

# PESQUISAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS

Volume XI

Alan Mario Zuffo  
Jorge González Aguilera  
org.



2022



**Alan Mario Zuffo**  
**Jorge González Aguilera**  
Organizadores

**Pesquisas agrárias e ambientais**  
**Volume XI**



Pantanal Editora

2022

Copyright© Pantanal Editora

**Editor Chefe:** Prof. Dr. Alan Mario Zuffo

**Editores Executivos:** Prof. Dr. Jorge González Aguilera e Prof. Dr. Bruno Rodrigues de Oliveira

**Diagramação:** A editora. **Diagramação e Arte:** A editora. **Imagens de capa e contracapa:** Canva.com. **Revisão:** O(s) autor(es), organizador(es) e a editora.

### Conselho Editorial

#### Grau acadêmico e Nome

Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos  
Prof. Msc. Adriana Flávia Neu  
Prof. Dra. Allys Ferrer Dubois  
Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior  
Prof. Msc. Aris Verdecia Peña  
Prof. Arisleidis Chapman Verdecia  
Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva  
Prof. Dr. Bruno Gomes de Araújo  
Prof. Dr. Caio Cesar Enside de Abreu  
Prof. Dr. Carlos Nick  
Prof. Dr. Claudio Silveira Maia  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos  
Prof. Dr. Cristiano Pereira da Silva  
Prof. Ma. Dayse Rodrigues dos Santos  
Prof. Msc. David Chacon Alvarez  
Prof. Dr. Denis Silva Nogueira  
Prof. Dra. Denise Silva Nogueira  
Prof. Dra. Dennyura Oliveira Galvão  
Prof. Dr. Elias Rocha Gonçalves  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins  
Prof. Dr. Fábio Steiner  
Prof. Dr. Fabiano dos Santos Souza  
Prof. Dr. Gabriel Andres Tafur Gomez  
Prof. Dr. Hebert Hernán Soto Gonzáles  
Prof. Dr. Hudson do Vale de Oliveira  
Prof. Msc. Javier Revilla Armesto  
Prof. Msc. João Camilo Sevilla  
Prof. Dr. José Luis Soto Gonzales  
Prof. Dr. Julio Cezar Uzinski  
Prof. Msc. Lucas R. Oliveira  
Prof. Dra. Keyla Christina Almeida Portela  
Prof. Dr. Leandro Argentel-Martínez  
Prof. Msc. Lidiene Jaqueline de Souza Costa Marchesan  
Prof. Dr. Marco Aurélio Kistemann  
Prof. Msc. Marcos Pisarski Júnior  
Prof. Dr. Marcos Pereira dos Santos  
Prof. Dr. Mario Rodrigo Esparza Mantilla  
Prof. Msc. Mary Jose Almeida Pereira  
Prof. Msc. Núbia Flávia Oliveira Mendes  
Prof. Msc. Nila Luciana Vilhena Madureira  
Prof. Dra. Patrícia Maurer  
Prof. Msc. Queila Pahim da Silva  
Prof. Dr. Rafael Chapman Auty  
Prof. Dr. Rafael Felipe Ratke  
Prof. Dr. Raphael Reis da Silva  
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes  
Prof. Dr. Ricardo Alves de Araújo (*In Memoriam*)  
Prof. Dra. Sylvana Karla da Silva de Lemos Santos  
Msc. Tayronne de Almeida Rodrigues  
Prof. Dr. Wéverson Lima Fonseca  
Prof. Msc. Wesclen Vilar Nogueira  
Prof. Dra. Yilan Fung Boix  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme

#### Instituição

OAB/PB  
Mun. Faxinal Soturno e Tupanciretã  
UO (Cuba)  
IF SUDESTE MG  
Facultad de Medicina (Cuba)  
ISCM (Cuba)  
UFESSPA  
UEA  
UNEMAT  
UFV  
AJES  
UFGD  
UEMS  
IFPA  
UNICENTRO  
IFMT  
UFMG  
URCA  
ISEPAM-FAETEC  
IFG  
UEMS  
UFF  
(Colômbia)  
UNAM (Peru)  
IFRR  
UCG (México)  
Mun. Rio de Janeiro  
UNMSM (Peru)  
UFMT  
Mun. de Chap. do Sul  
IFPR  
Tec-NM (México)  
Consultório em Santa Maria  
UFJF  
UEG  
FAQ  
UNAM (Peru)  
SEDUC/PA  
IFB  
IFPA  
UNIPAMPA  
IFB  
UO (Cuba)  
UFMS  
UFPI  
UFG  
UEMA  
IFB  
  
UFPI  
FURG  
UO (Cuba)  
UFT

Conselho Técnico Científico  
- Esp. Joacir Mário Zuffo Júnior  
- Esp. Maurício Amormino Júnior  
- Lda. Rosalina Eufrausino Lustosa Zuffo

Ficha Catalográfica

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

P472 Pesquisas agrárias e ambientais [livro eletrônico] : volume XI / Organizadores Alan Mario Zuffo, Jorge González Aguilera. – Nova Xavantina, MT: Pantanal Editora, 2022. 239p.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

ISBN 978-65-81460-41-9

DOI <https://doi.org/10.46420/9786581460419>

1. Ciências agrárias – Pesquisa – Brasil. 2. Meio ambiente.  
3. Sustentabilidade. I. Zuffo, Alan Mario. II. Aguilera, Jorge González.  
CDD 630

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



Nossos e-books são de acesso público e gratuito e seu download e compartilhamento são permitidos, mas solicitamos que sejam dados os devidos créditos à Pantanal Editora e também aos organizadores e autores. Entretanto, não é permitida a utilização dos e-books para fins comerciais, exceto com autorização expressa dos autores com a concordância da Pantanal Editora.

