
2.2.1 O Risco Climático	21
2.2.2 O Risco Econômico	26
2.3 MODELOS MATEMÁTICOS	28
2.3.1 O Modelo Matemático MOTAD	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
3.1 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO	37
3.2 A PROPRIEDADE RURAL.....	38
3.2.1 Naturezas Físicas da Propriedade	38
3.2.2 Atividades Atualmente Desenvolvidas na Propriedade	40
3.3 A OTIMIZAÇÃO DA PROPRIEDADE	41
3.3.1 As Condições Climáticas da Região do Estudo	42
3.3.2 Cálculo da Evapotranspiração de Referência	43
3.3.3 Seleção das Culturas Aptas	45
3.3.4 Restrições Técnicas da Propriedade.....	48
3.3.5 O Modelo Matemático Proposto.	52
3.3.6 Uso de Séries Históricas	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	64
4.1 O ATUAL DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS	64
4.2 DIVERSIFICAÇÃO DOS CEREAIS TRADICIONAIS	66
4.3 INCLUSÃO DE CULTURAS ANUAIS E HORTICULTURAS.....	68
4.4 OTIMIZAÇÃO EXCLUSIVA Á SAFRA VERÃO	70
4.5 OTIMIZAÇÃO EXCLUSIVA Á SAFRA INVERNO	72
4.6 INCLUSÃO DE CULTURAS FRUTÍFERAS	74
4.7 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS PROPOSTOS	77
5 CONCLUSÕES	82
5.1 SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS	85
REFERÊNCIAS.....	86

1 INTRODUÇÃO

Definida como a arte do cultivo dos campos (FERREIRA, 2017), a agricultura é formada pelo conjunto de técnicas aplicadas ao cultivo de vegetais destinados a obtenção de alimentos, energia, matérias primas e ornamentação.

O desenvolvimento das atividades agrícolas remonta ao período conhecido como pré-história e é amplamente atribuída a este fato a fixação do homem a determinadas regiões geográficas e consequente evolução das bases da civilização. O sucesso na produção de alimentos permitiu também o início das primeiras operações comerciais. Nestas os produtores agraciados com maiores produtividades poderiam trocar o excesso da sua produção por ferramentas, objetos ou mesmo cultivares dos quais não obtivessem o mínimo que necessitavam, o que permitiu, a criação de diversas funções estranhas à agricultura e o aparecimento das primeiras sociedades organizadas socioeconomicamente (VICENTINO e DORIGO, 2011).

Contini et al. (1984) afirmam que do desempenho do setor agrícola dependem todos os objetivos macroeconômicos das sociedades modernas. O adequado fornecimento de alimentos e matérias-primas, por parte da agricultura, aos demais setores econômicos, possibilita a existência de políticas de estabilidade de preços e consequente estabilidade financeira.

Freitas (2016) descreve que o sucesso das atividades agrícolas deriva das relações entre três fatores principais: o físico, constituído de elementos climáticos e espaciais, como as características físicas e biológicas do solo, o humano, que corresponde à mão de obra destinada ao seu desenvolvimento e ao processo de tomada de decisão, e ao econômico, referente ao valor do espaço de cultivo e o nível de tecnologias disponíveis para a produção.

Como a safra agrícola não depende de elementos completamente controláveis, a falta de área disponível para cultivo e principalmente os fatores climáticos, tornam o meio produtivo bastante heterogêneo e mutável, auferindo ao setor o apelido de “indústria a céu aberto”. Além disto, variações de demandas e preferências do mercado interno e externo, afetam as relações de rentabilidade financeira, principalmente em

países ou momentos históricos em que políticas governamentais de protecionistas inexitem ou são desincentivadas (ZEN et al., 2005).

Nesta dinâmica complexa, o planejamento agrícola é uma tarefa difícil e arriscada. Envolto em uma realidade comercial competitiva e frenética, o produtor deve encontrar entre as diversas estratégias possíveis para empreendimento, àquela que melhor pondere entre suas expectativas e condições, tornando o processo decisório baseado em inúmeros objetivos. Nesse cenário ganha força a utilização de técnicas baseadas em modelos matemáticos, que embora escassos e ainda não popularizados, quando corretamente empregados fornecem importantes direcionamentos e soluções quanto à exata alocação de recursos dos produtores, além de informações e controle sobre possíveis falhas e anomalias que eventualmente possam ocorrer (OLISZESKI 2011).

1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Situados em um período onde o sucesso do setor agrícola possui forte impacto na economia nacional, alguns questionamentos se tornam relevantes: Em quais culturas deve ser investido maior capital e mão de obra? O que garantiria renda mínima que tornasse viável novos investimentos? O que otimizaria o uso das áreas disponíveis, considerando suas peculiaridades?

A formatação de uma metodologia para tomada de decisão poderia disponibilizar aos produtores, informações importantes sobre a correta alocação de seus recursos físicos e econômicos, possibilitando a rentabilidade de seu empreendimento, mesmo em um cenário de risco.

Contini et al. (1986) destacam que neste processo, elementos de aprendizado e tradicionais mesclam-se com condições de infraestrutura, sociais e características psicológicas particulares, na busca de maiores rentabilidades aos investimentos realizados. As condições citadas exigem do empreendimento produtivo a capacidade de adaptação a novas situações e contextos, manifestados por condições econômicas,

políticas, sociais e climáticas ao seu redor. Isto se torna mais evidente quando abordado o número de agricultores familiares no país.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (2006), a agricultura familiar é responsável por 74,4% de todos os postos de trabalho agrícola no país, mesmo dispondo de apenas 24,3% das áreas agricultáveis. Esta grande parcela possui baixo poder aquisitivo, acarretando menor acesso a assistência técnica e tecnologias de produção, tornando-os ainda mais suscetíveis a problemas econômicos.

Nessa problemática surge a necessidade do estudo aprofundado da dinâmica econômica agrícola, e posterior seleção das culturas aptas às características climáticas da região. Assim, é possível o desenvolvimento de modelos matemáticos multiobjetivos a fim de apresentar aos produtores diferentes cenários produtivos que satisfaçam as necessidades financeiras dos envolvidos, garanta a fixação da mão de obra neste setor e fornecimento de alimentos básicos à população em geral.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Adaptar um modelo matemático para otimização econômica com análise de riscos na produção agrícola de uma propriedade familiar, em auxílio a tomada de decisão do gestor agrícola.

1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Selecionar com base no zoneamento agrícola as culturas aptas à região de estudo.
- b) Identificar as restrições impostas pela legislação sobre as atividades agrícolas.
- c) Implementar um modelo matemático viável.
- d) Propor diferentes cenários que contemplem as restrições da propriedade.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 PLANEJAMENTO AGROPECUÁRIO

Comumente o administrador compreende que o funcionamento de um empreendimento seja complexo e dinâmico, recheado de variáveis externas não controláveis, mesmo assim afirma que é fácil memorizar e processar as informações pertinentes a este, discordando que um sistema de registro padronizado das ocorrências e acontecimentos seja medida importante. Para Veloso (1997) a informalidade do gerenciamento da propriedade não permite uma visão sistêmica e completa de todos os componentes do empreendimento e suas relações com o contexto econômico em que está inserido. Este mesmo autor descreve quais seriam as atribuições, os procedimentos e as informações essenciais para o processo de tomada de decisão.

Sobre o controle sistematizado, Marion (2007), destaca sua importância como ferramenta básica para a gestão de qualquer empreendimento, em especial na agricultura, onde os espaços de tempo entre produção e vendas, ou seja, entre custos e receitas, assumem complexidade não comum a diversos outros empreendimentos. O autor propõe que os custos sejam classificados quanto a sua natureza, a identificação com o produto e a sua variação quantitativa.

Crepaldi (1998) afirma que o agricultor vem reduzindo o número de atividades na propriedade, procurando se especializar na produção de uma ou duas culturas, para fornecer produtos de maior qualidade ao mercado que melhor lhe remunera. Também comenta a visível necessidade de conhecimento técnico e competência do produtor na definição de seu planejamento, já que estes elementos determinam em grande parte o sucesso do empreendimento.

Em situações onde decidir está pertinente à alocação de recursos limitados, como no caso de grande parte das atividades econômicas, métodos mais robustos, capazes de confrontar diferentes restrições e buscar soluções eficientes, tornam-se

ferramentas essenciais no auxílio a tomada de decisão. Dentro desta perspectiva, os modelos matemáticos baseados em programação linear são os mais indicados (PARTON; CUMMING, 1990).

Barros (2014) apresentou uma aplicação simplificada do uso dos modelos matemáticos na atividade agropecuária. A autora desenvolveu um modelo com objetivo de minimizar o custo total da propriedade, que além da produção leiteira realizava também produção vegetal. O modelo era composto por uma função objetivo que abrangia a totalidade dos custos de produção do empreendimento. Apesar de supor diversificação das atividades, os resultados indicaram que a redução da produção leiteira impactaria em liberação de mão de obra e de recursos financeiros que seriam direcionados para a produção agrícola da fazenda, aumentando a rentabilidade geral.

Modelos matemáticos podem ser ferramentas muito versáteis para o planejamento agropecuário. Castro et al. (2013) aplicaram um modelo de maximização em uma propriedade de 3.632 hectares, localizada no estado do Pará. Nela eram realizadas atividades de produção de milho e criação de gado da raça nelore, porém o gestor desejava ampliar a área de cultivo em substituição a pastagem. Os resultados obtidos indicaram que a integração entre culturas pecuárias e vegetais tende à maximização da receita anual. Os autores também salientam que a adequada aplicação e utilização do modelo dependem da qualidade dos dados obtidos em campo, sendo essa um desafio significativo para sua aplicação prática.

Santos e Martins (2015) conseguiram por meio da modelagem matemática, aliada com informações obtidas com o gestor, a otimização econômica de uma fazenda localizada no estado do Pará. No estudo realizado, os autores conseguiram estimar para o ano de 2015, um aumento de 153,32 % na receita líquida da propriedade quando comparada a receita obtida no ano anterior. Segundo os autores, este resultado econômico deu-se devido à correta seleção dos produtos que seriam cultivados no ano e a alocação otimizada dos recursos disponíveis no empreendimento rural.

Rozakis et al. (2016) criticam a utilização de modelos mono objetivo no planejamento de propriedades agrícolas na Grécia. Para os autores a maior parte dos modelos assume que a maximização da margem bruta é o objetivo central dos empreendimentos agropecuários, quando visivelmente não se pode afirmar isto.

Propõem então a utilização de um modelo multiobjetivos, e a partir dos resultados obtidos concluíram que estes permitem uma representação mais fiel da realidade econômica das propriedades, em comparação com modelos que preveem apenas a maximização da margem bruta.

Dill et al. (2010) propõem um modelo de programação linear aplicado a Teoria do Portfólio de Markowitz (1952), para auxílio na tomada de decisão quanto as culturas de verão a serem selecionadas em uma empresa rural situada no estado do Rio Grande do Sul. Para atingir este objetivo, realizaram-se entrevistas e análise documental baseada em informações contábeis, para assim estimar a rentabilidade das culturas estudadas. Pelo histórico de preços, estimou-se a correlação e o risco conforme a metodologia proposta pela Teoria do Portfólio e através da programação linear conclui-se que das culturas analisadas, soja, milho e girassol, este último foi o que apresentou a melhor rentabilidade, porém o maior risco também. Finalmente os autores concluem que o modelo proposto contempla, com bastante segurança, os aspectos cruciais na escolha, sendo de grande valia para tomada de decisão no empreendimento agrícola.

Utilizando programação linear e o modelo de Minimização dos Desvios Absolutos (MOTAD), Souza et al. (2008) elaboraram sistemas de produção agrícola capazes de otimizar os recursos de agricultores familiares das regiões Norte e Noroeste Fluminense. Os autores analisaram a realidade dos agricultores pertencentes aos grupos A, C e D do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF), dos quais obtiveram informações sobre dotação dos recursos, custos e margens brutas. Quando desconsiderados os riscos de preço, o cultivo da goiaba destacou-se como a opção que otimizaria a utilização dos recursos e a geração de renda. Se considerados os riscos de redução nos preços, concluíram que sistemas de produção simultâneos de maracujá e goiaba, principalmente, propiciariam redução dos riscos, sem grave comprometimento da renda gerada. Também os autores destacam que foi possível constatar que os recursos provenientes do PRONAF contribuíram para elevar o uso da terra, aumentar o retorno das atividades e possibilitar a contratação de trabalhadores adicionais.

Marques et al. (2009) estudaram a ocupação econômica de uma propriedade de 500 ha localizada na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo. Analisaram o cultivo irrigado de milho, tomate, cana de açúcar e feijão em diferentes situações com modelos de programação linear determinístico e programação linear incluindo risco pelo modelo Target-MOTAD. Com a conclusão do estudo, foi possível ressaltar a importância da inclusão do risco em fornecer ocupações alternativas para os produtores, permitindo assim a tomada de decisão considerando a sensibilidade ao risco e a pretensão de margem bruta anual.

Mosciaro e Iorio (2013) estudaram estratégias produtivas de fazendas com níveis intermediários de capitalização, para inferir a tendência de alocação de recursos. A análise incorporou considerações de mercado e de risco de produção aplicando dois modelos baseados no método MOTAD com diferentes restrições técnicas. O primeiro incluía controles conservacionistas do uso do solo; no segundo, estes não foram considerados. Na análise dos resultados, foram obtidos diferentes planejamentos produtivos, que contemplavam a necessidade mínima de lucro esperada, sob as condições de risco aos quais estava o produtor submetido. Pastagens e milho desempenharam papel importante no modelo conservacionista. Já os relaxamentos das restrições de uso da terra permitiram a obtenção de lucro esperado semelhante, sob um nível mais baixo de risco. Os autores concluíram que independentemente do grau de aversão do produtor ao risco, as culturas de soja e trigo apresentaram-se como a base dos planos produtivos comerciais.

Karami (2014) com um modelo de programação multiperíodo procurou maximizar o valor presente líquido esperado de diferentes grupos de propriedades, no Irã. A variabilidade dos preços e rendimentos foi considerada como fator de risco que afeta no curto prazo. Classificou as fazendas em três distintos grupos, com menos de 5 hectares, entre 5-10 e mais de 10 hectares. Com aplicação do método MOTAD e análise posterior dos resultados, conclui-se que os agricultores deveriam estar dispostos a cultivar culturas que têm menor flutuação da margem bruta, mesmo que impliquem em menores valores totais, em relação aos outros. Sendo os preços do trigo e da beterraba garantidos pelo governo e seu rendimento apresenta menor flutuação,

são indicadas pelo autor de modo a garantir a eficiência econômica das propriedades estudadas.

Buscando otimizar a seleção de culturas sob risco, Wen e Li (2016) utilizaram Target-MOTAD no planejamento de duas propriedades com diferentes sensibilidades ao risco, na província de Nanjing Liuhe, na China Continental. Analisando as condições agrícolas e o *modus operandi* de cada propriedade, concluíram que o método proposto possibilita o correto dimensionamento das culturas, maximizando o resultado econômico dentro das restrições técnicas e de risco a que o empreendimento está sujeito.

2.2 O RISCO NA AGRICULTURA

Em exposição ampla, Harwood et al. (1999) definem como risco toda e qualquer incerteza que afeta o bem estar dos indivíduos, sendo comumente associado a ideia de adversidade e perda. Segundo os autores a origem da palavra risco vem do antigo italiano, *riscare*, que pode ser entendido como o equivalente moderno arriscar, ousar. Por fim, os autores mencionam que o conceito de risco deve ser utilizado de modo a denotar escolha, opção, e não como destino imutável.

Importante destacar que alguns autores distinguem risco de incerteza. Esta última pode ser definida como sendo falta de certeza, ou aquilo que apresenta resultado ou futuro incerto e inicialmente indeterminado. Dentro da literatura econômica, várias elucidações são populares como a de que a incerteza indica situações envolvendo possibilidades não mensuráveis, ao contrário do risco que é possível de se prever. Atualmente, o conceito de incerteza vem se tornando obsoleto, segundo o método de análise de probabilidades subjetivas e de incerteza de segunda ordem, presentes dentro do método Bayesiano (BURGO, 2005).

Para Sepulcri (2012), o risco na agricultura pode ser definido como qualquer variação, não antecipada, na produtividade e renda. Ele afirma que esse fenômeno,

esta ligado a fatores climáticos e/ou biológicos, de mercado ou relacionado a problemas de saúde dos integrantes da força de trabalho.

Hazell e Norton (1986) citam que a produção agrícola é caracteristicamente um negócio arriscado. Em face de grande variedade de culturas, preços e produtividades, ano a ano o produtor fica a mercê da inconsistência da sua renda. Ocorre devido a interação do sistema agrícola com as condições climáticas prevalentes, as políticas agrícolas e das instituições relacionadas. Numerosos trabalhos realizados demonstraram que os produtores estão dispostos a abrir mão de planos de produção mais rentáveis por planos que tragam maior segurança dos rendimentos. Ignorar este comportamento de aversão ao risco deriva em modelos matemáticos incompletos, que não refletem a realidade e anseios, resultando em planos que não serão aceitos e postos em prática.

Mesmo diante de numerosos fatores que interferem na rentabilidade da propriedade e da dificuldade em analisar o comportamento de cada cultura viável, Souza et al. (2008) afirmam que, uma das particularidades da agricultura familiar deve ser a policultura. Mesmo quando cultivam um produto principal, voltado para o mercado, é fundamental que os pequenos produtores, se dediquem a diversas outras atividades, para comercializar ou simplesmente garantir o próprio sustento. Para os autores, como eles dispõem de poucos recursos financeiros e tecnológicos, a especialização em único produto é estratégia arriscada, visto que situações de quebra de safra ou drástica redução nos preços colocaria em risco a subsistência familiar. Além disso, a diversificação da produção possibilita, quando comparada à especialização, uso contínuo da mão-de-obra familiar durante o ano, evitando o subemprego sazonal.

Conclui-se a partir da literatura mencionada que o correto conhecimento dos fatores preponderantes na produção de toda e qualquer atividade agrícola, assim como dos riscos inerentes ao contexto climático e econômico no qual esta envolvida a propriedade, é fundamental para realização e execução do planejamento, o principal e quiçá único meio de permanência dos pequenos produtores na produção de alimentos.

2.2.1 O Risco Climático

Para Conti (2011), o clima interfere de inúmeras formas na vida humana e na dinâmica do nosso planeta. Vigora a concepção que o clima é condicionador da distribuição da flora e fauna na superfície terrestre, atuando como zoneador de cultivos agrícolas e regulador do ciclo hidrológico.

Diante desta grande influência, é comum ao ser humano se preocupar em controlar ou ao menos se proteger dos resultados destes fenômenos. Ayoade (2003) afirma que mesmo diante do rápido progresso científico e tecnológico, o ser humano continua extremamente dependente das condições climáticas. Diante da impossibilidade de controle, ao menos em escala macroclimática, o manejo agrícola pode e deve ser ajustado de acordo com a meteorologia predominante no local do empreendimento (PINTO e NETTO, 2008).

Para Silva e Didonet (2005), o aumento do rendimento produtivo e a redução dos custos e dos riscos dependem de criteriosa aplicação dos recursos financeiros. Deste modo, o agricultor deve ponderar de acordo com os fatores de produção disponíveis e os riscos que eventualmente suas atividades estão sujeitas. Na busca de sucesso nos empreendimentos agrícolas, há a necessidade da correta quantificação da relação entre a cultura e o clima.

Para Monteiro (1981), qualquer fenômeno climático que foge dos padrões habituais desencadeia reações no quadro ecológico e conseqüentemente nas atividades voltadas à produção de alimentos. Eventos macroclimáticos extremos corroboram ainda mais com a visão da dependência, deste setor da economia, ao clima. Em anos de ocorrência do fenômeno conhecido como El Niño as culturas de verão são beneficiadas, principalmente pela temperatura elevada do ar atmosférico e a alta precipitação de chuvas. Nos períodos de predominância do La Niña, as culturas dependentes de clima mais seco e fresco são beneficiadas, caso do trigo, aveia e centeio. Ocorrências desta grandeza provocam variações fora da média histórica, afetando a produtividade e renda dos produtores rurais (BARTEKO et al., 2010).

Caramori et al. (2001) estudaram a ocupação econômica da cultura do café no estado do Paraná. Destacaram que ao longo dos anos, a cafeicultura se estabeleceu no norte do estado e avançou para o sul e oeste até os limites de risco em que era possível o cultivo. As análises dos riscos ambientais englobaram geadas, deficiência hídrica e temperaturas elevadas e revelaram que as geadas constituem o único elemento climático limitante ao cultivo do café no estado. Foi realizado mapeamento detalhado da possibilidade de geadas em todo o estado, com base em séries históricas de dados de temperatura mínima. Os fatos foram ajustados à distribuição de extremos, que indicou, para cada estação, a probabilidade de ocorrerem temperaturas iguais ou inferiores a um valor mínimo. Análise cuidadosa das geadas que afetaram a cafeicultura, nos últimos 25 anos, confirmou que temperaturas mínimas negativas estão associadas a danos generalizados nas lavouras. Os autores correlacionaram os eventos com altitude, latitude e longitude, para gerar grade detalhada de perigo de geadas, possibilitando traçar carta climática indicando a região com menores ameaças, apta para o cultivo, região de transição, com riscos mais elevados, mas que pode conter alguns microclimas aptos, e região inapta, devido ao elevado risco ou por restrições quanto ao tipo de solo e de ambiente.

Ainda sobre a cultura do café, Pinto et al. (2001) fizeram uso de programas especiais para geoprocessamento que em associação a um banco de dados climáticos permitiu a elaboração de mapas de riscos climáticos à cultura no estado de São Paulo. Os resultados obtidos mostraram, em escala municipal, as regiões com possibilidade de cultivo, evitando-se, em termos probabilísticos, locais onde os fenômenos adversos ocorrem com maior frequência.

Não somente a cultura do café foi estudada, Maluf et al. (2001) estudaram o cultivo do milho no estado do Rio Grande do Sul. O trabalho objetivou delimitar áreas com menor possibilidade de ocorrência de deficiência hídrica, por época de plantio. A identificação de períodos favoráveis foi realizada com base em cálculos de balanço hídrico diário, considerando a interação entre clima local, ciclo da cultura, período de semeadura e tipo de solo. Os resultados evidenciaram a existência de espaços com menor ameaça para semeadura de milho e que essas áreas apresentam variações de acordo com o ciclo da cultura e o tipo de solo. Dentre as regiões do estado destacam-

se o Planalto, Alto e Médio Vales do Uruguai e Missões, como as que possuem maior disponibilidade e menor risco climático para a cultura de milho, nas diversas épocas de semeadura.

Ribeiro et al. (2015) estudaram a relação da deficiência hídrica com o desenvolvimento da cultura do milho irrigado, no estado do Ceará. Os autores concluíram que o período vegetal, em que foram observadas as mais altas associações entre as variáveis, foi o que engloba a floração e início de enchimento de grãos, caracterizando-se como o período de maior sensibilidade ao déficit hídrico.

Fietz et al. (2002) determinaram a escassez hídrica, na cultura da soja, em duas épocas de semeadura, na região de Dourados-MS, baseado em dados diários de precipitação pluvial e outros elementos meteorológicos, estimou a evapotranspiração de referência pelo método Penman-Monteith e a partir da diferença entre a evapotranspiração da cultura e a real calculou-se a deficiência hídrica. Os resultados mostraram que de maneira geral, a soja semeada em novembro apresentou maior carência hídrica que a semeada em dezembro. Na de novembro, os maiores déficits hídricos ocorreram no estágio do segundo nó ao início do florescimento, enquanto na de dezembro ocorreram do início do florescimento ao do enchimento de grãos. Os autores destacam que houve falta em todos os subperíodos, em todas as safras e em ambas as épocas de semeadura.

2.2.1.1 Determinação da Utilização de Recursos Hídricos

A determinação da quantidade de água necessária para o desenvolvimento de uma cultura agrícola é fundamental para diferentes propósitos. Se por um lado sua determinação auxilia no mapeamento de regiões propícias ao progresso da cultura, também é necessário para o dimensionamento, planejamento e implantação de qualquer sistema de irrigação.

Oliveira et al. (2010) destacam, que em função da massiva aplicação dos recursos hídricos nos empreendimentos agrícolas, a necessidade da conscientização

do emprego destes e de seu conseqüente impacto ambiental e econômico. Portanto, houve a necessidade do desenvolvimento de metodologias que tornem possível quantificar e dimensionar as necessidades hídricas e os sistemas de irrigação, de modo a maximizar a produtividade vegetal por unidade hídrica.

Cavalcante Junior et al. (2011) afirmam que a mensuração do consumo pode ser realizada de duas maneiras, a primeira é por meio de medições diretas no campo ou mesmo, por meio indireto, com equações matemáticas. As medições diretas possuem a vantagem de informar com grande precisão os valores procurados, porém, há necessidade da utilização de equipamentos sofisticados e onerosos, que muitas vezes inviabiliza a sua utilização. Devido às dificuldades apontadas, têm-se recorrido frequentemente a equações empíricas, que possibilitam maior praticidade a custo muito inferior.

É comum, na literatura, encontrar a estimativa da necessidade hídrica por meio da Evapotranspiração de Referência (ET_o). No início da década de 1940, Thornthwaite a expressou como: ocorrência conjunta dos processos de evaporação da água contida no solo e da transpirada pelas plantas. Mendonça et al. (2003) mencionam que este processo é controlado pelo balanço de energia, demanda atmosférica e suprimento de água do solo às plantas. Pereira et al. (1997) complementam definindo como um evento climatológico fundamental, correspondente ao inverso da precipitação e deve ser expressa na mesma unidade de medida, o milímetro (mm).

Allen et al. (1998) citam que diversos métodos empíricos foram desenvolvidos por pesquisadores para determinação da ET_o, empregando diferentes eventos climáticos. Porém os autores alegam que tais métodos somente estimam de forma satisfatória, nas condições de clima em que foram desenvolvidos, e quando submetidos a condições distintas podem propiciar erros grosseiros de estimativa, ocasionar prejuízos na produtividade agrícola e desperdícios de recursos hídricos.

De modo a se obter padronização e eficiência de estimação da ET_o, a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), definiu como método padrão o Penman-Monteith FAO 56 (PM FAO-56), proveniente da Equação original proposta por Penman em 1948 (CAVALCANTE JUNIOR et al., 2011).

Munhoz et al. (2012) avaliaram 38 trabalhos de estimativa de ETo realizados no Brasil, e concluíram que os métodos de Blaney-Criddle FAO-24 e Radiação Solar FAO-24, obtiveram resultados satisfatórios para aplicação na região norte e nordeste do país, já o método Thornthwaite e Camargo se destacaram na região sul e sudeste. Os autores sugerem estudos mais aprofundados para as regiões norte, centro-oeste e sul.

Borges Júnior et al. (2012) estudaram a microrregião de Garanhuns, localizada no Agreste Meridional Pernambucano, e apresentaram a relação mais crítica quanto à demanda e disponibilidade de recursos hídricos, quando comparada com outras unidades hidrográficas do país. Os autores averiguaram, em função do erro absoluto médio, que o método de Priestley-Taylor apresentou desempenho bastante satisfatório e quando apenas dados de temperatura estiveram disponíveis, o método de Hargreaves-Samani demonstrou-se superior.

Quando comparados os métodos de Penman-Monteith FAO e o de Hargreaves, encontrou-se convergência nas estimativas. Entretanto, os autores afirmam que há necessidade de realizarem-se ajustes, pois esse método superestimou, em 3 vezes, os valores de evapotranspiração encontrados pelo padrão (FERNANDES et al., 2009).

Já Vallory et al. (2016) avaliaram o desempenho dos métodos de Priestley-Taylor, Hargreaves-Samani, Thornthwaite e Camargo, em comparação com o método de Penman-Monteith, na estimação da ETo em três municípios do Estado do Rio de Janeiro. Os autores destacaram que os métodos de Priestley-Taylor nas cidades de Paraty e Campos dos Goytacazes e Hargreaves-Samani na cidade de Petrópolis, apresentaram desempenho superior aos demais métodos avaliados.

Larcerda e Turco (2016) compararam os métodos de Makkink, Hargreaves e Radiação Solar, comparando-os com o método de Penman-Monteith recomendado pela FAO. Para isto, foram utilizados dados diários do ano de 2010 de radiação solar global, velocidade do vento, temperatura e umidade relativos do ar obtidos na estação meteorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia, situada no Campus da Universidade Federal de Uberlândia - MG. A partir da regressão linear e do desvio-padrão diário da ETo, concluíram que o método de Hargreaves mostrou-se mais eficiente para estimativa da ETo.

2.2.2 O Risco Econômico

Conforme Pereira et al. (2015), o mercado agrícola é naturalmente instável quando nos referimos a preços, principalmente para as commodities consideradas de consumo básico como trigo, milho e soja. Neste sentido o governo começou, na década de setenta, a interferir no mercado com política de preços mínimos, o que resultou em grandes dispêndios para os cofres públicos. Com a entrada da década de noventa e implantação de novo regime econômico conhecido pelo seu carro chefe, o plano Real, o governo brasileiro alterou sua política utilizando instrumentos de garantia de preço mais modernos e abrindo espaço para maior participação privada, convergindo com o conceito de economia aberta. Os autores ainda afirmam que a utilização de Contratos de Opção de Venda de Produtos Agropecuários (COVPA) inseriu-se como organização de apoio a estabilização de preço e conseqüentemente na renda do produtor rural, tornando o abastecimento interno mais seguro.

Além das medidas citadas anteriormente, a diversidade de fatores contribuiu para o desenvolvimento do mercado agrícola. Melo (1999) cita que durante o plano real, na década de noventa, houve grande valorização no mercado internacional das principais commodities, destacando que o grupo composto por soja, café, suco de laranja, algodão e milho, teve valorização de 46,6%, em dólares, devido principalmente à escassez destes produtos no mercado internacional. A abertura de mercado e redução das tarifas de importação ocasionou redução do custo de insumos e equipamentos para o setor, beneficiando a produtividade das lavouras e renda dos produtores rurais brasileiros.

Não menos importante, diversas medidas de incentivo ao setor, como a isenção do Imposto Sobre Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS) das exportações de produtos primários e a criação do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf), possibilitou e fortaleceu a renda das famílias de pequenos produtores no campo, com acesso a crédito com menores taxas de juros. Porém, Nascimento

(2005) cita que embora benéficas essas políticas resultaram em modelos agrícolas que não têm como objetivo atender todo o universo de produtores familiares.

Na entrada da primeira década do século XXI, o setor agropecuário continuou a desempenhar forte papel na economia brasileira. Portal Brasil (2014) afirma que o crescimento anual médio do setor foi de 3,67%, enquanto o Produto Interno Bruto (PIB) do mesmo período avançou em média 3,59%. A partir do ano 2000, políticas setoriais como o crédito rural se destacaram em âmbito nacional elevando sua disponibilidade, possibilitando investimentos na modernização de maquinários e aquisição de novas e atualizadas tecnologias de produção.

Outros pontos positivos destacados por Portal Brasil (2014) foram à mudança na política cambial em 1999, onde o mercado passou a operar sob regime de livre flutuação da taxa de câmbio e a maior inserção brasileira no mercado internacional com o fortalecimento do comércio de produtos, antes não tradicionais, caso das carnes.

Em contraponto ao levantado pelos autores supracitados, Geraldine (2012) procurou analisar a variação da rentabilidade e dos custos de produção durante o Plano Real. Pelo processo inflacionário ocorreu transferência de recursos financeiros do setor agrícola para os demais setores da economia, de maneira gradual durante o período de estudo, por meio de taxas diferenciadas para cada tipo de produto. O autor reitera que de maneira geral o custo de produção agrícola cresceu 10% acima da rentabilidade no período. Também destaca que esta variação foi diferente para cada atividade produtiva, por exemplo, os custos dos produtos de origem animal inflacionaram 30% ao ano (a.a.) acima da rentabilidade, destacando o frango, que registrou em média 28% a.a. e o suíno a menor queda média, 18% a.a. Entre os produtos de origem agrícola, ocorreram variações bastante diferenciadas, destaque para o café em que a defasagem inflacionária chegou a incríveis 47% a.a., já a soja, o trigo e a mandioca obtiveram ganhos relativos à inflação maiores que 4% a.a.

Geraldine (2012) afirma que o setor agrícola exerceu forte influência na estabilização do plano real. Sua contribuição pode ser dividida em duas fases distintas, até o ano de 1995 subsidiando as importações e transferindo renda para outros setores econômicos e devido às facilidades alfandegárias perdendo valor com a importação e conseqüentemente aumento da concorrência. A partir da mudança da política cambial

em 1999, o setor passou a obter vantagens no mercado externo, elevando a exportação em detrimento da importação destes.

2.3 MODELOS MATEMÁTICOS

A Pesquisa Operacional (PO) pode ser descrita como conjunto de técnicas que faz uso do método científico no auxílio ao gerenciamento e tomada de decisões (ARENALES, 2007). Ela busca a resolução de problemas usando conhecimentos de matemática, estatística e focando na análise de um processo a fim de formulá-lo em modelos que possibilitem realizar experimentação do processo e da tomada de decisão (ANDRADE, 2009).

Definidos como a representação matemática, simbólica ou descritiva de determinado evento, os modelos permitem estruturar logicamente o problema em estudo, representar as relações entre os elementos que compõem o sistema, e as restrições aos quais estão submetidos. Para Melo (2012) entre os modelos matemáticos que incorporam o risco, merece destaque os de Dominância Estocástica, Programação Quadrática de Risco e MOTAD, por estarem mais presentes na literatura consultada.

Através da Programação Quadrática de Risco é possível obter o planejamento agrícola em condições de incerteza, onde o risco é medido pela variância dos retornos esperados (TURVEY et al., 2005). É importante que o tomador de decisão, tenha conhecimento que a melhor escolha é aquela que apresenta menor variância para um mesmo retorno esperado, ou então, a alternativa que apresenta maior resultado para o mesmo nível de variância. Pode-se assim, desenvolver um conjunto de planos viáveis com a propriedade de mínima variância, também denominado risco, para determinado nível de renda esperado. Tais planos formam a fronteira eficiente do espaço de soluções viáveis. A escolha de qualquer das soluções dependerá das preferências do tomador de decisão, de acordo com a sua função de utilidade, esta responsável por representar as preferências do investidor diante do retorno financeiro esperado (E) e o risco, medido pela variância (V) de cada plano produtivo pertencente a fronteira

eficiente de soluções. Para o caso de investidor racional, que possui aversão ao risco, suas preferências tenderão ao maior retorno esperado, conforme cresce o risco do investimento. Assumindo-se que incrementos adicionais no risco demandam maiores retornos esperados, as curvas da função de utilidade apresentar-se-ão convexas, e a intersecção destas com as soluções que compõe a fronteira eficiente, definirá o plano de máxima utilidade, Figura 1 (CUSINATO, 2003; MELO, 2012; MOSS, 2010).

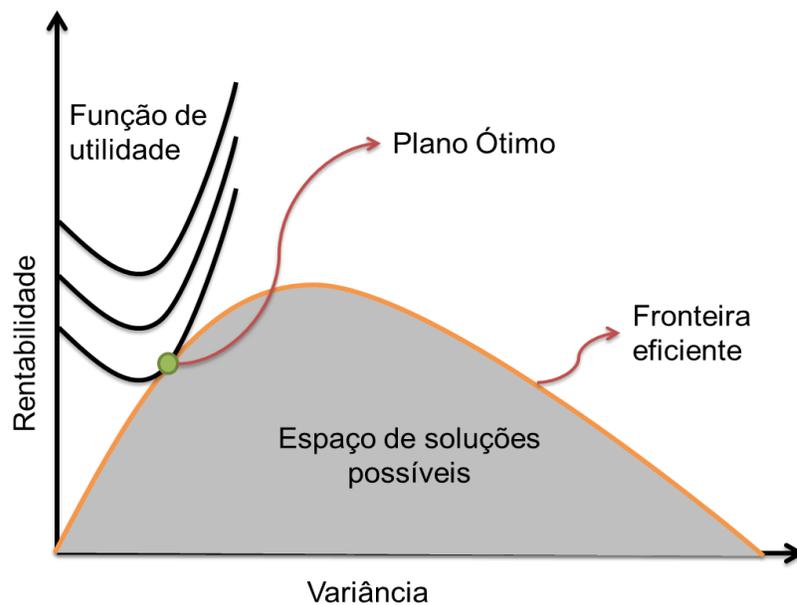


Figura 1: Representação gráfica do espaço de solução e plano ótimo.
Fonte: Adaptado de Melo (2012).

Segundo Cruz (1984) quando uma alternativa hipotética X comparada com alternativa hipotética Y apresenta a maior média e variância, pode se dizer que ambas são eficientes sob o critério de análise de (E-V). Esta característica tende a ser indesejável, pois em certos casos, uma alternativa A pode apresentar retorno médio muito superior, e apenas pequeno acréscimo de variância em relação à alternativa B será suficiente para tornar ambas igualmente desejáveis.

Moss (2010) comenta que a aplicação deste método é limitada pela necessidade de informações sobre as covariâncias entre os retornos, por ser aplicável apenas em situações onde a margem bruta se apresente normalmente distribuída e por se restringir aos casos onde apenas os coeficientes da função objetivo são aleatórios.

2.3.1 O Modelo Matemático MOTAD

Como mencionado na seção 2.2 é comum encontrar na literatura referências ao uso da programação quadrática na resolução de problemas que levam em consideração o risco da atividade econômica. Markowitz (1952) desenvolveu um método buscando otimizar a seleção da carteira de investimentos, supondo que deveria haver uma solução que maximiza o retorno esperado e minimiza o risco, tido como a variância. O modelo proposto registra a variância de uma carteira como a soma das variâncias individuais de cada ação e covariâncias entre pares de ações, isso de acordo como o peso de cada ação. Os resultados obtidos deste procedimento devem ser recomendados como a carteira ótima para o investidor.

Tomando os resultados deste trabalho, Hazell (1971) analisa analogamente o processo de tomada de decisão na agricultura, substituído o conceito de ações do mercado financeiro pelas culturas agrícolas, introduzindo desta maneira o conceito de risco nos modelos de planejamento utilizados pelos produtores rurais.

Inicialmente, partindo de modelos de programação quadrática, o autor salienta que estes requerem que sejam conhecidos dados relativos à média da margem bruta, da variância e covariância. Porém quando estas informações não são conhecidas, há a necessidade de estima-las por meio de séries históricas, utilizando o estimador V, Equação 1.

$$V = \sum_j \sum_k X_j X_k \left[\frac{1}{S} - 1 \sum_S (c_{js} - \bar{c}_j)(c_{ks} - \bar{c}_k) \right] \quad (1)$$

Onde:

X_j = Nível da j-enésima atividade;

X_k = Nível da k-enésima atividade;

S = Número de observações;

c_{js} = Rentabilidade bruta da cultura j no ano s;

\bar{c}_j = Rentabilidade média da cultura j;

c_{ks} = Rentabilidade bruta da cultura k no ano s;

\bar{c}_k = Rentabilidade média da cultura k.

Hazell (1971) afirma que as variâncias e covariâncias utilizadas nos procedimentos baseados em programação quadrática, comumente são estimadas em função de séries históricas e por consequência disto, alega que não há nenhuma razão que impeça o uso de outros estimadores, inclusive os lineares, Equação 2.

$$A = \frac{1}{s} \sum_{h=1}^s \left| \sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) x_j \right| \quad (2)$$

Onde

x_j = Nível da j-énésima atividade;

n = Número de atividades;

S = Número de observações;

c_{hj} = Rentabilidade bruta da cultura j no ano s;

\bar{c}_j = Rentabilidade média da cultura j.

Com base nesta nova formulação dos estimadores, o modelo matemático proposto é capaz de mensurar as variâncias da margem bruta e sua relação com a rentabilidade percebida, formando a fronteira eficiente (E–A) com qualidade similar aos métodos de programação quadrática (E–V), e com a vantagem de exigir menor esforço computacional pela adoção de pacotes de programação linear. Buscando maior simplificação do modelo, Hazell (1971) reescreve a variação como a soma dos desvios negativos, Equação 4, e dos desvios positivos em torno da média, Equação 5, obtendo assim o termo y_h a partir da Equação 3.

$$y_h = y_h^+ + y_h^- \quad (3)$$

$$y_h^- = \left| \sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j \right|, \text{ se } \sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j < 0 \quad (4)$$

$$y_h^+ = \left| \sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j \right|, \text{ se } \sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j > 0 \quad (5)$$

Assim, o modelo pode ser escrito como um modelo de minimização da soma dos desvios absolutos em relação à média, Equação 6, sujeito a imposição que a soma do desvio anual das culturas selecionadas não pode ser maior que a soma dos desvios absolutos, Equação 7, que a soma do retorno esperado deve ser igual ou superior a um nível especificado, Equação 8, que em todas as restrições técnicas conhecidas, a alocação dos recursos não deve superior a disponibilidade destes, Equação 9, e por fim, todas as variáveis do modelo matemático devem ser não negativas, Equação 10.

$$\text{Minimizar } A * s = \sum_{h=1}^s y_h \quad (6)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j - y_h^+ + y_h^- = 0, \quad \forall h, h = 1 \dots n \quad (7)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j * x_j = \alpha, \quad \alpha = 0 \dots \beta \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j = b_i, \quad \forall i, i = 1 \dots m \quad (9)$$

$$x_j, y_h^+, y_h^- \geq 0 \quad (10)$$

Onde:

y_h = Soma dos desvios em torno da média no ano h;

y_h^+ = Soma dos desvios positivos em torno da média no ano h;

y_h^- = Soma dos desvios negativos em torno da média no ano h;

x_j = Nível da j-enésima atividade no ano h;

c_j = Renda bruta da atividade j ;

α = Coeficiente de parametrização que representa a renda bruta máxima desejada;

β = Renda bruta máxima sem consideração de risco;

a_{ij} = Coeficiente técnico i da atividade j ;

b_i = Limitante dos recursos técnicos i .

Hazell (1971) afirma que a utilização desta interpretação é fundamental para elaborar planos que possam reduzir o risco, comentando também que os desvios negativos possuem uma particularidade interessante, pois eles representam reduções na rentabilidade dos planos, e apenas a consideração destes já bastaria para elaborar planos de menor risco econômico ao agricultor. Então o autor propõe uma formulação mais compacta, substituindo o termo y_h por y_h^- , obtendo o modelo representado nas Equações 11 a 15.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{h=1}^s y_h^- \quad (11)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j + y_h^- \geq 0, \quad \forall h, h = 1 \dots n \quad (12)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j * x_j = \alpha, \quad \alpha = 0 \dots \beta \quad (13)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} * x_j = b_i, \quad \forall i, i = 1 \dots m \quad (14)$$

$$x_j, y_h^- \geq 0 \quad (15)$$

Turvey (2005) destaca que com este novo modelo, tem-se a vantagem da possibilidade de fazer uso dos convencionais pacotes de programação linear e desta maneira poder estabelecer uma fronteira eficiente análoga a da programação quadrática.

Osaki (2012) menciona que embora bastante popular no planejamento multiproduto, modelos de programação quadrática são frequentemente problemáticos na sua solução. Turvey (2005) destaca que a modificação proposta por Hazell (1971), permite ao gestor abordar o planejamento considerando número maior de variáveis, devido à possibilidade de fazer uso dos convencionais pacotes de programação linear, sem isso ocasionar prejuízo na qualidade da fronteira eficiente de soluções.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Silva e Menezes (2005) afirmam que o termo pesquisa define um conjunto de medidas e atitudes, dispostas em sequência sistematizada e racional de procedimentos para obter o máximo possível de informações necessárias à resolução de determinado problema. Para os autores, a pesquisa em si pode ser classificada a partir de diferentes pontos de vistas, como no caso de sua natureza, onde é classificada como pesquisa básica, a que procura gerar conhecimento de interesse universal, sem necessariamente ter aplicação prática imediata, ou ser classificada como pesquisa aplicada, que diferentemente da anteriormente citada, procura solucionar problemas específicos, a partir da geração e aplicação imediata de conhecimento.

No caso da sua abordagem a pesquisa pode ser classificada em quantitativa, a que objetiva quantificar matematicamente as informações para o estudo e classificação dos fenômenos, ou pode ser qualitativa, que possui como essência a ideia de dinamismo entre relações do sujeito estudado e ambiente, considerando assim este vínculo indissociável entre a objetividade do mundo externo, e a subjetividade do sujeito em estudo (SILVA; MENEZES, 2005).

Gil (2010) classifica a pesquisa de acordo com seus objetivos. A pesquisa que procura gerar maior conhecimento sobre determinado assunto é classificada como sendo exploratória, se procurar estabelecer relações entre variáveis de determinado problema, respaldando-se em métodos padronizados e sistemáticos de coleta de dados, é classificada como descritiva. Quando procura explicar e identificar fatores contribuintes para determinado fenômeno, através de métodos experimentais (ciências naturais) ou métodos observacionais (ciências sociais), é considerada pesquisa explicativa.