**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000.  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil.  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp).  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)

## Apresentação

As áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais são importantes para a humanidade. De um lado, a produção de alimentos e do outro a conservação do meio ambiente. Ambas, devem ser aliadas e são imprescindíveis para a sustentabilidade do planeta. A obra, vem a materializar o anseio da Editora Pantanal na divulgação de resultados, que contribuem de modo direto no desenvolvimento humano.

O e-book “Pesquisas Agrárias e Ambientais Volume XI” é a continuação de uma série de volumes de e-books com trabalhos que visam otimizar a produção de alimentos, o meio ambiente e promoção de maior sustentabilidade nas técnicas aplicadas nos sistemas de produção das plantas e animais. Ao longo dos capítulos são abordados os seguintes temas: fatores físico-químicos que interferem no processo de compostagem; ácido húmico e microrganismos promotores de crescimento na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plantas de pepineiro; bioatividade de extratos de laranja e alho no desempenho germinativo de sementes de cenoura; paradigmas associados ao cultivo do eucalipto no cerrado; accelerated aging, cold, and electrical conductivity tests as parameters to analyze wheat seed vigor; germinação de sementes de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção: uma revisão; desempenho agrônomo de híbridos de milho em segunda safra no Mato Grosso do Sul; agricultura 4.0: desenvolvimento, aplicações e impactos sociais; uso do biofósforo como substrato para a produção de mudas; atributos físicos de uma toposequência de Luvisolos Crômicos (TC) no Semiárido paraibano; três espécies de *Senecio* (Asteraceae) proibidas na composição de produtos tradicionais fitoterápicos no Brasil; censo de roedores por consumo de alimentos no município de Paranaguá; uso da programação linear para estimar ganhos econômicos em sistemas de integração lavoura-pecuária: o caso da combinação da ovinocultura com atividades agrícolas no estado do Paraná, Brasil; comparação da presença de *Cryptococcus* spp. em área verde urbana antes e após processo de revitalização; dificuldades e estratégias na comercialização de produtos da feira livre da Quatorze de Março em Capanema, Pará; análise dos impactos ambientais causados pela urbanização no Igarapé Sajope no município de Igarapé-Açu – Pará; aspectos Sobre a Produção e Comercialização de Tomate Orgânico; produção de Brássicas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro. Portanto, esses conhecimentos irão agregar muito aos seus leitores que procuram promover melhorias quantitativas e qualitativas na produção de alimentos e do ambiente, ou melhorar a qualidade de vida da sociedade. Sempre em busca da sustentabilidade do planeta.

Aos autores dos capítulos, pela dedicação e esforços sem limites, que viabilizaram esta obra que retrata os recentes avanços científicos e tecnológicos na área de Ciência Agrárias e Ciências Ambientais Volume XI, os agradecimentos dos Organizadores e da Pantanal Editora. Por fim, esperamos que este ebook possa colaborar e instigar mais estudantes e pesquisadores na constante busca de novas tecnologias e avanços para as áreas de Ciências Agrárias e Ciências Ambientais. Assim, garantir uma difusão de conhecimento fácil, rápido para a sociedade.

Os organizadores

## Sumário


<b>Apresentação</b>	<b>4</b>
<b>Capítulo 1</b> .....	<b>7</b>
Fatores físico-químicos que interferem no processo de compostagem	7
<b>Capítulo 2</b> .....	<b>18</b>
Ácido húmico e microrganismos promotores de crescimento na germinação de sementes e desenvolvimento inicial de plantas de pepineiro	18
<b>Capítulo 3</b> .....	<b>27</b>
Bioatividade de extratos de laranja e alho no desempenho germinativo de sementes de cenoura	27
<b>Capítulo 4</b> .....	<b>38</b>
Ainda, sobre os paradigmas associados ao cultivo do eucalipto no cerrado	38
<b>Capítulo 5</b> .....	<b>55</b>
Accelerated aging, cold, and electrical conductivity tests as parameters to analyze wheat seed vigor	55
<b>Capítulo 6</b> .....	<b>66</b>
Germinação de sementes de espécies da flora brasileira ameaçadas de extinção: uma revisão	66
<b>Capítulo 7</b> .....	<b>81</b>
Desempenho agrônômico de híbridos de milho em segunda safra no Mato Grosso do Sul	81
<b>Capítulo 8</b> .....	<b>91</b>
Agricultura 4.0: desenvolvimento, aplicações e impactos sociais	91
<b>Capítulo 9</b> .....	<b>103</b>
Uso do biossólido como substrato para a produção de mudas	103
<b>Capítulo 10</b> .....	<b>115</b>
Atributos físicos de uma topossequência de Luvisolos Crômicos (TC) no Semiárido paraibano	115
<b>Capítulo 11</b> .....	<b>133</b>
Três espécies de <i>Senecio</i> (Asteraceae) proibidas na composição de produtos tradicionais fitoterápicos no Brasil	133
<b>Capítulo 12</b> .....	<b>141</b>
Censo de roedores por consumo de alimentos no município de Paranaguá	141
<b>Capítulo 13</b> .....	<b>158</b>
Uso da programação linear para estimar ganhos econômicos em sistemas de integração lavoura-pecuária: o caso da combinação da ovinocultura com atividades agrícolas no estado do Paraná, Brasil	158
<b>Capítulo 14</b> .....	<b>177</b>
Comparação da presença de <i>Cryptococcus</i> <i>ssp.</i> em área verde urbana antes e após processo de revitalização	177