Quanto aos procedimentos técnicos, Gil (2010) e Cardoso (2011) afirmam que a pesquisa pode ser baseada no uso de materiais anteriormente publicados, como é o caso de livros, artigos e periódicos (Bibliográfica), em materiais sem algum tratamento analítico prévio (Documental), com o controle das variáveis que exercem influência no objeto de estudo, de forma a analisar seus efeitos (Experimental), ou sem o controle

destas e após o decorrimento natural (*Expost-Facto*), com abordagem e questionamento direto ao conteúdo de estudo, de maneira a entender seu comportamento (Levantamento), a partir da interação entre o pesquisador e objeto de estudo (Participante), ou a partir do envolvimento entre o pesquisador e objeto de estudo, buscando de forma cooperativa a solução (Ação). Também vale destaque a pesquisa que é feita de modo exaustivo de alguns poucos objetos do estudo de maneira a conseguir maior conhecimento ou descrição deles (Estudo de Caso), e a que busca desenvolver métodos científicos de sistemas complexos, a fim de antecipar e comparar estratégias ou decisões alternativas, com o propósito de dar suporte a processos decisórios (Pesquisa Operacional).

Em relação ao presente trabalho, é pesquisa quantitativa e aplicada, já que objetiva dimensionar matematicamente as informações e o processo de tomada de decisão, ainda explicativa, pois por meio desta busca-se identificar os fatores que determinam ou então contribuem para a ocorrência dos fenômenos. Gil (2010) destaca que este tipo de pesquisa aprofunda o conhecimento da realidade explicando as razões, o porquê dos acontecimentos.

Quanto a seus procedimentos metodológicos, há necessidade de correto embasamento em torno do assunto, como requer o método científico, sendo realizado em material já disponível para consulta, ou seja, Pesquisa Bibliográfica. Também foi utilizada consulta documental, já que os dados utilizados foram retirados de bases públicas e estas poderiam ou não possuir tratamento analítico prévio. Quanto à correta busca de solução para o problema, há necessidade de realizar PO, de modo a definir com exatidão os principais pontos a serem abordados e os métodos a serem implementados, para encontrar soluções plausíveis ao problema e amparar o processo de tomada de decisão (GIL, 2010).

3.1 DESCRIÇÃO DA REGIÃO DO ESTUDO

O estudo foi realizado no município de Medianeira, a 25° 17' 42" de latitude sul e 54° 05' 38" de longitude oeste, na região Oeste do Paraná, às margens da BR 277, que liga o oeste ao leste do Estado. Medianeira possui um diferencial, pois integra uma região de fronteira – Brasil, Argentina e Paraguai. Situa-se a 56 km da de Foz do Iguaçu, cidade situada na tríplice fronteira e a 580 quilômetros de Curitiba, tem ao Norte o município de Missal; a Oeste, São Miguel do Iguaçu; ao Sul, Serranópolis do Iguaçu e a Leste, Matelândia.

Tem população de aproximadamente quarenta e cinco mil habitantes, sendo que destes onze por cento são moradores de áreas rurais. Em relação a sua economia, a produção primária contribui com aproximadamente 10% do valor adicionado bruto, a indústria moveleira e alimentícia 25%, o setor de serviços corresponde a 50% e o restante ao poder público e atividades deste (IPARDES, 2016).

Segundo o Instituto Agrônômico do Paraná - IAPAR (2007), os solos predominantes no município de Medianeira são: latossolo vermelho, nitossolo vermelho e neossolos regolíticos.

O Instituto Agrônômico de Campinas (IAC) afirma que os latossolos vermelhos são caracterizados por ser solo mineral, homogêneo e com pouca diferenciação entre as camadas. Possuem boa drenagem e profundidade, por apresentarem moderada reserva de macro e micronutrientes e estabilidade mecânica, as áreas compostas por este tipo de solo são geralmente caracterizadas pela substituição da vegetação original na atividade agrícola. Os nitossolos são definidos no IAC (2016) como solos minerais homogêneos, argilosos, com estrutura que favorece a retenção de água, que mantêm boa drenagem, propriedades estas desejáveis em condições de sazonalidade climática e estação seca prolongada. Além disto, apresentam boa fertilidade, tornando-os favoráveis para as atividades agrícolas, mas cabe-se salientar a fragilidade destes quanto a erosão, necessitando assim práticas de conservação. Os neossolos regolíticos são definidos por pequena profundidade e presença de camadas distintas herdadas dos materiais de origem. Estas características indicam baixa retenção de água ou

suscetíveis a inundações, o que o restringe bastante para a atividade agrícola, sendo indispensáveis práticas de manejo com objetivo de evitar a degradação.

3.2 A PROPRIEDADE RURAL

Devido as suas peculiaridades sócias e econômicas, a propriedade estudada é classificada segundo Brasil (1964), como "Propriedade Familiar", definida por este como o imóvel rural que, direta e pessoalmente explorado pelo agricultor e sua família, lhes absorva toda a força de trabalho, garantindo a subsistência e o progresso social e econômico, com área máxima fixada para cada região e tipo de exploração, eventualmente trabalho com a ajuda de terceiros.

3.2.1 Naturezas Físicas da Propriedade

As particularidades físicas e topográficas definem quais atividades podem ser implantadas. A propriedade abordada neste trabalho pode ser dividida em quatro setores, ou áreas, com características próprias e restritivas.

O primeiro setor corresponde à área de moradia, benfeitorias e lazer do imóvel. Nele não podem ser realizadas atividades que exijam auxílio de máquinas autopropulsadas pela pequena mobilidade fornecida e o alto custo de acidentes decorrentes desta utilização. Atualmente, realizam-se atividades relacionadas ao cultivo de verduras, legumes e alguns grãos destinados à alimentação da própria família e animais.

O segundo espaço pertencente à propriedade tem topografia acidentada, alta presença de material rochoso, com solo classificado como neossolo regolítico. Possui cobertura de vegetação rasteira, utilizada no fornecimento de matéria alimentar via pastoreio ao rebanho de gado. Devido às especificidades mencionadas, não é possível

a realização de atividades mecanizadas, afetando inclusive a possibilidade de manejo da pastagem presente.

O terceiro local é Área de Preservação Permanente (APP) e a Reserva Legal do imóvel. O Código Florestal atual estabelece como APP as florestas e demais formas de vegetação natural situadas às margens de lagos ou rios, nos altos de morros; nas restingas e manguezais; nas encostas com declividade acentuada e nas bordas de tabuleiros ou chapadas com inclinação maior que 45°; e nas áreas em altitude superior a 1.800 metros, com qualquer cobertura -vegetal (BRASIL, 2012).

Nessas seções somente é possível a supressão total ou parcial da vegetação com autorização do governo federal, quando for para a execução de atividades de utilidade pública ou de interesse social.

Brasil (2012) define que a Reserva Legal é a área localizada no interior da propriedade ou posse rural, com a função de assegurar o uso econômico de modo sustentável dos recursos naturais do imóvel rural, auxiliar a conservação e a reabilitação dos processos ecológicos e promover a conservação da biodiversidade, o abrigo e a proteção de fauna silvestre e da flora nativa, sendo permitidas atividades não comerciais de proveito familiar dentro dos limites da lei. Também se destaca que a supressão parcial ou total da vegetação somente será possível com autorização do órgão competente.

Devido a impedimentos legais, a área correspondente a este setor, tem caráter restritivo às atividades comerciais, sendo sua exploração apenas para obtenção de pouca ou nenhuma atividade com caráter de subsistência ao produtor.

A quarta divisão da propriedade, corresponde aproximadamente à metade da extensão territorial e possui poucas restrições legais ou técnicas na realização de atividades de cunho econômico. Atualmente esta área é responsável pela maior parte da renda familiar, oriunda quase exclusivamente da produção de grãos de milho e soja. Na Tabela 1, estão dispostos os quantitativos de cada setor e respectivo percentual sobre o total da propriedade.

Tabela 1: Área de cada setor da propriedade.

Descrição	Área (ha)	Porcentagem (%)
Moradia e benfeitorias	0,26	1,32
Pastagem	0,91	4,61
Reserva legal e APP	7,92	40,32
Mecanizável	10,56	53,75
Total	19,65	100

Fonte: Autoria própria.

3.2.2 Atividades Atualmente Desenvolvidas na Propriedade

São desenvolvidas duas categoria de atividades na propriedade, a de objetivo comercial, com destinação ao mercado agrícola local e a de subsistência e obtenção de alimento para a família proprietária.

Estas se caracterizam por serem desenvolvidas quase que unicamente pelo trabalho humano, sem auxílio de maquinário autopropulsado, devido principalmente à natureza destas, e das características das áreas em que são desenvolvidas, no primeiro e segundo setor da propriedade.

Devido às peculiaridades do primeiro setor, descritas na seção 3.2.1, a família realiza o cultivo de hortaliças e leguminosas para consumo próprio, de grãos, como milho, para trato de pequenos animais responsáveis por grande parte do fornecimento da parcela proteica da alimentação familiar, além de possuir poucas espécies frutíferas.

Na segunda área são desenvolvidas atividades voltadas à pecuária de corte e de leite, com caráter de alimentação. Os poucos animais confinados são alimentados basicamente com a vegetação rasteira presente, grãos produzidos no primeiro setor e complementos adquiridos em casas especializadas na atividade agropecuária. Vale-se destacar que devido o espaço restrito disponível para o desenvolvimento da atividade e suas características topográficas, é impraticável aumentar o quantitativo de animais e converter a atividade em comercial.

As atividades de cunho comercial são desenvolvidas exclusivamente no quarto espaço da propriedade, caracterizadas por permitir atividades mecanizadas. A

produção de milho e soja responde pela atual rentabilidade da propriedade. O desenvolvimento das culturas não ocorrem simultaneamente, obedecendo a disposição encontrada no Quadro 1.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Milho		X	X	X	X	X	X	X				
Soja	X									X	X	X

Quadro 1: Utilização da área agricultável disponível ao longo do ano.

Fonte: Autoria própria.

A partir da atual disposição e utilização da área, é bastante perceptível a especialização da propriedade, indo ao encontro do que a literatura aponta como tendência na agricultura. Este fenômeno facilita o processo de tomada de decisão, devido ao menor número de variáveis analisadas pelo produtor, contudo aumenta consideravelmente o risco de insucesso anual em decorrência de variações da rentabilidade de uma ou das duas culturas desenvolvidas.

3.3 A OTIMIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

A partir do levantamento das características e informações da propriedade estudada e das recomendações encontradas na literatura, pode-se traçar um plano objetivando a melhoria econômica da propriedade. De maneira superficial representado por meio do fluxograma da Figura 2.

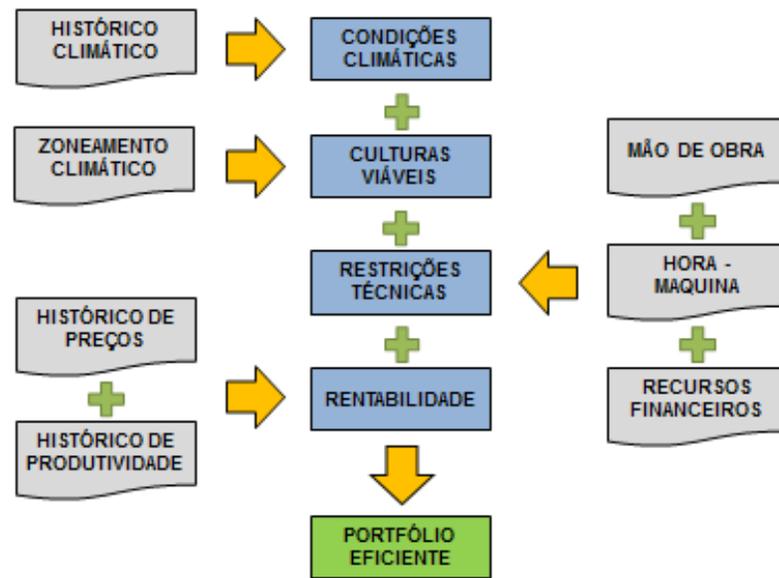


Figura 2: Passos para a otimização proposta.
 Fonte: Autoria própria.

Nas seções seguintes, cada processo representado na Figura 2, será detalhado e com os resultados obtidos poder-se-á definir e propor ao agricultor novos planos de produção, baseados em métodos científicos e nas possibilidades do contexto no qual está inserido.

3.3.1 As Condições Climáticas da Região do Estudo

Com dados históricos do IAPAR, é possível inferir as principais características climáticas que afetam a propriedade. Como demonstrado no gráfico da Figura 3, a temperatura média nos meses de inverno é inferior a 19 °C, enquanto no verão superior a 25 °C. A amplitude térmica média permanece constante em aproximadamente 11 °C, durante todo o ano. Também se verifica que o regime pluviométrico é bastante homogêneo durante o ano, havendo meses no inverno mais secos. Por ser bastante similar, não se pode afirmar inicialmente que há déficit ou superávit hídrico, necessitando, para obter tal conclusão, o cálculo da ETo.

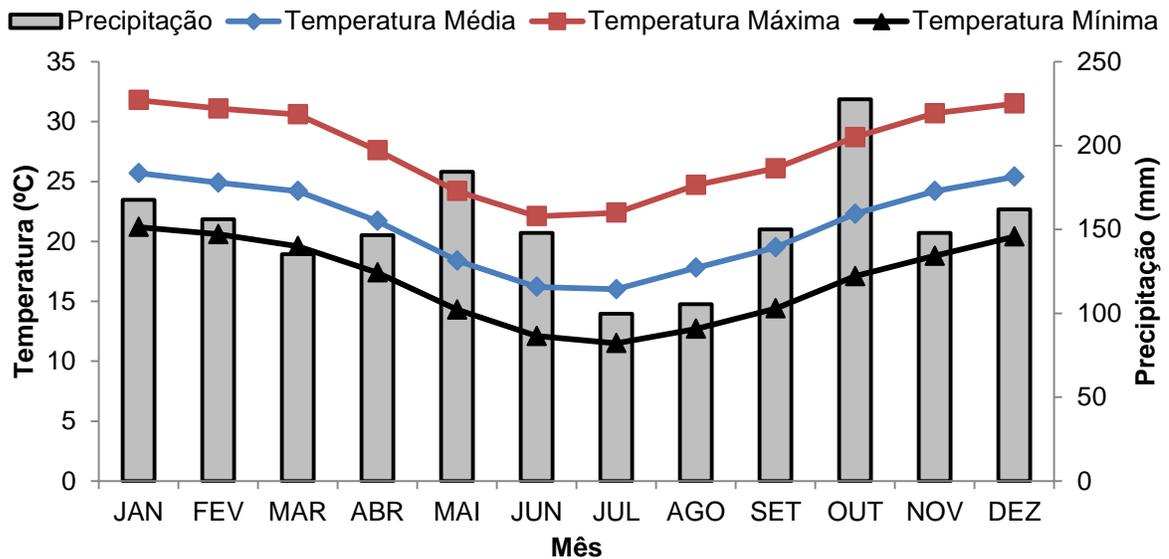


Figura 3: Temperaturas e precipitação média mensal da região estudada.
Fonte: Adaptado de IAPAR (2016a).

Conclui-se com base em Santo Júnior (2016), Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental - SPVS (1996) e nas informações climáticas, Figura 3, que o macroclima do estudo deve ser classificado como Subtropical Úmido Mesotérmico, com verões quentes e geadas pouco frequentes, não possuindo estação seca definida. Neste sistema climático as mudanças de temperatura e estações dependem da Massa Polar Atlântica, no inverno e outono e da Massa Tropical Atlântica, no verão e na primavera.

3.3.2 Cálculo da Evapotranspiração de Referência

Conforme mencionado na seção 3.3.1, saber apenas valores absolutos de precipitação não é o suficiente para definir-se o regime hídrico da região em estudo. Há necessidade de conhecer o quantitativo de água que se perde para o meio atmosférico com a evaporação do solo e transpiração das plantas.

Sendo praticamente impossível fazer a distinção entre a evaporação da água no solo e transpiração das plantas, define-se como evapotranspiração o processo

simultâneo de transferência de água para a atmosfera por evaporação da água do solo e da vegetação úmida e por transpiração das plantas, como pode ser observado na Figura 5.

Além da dificuldade em ser feita a distinção da fonte de vapor de água, é mencionado na literatura que medições diretas no campo apresentam grandes dificuldades técnicas, ou grandes custos operacionais, sendo mais prático e barato a utilização de estimativas por meio de equações matemáticas.

É possível observar por meio dos trabalhos de Fernandes et al. (2009), Borges Junior et al. (2012), Vallory et al. (2016), Lacerda e Turco (2016), que embora haja grande quantidade de métodos estimativos, merece destaque pela sua precisão e simplicidade o método de Hargreaves.

O cálculo da ETo, pelo método de Hargreaves, é realizado com a Equação 16 considerando um pequeno número de informações, que podem ser encontradas na base de dados do IAPAR, sendo expressa em milímetros de evaporação equivalente ao dia (mm dia^{-1}).

$$ET_o = -23(T_{med} + 17,8) * \sqrt{T_{max} - T_{min}} * R_a \quad (16)$$

Onde:

R_a = Radiação Solar Global Extraterrestre (mm dia^{-1});

T_{med} = Temperatura média do ar ($^{\circ}\text{C}$);

T_{min} = Temperatura mínima do ar ($^{\circ}\text{C}$);

T_{max} = Temperatura máxima do ar ($^{\circ}\text{C}$).

A Radiação Solar Global extraterrestre pode ser encontrada no Tabela 2, nele há valores tabelados para diferentes latitudes terrestres, e para meios intermediários deve-se utilizar a Equação 17 para estimativa por meio de interpolação linear.

$$R_a = R_0 + \left(\frac{L_a - L_0}{L_1 - L_0} \right) * (R_1 - R_0) \quad (17)$$

Onde:

L_a = Latitude do local de estudo, pertencente ao intervalo $\{L_0, L_1\}$;

R_a = Radiação Solar Global Extraterrestre, na latitude L_a ;

R_0 = Radiação Solar Global Extraterrestre tabelada para latitude L_0 ;

R_1 = Radiação Solar Global Extraterrestre tabelada para latitude L_1 .

Tabela 2: Alguns valores de Radiação Solar Global Extraterrestre diária para duas latitudes.

LATITUDE SUL	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN
24	16,90	15,90	14,10	11,70	9,80	8,60
26	17,00	15,90	13,90	11,40	9,40	8,10

Fonte: IAPAR (2016b).

A partir das informações climáticas e da Equação 16 pode-se estimar a ETo mensal para todo o ano, e com as informações da precipitação média mensal histórica, calcular o balanço hídrico mensal da região do estudo, Figura 4.

Como exclusivo da região, no período de inverno há redução considerável da precipitação, mas como a ETo também sofre grande limitação devido as menores temperaturas e insolação incidente, há superávit hídrico mensal de aproximadamente 20 mm. Nos períodos mais quentes, caracterizados por maiores precipitações há ocorrência de déficit hídrico em três meses, destacando-se novembro e dezembro onde atinge 15 mm, em média, o que pode prejudicar a produção dos cultivares.

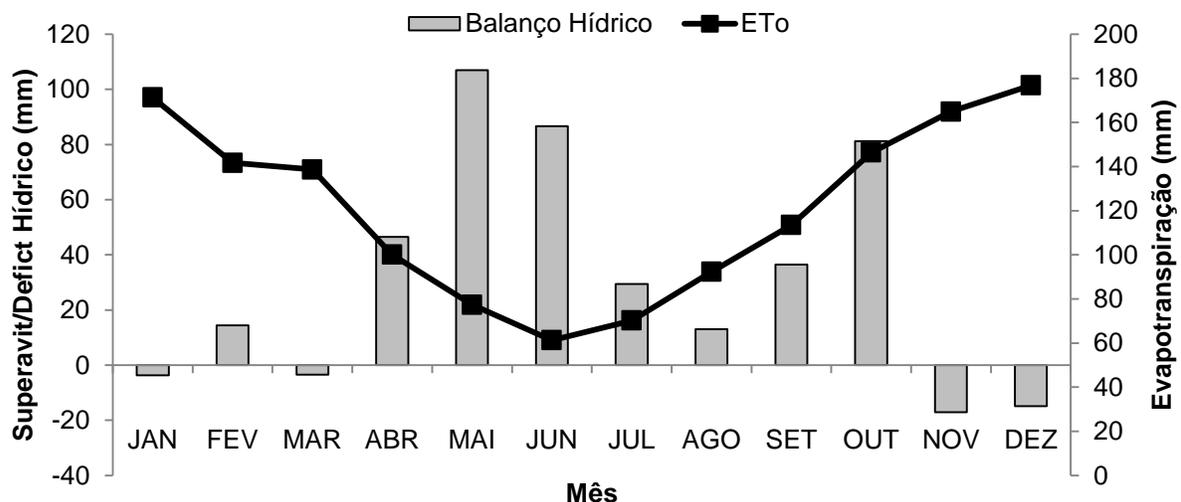


Figura 4: Gráfico da precipitação média mensal e Evapotranspiração de Referência (ETo).
Fonte: Autoria própria.

3.3.3 Seleção das Culturas Aptas

Devido ao estado do Paraná apresentar grande diversidade de clima, solos e relevo, diversos microclimas com regimes térmicos e pluviométricos distintos podem ser observados ao longo do território paranaense, associados com variações de latitude e altitude, proporcionando ambientes favoráveis para o cultivo de grande número de espécies vegetais. Por esta razão é necessário conhecer e identificar as regiões com características adequadas para cada espécie vegetal, para que o potencial produtivo possa ser maximizado (IAPAR, 2016c).

O IAPAR (2016c) define como zoneamento agrícola a delimitação de regiões climaticamente homogêneas, com as condições adequadas para o cultivo de culturas anuais e perenes, assim como suas melhores épocas de semeadura. A delimitação proporciona redução dos riscos associados aos fatores climáticos, pelo cultivo nas regiões e épocas adequadas, oferecendo aos produtores melhores condições para obterem produtividades mais elevadas, sem implicar em elevação dos custos de produção, apresentando estas informações sobre as culturas em forma de mapas, como exemplo o relacionado a semeadura da soja, Figura 5.

A partir dos mapas obtidos em IAPAR (2016c) selecionaram-se as culturas viáveis para a região do estudo e determinou-se o espaço de tempo delas no calendário anual, reduzindo o risco de obter resultado insatisfatório no planejamento.

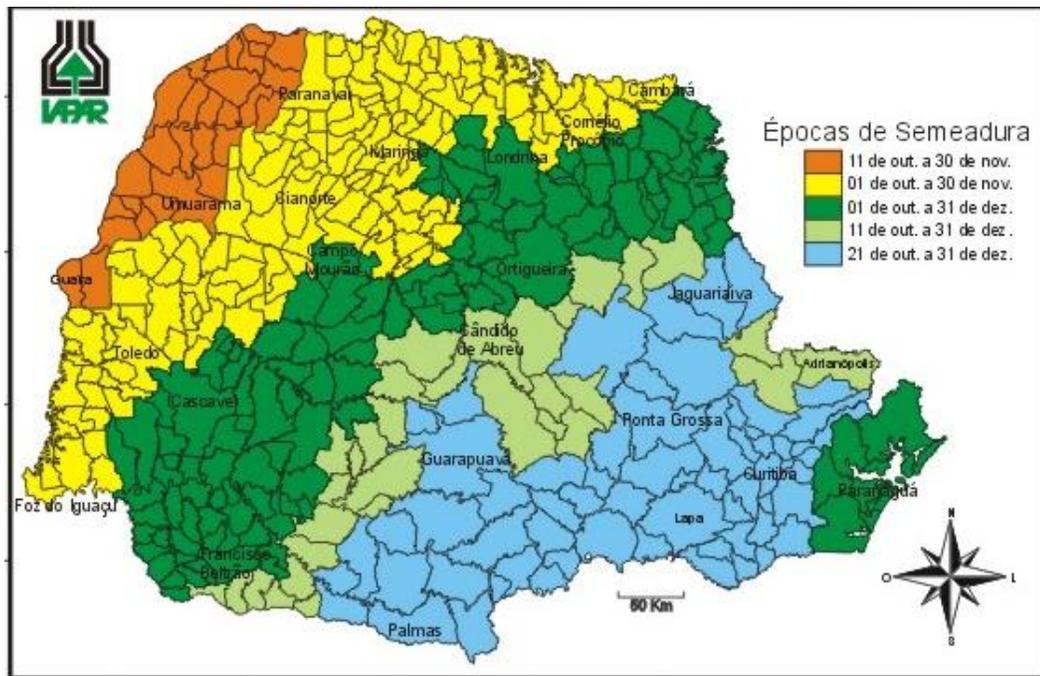


Figura 5: Exemplo do mapa de zoneamento agrícola da cultura de soja.
Fonte: IAPAR (2016d).

Para o desenvolvimento do tema deste trabalho as informações sobre os meses aproximados de semeadura de cada cultura, foram catalogadas, possibilitando a visualização dos períodos mais indicados para cada cultura, Quadro 2.

Cultura	Mês de cultivo											
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Soja										X	X	X
Milho	X	X						X	X	X	X	
Amendoim	X									X	X	X
Arroz sequeiro										X	X	
Feijão		X					X	X	X			
Girassol	X							X	X	X		
Mandioca								X	X			

Quadro 2: Distribuição anual da época de semeadura de algumas culturas.
Fonte: Adaptado de IAPAR (2016c).

3.3.4 Restrições Técnicas da Propriedade

Definido como imposição de limites, as contenções demarcam as fronteiras do que é possível ser realizado, seja por características morfológicas, topográficas, econômicas ou mesmo jurídicas.

3.3.4.1 Redução de área cultivável

A primeira e mais fundamental a ser abordada é o espaço físico. Como mencionado na seção 3.2.1, a propriedade possui diversas áreas com características únicas, denominadas anteriormente de setores. Em função da maior mecanização das atividades agrícolas, a propriedade dispõe de 10,56 ha de área para cultivos diversos, os quais devem ser utilizados de maneira racional, tornando possível a permanência da família nesta localidade.

3.3.4.2 Restrição de mão-de-obra

A segunda restrição está relacionada com a mão-de-obra disponível. Atualmente um casal reside na propriedade, sendo a figura masculina trabalhadora assalariada em empreendimento de terceiros, todavia ainda emprega sua força de trabalho ao campo quando possível. A feminina emprega toda sua força de trabalho para o desenvolvimento das atividades cotidianas da propriedade e de manutenção dos imóveis existentes.

Quanto à jornada de trabalho, Brasil (1943) recomenda que não devam ser superior a oito horas diárias, considerando necessidades excepcionais podem ser acrescidas de no máximo duas horas, devendo sobre qualquer hipótese haver no

mínimo onze horas de repouso entre duas jornadas de trabalho consecutivas. Também é orientado que haja repouso semanal de 24 horas consecutivas e que ocorra preferencialmente no domingo.

Brasil (1988) complementa, no artigo 7º, inciso XIII da Constituição Federal, que a jornada de trabalho tem o limite máximo de quarenta e quatro horas semanais e jornadas menores podem ser fixadas pela lei, convenções coletivas ou regulamento de empresas.

Diante das possibilidades legais, considerou-se disponível na propriedade, a mão de obra relativa ao emprego do homem e da mulher que nesta vivem, contabilizando quarenta e quatro horas semanais cada um, totalizando oitenta e oito horas semanais para realização das atividades pertinentes a produção. Vale destacar a oportunidade da contratação de mais funcionários para auxílio no desenvolvimento do trabalho, quando isso for economicamente pertinente e observadas as considerações e recomendações da legislação vigente.

3.3.4.3 Restrição de hora máquina

Como descrito nas seções antecedentes, a mecanização das atividades agrícolas denota diversos benefícios à produtividade da propriedade, seja pelo melhor emprego da mão-de-obra ou emprego de tecnologias mais eficientes.

No presente momento o agricultor conta com os equipamentos descritos no Quadro 3.

Equipamento	Descrição
Trator	Trator de pneu marca “Valmet”, modelo 68, ano 1988, 68 CV e equipado com sistema duplo de embreagem, capota, direção hidráulica, tomada de força com rotação máxima de 3600 RPM.
Subsolador	Subsolador tubular hidráulico “Baldan”, 5 hastes, largura de trabalho de 1240 mm
Semeadeira	Semeadora hidráulica marca Tatu, 11 linhas, espaçamento entre elas de 175 mm, largura de trabalho 1750 mm
Grade	Grade niveladora leve de arrasto, 20 discos de 18 polegadas, largura de trabalho de 1750 mm
Distribuidor	Distribuidor hidráulico de fertilizantes sólidos, capacidade de carga de 400 kg, largura de trabalho de 9 a 16 m

Quadro 3: Descrição dos equipamentos próprios do produtor.

Fonte: Autoria própria.

Além dos citados, o produtor pode contar via regime de comodato com os equipamentos descritos no Quadro 4. Vale destacar que este regime não implica custos de aquisição, pois segundo Brasil (2002), é o contrato unilateral, gratuito, pelo qual alguém (comodante) entrega a outrem (comodatário) coisa infungível, para uso temporário que depois é restituído.

Equipamento	Descrição
Trator	Trator de pneu marca “Valtra”, modelo BM100, 106 CV, equipado com capota, direção hidráulica e sistema de lâmina/concha frontal hidráulica.
Distribuidor	Distribuidor de fertilizante líquido, 4 m ³ de capacidade, largura de trabalho de 14 a 17 m
Grade	Grade Aradora de Arrasto “Baldan”, 12 discos de 26 polegadas, largura de trabalho de 1300 mm
Plantadeira	Plantadeira Marca “Tatu”, modelo PST 3, 8 linhas, espaçamento de 450 mm, largura de trabalho de 2900 mm

Quadro 4: Equipamentos disponíveis em regime de comodato.

Fonte: Autoria própria.

Importante destacar que a utilização destes equipamentos exige a utilização de parcela da mão-de-obra disponível ou contratação de pessoal qualificado para o desempenho das atividades. Devido à existência na propriedade de uma pessoa que possui treinamento e experiência na operação de equipamentos agrícolas, desconsidera-se a necessidade da admissão, levando a totalização das restrições de mão de obra e hora máquina, de acordo com a Equação 18.

$$MO + HM = T \quad (18)$$

Onde:

MO = Mão de obra disponível na propriedade (hr).

HM = Hora máquina disponível na propriedade (hr).

T = Total de horas disponíveis, de acordo com o número de pessoas livres (hr).

3.3.4.4 Restrição financeira

Para financiar suas atividades, o agricultor pode seguir duas diferentes vertentes do mercado financeiro. A primeira orienta que compre o máximo possível das suas necessidades a vista, trazendo a vantagem de melhores descontos e não endividamento. A segunda é procurar capital de terceiros, instituições financeiras, para custear as atividades, mantendo seus recursos intocados e disponíveis para eventuais emergências.

Em 1995 com objetivo de facilitar acesso a créditos para custeio e investimento para produtores rurais, o governo federal instituiu, por intermédio do Banco Central do Brasil (BACEN), o Pronaf, o qual fornece aos agricultores que possuem os requisitos para participar do programa, recursos com juros abaixo do praticado no mercado e em algumas modalidades carência no pagamento e bônus de adimplência de 40% (quarenta por cento) sobre cada parcela do principal, paga até a data de seu respectivo vencimento (BACEN, 1995 e 2015).

Em função da necessidade e das características de seu perfil, o produtor pode, na linha do Pronaf Custeio, financiar a totalidade dos empreendimentos produtivos anuais, até o limite financeiro de R\$ 100.000,00 com taxa efetiva de juros de 5,5% a.a.

3.3.5 O Modelo Matemático Proposto.

A partir do modelo desenvolvido por Hazell (1971) apresentado na seção 2.3.1, algumas modificações e ajustes são necessários para a correta representação da realidade na qual está disposta a propriedade em estudo. As modificações mais importantes são alusivas às restrições técnicas descritas na seção 3.3.4 do presente trabalho, representadas no modelo da seção 2.3.1 por meio da Equação 9.

A primeira a ser analisada em seus pormenores é referente à quantidade de recursos hídricos disponíveis. É considerável neste ponto evidenciar o que Allen et al. (1998) propõem como estimativa de consumo. Para os autores, a necessidade hídrica de cada cultura pode ser obtida mediante produto da ETo da região de estudo e do Coeficiente Técnico (Kc) destas. Também definem Kc como a razão entre a Evapotranspiração da Cultura (ETc) e a ETo por meio da Equação 19, e disponibilizam no trabalho os valores obtidos para diversas culturas.

$$Kc = \frac{ETc}{ETo} \quad (19)$$

Com estes valores acessíveis e a estimação da ETo mostrada na seção 3.3.2, pode-se atrelar a necessidade de recursos hídricos de cada cultura para todo seu ciclo produtivo com a precipitação média ocorrida na propriedade, obtendo a restrição representada na Equação 20.

$$\sum_{i=p}^{p+q} ET_{o_i} * Kc_j \leq \sum_{i=p}^{p+q} PH_i, \forall j, j = 1 \dots n \quad (20)$$

Onde:

ET_{o_i} = Evapotranspiração de referência do mês i (mm);

Kc_j = Coeficiente de cultura, adimensional;

PH_i = Precipitação Hídrica do mês i (mm);

p = Mês de cultivo da cultura j ;

q = Ciclo da cultura j em meses;

Outra importante restrição relacionada às características da propriedade é referente à alocação de área para cada cultura. Ela pode ser modelada na Equação 21, como a limitação da soma das áreas alocadas à cada cultivar ao total de área apropriada disponível na propriedade estudada.

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq A_t \quad (21)$$

Onde:

x_j = Área destinada ao cultivo da cultura j (ha);

A_t = Área total apropriada ao desenvolvimento de atividades mecanizadas, (ha).

Além das limitações impostas pelas características da propriedade, devem ser consideradas as referentes a outros fatores, como os relacionados aos recursos humanos e tecnológicos. As restrições de cunho tecnológico se relacionam intimamente com as de natureza humana e financeira. As relações com a primeira categoria são discutidas nas seções 3.3.4.2 e 3.3.4.3. A partir de algumas operações algébricas sobre a Equação 18, obtém-se a Equação 22, onde é possível relacionar a alocação de recursos de mão de obra e hora máquina necessárias a cada cultura, com a disponibilidade destes.

$$\sum_{j=1}^n (M_{o_j} + Hm_j) * x_j \leq T_d \quad (22)$$

Onde:

M_{o_j} = Mão de obra necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);

Hm_j = Hora máquina necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);

T_d = Total de horas disponíveis, de acordo com o número de pessoas disponíveis (hr);

x_j = Área ocupada pela cultura j (ha).

O modelo matemático deve considerar a alocação de recursos às atividades, limitando a disposição deles ao montante financeiro disponível ao produtor rural. Com este propósito é formulada na Equação 23 a relação entre os investimentos em cada atividade e a disponibilidade de recursos.

$$\sum_{j=1}^n I_j * x_j \leq RD \quad (23)$$

Onde:

I_j = Alocação/Investimento de recurso financeiro na atividade j (R\$/ha);

x_j = Área ocupada pela cultura j (ha);

RD = Recursos financeiros disponíveis ao produtor (R\$).

3.3.5.1 Modelo de maximização e obtenção do parâmetro β

Seguindo as recomendações de Hazell (1971), o valor de β deve ser obtido a partir da maximização do resultado operacional da propriedade. Tal resultado deve ser obtido por meio de um modelo matemático, por meio da alocação ótima da área da propriedade a cada cultura agrícola, respeitando a restrição de demanda e disponibilidade hídrica, Equação 20, o quantitativo de área mecanizável, Equação 21, além da carga horaria de trabalho disponível, Equação 22 e dos recursos financeiros que dispõe o produtor, Equação 23, obtenha a alocação dos recursos que torne máxima a renda bruta possível na propriedade, Equações 24 a 29.

$$\text{Maximizar} \quad \sum_{j=1}^n c_j * x_j \quad (24)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{i=p}^{p+q} ET O_i * Kc_j \leq \sum_{i=p}^{p+q} PH_i, \forall j, j = 1 \dots n \quad (25)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq A_t \quad (26)$$

$$\sum_{j=1}^n (M O_j + H m_j) * x_j \leq T_d \quad (27)$$

$$\sum_{j=1}^n I_j * x_j \leq RD \quad (28)$$

$$x_j \geq 0 \quad (29)$$

Onde:

x_j = Área alocada a j-enésima cultura no ano h (ha);

n = Número total de culturas;

c_j = Renda bruta da cultura j por unidade de área (R\$/ha);

ET_{0i} = Evapotranspiração de referência do mês i (mm);

Kc_j = Coeficiente de cultura, adimensional;

PH_i = Precipitação Hídrica do mês i (mm);

p = Mês de cultivo da cultura j ;

q = Ciclo da cultura j em meses;

A_t = Área total apropriada ao desenvolvimento de atividades mecanizadas, (ha);

Mo_j = Mão de obra necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);

Hm_j = Hora máquina necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);

T_d = Total de horas disponíveis, de acordo com o número de pessoas disponíveis (hr);

I_j = Alocação/Investimento de recurso financeiro na atividade j (R\$/ha);

RD = Recursos financeiros disponíveis ao produtor (R\$).

3.3.5.2 O modelo MOTAD adaptado

Com as restrições abordadas e formuladas matematicamente, é possível adaptar o modelo MOTAD proposto por Hazell (1971), de modo a obter representatividade mais realista das condições e características da propriedade estudada. No modelo proposto, a Equação 30 representa a função objetivo, a minimização da soma dos desvios absolutos em relação à média, a Equação 31 impõe

que a soma do desvio anual das culturas selecionadas não pode ser maior que a soma dos desvios absolutos, a Equação 32 restringe a soma do retorno esperado a um nível igual ou superior a um valor especificado e que varia entre um mínimo definido como zero e um máximo β , definido pelo modelo descrito na seção 3.3.5.1.

Já a restrição técnica representada originalmente pela Equação 14, é substituída pela Equação 20, que garante a alocação de culturas que exijam níveis de disponibilidade hídrica menores ou iguais a precipitação média, pela Equação 21 que impede que a soma das áreas destinadas a todas as culturas seja superior àquela disponível na propriedade, pela Equação 22, que limita a carga horaria de trabalho necessário ao desenvolvimento de todas as culturas ao disponível na propriedade, e pela Equação 23 que restringe os investimentos necessários ao quantitativo financeiro que o produtor dispõe, obtendo assim o modelo composto pelas Equações 30 a 37.

$$\text{Minimizar} \quad \sum_{h=1}^s y_h^- \quad (30)$$

Sujeito às restrições:

$$\sum_{j=1}^n (c_{hj} - \bar{c}_j) * x_j + y_h^- \geq 0, \quad \forall h, h = 1 \dots n \quad (31)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j * x_j = \alpha, \quad \alpha = 0 \dots \beta \quad (32)$$

$$\sum_{i=p}^{p+q} ET_{oi} * Kc_j \leq \sum_{i=p}^{p+q} PH_i, \quad \forall j, j = 1 \dots n \quad (33)$$

$$\sum_{j=1}^n x_j \leq A_t \quad (34)$$

$$\sum_{j=1}^n (Mo_j + Hm_j) * x_j \leq T_d \quad (35)$$

$$\sum_{j=1}^n I_j * x_j \leq RD \quad (36)$$

$$x_j, y_h^- \geq 0 \quad (37)$$

Onde:

y_h^- = Soma dos desvios negativos em torno da média no ano h (R\$);

x_j = Área alocada a j-enésima cultura no ano h (ha);
 n = Número total de culturas;
 c_j = Renda bruta da cultura j por unidade de área (R\$/ha);
 α = Renda bruta anual desejada (R\$);
 β = Renda bruta máxima sem consideração de risco (R\$);
 ETo_i = Evapotranspiração de referência do mês i (mm);
 Kc_j = Coeficiente de cultura, adimensional;
 PH_i = Precipitação Hídrica do mês i (mm);
 p = Mês de cultivo da cultura j ;
 q = Ciclo da cultura j em meses;
 A_t = Área total apropriada ao desenvolvimento de atividades mecanizadas, (ha);
 Mo_j = Mão de obra necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);
 Hm_j = Hora máquina necessária para o desenvolvimento da cultura j (hr/ha);
 T_d = Total de horas disponíveis, de acordo com o número de pessoas disponíveis (hr);
 I_j = Alocação/Investimento de recurso financeiro na atividade j (R\$/ha);
 RD = Recursos financeiros disponíveis ao produtor (R\$).

A partir deste modelo e dados históricos de rentabilidade das culturas é possível estimar os planos de produção que satisfaçam as necessidades financeiras, observando a sensibilidade e disponibilidade do produtor quanto ao risco econômico.

3.3.6 Uso de Séries Históricas

Para o uso da metodologia proposta, faz-se necessário o uso de séries históricas para estimar os parâmetros do modelo matemático e obter resultados satisfatórios para a solução do problema. Para tal, buscou-se em diferentes bases de dados públicas, reconhecidas pela transparência e veracidade de seus relatórios, os

dados referentes ao desempenho financeiro do setor agrícola no estado do Paraná no período de 1994 a 2014, correspondente a vigência do plano Real.

Criado na Lei n.º 6.407, sancionada em 07 de junho de 1973 pela Assembleia Legislativa, o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social–IPARDES, tem a função de estudar a realidade econômica e social do estado, para subsidiar a formulação, execução, acompanhamento e avaliação de políticas públicas.

O instituto realiza pesquisas e estudos, elabora projetos e programas, acompanha a evolução da economia estadual, fornecendo apoio técnico nas áreas econômica e social para a formulação das políticas estaduais de desenvolvimento. Além disto, busca coordenar, orientar e desenvolver atividades técnicas compreendidas no Sistema Estadual de Informações Estatísticas, para subsidiar, com dados estatísticos, os estudos voltados ao conhecimento da realidade física, econômica e social do Estado (IPARDES, 2016).

São disponibilizadas na base de dados do IPARDES, informações relativas ao desempenho do setor agrícola, abrindo a possibilidade de filtro via município. Como não estão disponíveis dados relacionados à renda bruta por unidade produtiva, pode-se inferir esta por duas categorias de dados encontrados no site, a área colhida em hectares, e o valor da produção total em milhares de reais.

A partir destas informações estimou-se a renda bruta média por hectare para cada ano avaliado, onde foi possível observar o efeito da passagem do tempo no resultado econômico das culturas, tomando como exemplo as três commodities agrícolas, o soja, o milho e o trigo, Figura 6.

Uma análise superficial pode concluir que, não importando a cultura agrícola, há amplos incrementos na rentabilidade das lavouras, aparentando grande fenômeno de valorização das atividades no campo e conseqüentemente da renda dos produtores rurais. No entanto essa sensação de valorização não é de toda verdade, pois escondem a ocorrência do processo inflacionário.

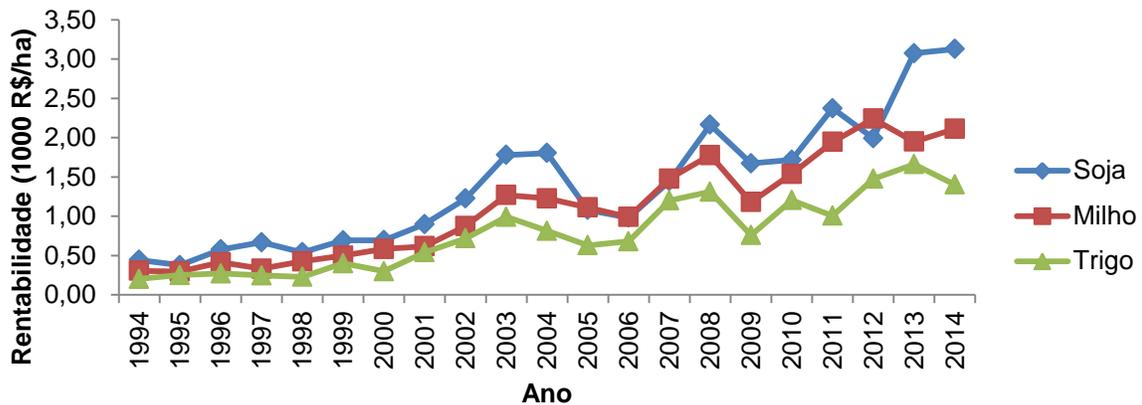


Figura 6: Evolução da rentabilidade da soja, milho e trigo no Plano Real.
 Fonte: Adaptado de IPARDES (2016).

Castoldi (2008) afirma que a inflação é entendida como processo de aumento contínuo e generalizado nos níveis de preços do mercado. Destaca que este fenômeno é diferenciado na literatura em três categorias distintas, a inflação de demanda, de custo e a inercial. A inflação de demanda ocorre com aumento desproporcional no mercado de procura em relação à oferta disponível, destacando que o aumento da renda disponível, aumento dos gastos públicos, redução das taxas de juros, expansão de crédito e expectativa dos agentes financeiros os principais fatores de pressão sobre os preços, Figura 7.

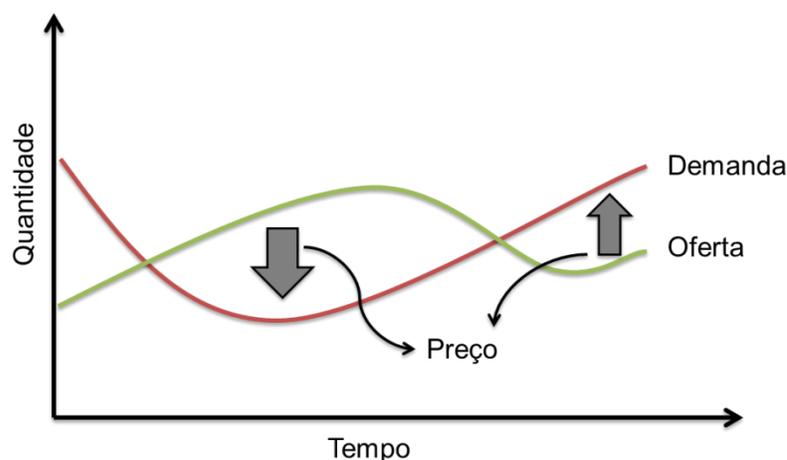


Figura 7: Variação do preço em relação à oferta e demanda ao longo do tempo.
 Fonte: Autoria própria.