<b>Capítulo 15</b> .....	<b>186</b>
Dificuldades e estratégias na comercialização de produtos da feira livre da Quatorze de Março em Capanema, Pará	186
<b>Capítulo 16</b> .....	<b>195</b>
Análise dos impactos ambientais causados pela urbanização no Igarapé Sajope no município de Igarapé-Açu – Pará	195
<b>Capítulo 17</b> .....	<b>206</b>
Aspectos Sobre a Produção e Comercialização de Tomate Orgânico	206
<b>Capítulo 18</b> .....	<b>221</b>
Produção de Brássicas na Região Serrana do Estado do Rio de Janeiro	221
<b>Índice Remissivo</b> .....	<b>235</b>
<b>Sobre os organizadores</b> .....	<b>236</b>


# Uso da programação linear para estimar ganhos econômicos em sistemas de integração lavoura-pecuária: o caso da combinação da ovinocultura com atividades agrícolas no estado do Paraná, Brasil


Recebido em: 14/06/2022

Aceito em: 16/06/2022

 10.46420/9786581460419cap13

Elísio de Camargo Debortoli<sup>1\*</sup> 

Alda Lúcia Gomes Monteiro<sup>2</sup> 

Augusto Hauber Gameiro<sup>3</sup> 

## INTRODUÇÃO

A gestão e o controle dos custos de produção são indispensáveis para a manutenção das atividades no meio rural. A programação matemática foi criada como instrumento para o planejamento, sendo uma ferramenta valiosa para construir cenários e realizar previsões (Dorfman, 1966).

Os modelos de otimização desenvolvidos a partir da técnica de programação linear são relevantes para auxiliar no planejamento e gestão da produção agropecuária, bem como para auxiliar na compreensão da complexidade e para estimar os ganhos potenciais do uso de sistemas integrados de produção (Gameiro et al., 2016). Os modelos devem ser simples e capazes de resolver os problemas demandados pelos produtores, ao mesmo tempo que precisam englobar os diversos fatores intrínsecos aos sistemas de produção animal, tais como os de natureza econômica e sociocultural. Diante disso, há crescente necessidade de se aplicar esse tipo de ferramenta na gestão dos sistemas de produção, buscando sua otimização e garantindo a viabilidade das atividades (Fontoura Júnior et al., 2007).

Modelos bioeconômicos são ferramentas para a compreensão dos impactos da produção e dos parâmetros econômicos para a eficiência de sistemas de produção de ovinos (Krupová et al., 2014). Comumente são desenvolvidos para correlacionar indicadores produtivos com o resultado econômico da ovinocultura.

A modelagem de sistemas de produção fornece informações sobre os níveis ótimos de produção (Gerichhausen et al., 2009) e apresenta-se como uma possível ferramenta para minimizar perdas, por meio do entendimento da dinâmica dos eventos do sistema, identificação dos pontos de estrangulamento da produção e orientação da elaboração de projetos, ou seja, para auxiliar os ovinocultores em sua tomada de decisão (Guimarães et al., 2010).

<sup>1</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS – *Campus* Sertão.

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR.

<sup>3</sup> Universidade de São Paulo – USP – Campus Pirassununga.

\* Autor correspondente: [elisio.debortoli@sertao.ifrs.edu.br](mailto:elisio.debortoli@sertao.ifrs.edu.br)



O uso da programação linear pode apresentar resultados positivos tanto no aspecto técnico e gerencial da produção, quanto para a gestão das pessoas. Já a simulação de cenários e identificação de resultados otimizados amplia o horizonte de análise dos gestores, permitindo maior segurança na tomada de decisão (Barros et al., 2017).

A programação linear favorece a modelagem da propriedade rural e, a partir de um modelo-base, torna-se possível realizar simulações para identificar as modificações nos resultados. Também permite observar diretamente o custo de oportunidade de cada fator de produção, podendo-se identificar e quantificar os fatores mais restritivos. Assim, apresenta-se como uma ferramenta que traduz a realidade técnico-econômica da propriedade e ainda oferece possibilidades para se prever a renda de cada alternativa produtiva. Como instrumento, a programação linear permite a análise, compreensão e reflexão nas negociações entre os agentes do setor agrícola, numa dinâmica de enfoque sistêmico (Dossa, 2004).

Diversos estudos têm apontado o potencial e a aptidão do estado do Paraná para a produção de carne ovina. Nesse sentido, o resultado econômico é fator determinante da manutenção desta atividade agropecuária no meio rural.

A integração lavoura-pecuária é uma opção consolidada para a redução dos riscos produtivos por meio da diversificação, que também pode gerar redução de custos pela interação e rotação das culturas (Helmerts et al., 2001). Diante de cenários de incerteza, produzir de forma eficiente torna-se insuficiente para manter-se e prosperar no negócio, sendo necessário desenvolver habilidades para a adaptação dos sistemas de produção, bem como a capacidade de flexibilização e diversificação das atividades produtivas.

Este estudo teve por objetivo estimar os efeitos da inserção da ovinocultura em sistemas de produção agrícolas do estado do Paraná na otimização dos recursos disponíveis e maximização do resultado econômico (lucro operacional), a partir da combinação ótima entre as diferentes possibilidades de produção e dos recursos disponíveis, por meio da técnica de programação linear.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para estimar os efeitos da integração da ovinocultura com outras atividades, foram utilizados dois modelos de integração lavoura-pecuária: o modelo descrito por Kutcher, Meeraus e O'Mara (1988) e o modelo descrito por Gameiro et al. (2016). No Quadro 1 estão descritas as principais características e resultados dos dois modelos utilizados nas simulações.