A inflação de custos ocorre devido a pressões de custo e consequente repasse para os preços finais, os principais fatores envolvidos são: aumento das taxas de juros, desvalorização cambial, incremento dos preços externos, os custos de mão-de-obra e também adição dos impostos incidentes.

O autor evidencia a inflação inercial, relatando que ocorre independentemente das variações de demanda, ocorrendo devido a mecanismos de indexação da economia e reajuste de preços a partir de variações do mercado. Ressalta que a existência destes mecanismos é benéfica na manutenção do poder de compra dos salários e reduz o nível de incerteza dos investimentos, mas afeta negativamente quando sua atuação é plena, ou seja, exerce impacto em todo mercado, pois nesta situação a inflação atual se torna o valor mínimo de inflação futura.

Diante do exposto e da presença constante da inflação no dia a dia da economia brasileira, faz-se necessário realizar tratamento nos dados obtidos, de modo que o fenômeno da inflação seja removido do conjunto e as variações restantes possam ser abordadas pelo modelo matemático como flutuações reais da rentabilidade.

Criado em 1951, O Instituto Brasileiro de Economia (IBRE) é a unidade da Fundação Getúlio Vargas (FGV) que tem por missão pesquisar, analisar, produzir e disseminar estatísticas macroeconômicas e pesquisas econômicas aplicadas, que sejam relevantes para o aperfeiçoamento das políticas públicas ou da ação privada na economia brasileira (IBRE, 2016). Este é responsável por desenvolver estudos sociais, pesquisas, análises e diversos indicadores baseados no levantamento de dados econômicos, financeiros e empresariais. Entre as estatísticas econômicas produzidas pelo IBRE destacam-se os índices de preço, indicadores de tendências e ciclos de negócio de ampla utilização por estudiosos, analistas da economia brasileira e gestores na esfera pública e privada.

Entre os índices de preços mais referidos nos meios jornalísticos, encontra-se o Índice de Preços ao Consumidor (IPCA) do IBGE, que mede a variação de preços de conjunto fixo de bens e serviços componentes das despesas habituais em famílias com nível de renda situado entre um e quarenta salários mínimos mensais.

Como o objetivo do presente trabalho é abordar os preços recebidos pelos produtores agrícolas, o índice que melhor convém ao tratamento dos dados é o Índice

Geral de Preços ao Produtor – Mercado (IGP-M). Segundo o IBRE (2016) este índice reflete adequadamente a evolução de preços de atividades produtivas passíveis de serem sistematicamente pesquisadas (operações de comercialização em nível de produtor, no varejo e construção civil), resultando da média ponderada de três índices de preços: o Índice de Preços ao Produtor Amplo (IPA-M), o Índice de Preços ao Consumidor (IPC-M) e o Índice Nacional de Custo da Construção (INCC-M).

As variações anuais do IGP-M foram elaboradas pelo IBRE e obtidas nas bases de dados do Portal Brasil (2016), para o período correspondente ao Plano Real. Com objetivo informativo, foram plotadas em gráfico de colunas, Figura 8.

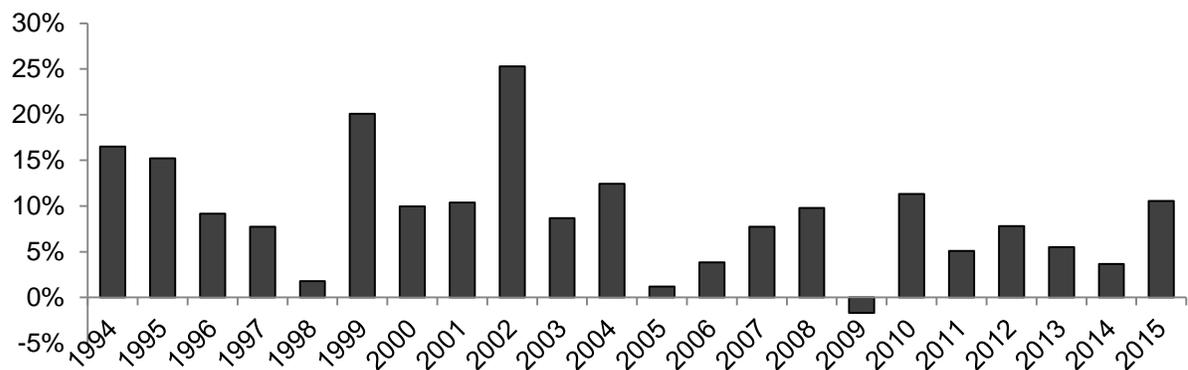


Figura 8: Variação anual do IGP-M no Plano Real.
Fonte: Adaptado de Portal Brasil (2016).

Para estabelecer relação mais clara do impacto destes índices inflacionários sobre os valores monetários, representa-se na Figura 9 a evolução do valor monetário do poder de compra equivalente a cem reais na data de implantação do Plano Real.

Com base na constatação da variação dos preços, faz-se necessário a normalização dos preços em única base, ou seja, levar todos os valores da série temporal para uma exclusiva data de modo a ter mesma base financeira e assim realizar comparações mais eficientes entre os investimentos. Hirschfeld (2000) e Newnan e Lavelle (2000), afirmam que todas as entradas e saídas de capital podem ser normalizadas uma a uma, por meio do cálculo do valor futuro ou valor presente, representado matematicamente pela Equação 38.

$$VF = VP * (1 + i)^t \quad (38)$$

Onde:

VF = Valor futuro do investimento (R\$);

VP = Valor presente do investimento (R\$);

i = Taxa de juros (% a.a.);

t = Tempo transcorrido (ano).

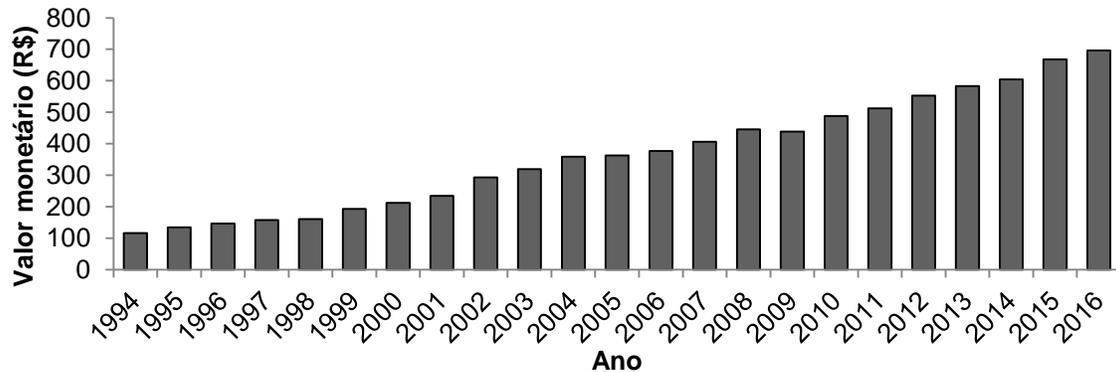


Figura 9: Evolução do valor monetário do crédito equivalente a cem reais na implantação do Plano Real.

Fonte: Adaptado de Portal Brasil (2016)

Devido a taxa de juros ser substituída pela inflação no período, o termo representado deixa de ser constante e, portanto algumas modificações na Equação 38 são pertinentes. Após algumas operações algébricas obtém-se a Equação 39, que torna possível normalizar os dados para qualquer período e sobre a ação de qualquer taxa inflacionária.

$$VF = VP * \prod_{n=1}^t (1 + i_n) \quad (39)$$

Aplicando a Equação 39 ao conjunto de dados históricos, buscando normalizar com base no valor monetário correspondente ao ano de 1994, início do Plano Real, remove-se o efeito maquiador que fornece a inflação quando abordado dados de período histórico longo. Em posse dos dados já tratados pode-se calcular a evolução da renda bruta de algumas culturas do período de estudo, Figura 10.

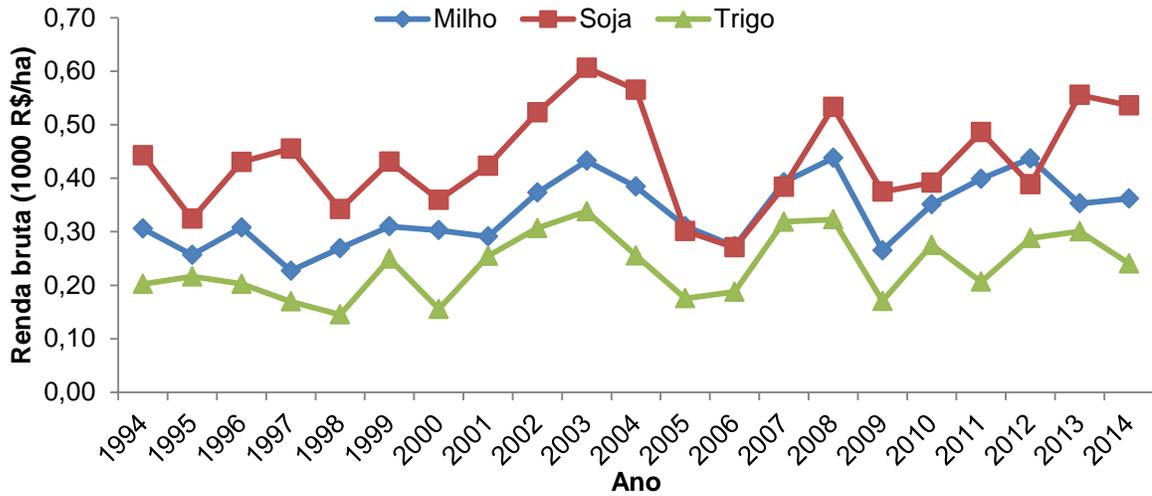


Figura 10: Evolução da rentabilidade real da Soja, Milho e Trigo no Plano Real.
 Fonte: Adaptado de IPARDES (2016).

Também interessante torna-se a comparação entre os valores originais e os normalizados, Figura 11, facilitando a conclusão da grande divergência entre as duas categorias de dados, reforçando assim a afirmação da necessidade da remoção do efeito inflacionário por meio da normalização.

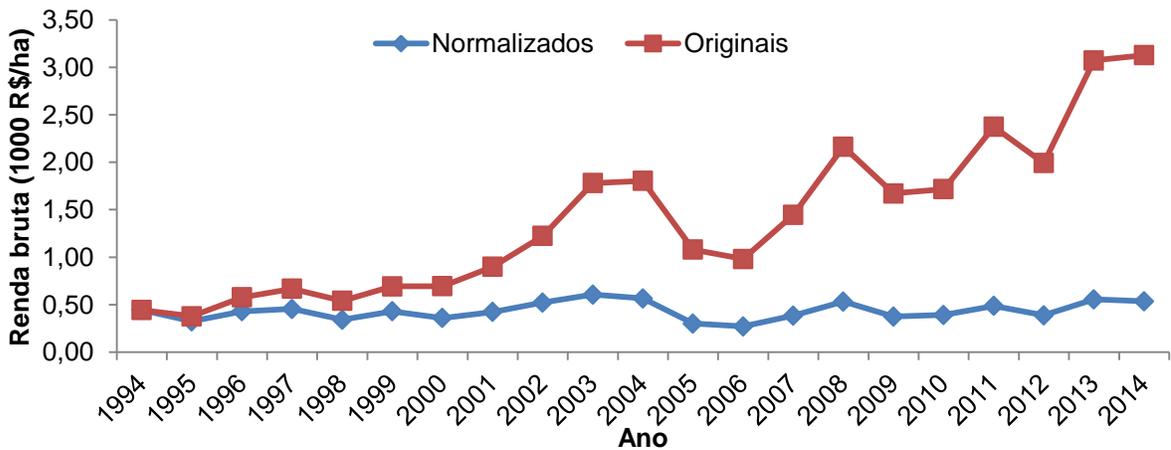


Figura 11: Rentabilidade anual da Soja, dados originais e normalizados.
 Fonte: Autoria própria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 O ATUAL DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES ECONÔMICAS

É válido demonstrar a atual realidade econômica da propriedade analisada. Conforme seções contidas no capítulo 3, o proprietário tem disponível 10,56 ha de área mecanizável, premissa básica para implantação e manejo das culturas catalogadas.

Atualmente, o agricultor realiza duas safras anuais, cada qual ocupando toda a área disponível ao trabalho na propriedade. A primeira safra, de verão, é composta pelo cultivo exclusivo da soja, sendo este fato justificado pelo bom desempenho produtivo advindo da adaptação desta ao clima local, a disponibilidade de equipamentos para realização do manejo e o conhecimento adquirido nas experiências anteriores.

Dependendo das orientações técnicas disponibilizadas pela cooperativa dos agricultores locais e do respectivo sindicato, o produtor opta a cada safra de verão pelo cultivo de uma das cinco variedades de acordo com seu ciclo produtivo: precoce, semiprecoce, médio, semitardio e tardio. O cultivo ocorre geralmente no mês de outubro com a colheita ocorrendo entre setenta e cento e vinte dias após.

Na safra de inverno, o agricultor opta pelo cultivo de milho para produção de grãos. Assim como a soja, esta é categorizada em cinco variedades e a decisão sobre qual será cultivada na propriedade dependerá das informações que o produtor possuir em mãos referentes ao clima no período vegetativo e as tendências do mercado local de grãos.

Com base no disposto sobre a atual seleção de culturas e nas séries históricas da renda bruta destas, correspondentes ao período de 1994 a 2014 e adaptadas de IPARDES (2016), foi possível estimar o atual resultado econômico da propriedade e seu respectivo risco, medido pela soma dos desvios negativos anuais, Tabela 3.

Tabela 3: Atual resultado econômico da propriedade.

Cultura	Renda bruta (1000 R\$)	Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	Área (ha)	Horas de trabalho (hr)	Safra
Soja	33,03	2,53	10,56	148,90	Verão
Milho	22,30	1,82	10,56	264,00	Inverno
Total	55,33	4,35	10,56	412,90	-

Fonte: Autoria própria.

Sobre a atual situação da propriedade, vale destacar que a mão de obra necessária equivale a cinco semanas de trabalho para todo o ano agrícola, resultando em baixa alocação deste recurso, o que reflete no pouco valor agregado ao produto comercializado e baixa renda bruta da propriedade. Quanto ao risco econômico, o atual planejamento produtivo apresenta valor baixo, o que é desejado para agricultor sensível ao risco, devido as suas preferências ou mesmo possibilidade de arcar com prejuízos.

A partir desta análise, foram elaborados quatro cenários produtivos distintos, considerando o aumento gradual do número de culturas possíveis à implantação, Quadro 5. Para cada cenário elaborou-se doze planos produtivos, número este definido arbitrariamente, com o primeiro denominado “zero” correspondente ao plano de maximização da renda bruta, e com os demais onze sendo obtidos pelo modelo MOTAD adaptado, estipulando como renda desejada frações decrescentes daquela obtida na maximização.

Cenário	Cultura
1º Cenário	Soja, Girassol, Arroz sequeiro, Sorgo-grão, Feijão Carioca, Feijão Preto, Milho, Trigo, Aveia.
2º Cenário	Tomate, Melancia, Melão, Amendoim, Soja, Girassol, Arroz sequeiro, Sorgo-grão, Abacaxi, Cebola, Batata, Batata Doce, Mandioca, Feijão Carioca, Feijão Preto, Milho, Alho, Trigo, Aveia, Ervilha Seca.
3º Cenário “A”	Tomate, Melancia, Melão, Amendoim, Soja, Girassol, Arroz sequeiro, Sorgo-grão, Abacaxi, Cebola, Batata, Batata Doce, Feijão Carioca, Feijão Preto, Milho.
3º Cenário “B”	Alho, Trigo, Aveia, Ervilha Seca, Cebola, Batata, Batata Doce, Feijão Carioca, Feijão Preto, Milho.
4º Cenário	Tomate, Melancia, Melão, Amendoim, Soja, Girassol, Arroz sequeiro, Sorgo-grão, Abacaxi, Cebola, Batata, Batata Doce, Mandioca, Feijão Carioca, Feijão Preto, Milho, Alho, Trigo, Aveia, Ervilha Seca, Banana, Uva, Abacate, Maçã, Laranja, Limão.

Quadro 5: Culturas agrícolas consideradas em cada cenário produtivo.

Fonte: Autoria própria.

4.2 DIVERSIFICAÇÃO DOS CEREAIS TRADICIONAIS

A primeira alternativa ao atual plano produtivo é a diversificação das culturas de cereais com potencial de cultivo. Sua inclusão se justificaria pela maior possibilidade de alocação de recursos ao modelo matemático, além de não significar mudanças muito acentuadas nos métodos de trabalho ao qual o agricultor já está adaptado.

Inicialmente determinou-se o plano de rentabilidade máxima, ou seja, aquele cuja seleção das culturas maximize a renda bruta anual da propriedade, com o valor resultante da função objetivo sendo empregado como parâmetro β do modelo MOTAD. Vale destacar que o procedimento de alocação, pelo modelo matemático, é realizando simultaneamente para os dois períodos de safra, e o resultado obtido será a base para aplicação do modelo MOTAD de minimização dos desvios negativos, denominado de segunda fase.

A aplicação do modelo matemático resultou na utilização total da área disponível nos dois períodos definidos, Tabela 4, para o período denominado safra de verão resultou na seleção da cultura de arroz sequeiro e na safra de inverno do feijão carioca.

Tabela 4: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual.

Item	Valor
Renda obtida (1000 R\$)	80,28
Custo total (1000 R\$)	49,94
Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	7,02
Área ocupada - Safra de inverno (ha)	10,56
Área ocupada – Safra de verão (ha)	10,56
Total de hora alocada (hr)	962,02

Fonte: Autoria própria.

Em seguida, buscou-se a minimização do risco econômico. Foram definidos onze diferentes planos produtivos, nos quais a renda bruta variou do valor máximo obtido na maximização da renda bruta, até o mínimo que garantisse um valor correspondente a um salário mínimo mensal para cada membro familiar.

A partir dos elementos obtidos pelo modelo MOTAD, confeccionou-se a Figura 12, que visualmente relaciona a renda bruta e o risco econômico medido por meio da variância. Fica evidente que planos produtivos que resultem em maiores rendas brutas anuais também possuem associados maiores riscos econômicos. Formalmente pode-se afirmar que os planos obtidos relacionam de maneira ótima o resultado econômico e a soma dos desvios negativos, formando a fronteira eficiente de soluções.

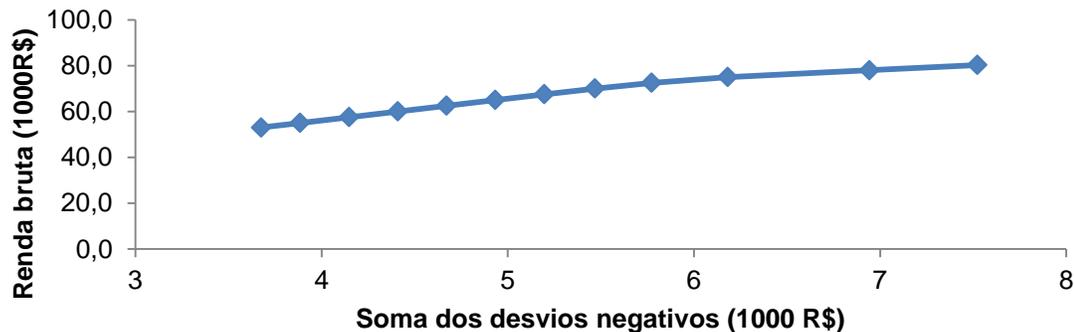


Figura 12: Fronteira eficiente entre renda e risco para o primeiro cenário
Fonte: Autoria própria.

Igualmente importante é apresentar ao agricultor quais são as culturas definidas no MOTAD e as respectivas áreas alocadas em cada plano obtido, Tabela 5. Vale destacar que o plano denominado “Zero” é aquele que maximiza a renda bruta anual, sem a consideração do risco econômico, medido pela soma dos desvios negativos, na alocação dos recursos disponíveis, e que as culturas que o modelo matemático não alocou nenhuma unidade de área em qualquer plano produtivo não foram apresentadas.

Tabela 5: Alocação de área obtida por meio do MOTAD para o primeiro cenário

Plano	Zero	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Renda Bruta (1000R\$)	80,28	78,00	75,00	72,50	70,00	67,50	65,00	62,50	60,00	57,50	55,00	53,00
S.D.N. (1000R\$)	7,02	6,44	5,68	5,27	4,97	4,70	4,43	4,17	3,91	3,65	3,39	3,18
Safra de verão												
Soja (ha)	-	-	-	1,05	1,01	2,39	3,58	2,97	2,35	1,74	1,13	0,64
Arroz sequeiro (ha)	10,56	10,56	10,56	9,51	8,90	7,51	6,23	5,93	5,62	5,32	5,01	4,77
Sorgo-grão (ha)	-	-	-	-	0,65	0,65	0,75	1,66	2,58	3,50	4,42	5,16
Safra de inverno												
Feijão Carioca (ha)	10,56	6,47	1,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Milho (ha)	-	4,09	9,47	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56	10,56

Fonte: Autoria própria.

Nota: S.D.N: Soma dos desvios negativos.

4.3 INCLUSÃO DE CULTURAS ANUAIS E HORTICULTURAS

Nesta seção será estudada a adição de culturas anuais, que ocupam o espaço de tempo das duas safras para desenvolvimento de sua produção, também hortaliças e tubérculos. Neste novo cenário algumas mudanças impactaram fortemente nas relações de trabalho da atividade produtiva.

A primeira mudança notada foi a retenção da área de algumas culturas durante todo o ano agrícola, que é o caso da mandioca e do abacaxi. A outra se refere à possibilidade de cultivo de hortaliças, já que estas ao contrário dos grãos permitem menor índice de mecanização das atividades de manejo, ocupando mais a mão de obra dos envolvidos.

A princípio são efetuadas as estimações da fase inicial, a partir da aplicação do modelo de maximização da renda bruta da propriedade, Tabela 6, obtendo assim o parâmetro β necessário a aplicação do modelo MOTAD.

Tabela 6: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o segundo cenário.

Item	Valor
Renda obtida (1000 R\$)	267,11
Custo total (1000 R\$)	100,00
Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	29,98
Área ocupada - Safra de inverno (ha)	10,56
Área ocupada – Safra de verão (ha)	10,56
Total de hora alocada (hr)	4576,00

Fonte: Autoria própria.

As diferenças supracitadas, quanto às características das culturas implantadas, refletiram grandes divergências em relação ao primeiro cenário produtivo. Neste os recursos foram utilizados ao máximo e a rentabilidade anual obtida foi 233% acima da anteriormente registrada. O aumento da margem bruta é explicado pelo maior valor médio obtido na produção de tubérculos e leguminosas.

Na outra fase, foram elaborados onze planos produtivos a partir da minimização do risco econômico mantendo como restrição um rendimento mínimo. Com os resultados das relações entre o risco e a renda bruta, Figura 13, obteve-se a fronteira eficiente.

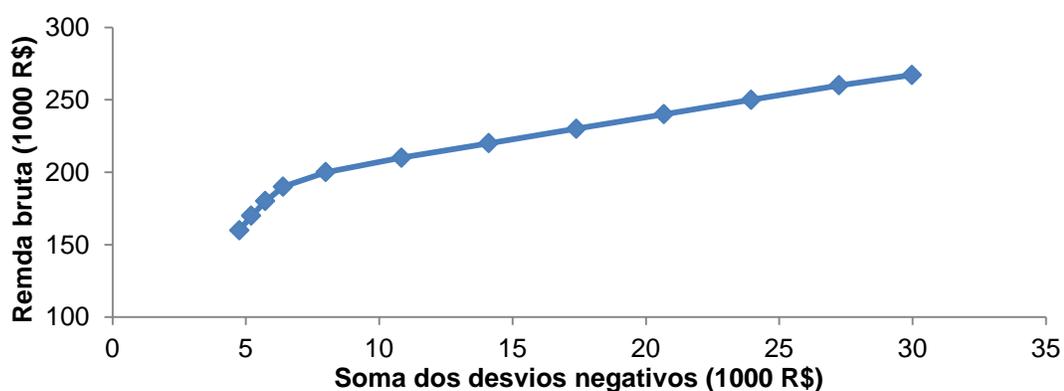


Figura 13: Fronteira eficiente entre renda e risco para o segundo cenário.

Fonte: Autoria própria.

Para o produtor avesso ao risco, os cinco planos de menor rentabilidade e variância são os mais indicados, e se caracteriza pela presença intensa nestes planos, da cultura da melancia, soja e milho, como verificável na distribuição das áreas, Tabela

7, para este cenário produtivo. As culturas que o modelo matemático não alocou nenhuma unidade de área em qualquer plano produtivo não foram apresentadas.

Tabela 7: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o segundo cenário.

Plano	Zero	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
R.B. (1000 R\$)	267	260	250	240	230	220	210	200	190	180	170	160
S.D.N. (1000 R\$)	29,98	27,25	23,95	20,68	17,40	14,12	10,84	8,00	6,40	5,73	5,21	4,76
Safra de verão												
Tomate (ha)	0,83	0,74	0,74	0,71	0,68	0,65	0,62	0,52	0,21	0,07	0,05	0,08
Melancia (ha)	-	-	-	-	-	-	-	0,54	2,56	3,28	3,18	2,44
Soja (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3,12	5,58	5,98
Arroz (ha)	9,60	9,82	9,79	9,60	9,41	9,23	9,02	8,45	6,76	3,06	0,39	-
Batata (ha)	0,13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Safra de inverno												
Alho (ha)	1,34	1,68	1,74	1,71	1,67	1,64	1,59	1,58	1,64	1,68	1,58	1,30
Trigo (ha)	-	0,54	1,78	2,75	3,73	4,70	5,64	6,53	3,36	-	-	-
Ervilha Seca (ha)	9,22	8,24	6,91	5,75	4,58	3,41	2,26	1,23	0,90	0,74	0,67	0,57
Cebola (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Batata (ha)	-	0,10	0,10	0,11	0,12	0,13	0,15	0,16	0,27	-	0,01	0,27
Feijão Carioca (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	-	-
Milho (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,10	6,65	5,69
Culturas anuais												
Abacaxi I (ha)	-	-	0,03	0,25	0,47	0,68	0,93	1,05	1,03	1,03	-	-
Abacaxi II (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93	0,87
Mandioca (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	1,19

Fonte: Autoria própria.

Notas: S.D.N: Soma dos desvios negativos.

Abacaxi I: Abacaxi sem cobertura de solo.

Abacaxi II: Abacaxi com cobertura de solo

4.4 OTIMIZAÇÃO EXCLUSIVA À SAFRA VERÃO

Pode ser conveniente a seleção de culturas para cada safra separadamente, caso o agricultor tenha preferências em formular planejamentos semestrais na sua propriedade. Desta maneira o terceiro cenário produtivo “A” será baseado apenas nas culturas aptas ao cultivo no clima quente característico da época mencionada.

Preliminarmente realiza-se a determinação do plano produtivo de maximização da renda e a determinação do parâmetro β correspondente ao resultado da função objetivo do modelo formulado na seção 3.3.5.1, Tabela 8.

Tabela 8: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o terceiro cenário "A".

Item	Valor
Renda obtida (1000 R\$)	115,38
Custo total (1000 R\$)	50,00
Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	8,14
Área ocupada - Safra de verão (ha)	10,56
Total de hora alocada (hr)	2160,22

Fonte: Autoria própria.

Algumas importantes considerações devem ser feitas a partir da Tabela 8, como a análise se reteve a apenas uma parcela do período anual, o disponível financeiro também esteve reduzido, de modo a garantir ao agricultor o mesmo acesso de recursos na safra posterior. Quanto ao seu resultado econômico, este foi correspondente a apenas 43% do cenário anterior, que permite o planejamento de todo ano agrícola e com a inserção de culturas anuais.

A partir destes resultados começou a próxima fase, visando encontrar os planos que possibilitem minimizar o risco econômico atrelado a renda fixada para cada plano, Figura 14.

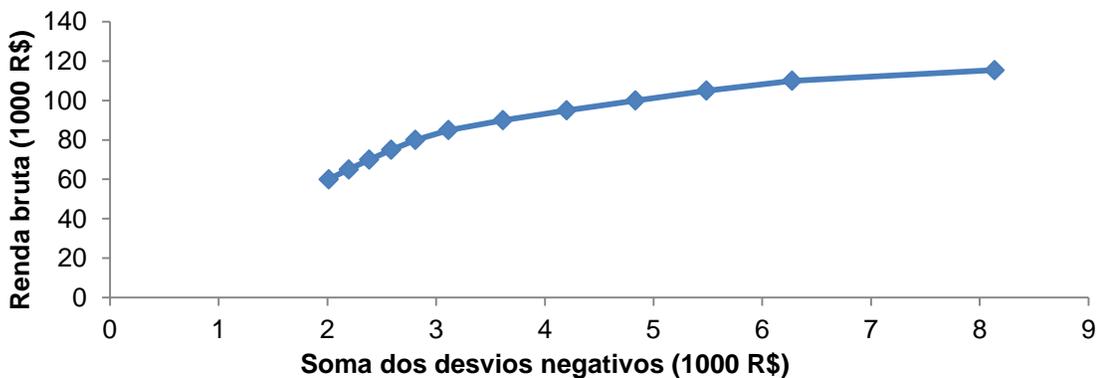


Figura 14: Fronteira eficiente entre renda bruta e risco para o terceiro cenário "A".

Fonte: Autoria própria.

Com produtor avesso ao risco, os seis planos de menor rentabilidade e variância são os mais indicados, VI, VII, VIII, IX, X e XI da Tabela 9, porém cabe ao agricultor a análise das diferentes possibilidades e em função do que tiver disposto a aceitar, um plano com maior variância pode muito bem atender as necessidades e expectativas. Na Tabela 9 constam todos os planos e a respectiva alocação de área á cada cultura desenvolvida.

Tabela 9: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o terceiro cenário “A”.

Plano	Zero	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
R.B. (1000 R\$)	115	110	105	100	95	90	85	80	75	70	65	60
S.D.N. (1000 R\$)	8,14	6,27	5,49	4,83	4,20	3,62	3,12	2,81	2,59	2,39	2,20	2,01
Tomate (ha)	0,76	0,39	0,25	0,24	0,19	0,15	0,13	0,10	0,08	0,06	0,07	0,05
Melancia (ha)	-	2,56	3,56	3,52	2,53	1,46	1,55	1,78	1,80	1,87	1,72	1,63
Melão (ha)	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,05	0,04	0,02	0,07
Soja (ha)	-	-	1,33	3,61	3,74	3,68	4,68	5,08	4,90	4,80	4,13	3,77
Girassol (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	0,79	1,64	2,65
Arroz (ha)	9,80	7,55	5,40	3,15	3,45	3,98	2,11	1,18	0,59	0,04	0,47	0,00
Sorgo-grão (ha)	-	-	-	-	-	-	0,78	1,24	1,85	1,91	1,68	1,60
Cebola (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,11	0,01	-
Batata (ha)	-	-	-	-	0,12	0,25	0,28	0,13	0,03	-	-	-
Batata Doce (ha)	-	0,06	0,02	0,05	0,53	1,04	1,04	1,04	1,02	0,94	0,81	0,78

Fonte: Autoria própria.

Nota: S.D.N: Soma dos desvios negativos.

4.5 OTIMIZAÇÃO EXCLUSIVA Á SAFRA INVERNO

Convergindo às premissas apontadas na seção 4.4, onde é conveniente ao agricultor planejar semestralmente a situação produtiva da propriedade, é abordado na presente seção a seleção das culturas que otimizem economicamente a produção da safra de inverno.

Inicialmente determinou-se o plano produtivo de maximização da renda e a determinação do parâmetro β , necessário à utilização do modelo de minimização dos desvios negativos, Tabela 10.

Tabela 10: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o terceiro cenário “B”.

Item	Valor
Renda obtida (1000 R\$)	147,29
Custo total (1000 R\$)	50,00
Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	26,00
Área ocupada - Safra de inverno (ha)	10,56
Total de hora alocada (hr)	2288,00

Fonte: Autoria própria.

Assim como mencionado na seção 4.4, é necessário reter o quantitativo financeiro disponível para custeio desta safra, de modo que haja a mesma fração do total anual para a safra verão. Como esperado, o resultado financeiro bruto obtido é inferior ao cenário que aborda todo o ano agrícola, atingindo 57% do valor deste, mas bastante superior àquele onde apenas considera-se a safra verão. Esta divergência é explicada, Tabela 11, pela grande alocação de área para a produção de ervilha seca, cereal típico de inverno que propicia considerável rentabilidade média, embora traga em embutido em seu histórico econômico variância acentuada.

Com base nos resultados, Tabela 10, foi executado o MOTAD, obtendo um conjunto de planos de minimização do risco associado à rentabilidade mínima desejada. Os resultados constam da Tabela 12, para maior clareza também foi disposta a fronteira eficiente deste cenário, Figura 15.

Como mencionado nas seções anteriores, não cabe ao desenvolvimento do trabalho determinar a melhor escolha individual para o agricultor, já que esta depende da sua sensibilidade para com o risco, disponibilidade de capital e as preferências dele. ‘Possível é orientar um produtor avesso ao risco, que selecione entre os planos com menores variâncias registradas, encontrado da safra inverno abrangendo o VII, VIII, IX, X e XI.

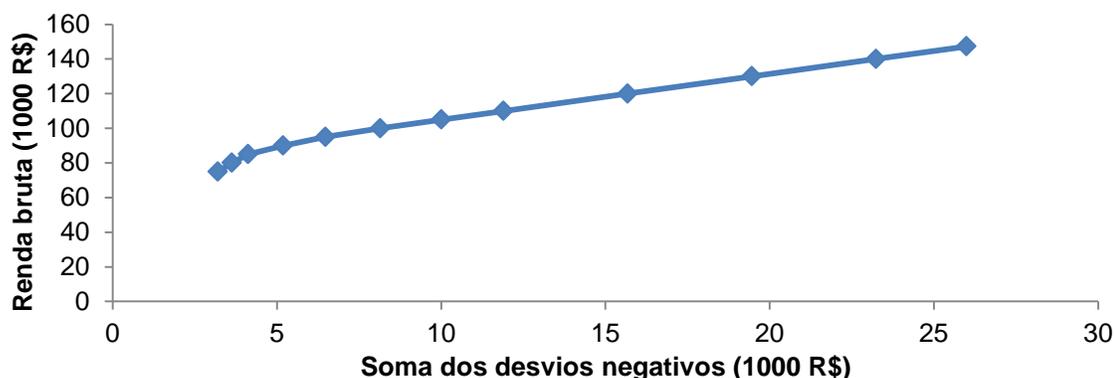


Figura 15: Fronteira eficiente entre renda e risco para o terceiro cenário “B”.
Fonte: Autoria própria.

Tabela 11: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o terceiro cenário “B”.

Plano	Zero	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
R.B. (1000 R\$)	147	140	130	120	110	105	100	95	90	85	80	75
S.D.N. (1000 R\$)	26,00	23,24	19,46	15,68	11,90	10,01	8,15	6,48	5,19	4,12	3,62	3,20
Alho (ha)	1,40	1,48	1,58	1,68	1,78	1,83	1,89	1,94	1,99	2,04	1,91	1,45
Trigo (ha)	-	0,92	2,18	3,44	4,70	5,32	5,95	6,58	7,21	7,84	8,25	8,26
Ervilha Seca (ha)	8,98	7,99	6,64	5,29	3,94	3,26	2,58	1,91	1,23	0,55	0,09	-
Batata (ha)	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13	0,12	0,17	0,30
Batata Doce (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,55

Fonte: Autoria própria.

Nota: S.D.N: Soma dos desvios negativos.

4.6 INCLUSÃO DE CULTURAS FRUTÍFERAS

O último cenário a ser proposto se baseia na abertura total das possibilidades produtivas, ocorrendo por meio da inclusão de culturas anuais, hortaliças e frutíferas ao leque de produção, em regime de planejamento agrícola anual.

Como proposto, inicialmente determinou-se o plano produtivo que maximize a renda bruta anual da propriedade com base na aplicação do modelo proposto na seção 3.3.5.1, obtendo também os parâmetros necessários à aplicação do MOTAD, Tabela 12.

Tabela 12: Valores obtidos para maximização da renda bruta anual sem a consideração do risco econômico para o quarto cenário.

Item	Valor
Renda obtida (1000 R\$)	298,61
Custo total (1000 R\$)	100,00
Soma dos desvios negativos (1000 R\$)	34,82
Área ocupada - Safra de inverno (ha)	10,56
Área ocupada – Safra de verão (ha)	10,56
Total de hora alocada (hr)	4576,00

Fonte: A autoria própria.

Neste primeiro momento nota-se que o plano remete a grande valor de margem bruta anual, além da utilização total dos recursos disponíveis na propriedade, como a mão de obra, o quantitativo financeiro e a área disponível para cultivo. Com o resultado de máxima rentabilidade, iniciou-se a próxima etapa do planejamento, aplicando o MOTAD e assim objetivando catalogar os planos que minimizem a soma dos desvios negativos associados a cada retorno financeiro.

A partir dos tópicos obtidos nesta fase elaborou-se a fronteira eficiente para o conjunto de restrições do problema, representada na Figura 16.

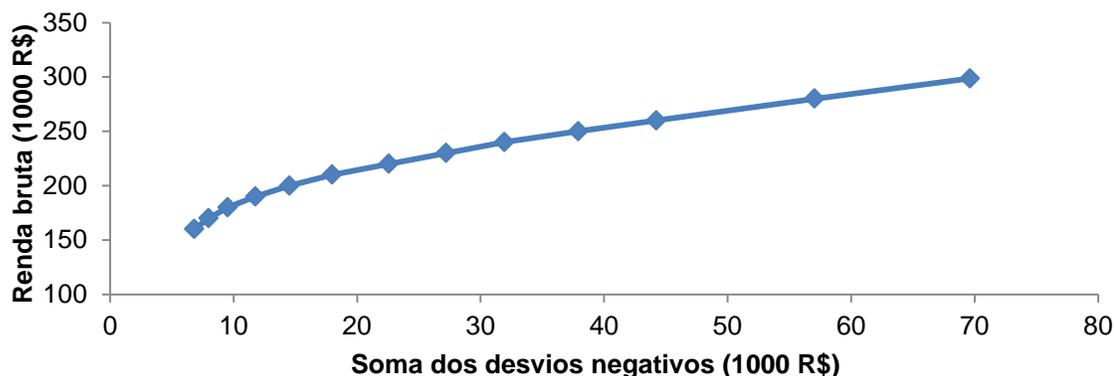


Figura 16: Fronteira eficiente entre renda e variância (E-V) para o quinto cenário.
Fonte: A autoria própria.

A alocação de área agriculturável as culturas pelo modelo MOTAD adaptado, resultaram em menores desvios negativos principalmente para os planos VII, VIII, IX, X e XI, com valores inferiores a 5% da renda bruta estimada.

Tabela 13: Resultado econômico e alocação de área para as culturas obtidas por meio do MOTAD para o quarto cenário.

Plano	Zero	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
R.B. (1000 R\$)	299	280	260	250	240	230	220	210	200	190	180	170
S.D.N. (1000 R\$)	34,82	28,53	22,11	18,95	15,97	13,61	11,28	8,99	7,27	5,89	4,76	3,99
Safra de verão												
Tomate (ha)	0,08	0,01	0,10	0,10	0,20	0,27	0,33	0,37	0,19	0,42	0,21	-
Melancia (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,95	-	-
Melão (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	0,68	-	0,84	1,48
Soja (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,28
Arroz (ha)	6,46	4,19	4,33	4,15	3,94	4,71	5,51	6,26	6,31	7,66	6,92	4,86
Batata (ha)	-	0,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Batata Doce (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03
Safra de inverno												
Alho (ha)	-	-	-	-	0,24	0,50	0,72	0,91	0,98	1,56	1,37	1,37
Trigo (ha)	-	-	-	-	0,15	1,55	2,97	3,38	4,91	7,19	-	1,26
Ervilha Seca (ha)	6,54	4,45	3,58	3,30	2,56	1,90	1,28	0,75	0,73	0,11	0,55	0,41
Batata (ha)	-	0,18	0,84	0,96	1,19	1,04	0,87	0,65	0,57	0,18	-	-
Milho (ha)	-	-	-	-	-	-	-	0,96	-	-	5,05	4,62
Culturas anuais												
Abacaxi I (ha)	-	-	0,55	0,92	0,70	-	-	-	-	-	-	-
Abacaxi II (ha)	-	-	-	-	-	0,74	0,88	1,10	1,31	0,97	1,14	0,91
Abacate (ha)	0,57	3,52	4,22	4,50	5,62	4,82	3,84	2,82	2,05	0,08	-	-
Maçã (ha)	3,45	2,41	1,36	0,88	0,11	0,01	-	-	0,02	0,05	-	-
Limão (ha)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,43	1,45	1,99

Fonte: Autoria própria.

Notas: S.D.N: Soma dos desvios negativos.

Abacaxi I: Abacaxi sem cobertura de solo.

Abacaxi II: Abacaxi com cobertura de solo

Em todos os planos encontrados pelo MOTAD para o presente cenário, há presença de culturas frutíferas, seja abacate, maçã ou limão, sendo necessários alguns apontamentos em razão destes. O modelo não leva em conta que a implantação destas culturas não trará resultados nos primeiros anos de seu cultivo, porém pode-se afirmar que se for considerado um planejamento de longo prazo, o agricultor pode fazer a escolha que melhor satisfaça suas expectativas conforme proposto. Outra possibilidade é reter a área destinada às culturas frutíferas, reformular o planejamento anual sem a consideração destas e do espaço a elas destinado.

4.7 COMPARAÇÃO ENTRE OS CENÁRIOS PROPOSTOS

Objetivando maior compreensão entre os cenários propostos, na presente seção serão elaboradas comparações entre todos, levantando as possíveis vantagens econômicas e informações mais fundamentais sobre o desempenho desta metodologia.

Os diferentes cenários resultaram em variadas rendas brutas máximas, obtidas pelo produto da renda bruta média por hectare da cultura e respectiva área alocada. A partir da Figura 17, pode-se notar que os planos com menores restrições, quanto às opções de culturas, foram os que obtiveram maiores valores financeiros brutos, entretanto, também as maiores desvios negativos. Vale alertar que o 3º cenário “A” e o 3º cenário “B”, das seções 4.4 e 4.5 respectivamente, foram mesclados para comparar efetivamente aos valores anuais.

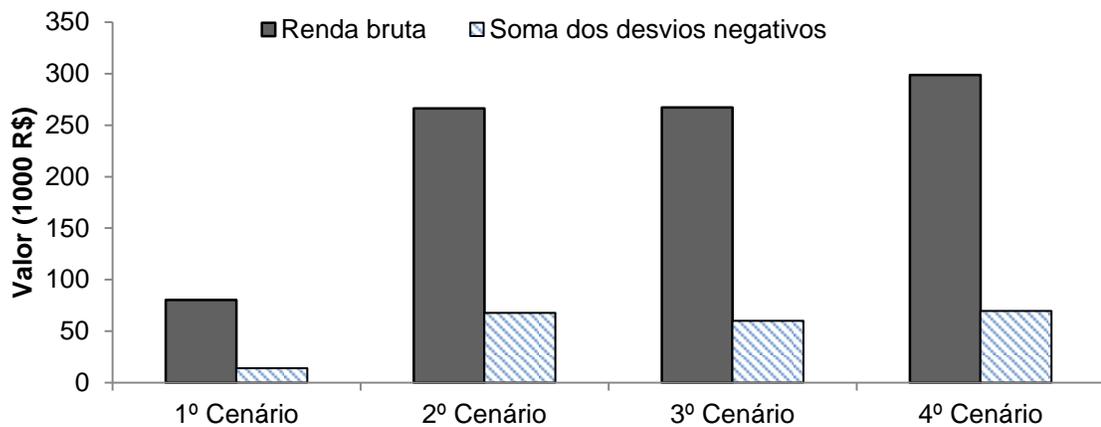


Figura 17: Renda bruta e a soma dos desvios negativos da solução inicial para os diferentes cenários.

Fonte: Autoria própria.

Aplicando o MOTAD, foram alcançados os melhores planos produtivos para cada cultura, considerando o risco econômico que submete o agricultor. A evolução da renda bruta e do risco, medido pela soma dos desvios negativos anuais, em cada plano produtivo relacionado a cada cenário, propicia melhor avaliação dos resultados obtidos pelo modelo, Figura 18.