Para o modelo desenvolvido por Gameiro et al. (2016), foram realizadas as adaptações condizentes com a realidade da produção agropecuária do estado do Paraná, substituindo a produção de leite por ovinocultura, como atividade pecuária e, disponibilizando dez alternativas para cultivos agrícolas, sendo três culturas anuais de verão, uma cultura perene de verão e seis culturas anuais de inverno. Utilizou-se como referência um sistema de produção cooperativo, ou seja, que possui suporte logístico, de acesso a insumos, armazenagem e comercialização vinculado à uma cooperativa, o que reflete uma realidade observada no estado do Paraná.

**Quadro 1.** Principais características e resultados dos dois modelos utilizados para a simulação. Fonte: os autores.

<b>Características</b>	<b>Modelo de Gameiro et al. (2016)</b>	<b>Modelo de Kutcher et al. (1988)</b>
Objetivo geral	Estimar os ganhos econômicos potenciais, resultantes da integração da pecuária com a produção vegetal;	Maximizar a receita da propriedade por meio da melhor combinação entre fatores de produção limitados (terra, trabalho e água);
Hipótese	A produção agrícola e de animais em sistemas integrados na mesma propriedade pode gerar ganhos econômicos significativos e reduzir os impactos ambientais;	Os recursos produtivos (terra, trabalho e água) são escassos e a melhor combinação destes insumos pode proporcionar maior receita líquida para a propriedade;
Base de dados	Propriedade representativa localizada no estado de Minas Gerais, Brasil, com atividade principal a produção de leite;	Propriedade familiar do Paquistão dedicada a atividades agrícolas;
Tipo de técnica	Programação Linear;	Programação Linear;
Função objetivo	Maximização do lucro (Z);	Maximização do lucro (YFARM);
Unidade temporal	Mês;	Mês;
Período da análise	60 meses;	12 meses;
Área do sistema de produção	62,5 hectares;	10 hectares;
Resultados obtidos	A diversificação das atividades foi condição necessária para a obtenção de ganhos econômicos e indicou a possibilidade de redução dos custos em cerca de 30%, na comparação entre os cenários de maior e menor diversificação de atividades.	A solução otimizada combinou 80% dos cultivos propostos e priorizou o uso da terra com os cultivos mais intensivos em mão de obra. A análise de sensibilidade demonstrou que o principal fator limitante foi a disponibilidade de terra, sendo possível aumentar em 20% a receita média da propriedade com a duplicação da área disponível.

Para o modelo desenvolvido por Kutcher et al. (1988), foi mantida a demanda alimentar do rebanho resultante da aplicação do modelo de Gameiro et al. (2016), a partir de uma área fixa máxima para a produção de alimentos para os animais e criou-se cenários a partir da combinação das demais culturas agrícolas no restante de área disponível para a propriedade representativa.

Os dados referenciais para o sistema de produção de ovinos foram obtidos a partir de levantamentos realizados em 25 propriedades representativas de cinco mesorregiões produtoras de ovinos do estado do Paraná, para o ciclo de produção do ano de 2015. A coleta dos dados contou com o assessoramento técnico e logístico da Federação da Agricultura do Estado do Paraná – FAEP. Os dados agrícolas foram obtidos junto ao Departamento de Economia Rural (DERAL) da Secretaria da

Agricultura e Abastecimento (SEAB) do Estado do Paraná, à Fundação ABC para Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário e à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB).

A propriedade representativa nesta análise possui uma área de 130 hectares. Destes, 28 hectares são constituídos de reserva legal e área de preservação permanente (APP). Dos 102 hectares restantes, 100 hectares estão disponíveis para as culturas agrícolas e de produção forrageira e 2 hectares são ocupados por estradas e áreas construídas (instalações, benfeitorias e moradia).

São possibilidades de cultivo/produção no verão: tifton (*Cynodon* spp.) para pastejo, soja (*Glycine max* L.), milho (*Zea mays*) para colheita de grãos e milho para silagem. Já no inverno as áreas podem ser ocupadas com o cultivo de aveia (*Avena* spp.), cevada (*Hordeum vulgare*) ou trigo (*Triticum* spp.) para produção de grãos, cevada para a produção de silagem/pré-secado ou ainda o consórcio de aveia e azevém (*Lolium multiflorum*) para o pastejo dos ovinos ou para a produção de silagem/pré-secado.

Foi estipulado o número de 250 matrizes e 5 carneiros como estrutura inicial para a produção de cordeiros para carne. Tal valor é compatível com a média de matrizes (247 ovelhas) das cinco propriedades que apresentaram o menor custo de produção durante o ciclo analisado, entre as 25 propriedades representativas do estado do Paraná, utilizadas como referência neste estudo. O número de 250 matrizes foi também referenciado por Reijers (2016) como valor inicial e de melhor resultado econômico na análise de cenários para produção de ovinos utilizando modelo de simulação computacional híbrido.

Para a aplicação em ambos os modelos, considerou-se como unidade física das variáveis vegetais o hectare, e da variável animal o indivíduo (cabeça – próprio animal). As variáveis foram consideradas contínuas, sendo assim, para os animais foi utilizado como referência de otimização, o valor inteiro arredondado mais próximo do resultado processado. A unidade temporal referencial utilizada foi o mês, sendo proposto o período de 60 meses (5 anos) como período para a simulação, devido à necessidade de aproximação da realidade produtiva para a execução e disponibilização de recursos financeiros para análise de investimentos agropecuários.

Para os preços dos produtos agrícolas, foram utilizados os valores médios mensais para o período entre janeiro de 2011 a dezembro de 2015, retratando o histórico dos preços praticados nos últimos 60 meses, atualizados pelo Índice Nacional de Preço ao Consumidor (INPC) do IBGE para o período de dezembro de 2015. Tais séries históricas foram pesquisadas junto à Fundação ABC para Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário (2015), à pesquisa de preços pagos pelos produtores realizada pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, 2015) e à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para o estado do Paraná.

Para os produtos da ovinocultura, foi utilizada a série histórica de preços informada por uma cooperativa do estado do Paraná, referente ao preço do kg de carcaça do cordeiro, para o período entre janeiro de 2011 a dezembro de 2015, atualizados pelo INPC/IBGE para o período de dezembro de 2015.

A unidade referencial para mão de obra é a hora de trabalho. A demanda por mão de obra para cultivos ou manejo dos animais precisa ser alocada de acordo com a disponibilidade de pessoal e com a carga horária disponível. Não existem funcionários exclusivos, ou seja, cada unidade de mão de obra pode ser alocada nas diferentes atividades desenvolvidas.

No sistema cooperativista é comum o produtor manter uma conta corrente para a movimentação de insumos e recebimento do pagamento pela venda dos produtos. Partindo do pressuposto que os ingredientes da dieta apresentam os valores adequados de nutrientes para cada produto, a constituição da dieta será baseada na capacidade de ingestão de matéria seca (IMS) da categoria animal, expressa em percentual do peso vivo, seguindo a recomendação do NRC (2007); e os insumos alimentares desta dieta podem ser produzidos na propriedade ou retirados na conta corrente do cooperado. Há oscilação considerável nos preços desses insumos, devido ao volume adquirido e aos custos logísticos. A composição nutricional dos alimentos para o modelo proposto, seguiu prioritariamente os valores preconizados pelo National Research Council – NRC (2007).

O sistema de produção é misto, ou seja, os animais podem tanto permanecer estabulados como no pasto. É priorizado o uso dos ingredientes alimentares volumosos, produzidos na propriedade. A ração é utilizada como complemento alimentar, estrategicamente para categorias animais em períodos de maiores exigências (ovelhas gestantes, cordeiras de reposição e cordeiros em fase de terminação). Os animais recebem suplementação mineral ad libitum. A fonte e disponibilidade de água é natural e utilizada essencialmente para a dessedentação dos animais.

Apriscos fazem parte da estrutura de manejo dos ovinos no estado do Paraná, devido à necessidade de recolhimento dos animais à noite. Diante disso, é possível utilizar essas mesmas instalações para manter os animais estabulados e para realizar atividades de manejo. Os produtos da ovinocultura serão: cordeiros (as) para abate, borregas para venda a outros ovinocultores, ovelhas de descarte e carneiros de descarte.

Os custos variáveis – em R\$/hectare para vegetais e R\$/cabeça para animais – são considerados mensalmente conforme sua ocorrência, considerando as épocas de cultivos dos vegetais e das práticas de manejo dos animais, sendo estes: sementes, fertilizantes, defensivos, óleo diesel (para os vegetais); e, ração, sal mineral, vacinas e medicamentos (para animais). Os custos fixos são constituídos pela: energia elétrica, folha de pagamento, taxas anuais, depreciação de benfeitorias e equipamentos, assistência técnica e custos administrativos.

Nos custos dos insumos estão inseridos os custos logísticos, pois considerou-se o preço do insumo entregue pela cooperativa, na propriedade. Diante da ausência de séries históricas para os preços dos produtos da ovinocultura, utilizou-se a média dos valores mensais pagos pelos produtores vinculados às cooperativas da região central do estado do Paraná, para o período entre 2011 e 2015, corrigidos pelo INPC/IBGE para o período de dezembro de 2015. Os custos das atividades agrícolas foram baseados nas estimativas do custo de produção das culturas, referente ao ano de 2015, publicadas pelo

Departamento de Economia Rural (DERAL) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento (SEAB) do estado do Paraná.

No Quadro 2 são apresentados os índices do modelo de Gameiro et al. (2016), aplicados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná.

**Quadro 2.** Índices do modelo de Gameiro et al. (2016) utilizados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: Adaptado de Gameiro et al. (2016).

<b>Índices</b>	
$t$ :	tempo – expresso em meses (1, 2, 3,..., 60);
$c$ :	possibilidades de cultivos vegetais;
$c_i$ :	subconjunto de cultivos de inverno;
$c_v$ :	subconjunto de cultivos de verão;
$p$ :	produtos produzidos pela propriedade;
$g$ :	alimentos para os animais;
	Gv: subconjunto g de alimentos volumosos;
	Gc: subconjunto g dos alimentos concentrados;
	Gp: subconjunto g para alimentos baseados em pastagem;
$a$ :	categorias animais da propriedade;
$r$ :	requerimento nutricional;
$d$ :	conjunto dos grupos de dieta para os animais.

No Quadro 3 são apresentados os parâmetros do modelo de Gameiro et al. (2016) utilizados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná.

**Quadro 3.** Parâmetros do modelo de Gameiro et al. (2016) utilizados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: Adaptado de Gameiro et al. (2016).