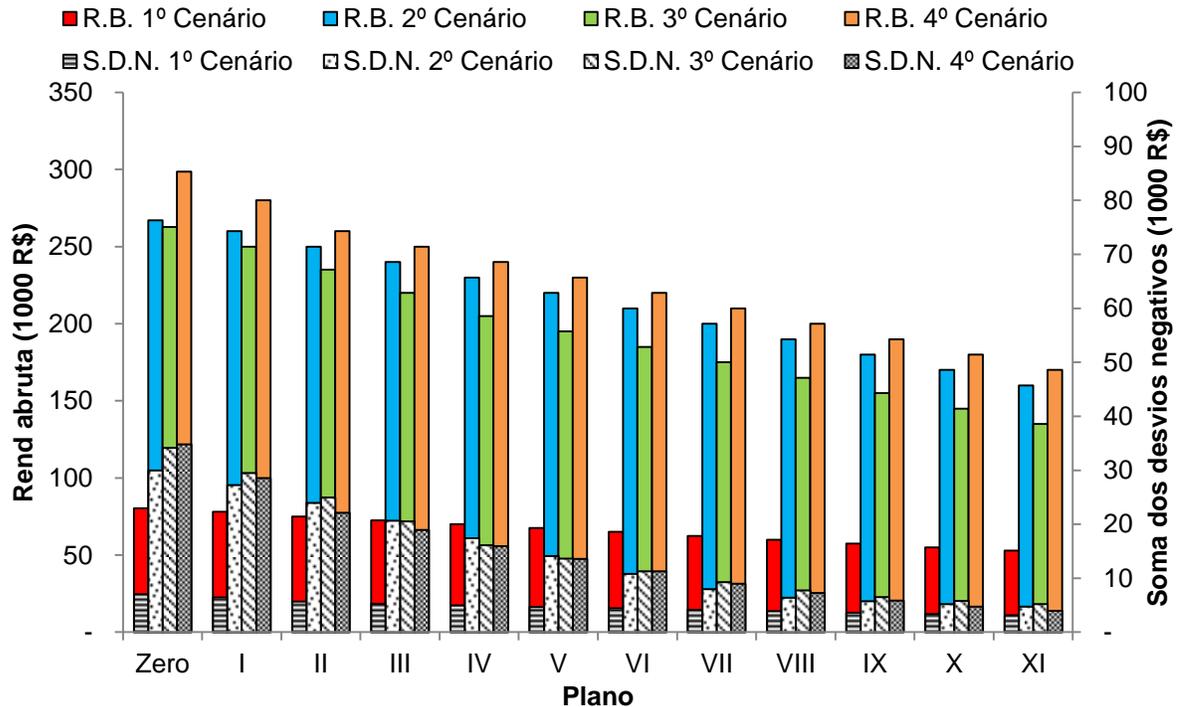


Figura 18: Evolução da renda bruta estimada e do risco econômico dos planos produtivos propostos aos diferentes cenários.

Fonte: Autoria própria.

Notas: R.B.: Renda bruta estimada
S.D.N.: Soma dos desvios negativos

Recebe maior destaque o risco do 1º cenário que abrange somente os cereais tradicionais, devido ao baixo valor registrado em todos os planos, embora não se pode afirmar que este é o que representa o cenário mais seguro, já que o valor absoluto da renda bruta anual esta também abaixo do registrado nos outros cenários. Vale assim analisar a porcentagem que o risco econômico representa na margem bruta anual, Figura 19.

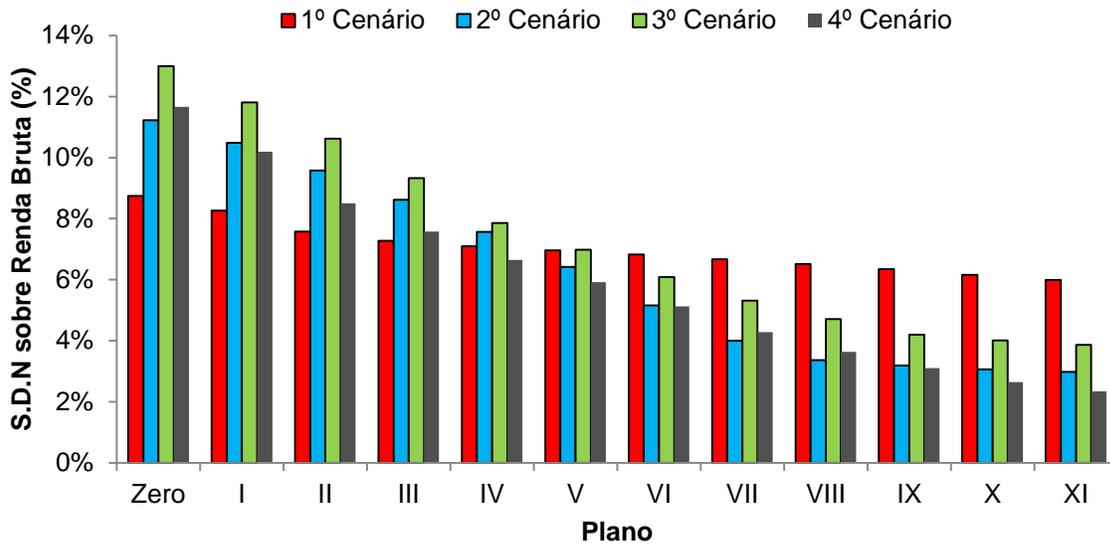


Figura 19: Representatividade do risco em função da margem bruta
Fonte: Autoria própria.

Nota: S.D.N.: Soma dos desvios negativos.

A partir da análise da representatividade do risco, algumas conclusões foram obtidas. O 1º cenário, que abrange somente as culturas de cereais tradicionais mostrou pequena evolução ao longo da elaboração dos planos produtivos, sendo o melhor apenas nos três primeiros casos. Já os quais anteriormente se demonstraram com maiores valores absolutos obtiveram uma evolução interessante ao longo da aplicação do MOTAD, observando o 4º cenário, sem restrição de culturas, apresentando resultados melhores quando comparado com o 2º cenário, que restringe a implantação de frutíferas, o qual por sua vez demonstrou ser mais interessante que o 3º cenário, que restringe qualquer cultura que ocupe o solo por mais de uma safra.

Este resultado é explicado pela afirmação de Markowitz (1952) sobre a seleção de uma carteira ótima de investimento. O autor concluiu em seu famoso trabalho, que o método mais eficiente de reduzir o risco dos investimentos é a diversificação, não alocando demasiados recursos em única oportunidade, mas distribuído ponderadamente em diversas opções. Embora o presente trabalho não se refira exatamente à seleção de carteira de investimento, o MOTAD tem suas origens na hipótese que pode ser considerada a escolha de culturas agrícolas, análoga ao proposto para o mercado financeiro, pois em ambos a incerteza dos resultados ronda os investimentos.

A hipótese utilizada é corroborada pela comparação da evolução do percentual da variância sobre a renda bruta obtida e o número de culturas selecionadas em cada plano, Figuras 20 e 21.

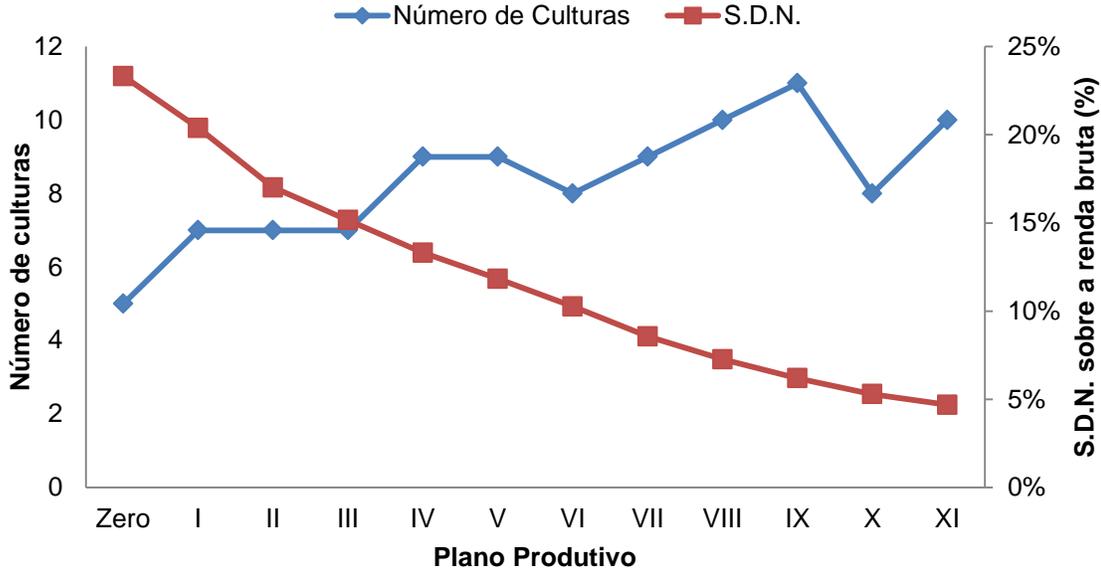


Figura 20: Evolução do número de culturas e S.D.N. para o 4ºcenário, sem restrição de culturas.
Fonte: Autoria própria.
Nota: S.D.N.: Soma dos desvios negativos

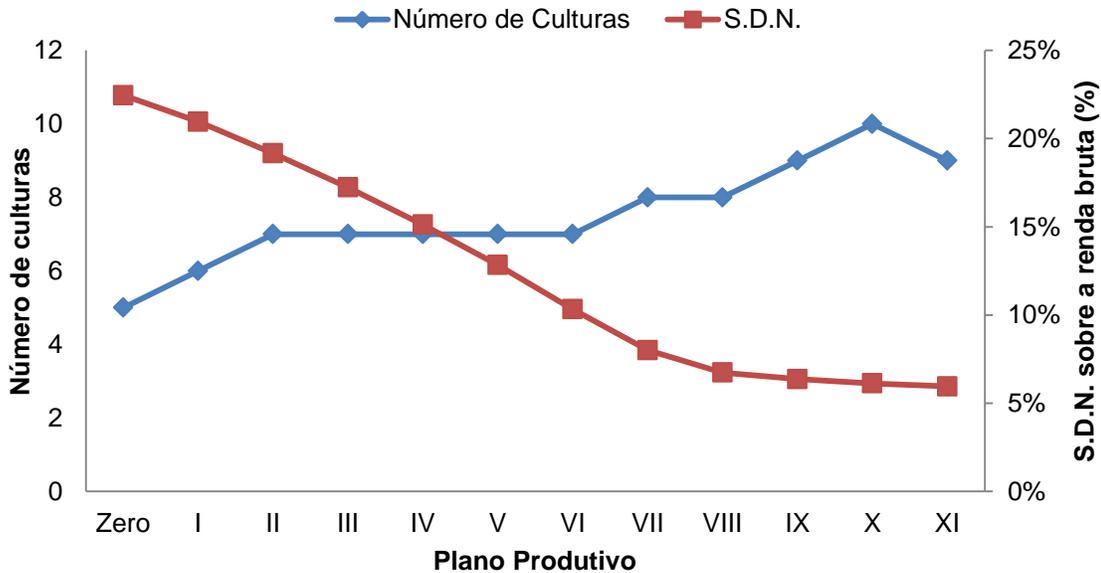


Figura 21: Evolução do número de culturas e variância para o 2º cenário.
Fonte: Autoria própria.
Nota: S.D.N.: Soma dos desvios negativos

É evidente, Figura 20 e 21, que o aumento no número de culturas impacta na redução do risco econômico, mas vale ainda utilizar a evolução no cenário que permite apenas o cultivo de cereais tradicionais, Figura 26, para fortalecer as evidências em favor da hipótese levantada.

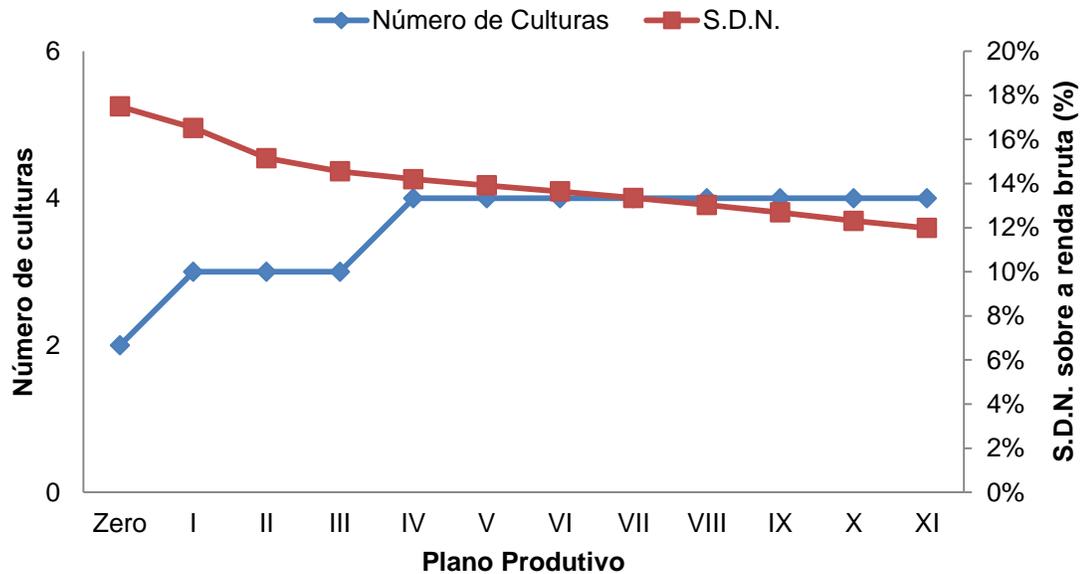


Figura 22: Evolução do número de culturas e S.D.N. para o 1º cenário, que abrange apenas cereais tradicionais.

Fonte: Autoria própria.

Nota: S.D.N.: Soma dos desvios negativos

Evidencia-se também, Figura 22, que a redução no número de culturas implica em atenuação quase nula da variância. Portanto, há evidências de que a diversificação das culturas implantadas pode trazer ao agricultor menor possibilidade de sofrer revezes econômicos, indo ao encontro da visão de Souza et al. (2008), de que dificilmente uma crise no setor agrícola afetaria de maneira igualitária todas as culturas.

5 CONCLUSÕES

Buscando sintetizar as idéias e resultados obtidos, esta seção se dedicará a exposição dos conceitos relacionados ao assunto abordado e das considerações finais fundamentais.

Revisando a literatura foi possível encontrar diferentes metodologias aplicadas a otimização econômica de propriedades agrícolas, merecendo destaque os trabalhos de Castro et al. (2013), Barros (2014), Santos e Martins (2015), que buscaram por programação linear encontrar soluções eficientes às propriedades com diferentes características. Críticas sobre a metodologia utilizada podem ser encontradas nos trabalhos de Rozakis et al. (2016) e Dill et al. (2010), que destacam a não consideração de possíveis riscos econômicos e as preferências dos produtores como pontos falhos.

Diante da importância dos fatores de risco no planejamento agrícola Souza et al. (2008), Marques et al. (2009), Mosciaro e Iorio (2013), Karami (2014) e Wen & Li (2016) empregaram a metodologia MOTAD, desenvolvida por Hazell (1971). Os autores apontaram que essa metodologia possibilita a consideração da variação histórica da rentabilidade de cada cultura, permitindo ao tomador de decisão analisar de modo mais efetivo a influência do mercado e das condições climáticas nos resultados financeiros de cada plano produtivo.

Finda a pesquisa pela metodologia mais conceituada ao problema abordado e decidindo em favor da MOTAD, foram procuradas informações necessárias para aplicação da metodologia. Inicialmente, realizou-se descrição completa da propriedade, características físicas e atividades atualmente exercidas.

O primeiro fator fundamental ao desenvolvimento das atividades agrícolas estudada remete às condições climáticas da região na qual a propriedade está situada. A relevância desta informação impacta em duas considerações essenciais previstas no modelo matemático, as culturas aptas à implantação, obtidas por meio dos mapas climáticos disponibilizados pelo IAPAR e nas restrições hídricas, às quais os cultivares serão submetidos, obtidas por meio da metodologia proposta por Allen et al. (1998),

Fernandes et al. (2009), Borges Júnior et al. (2012), Vallory et al. (2016) e Lacerda e Turco (2016) e do histórico climático obtido nas bases de dados do IAPAR (2016a).

Posteriormente, foram coletados dados sobre as condições financeiras e de infraestrutura disponíveis para confecção do planejamento agrícola, necessárias na elaboração das restrições de caráter operacional da propriedade, finalizando com levantamento das legislações brasileiras que balizam as atividades estudadas.

Em posse das informações e do modelo matemático adaptado às condições na qual a propriedade situa-se, confeccionou-se os planos produtivos para diferentes cenários possíveis, partindo-se de abordagens mais tradicionais, quanto às culturas possíveis, até abordagens menos ortodoxas que incluem a implantação de pomares na propriedade. Os resultados obtidos demonstraram-se interessantes, sendo todos os planos, em qualquer dos cenários propostos economicamente vantajosos quando comparados com o praticado na propriedade.

Por fim, cabe a discussão quanto à direção que os resultados apontam, além do acréscimo financeiro que os planos produtivos podem fornecer ao produtor, como discriminado na seção 4, uma análise mais fundamental pode ser feita em âmbito de planejamento regional. Os resultados do presente trabalho indicam que a diversificação das atividades agrícolas resulta não apenas em melhores rendimentos financeiros, mas em menores riscos de quebra de safra, já que as crises no setor agrícola dificilmente atingem de maneira igualitária todos os produtos de origem primária.

Os resultados demonstram a viabilidade da aplicação do modelo matemático adaptado à realidade dos pequenos produtores, se prestando como importante ferramenta a tomada de decisão, auxiliando na correta alocação dos recursos disponíveis e na simulação de diferentes estratégias e ações aplicadas ao meio produtivo. Deste modo, pretende-se que aliado a políticas de fortalecimento da agricultura familiar e de compra direta do produtor, como é o caso do Programa Nacional de Alimentação Escolar (PNAE), que por meio da Lei nº 11.947, de 16/6/2009 obriga a compra direta de pelo menos 30% da merenda escolar da agricultura familiar, e de programas municipais que incentivam o comércio direto entre produtores rurais e consumidores urbanos, as chamadas “Feiras do produtor”, como é o caso da Lei nº 62 de 23 de junho de 2009 do Município de Medianeira, fomentar a formação de um

mercado eficiente e economicamente atraente aos seus participantes, que contribua assim para uma melhoria na qualidade da alimentação da população urbana por meio do fornecimento de gêneros alimentícios frescos e localmente produzidos, além de propiciar permanência das famílias de pequenos agricultores no campo, ampliando a renda das pequenas propriedades da região, oferecendo maior número de empregos, sem implicar em investimentos demasiadamente pesados para o orçamento familiar..

Conclui-se também que o modelo proposto é eficiente em levar aos produtores informações sobre o planejamento agrícola, auxiliando o desenvolvimento de estratégias produtivas com o cientificismo e técnica necessária ao moderno mercado agrícola, necessitando para tal apenas ajustes às condições da região estudada, com os resultados indicando que para a região oeste do Paraná, a diversificação das atividades agrícolas resulta não apenas em melhores rendimentos financeiros, mas em menores riscos econômicos, já que o maior número de culturas disponíveis permite ao modelo matemático alocar eficientemente os recursos disponíveis, não atribuindo grandes porcentagens destes a uma única cultura, o que elevaria o risco, e também não os pulverizando em diversas opções de investimento, o que resultaria em menores rendas brutas, encontrando assim as soluções que permitam alocar eficientemente os recursos disponíveis, otimizando a relação entre risco e retorno.

Ao complementar o presente trabalho, destacam-se algumas considerações finais. Não entra no escopo deste a inclusão de atividades de suinocultura, pecuária ou avícola, tampouco a implantação de culturas de extrativismo vegetal, já que não foram encontradas informações oficiais sobre o rendimento médio referente ao período de estudo, não significando, no entanto, que devam ser desconsideradas pelo produtor, já que a metodologia proposta pretende servir como ferramenta de apoio à tomada de decisão.

5.1 SUGESTOES PARA TRABALHOS FUTUROS

Os resultados obtidos com a presente metodologia mostram-se bastante promissores, não apenas em função de ampliar o rendimento financeiro, mas também em fornecer importantes informações sobre diferentes cenários de planejamento.

Importantes melhorias podem ser implementadas á metodologia proposta, tendo a possibilidade de utilizar algum modelo matemático de rotação de culturas, como os propostos por Santa Catarina et al. (2008), Silva e Santos (2009), Santos (2009) e Araújo e Mauri (2013), permitindo assim realizar o planejamento agrícola plurianual sem ferir as orientações de boas práticas de manejo conservacionistas do solo.

Além do proposto, podem ser inseridas em futuros trabalhos, atividades relacionadas ao manejo animal, seja via confinamento ou intensivo, e ao extrativismo vegetal, de modo a ampliar a gama de atividades abrangidas e estudar as relações destas com os cultivos abordados no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 310 p. Irrigation and Drainage Paper, 56. Disponível em <<http://www.kimberly.uidaho.edu/water/fao56/fao56.pdf>>. Acesso em 22 jun. 2016.
- ANDRADE, E. L. **Introdução à pesquisa operacional: métodos e modelos para análise de decisões**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009. 204 p.
- ARAÚJO, D. L.; MAURI, G. R. **Clustering search para resolução de um problema de rotação de culturas com restrições de adjacências**. In: Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 45., 2013, Natal. Disponível em <<http://ws2.din.uem.br/~ademir/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0275.pdf>>. Acesso em 14 nov. 2016.
- ARENALES, M. N. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2007. xvii, 523 p.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 332 p.
- BACEN – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **FAQ - Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar – Pronaf**. 2015. Disponível em <http://www.bcb.gov.br/pre/bc_atende/port/PRONAF.asp>. Acesso em 20 set. 2016.
- BACEN – BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Resolução nº 2191, de 24 de agosto de 1995**. Institui o Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (PRONAF). Disponível em <http://www.bcb.gov.br/pre/normativos/res/1995/pdf/res_2191_v3_L.pdf>. Acesso em 20 set. 2016.
- BARROS, C. **Modelos matemáticos contribuem para tomada de decisão**. Disponível em <<http://m.milkpoint.com.br/radar-tecnico/gerenciamento/modelos-matematicos-contribuem-para-tomada-de-decisao-92297n.aspx>>. Acesso em 18 ago. de 2016.
- BARTEKO, R.; ANDRADE, A. R.; ANTONELI, V. A influência da variabilidade climática e das características geomorfológicas na produção e produtividade agrícola da região centro-sul do Paraná. **Anais do XVI Encontro Nacional dos Geógrafos**, p. 25-31,

2010. Disponível em <www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=3039>. Acesso em 14 ago. de 2016.

BORGES JÚNIOR, J. C. F.; ANJOS, R. J.; SILVA, T. J.; LIMA, J. R.; ANDRADE, C. L. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência diária para a microrregião de Garanhuns, PE1. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 4, p. 380-390, 2012. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n4/v16n04a08.pdf>>. Acesso em 23 jun. 2016.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Constituicao/Constituicao.htm>. Acesso em 20 set. de 2016.