<b>Parâmetros</b>	
$pprice_{pt}$	– preço do produto $p$ comercializado pela propriedade no período $t$ ;
$apyield_{ap}$	– produtividade da produção do produto $p$ de cada categoria animal $a$ ;
$animalcst_{at}$	– custo variável da produção de cada categoria animal $a$ no período $t$ ;
$animalbealth$	– custo mensal médio com sanidade dos animais;
$animallabor_a$	– demanda mensal de trabalho para cada categoria animal $a$ ;
$croplabor_c$	– demanda mensal de trabalho para cada cultura vegetal $c$ ;
$laboravailable$	– horas mensais de trabalho disponíveis na propriedade;
$laborfixedcost$	– custo fixo de mão de obra por mês;

<p><i>depreciation</i> – custo fixo de depreciação do capital imobilizado, por mês;</p> <p><i>mineralsupl</i> – custo mensal médio com suplementação mineral aos animais;</p> <p><i>energycst</i> – custo fixo mensal com energia elétrica;</p> <p><i>officecst</i> – custo fixo mensal com despesas administrativas;</p> <p><i>generaltaxes</i> – custo fixo mensal com taxas diversas;</p> <p><i>fixedcsts</i> – somatório dos custos fixos mensais (mão de obra, depreciação, energia elétrica, despesas administrativas e taxas diversas);</p> <p><i>cstinvfeed 0</i> – custo para a formação do estoque inicial de alimentos;</p> <p><i>gcst<sub>g,t</sub></i> – custo de aquisição do alimento concentrado <i>g</i> para alimentação animal no período <i>t</i>;</p> <p><i>cropecst<sub>c,t</sub></i> – custo variável para a cultura <i>c</i> no período <i>t</i>;</p> <p><i>croplabor<sub>c,t</sub></i> – demanda de trabalho na cultura <i>c</i> no período <i>t</i>;</p> <p><i>arequire<sub>ar</sub></i> – requerimento nutricional <i>r</i> para a categoria animal <i>a</i>;</p> <p><i>areacrop</i> – total de área disponível para agricultura;</p> <p><i>areacropsummer</i> – total de área disponível para agricultura no verão;</p> <p><i>areacropwinter</i> – total de área disponível para agricultura no inverno;</p> <p><i>areapasture</i> – total de área disponível exclusivamente para pastagem;</p> <p><i>areapasturesummer</i> – total de área disponível exclusivamente para pastagem no verão;</p> <p><i>areapasturewinter</i> – total de área disponível exclusivamente para pastagem no inverno;</p> <p><i>area</i> – área total da propriedade;</p> <p><i>occuparea<sub>c,t</sub></i> – indica se a cultura <i>c</i> pode ocupar a área no período <i>t</i>;</p> <p><i>occuparea<sub>a,t</sub></i> – indica se o animal <i>a</i> pode ocupar a área no período <i>t</i>;</p> <p><i>harvestdate<sub>c,t</sub></i> – indica em qual período <i>t</i> a cultura <i>c</i> pode ser colhida;</p> <p><i>lctfeed<sub>da</sub></i> – custo logístico para a alimentação de cada categoria animal <i>a</i> com o grupo da dieta <i>d</i>;</p> <p><i>feedlabor<sub>ad</sub></i> – demanda mensal de trabalho para alimentar a categoria animal <i>a</i> com o grupo da dieta <i>d</i>;</p> <p><i>truckcapacity</i> – capacidade do vagão forrageiro utilizado na propriedade;</p> <p><i>cropyield<sub>c</sub></i> – produtividade da cultura <i>c</i>;</p> <p><i>aprodfeed</i> – indica os alimentos volumosos produzidos na propriedade;</p> <p><i>amercfeed</i> – indica os alimentos concentrados adquiridos na cooperativa;</p> <p><i>invfeed<sub>g</sub></i> – estoque inicial de alimentos volumosos <i>g</i> na propriedade;</p> <p><i>addcosts</i> – custos fixos adicionais (depreciação, energia, despesas administrativas, taxas, etc.</p>
---

No Quadro 4 são apresentadas as variáveis do modelo de Gameiro et al. (2016) utilizadas para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná.

**Quadro 4.** Variáveis do modelo de Gameiro et al. (2016) utilizadas para a simulação com os dados produtivos do estado do paraná. Fonte: Adaptado de Gameiro et al. (2016).

Variáveis
<p>Z: resultado financeiro total do sistema no horizonte de planejamento, composto pela soma do lucro mensal;</p> <p><math>SALEPROD_{pt}</math>: produto <math>p</math> produzido na propriedade e vendido na cooperativa no período <math>t</math>;</p> <p><math>XA_{at}</math>: número de animais de cada categoria <math>a</math> em cada período <math>t</math>;</p> <p><math>CROP_{ct}</math>: cultura vegetal <math>c</math> plantada no período <math>t</math>;</p> <p><math>GRAZE_{ct}</math>: cultura vegetal para pastejo <math>c</math> disponível no período <math>t</math>;</p> <p><math>FEEDPROD_{gt}</math>: alimento volumoso <math>g</math> produzido pela propriedade no período <math>t</math>;</p> <p><math>FEED_{gat}</math>: alimento <math>g</math> fornecido aos animais da categoria <math>a</math> no período <math>t</math>;</p> <p><math>FEEDINV_{gt}</math>: estoque na propriedade do alimento volumoso <math>g</math> no período <math>t</math>;</p> <p><math>FEEDCOOP_{gt}</math>: alimento concentrado <math>g</math> adquirido na cooperativa no período <math>t</math>;</p> <p><math>LABORANIMAL_t</math>: alocação de mão de obra para o manejo de todas as categorias animais no período <math>t</math>;</p> <p><math>LABORCROP_t</math>: alocação de mão de obra para o manejo de todas as culturas vegetais no período <math>t</math>;</p> <p><math>LABORFEED_i</math>: alocação de mão de obra para o manejo da alimentação de todas as categorias animais no período <math>t</math>;</p> <p><math>LABORTOTAL</math>: alocação de mão de obra para as atividades da propriedade no período.</p>

A função objetivo foi adaptada do modelo proposto por Gameiro et al. (2016) para o caso em estudo e é expressa por:

$$\begin{aligned}
 Z = & \sum_{pt} (pprice_{pt}) SALEPROD_{pt} - \sum_{ct} cropcst_{ct} CROP_{ct} - \sum_{at} animalcst_{at} XA_{at} \\
 & - \sum_{ft} lfeed_{da} equipcapacity_d FEEDGROUP_{dat} - \sum_{gt} gcst_{gt} FEEDMERC_{gt} \\
 & - fixedcosts
 \end{aligned}$$

As restrições do modelo proposto por Gameiro et al. (2016) utilizadas para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná estão descritas no Quadro 5.

**Quadro 5.** Restrições do modelo de Gameiro et al. (2016) adaptadas para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: Adaptado de Gameiro et al. (2016).

Restrições
<p>1. Garantir o número de animais constantes no rebanho:  <math>XA_{at} = XA_{a(t+1)} \quad \forall a; 1 \leq t &lt; card(t)</math></p>
<p>2. Relação entre o número de matrizes e cordeiros nascidos no rebanho:</p>

$$XA_{bornlamb, t} = a (XA_{dam, t} + XA_{envelambr, t}) \quad \square \square t; a = 1,20$$

3. Relação entre o número de matrizes e borregas de reposição no rebanho:

$$XA_{envelambr, t} = \beta XA_{dam, t} \quad \square \square t; \beta = 0,22$$

4. Relação entre o número de matrizes e carneiros no rebanho:

$$XA_{ram, t} = \gamma XA_{dam, t} \quad \square \square t; \gamma = 0,02$$

5. Equação para o cálculo do número de cordeiros em relação à quantidade de matrizes do rebanho (ovelhas e borregas):

$$XA_{a, t} = \epsilon.XA_{envelambr, t} + \lambda.XA_{dam, t} \quad \square \square t; \epsilon = 0,85 ; \lambda = 0,90$$

6. Relação entre o número de matrizes e borregas para venda no rebanho:

$$XA_{envelambr, t} = \omega XA_{meatlambf, t} \quad \square \square \square \square t; \omega = 0,18$$

7. Relação entre o número de matrizes e cordeiros (as) para abate no rebanho

$$XA_{meatlambm, t} = \delta (XA_{envelambr, t} + XA_{dam, t}) \quad \square t; \delta = 0,65$$

8. Relação entre o número de matrizes e matrizes para descarte no rebanho

$$XA_{damd, t} = \Omega (XA_{dam, t}) \quad \square t; \Omega = 0,20$$

9. Composição da dieta:

$$FEEDINV_{gt} = FEEDINV_{g(t-1)} + FEEDPROD_{gt} + FEEDMERC_{gt} - \sum_A FEED_{gat} \quad \forall g, t;$$

10. Garantir a proporção mínima de volumoso na dieta:

$$\sum_g content_{gr} FEED_{gat} = arequire_{ar}. concnetrreq_a.XA_{at} \quad \forall a, t; \quad r \in \{drymatter\}$$

11. Garantir a proporção mínima de concentrado na dieta:

$$\sum_g voldem_a FEED_{agt} = arequire_{ar}. (1 - FEEDMERC_{gt}).XA_{at} \quad \forall a, r, t;$$

12. Garantir o fornecimento de energia e proteína na alimentação dos animais:

$$\sum_g content_{gr} content_{g, "drymatter"} FEED_{gat} \geq arequire_{ar}XA_{at} \quad \forall a, t; \quad r \in \{energy, crudpro\}$$

13. Garantir o fornecimento de minerais na alimentação dos animais:

$$\sum_g content_{gr}.FEED_{gat} = arequire_{ar}.XA_{at} \quad \forall a, t; \quad r \in \{minerals\}$$

14. Elaboração de dieta completa:

$$FEEDGROUP_{"completediet", a, t} = \sum_g FEED_{gat} \quad \forall a, t; \quad d \in \{completediet\}$$

15. Composição da dieta baseada em pastagem:

$$FEEDGROUP_{"pasture", a, t} = \sum_g FEED_{gat} \quad \forall a, t; \quad d \in \{pasture\}$$

16. Restrição de área:

$$\sum_c occuparea_{ct} CROP_{ct} \leq area \quad \forall t;$$

17. Disponibilidade de área para cultivo agrícola:

$$occuparea_{ct} CROP_{ct} = occuparea_{(t+1)}CROP_{(t+1)} \quad \forall c, t_{sowingdate}^c \leq t \leq t_{harvesdate}^c;$$

18. Restrição de área para cultivo agrícola no verão:

$$\sum_c occuparea_{ct} CROP_{ct} \leq areacropsummer \quad \forall t;$$

19. Restrição de área para cultivo agrícola no inverno:

$$\sum_c occuparea_{ct} CROP_{ct} \leq areacropwinter \quad \forall t;$$



20. Restrição de área para pastagens no verão:  

$$\sum_c occuparea_{ct} GRAZE_{ct} \leq areapasturesummer \forall t;$$

21. Restrição de área para pastagens no inverno:  

$$\sum_c occuparea_{ct} GRAZE_{ct} \leq areapasturewinter \forall t;$$

22. Produção de alimentos a partir das culturas c plantadas na propriedade  

$$\sum_g FEEDPROD_{gt} cropconv_{gt} = cropyield_c harvestdate_c CROP_{ct} \forall c, t; cropconv_{cg} \neq$$