BRASIL. **Decreto-Lei n.º 5.452, de 1º de maio de 1943**. Aprova a Consolidação das Leis do Trabalho. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto-lei/De15452.htm>. Acesso em 20 set. de 2016.

BRASIL. **Lei n.º 10.406 de 10 de janeiro de 2002**. Institui o Código Civil. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/L10406.htm>. Acesso em 20 set. de 2016.

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm>. Acesso em 19 set. de 2016

BRASIL. **Lei nº 4.504, de 30 de novembro de 1964**. Dispõe sobre o Estatuto da Terra, e dá outras providências. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4504.htm>. Acesso em 19 set. de 2016.

BURGO, M. N. **Caracterização espacial de riscos na agricultura e implicações para o desenvolvimento de instrumentos para o seu gerenciamento**. Piracicaba, 2005. 103 p. Dissertação de Mestrado – ESALQ/USP. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-09052005-140315/en.php>>. Acesso em 26 ago. de 2016.

CAMPOS, M. C.; MARQUES JÚNIOR, J.; PEREIRA, G. T.; SOUZA, Z. M.; MONTANARI, R. Planejamento agrícola e implantação de sistema de cultivo de cana-

de-açúcar com auxílio de técnicas geoestatísticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 3, p. 297-304, 2009. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/70993>>. Acesso em 17 ago. de 2016.

CARAMORI, P. H.; CAVIGLIONE, J. H.; WREGGE, M. S.; GONÇALVES, S. L.; FARIA, R. D.; ANDROCIOLI FILHO, A.; KOGUSHI, M. S. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de café (*Coffea arabica* L.) no Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 03, p. 486-494, 2001.. Disponível em <<http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap12.pdf>>. Acesso em 01 set. de 2016.

CARDOSO, A. **Fundamentos da Pesquisa Operacional**. Alfenas: Universidade Federal de Alfenas, 2011.

CASTOLDI, A. **Texto 9 - A Inflação e suas Explicações**. 2008. Disponível em <http://www2.unijui.edu.br/~castoldi/nutri/Texto_9.pdf>. Acesso em 23 set. de 2016.

CASTRO, F. S. F.; GAMEIRO, A. H.; GOMIDE, C. A.; FORMIGONI, I. B. **Aplicação de modelo matemático para otimização da integração entre agricultura e pecuária**. III Simpósio de Sustentabilidade e Ciência Animal; 2013; Universidade de São Paulo - Campus Pirassununga. Pirassununga. Disponível em <http://www.sisca.com.br/resumos/SISCA_2013_104.pdf>. Acesso em 18 ago. de 2016.

CAVALCANTE JUNIOR, E. G.; OLIVEIRA, A. D.; ALMEIDA, B. M.; SOBRINHO, J. E. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para as condições do semiárido Nordeste. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 32, n. 4Sup1, p. 1699-1708, 2011. Disponível em <<http://www.uel.br/revistas/wrevojs246/index.php/semagrarias/article/view/4801>>. Acesso em 22 jun. 2016.

CONTI, J. B. **Clima e meio ambiente**. 7.ed. rev. e atual. São Paulo: Atual, 2011. 96 p

CONTINI, E.; ARAUJO, J. D.; OLIVEIRA, A. D.; GARRIDO, W. E. **Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão**, v. 2, Brasília: Embrapa-DDT, 1984. p. 237-260. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/903385>>. Acesso em 08 ago. de 2016.

CREPALDI, S. A. **Contabilidade rural: uma abordagem decisória**. 2. ed. rev., atual., ampl. São Paulo: Atlas, 1998. 352 p. revista, atualizada e ampliada. São Paulo: Atlas, 1998.

CRUZ, E. R. Aspectos teóricos sobre incorporação de risco em modelos de decisão. In: CONTINI, E.; ARAÚJO, J. D.; OLIVEIRA, A. J.; GARRIDO, W. E. **Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão**, v. 2, Brasília: Embrapa-DDT, 1984. p.237-260. Disponível em <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/903385>>. Acesso em 17 ago. de 2016.

CUSINATO R.T. **Teoria da decisão sob incerteza e a hipótese da utilidade esperada: Conceitos analíticos e paradoxos**. Dissertação de Mestrado em Economia. UFRGS, Rio Grande do Sul, 2003. 181p. <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/1961/000362539.pdf?sequence=1>>. Acesso em 02 set. de 2016.

DILL, R. P.; SOUZA, F. C.; BORBA, J. A. Uma proposta de um modelo de otimização do portfólio para as culturas de verão. **Custos e @gronegocio on-line**, Recife, v. 6, n. 3, p. 90-111, 2010. Disponível em <<http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v6/Risco%20e%20Retorno.pdf>>. Acesso em 19 ago. de 2016.

FERNANDES, D. S.; HEINEMANN, A. B.; PAZ, R. L. F.; AMORIM, A. O.; OLIVEIRA, D. F. Comparação entre dois métodos de estimativa de evapotranspiração de referência para Santo Antônio de Goiás, GO: Hargreaves versus Penman-Monteith. In: **Encontro Sul Brasileiro de Meteorologia**, 3., 2009, Santa Maria. Mudanças climáticas globais: efeitos sobre o tempo e clima regional: [anais]. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2009. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/27114/1/13.pdf>>. Acesso em 23 jun. 2016.

FERREIRA, A. B. H. **Dicionário Aurélio de Português Online**. 2017. Disponível em <<https://dicionariodoaurelio.com/agricultura>>

FIETZ, C. R.; URCHEI, M. A. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 262-265, 2002. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v6n2/v6n2a14.pdf>> Acesso em 01 set. de 2016.

FREITAS, E. D. **Agricultura**; Brasil Escola. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/agricultura-5.htm>>. Acesso em 09 de agosto de 2016.

GERALDINE, D. G. **Economia Agrícola: Contribuição Real no Real**. 2012. Disponível em <<http://www.nee.ueg.br/seer/index.php/economia/article/viewFile/145/139>>. Acesso em 24 jun. 2016.

GERALDINE, D. G. Economia Agrícola: Contribuição Real no Real. **Revista de Economia da UEG**, v. 1, n. 1, p. 1-17, 2012. Disponível em <<http://www.nee.ueg.br/seer/index.php/economia/article/viewFile/145/139>>. Acesso em 10 out. de 2017.

GIL, A. C.. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010. 184 p.

HARWOOD, J.; HEIFNER, R.; COBLE, K.; PERRY, J.; SOMWARU, A. Managing risk in farming: concepts, research, and analysis. **US Department of Agriculture, Economic Research Service**, 1999. Disponível em <<http://www.agriskmanagementforum.org/sites/agriskmanagementforum.org/files/Documents/Managing%20Risk%20in%20Farming.pdf>>. Acesso em 26 ago. de 2016.

HAZEL, P.B.R. A Linear Alternative to Quadratic and Semi Variance Programming for Farm Planning Under Uncertainty. **American Journal of Agricultural Economics**, v. 53, n. 1, p. 53-62, 1971. Disponível em <https://www.researchgate.net/publication/247566370_A_Linear_Alternative_to_Quadratic_and_Semi_Variance_Programming_for_Farm_Planning_Under_Uncertainty>. Acesso em 21 set. de 2016.

HAZEL, P.B.R.; NORTON, R.D. Risk in the farm model. In: _____. **Mathematical programming for economic analysis in agriculture**, Macmillan, London, 1986. Cap. 6 p. 76-111. Disponível em <<http://wpage.unina.it/cafiere/books/HN/mathprog05.pdf>>. Acesso em 31 ago. de 2016.

HIRSCHFELD, H. **Engenharia econômica e análise de custos**: Aplicações práticas para economistas, engenheiros, analistas de investimentos e administradores. 7. ed. São Paulo, SP: Atlas, 2000. 519 p

INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS - IAC. **Solos do Estado de São Paulo**. Disponível em <<http://www.iac.sp.gov.br/solosp/>>. Acesso em: 09 set. de 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Médias Históricas – Estação de São Miguel do Iguaçu**. Disponível em <http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Sao_Miguel.htm>. Acesso em 20 set. de 2016a.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Paraná tem mapas de solos atualizados**. 2007. Disponível em <http://200.20.158.13/website/pub/parana_solos>. Acesso em 20 set. de 2016.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Tabela de Radiação Solar Global Extraterrestre**. Disponível em <http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/radiacao_solar.pdf>. Acesso em 20 set. de 2016b.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Zoneamento Agrícola**. Disponível em <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=1043>>. Acesso em 20 set. de 2016c.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Zoneamento da Cultura de Soja – Grupo 2 e 3 – Solo 2**. Disponível em <http://www.iapar.br/arquivos/Image/Zoneamento/Soja_G23_S2.jpg>. Acesso em 20 set. de 2016d.

INSTITUTO BRASILEIRO DE ECONOMIA – IBRE. **O Instituto Brasileiro de Economia**. 2016. Disponível em <<http://portalibre.fgv.br/main.jsp?lumChannelId=402880811D8E34B9011D97C18E8F0195>>. Acesso em 23 set. de 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Senso Agropecuário**. 2006. Disponível em <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/50/agro_2006_agricultura_familiar.pdf>. Acesso em 20 jul. de 2016.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Sobre o IPARDES**. Disponível em <http://www.ipardes.gov.br/index.php?pg_conteudo=1&cod_conteudo=32>. Acesso em 23 set. de 2016.

INSTITUTO PARANAENSE DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL – IPARDES. **Caderno estatístico – Município de Medianeira**. 2016. Disponível em <<http://www.ipardes.gov.br/cadernos/MontaCadPdf1.php?Municipio=85884&btOk=ok>>. Acesso em 06 set. de 2016.

KARAMI, A. A multi period programming model for farm planning under uncertainty: a farm-level analysis in Fars Province of Iran. **Advances in Environmental Biology**, p. 180-185, 2014. Disponível em

<<http://www.aensiweb.com/old/aeb/December%202014/180-184.pdf>>. Acesso em 30 ago. de 2016

LACERDA, Z. C.; TURCO, J. E. P. Comparação de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o), para Uberlândia-MG. **Engenharia Agrícola**, v. 35, n. 1, 2016. Disponível em <<http://submission.scielo.br/index.php/eagri/article/view/100773>>. Acesso em 01 set. de 2016.

MALUF, J. R. T.; CUNHA, G. D.; MATZENAUER, R.; PASINATO, A.; PIMENTEL, M. B. M.; CAIAFFO, M. R.; PIRES, J. L. F. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura de milho no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.460-467, 2001. Disponível em <https://www.agrolink.com.br/downloads/artigo_milho.pdf>. Acesso em 01 set. de 2016.

MARION, J. C. **Contabilidade rural: contabilidade agrícola, contabilidade da pecuária, imposto de renda-pessoa jurídica**. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2007. 251 p.

MARKOWITZ, H. Portfolio selection. **The Journal of Finance**, v. 7, n. 1, p. 77-91, 1952. Disponível em <https://www.math.ust.hk/~maykwok/courses/ma362/07F/markowitz_JF.pdf> Acesso em 22 set. de 2016.

MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; CAIXETA FILHO, J. V. Estudo de ocupação econômica em área agrícola na região de Piracicaba-SP, incluindo risco através de programação linear. **Bioscience Journal**, v. 25, n. 1, 2009. Disponível em <<http://www.seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/6762/4462>>. Acesso em 19 ago. de 2016.

MELO, F. H. Plano Real e a Agricultura Brasileira: Perspectivas. **Revista de Economia Política**, v. 19, n. 4, p. 76, 1999. Disponível em <<http://www.rep.org.br/PDF/76-9.PDF>>. Acesso em 24 jun. 2016.

MELO, M. P. S. **Programação linear e simulação multidimensional no mercado financeiro e commodities**. 2012. 70 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. Disponível em <<http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/5222>>. Acesso em 30 ago. de 2016.

MENDONÇA, J. C.; SOUSA, E. F. D.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET_o) na

região Norte Fluminense. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/%0D/rbeaa/v7n2/v7n2a15.pdf>>. Acesso em 22 jun. 2016.

MONTEIRO, C. A. F. Questão ambiental no Brasil (1960-1980). In: **Series teses e monografias**. IGEOG/USP, 1981.

MOSCIARO, M.; IORIO, C. Tendency of production decisions of the farmers of the Southeast Pampa region in Argentina under uncertainty conditions. In: **Methods and Procedures for Building Sustainable Farming Systems**. Springer Netherlands, 2013. p. 259-269. Disponível em <http://ifsa.boku.ac.at/cms/fileadmin/Proceeding2010/2010_WS2.1_Mosciaro.pdf>. Acesso em 30 ago. de 2016.

MOSS C. B. **Risk, uncertainty and the agricultural firm**. USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Lt., 2010, 292p. Disponível em <https://books.google.com.br/books?id=6-UpByDEc48C&pg=PA3&dq=Risk,+uncertainty+and+the+agricultural+firm&hl=pt-BR&sa=X&ved=0ahUKEwjHxZPII_HOAhUHK5AKHfyFAIkQ6AEIHDAA#v=onepage&q=Risk%2C%20uncertainty%20and%20the%20agricultural%20firm&f=false>. Acesso em 02 set. de 2016.

MUNHOZ, J. S.; OLIVEIRA, S. F.; MARIN, F.; BATTISTI, R. **Estimativa da evapotranspiração de referência no Brasil**: uma análise crítica. 2012. Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/68094/1/64XJ.pdf>>. Acesso em 22 jun. 2016.

NASCIMENTO, C. A. A política agrícola comum da CEE e a ocupação das famílias rurais em atividades agrícolas e não-agrícolas: lições para a política agrícola no Brasil. **Economia e Sociedade**, Campinas, v. 14, n. 2, p. 263-285, 2005. Disponível em <<http://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643029/10581>>. Acesso em 02 set. de 2016.

NEWNAN, D. G.; LAVELLE, J. P. **Fundamentos de engenharia econômica**. 1. ed. Rio de Janeiro, RJ: LTC, 2000. 359 p

OLISZESKI, C. A. N.. **Modelos de planejamento agrícola: um cenário para otimização de processos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2011. Disponível em

<<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/177/Dissertacao.pdf>>. Acesso em 10 ago. de 2016.

OLIVEIRA, G. M.; LEITAO, M. M. V. B. R.; BISPO, R. C.; SANTOS, I. M. S.; ALMEIDA, A. C. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referencia na região Norte da Bahia. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.4, n.2, p.104–109, 2010. Disponível em <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/42/pdf_35>. Acesso em 22 jun. 2016.

PARTON, K. A.; CUMMING, R. J. An application of Target-MOTAD rogramming to the analysis of downside business and financial risk on farms. **Review of Marketing and Agricultural Economics**, v. 58, n. 1, p. 77-88, 1990. Disponível em <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/12286/1/58010076.pdf>>. Acesso em 18 ago. de 2016.

PEREIRA, A. C.; CARVALHO, F. M. A.; CONCEIÇÃO, J. C. Evolução e desempenho da política de contratos de opção de venda para mercados agrícolas. **Revista de Economia e Agronegócio**.v. 3, n. 4, 2015. Disponível em <<http://www.revistarea.ufv.br/index.php/rea/article/download/68/70>>. Acesso em 24 jun. 2016.

PEREIRA, A. R.; SEDIYAMA, G. C.; VILLA NOVA, N. A. **Evapo(transpi)ração**. Piracicaba: FEALQ, 1997. 183p.

PINTO, H. S.; ZULLO JUNIOR, J.; ASSAD, E. D.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R. R.; CORAL, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cafeicultura do Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v. 9, n. 3, p. 495-500, 2001. Disponível em.< <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/pdf/revista/cap13.pdf>>. Acesso em 01 set. de 2016.

PINTO, J.E.S.S.; NETTO, A.O.A. **Clima Geografia e Agrometeorologia: Uma abordagem interdisciplinar**. São Cristovão: Ed. UFS, 2008

PORTAL BRASIL. **Agropecuária É O Setor Com Maior Crescimento Na Última Década**. 2014. Disponível em <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2011/03/agropecuaria-e-o-setor-com-maior-crescimento-na-ultima-decada>>. Acesso em 24 jun. 2016.

PORTAL BRASIL. **Índice Geral De Preços Do Mercado - IGP-M**. 2016. Disponível em <<http://www.portalbrasil.net/igpm.htm>>. Acesso em 23 set. de 2016.

RIBEIRO, R. H.; CARVALHO, C. M.; FEITOSA, H. O.; FEITOSA, S. O.; SILVA, S. L. Crescimento do milho BRS catingueiro irrigado no cariri cearense. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava-PR, v.8, n.3, p.81-86, 2015. Disponível em <<http://200.201.10.18/index.php/repaa/article/view/3757/2923>>. Acesso em 01 set. de 2016.

ROZAKIS, S.; SINTORI, A.; TSIBOUKAS, K. Estimating utility functions of Greek dairy sheep farmers: A multicriteria mathematical programming approach. **Language**, v. 13, n. 1, p. 111-120, 2016. Disponível em <http://repository.edulll.gr/edulll/bitstream/10795/2777/2/2777_Rozakis%20et.al_.%20%282012%29%20Estimating%20Utility%20functions.pdf>. Acesso em 30 ago. de 2016.

SANTA CATARINA, A.; OPAZO, M. A. U.; BACH, S. L.. Utilização de um algoritmo genético na otimização do lucro de uma propriedade agrícola. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 24, p. 1473-1480, 2008. Disponível em <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/ActaSciAgron/article/view/2407/1807>>. Acesso em 14 nov. 2016.

SANTO JÚNIOR, C. E. **Classificação Climática**. Secretaria da Educação do Estado do Paraná, 2016. Disponível em <<http://www.geografia.seed.pr.gov.br/modules/galeria/detalhe.php?foto=1570&evento=5>>. Acesso em 20 set. 2016.

SANTOS, L. M. R. **Programação de rotação de culturas - modelos e métodos de solução**. 2009. Tese (Doutorado em Ciências de Computação e Matemática Computacional) - Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. Disponível em <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/55/55134/tde-09062009-110129/en.php>>. Acesso em 14 nov. 2016.

SANTOS, N. C. B.; MARTINS, V. W. B. Programação linear como ferramenta à maximização de receitas—estudo de caso de uma fazenda de produção agrícola. In: **XXII Simpósio de Engenharia de Produção**. 2015. Bauru-SP. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Vitor_Martins7/publication/283710433_PROGRAMAÇÃO_LINEAR_COMO_FERRAMENTA_A_MAXIMIZAÇÃO_DE_RECEITAS_-_ESTUDO_DE_CASO_DE_UMA_FAZENDA_DE_PRODUCÃO_AGRICOLA/links/56438ec508ae54697fb2f433.pdf>. Acesso em 19 ago. de 2016.

SEPULCRI, O. **Gestão de Risco na Agricultura**. Empresa de Assistência Técnica de Extensão Rural do Paraná. 2012. Disponível em: <http://www.odiliosepulcri.com.br/pdf/GESTAO_DE_RISCO_NA_AGRICULTURA_14_03_2006.pdf>. Acesso em 26 ago. de 2016.

SILVA, D. A.; SANTOS, M. O. Aplicação do algoritmo volumétrico à resolução aproximada do problema de rotações de culturas. In: **Congresso Nacional de Matemática Aplicada e Computacional**, 32., 2009, Cuiabá. Disponível em <http://sbmac.locaweb.com.br/eventos/cnmac/xxxii_cnmac/pdf/428.pdf>. Acesso em 14 nov. de 2016.

SILVA, E.; MENEZES, E. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual, Florianópolis: UFSC, 2005. 138p. Disponível em <https://projetos.inf.ufsc.br/arquivos/Metodologia_de_pesquisa_e_elaboracao_de_teses_e_dissertacoes_4ed.pdf>. Acesso em 19 set. de 2016

SILVA, S. C.; DIDONET, A. D. Cultivo do feijão irrigado na região Noroeste de Minas Gerais. **Embrapa Arroz e Feijão**, Goiânia, 2005. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/index.htm>>. Acesso em 21 set. de 2016.

Sociedade de Pesquisa em Vida Selvagem e Educação Ambiental- SPVS. **Manual para Recuperação da Reserva Florestal Legal**. Curitiba: Tempo Integral, p.85, 1996.

SOUZA, P. M. D.; FERREIRA, V. R.; PONCIANO, N. J.; BRITO, M. D. N. Otimização econômica, sob condições de risco, para agricultores familiares das regiões Norte e Noroeste do Estado do Rio de Janeiro. **Pesquisa Operacional**, v. 28, n. 1, p. 123-139, 2008. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/pope/v28n1/a07v28n1.pdf>>. Acesso em 19 ago. de 2016.

TURVEY C.G.; ESCALANTE C.L.; NGANJE, W., Developments in portfolio management and risk programming techniques for agriculture. **Agriculture Finance Review**, p. 219-244, 2005. Disponível em <<http://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/00214660580001174>>. Acesso em 02 set. de 2016.

VALLORY, N. D.; DOHLER, R. E.; CECÍLIO, R. A.; ZANETTI, S. S. Métodos empíricos para estimativa da evapotranspiração de referência no estado do rio de janeiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 2, p. 576-585, 2016. Disponível em <http://www.inovagri.org.br/revista/index.php/rbai/article/view/407/pdf_267>. Acesso em 01 set. de 2016.

VELOSO, R. F. Planejamento e gerência de fazenda: princípios básicos para avaliação de sistemas agrossilvipastoris nos cerrados. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 113-154, 1997. Disponível em <https://www.researchgate.net/profile/Rui_Veloso/publication/242614525_PLANEJAME>

NTO_E_GERENCIA_DE_FAZENDA_PRINCIPIOS_BASICOS_PARA_AVALIACAO_DE_SISTEMAS_AGROSSILVIPASTORIS_NOS_CERRADOS/links/549024460cf225bf66a81be4.pdf>. Acesso em 17 ago. de 2016.

VICENTINO, C.; DORIGO, G.. **História geral e do Brasil**: ensino médio. 1.ed. São Paulo, SP: Scipione, 2011. 3 v.

WEN, D.; LI, J.Optimization of facility crop combinations based on the target-MOTAD improved model. **Journal of China Agricultural University**, v. 4, p. 017, 2016.Disponível em <http://en.cnki.com.cn/Article_en/CJFDTOTAL-NYDX201604017.htm>. Acesso em 30 ago. 2016.

ZEN, S. D.; BRAGATO, I. R.; SPERS, E. E. Diversificação de atividades como gerenciamento de risco na agricultura. **Anais..** Ribeirão Preto: FEARP/PENSA/USP, 2005. Disponível em <<http://www.sober.org.br/palestra/2/662.pdf>>. Acesso em 10 ago. de 2016.