23. Balanço dos estoques de alimentos g:  

$$FEEDINV_{gt} = FEEDINV_{g(t-1)} + aprodfeed_g FEEDPROD_{gt} + amercfeed_g MERCFEED_{gt} - \sum_a FEED_{gat}$$

24. Cálculo de produtos comercializados na propriedade:  

$$SALEPROD_{pt} = \sum_a apyield_{ap} XA_{at} + \sum_c cropyield_c CROP_{ct} \forall p, t;$$

25. Disponibilidade de trabalho:  

$$\sum_a animallabor_a XA_{at} + \sum_c croplabor_c CROP_{ct} \leq laboravailable \forall t;$$

26. Restrição de não-negatividade:  

$$PROD_{pt}, CROP_{ct}, XA_{at}, FEEDPROD_{gt}, FEEDINV_{gt}, SALEPROD_{pt} \geq 0$$

Para a composição do rebanho, foram desenvolvidas equações que retratam uma evolução de rebanho baseada em indicadores zootécnicos esperados, e que correlacionam o número de animais de diferentes categorias entre si. Essa proporção é importante na composição do modelo de otimização. A variável central é o número de ovelhas adultas (matrizes para reprodução). A partir desta, as demais categorias animais são mensuradas. O Quadro 6 descreve a composição resumida do rebanho ovino.

Para manter o número de animais constantes no rebanho, o número de matrizes (dam) será mantido estável em um determinado período t. O número de borregas para reposição (ewelambr) será igual ao número de matrizes de descarte (damd) + a compensação da taxa de mortalidade de animais adultos (TXMORSHEEP).

$$ewelambr = (damd + ramd) \times TXREPOS + ((dam + ram) \times TXMORSHEEP$$

**Quadro 6.** Composição resumida do rebanho ovino. Fonte: os autores.

<b>Categoria</b>	<b>Variável</b>
Ovelhas	<i>Dam</i>
Carneiros	<i>Ram</i>
Borregas para reposição	<i>Ewelambr</i>
Borregas para venda	<i>Ewelambv</i>
Ovelhas de descarte	<i>Damd</i>
Carneiros de descarte	<i>Ramd</i>
Cordeiras para abate	<i>Meatlambf</i>
Cordeiros para abate	<i>Meatlambm</i>
Cordeiros (as) até o desmame	<i>Bornlamb</i>

A taxa de reposição, TXREPOS, é representada no modelo pelo parâmetro  $\beta$ . Foi utilizado como referência a taxa de reposição de 20% em relação ao número ovelhas e carneiros do rebanho, valor preconizado pelas cooperativas de carne do estado do Paraná adicionada da compensação da TXMORSHEEP, considerada para esse modelo de 2%.

Para a geração de cordeiros a partir das categorias multiplicadoras, são necessários carneiros (ram). A técnica de inseminação artificial em ovinos é utilizada com maior frequência em rebanhos voltados à produção de genética (animais puros). Em levantamento realizado junto a rebanhos comerciais para produção de carne ovina do estado do Paraná, no ano de 2015, não foi observado o uso de inseminação artificial. Nesse sentido, para simulação nesse modelo, será utilizada a relação carneiro: ovelha (TXREPROD) recomendada pelas cooperativas de carne do estado do Paraná (1: 50) ou seja, 2% em relação ao número de matrizes, representado no modelo pelo parâmetro  $\gamma$ .

Serão utilizados os indicadores zootécnicos preconizados pelas cooperativas de carne ovina do estado do Paraná. Estes serão tratados em termos percentuais (taxas), sendo eles: taxa de mortalidade de cordeiros (TXMORLAMB); taxa de mortalidade de borregas (TXMOREWEL); taxa de mortalidade de ovelhas adultas (TXMORDAM); taxa de mortalidade de carneiros (TXMORRAM); taxa de prenhez de ovelhas (TXPREDAM) e; taxa de prenhez de borregas (TXPREEWEL). O número de animais reprodutores mortos é dado por:

$$\text{deadsheep} = \text{TXMOREWEL} (\text{ewelambr}) + \text{TXMORDAM} (\text{dam}) + \text{TXMORRAM} (\text{ram}).$$

A partir das taxas de mortalidade e reprodutivas, é possível obter-se a taxa média de geração de cordeiros (TXMGLAMB), pelo somatório da taxa média de geração de cordeiros a partir de borregas (TXMGLEWEL) com a taxa média de geração de cordeiros a partir de ovelhas (TXMGLDAM). No modelo proposto, TXMGLAMB é representada por  $\alpha$ ; TXPREEWEL é representada por  $\varepsilon$  e TXPREDAM é representada por  $\lambda$ . Sendo assim:

$$\text{TXMGLAMB} = (\varepsilon \cdot \text{TXPREEWEL} - \text{TXMORLAMB}) + (\lambda \cdot \text{TXMGLDAM} - \text{TXMORLAMB})$$

**Quadro 7.** Indicadores zootécnicos preconizados pelas cooperativas de carne ovina do estado do Paraná. Fonte: os autores.

<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>	<b>Indicador</b>	<b>Valor</b>
<i>TXREPOS</i>	22%	<i>TXMORRAM</i>	2%
<i>TXREPROD</i>	2%	<i>TXPREDAM</i>	90%
<i>TXMORLAMB</i>	10%	<i>TXPREEWEL</i>	85%
<i>TXMOREWEL</i>	2%	<i>TXMGLAMB</i>	130%
<i>TXMORDAM</i>	2%		

Em rebanhos ovinos comerciais destinados a produção de carne é desejável a ocorrência de partos gemelares, característica esta frequente para pequenos ruminantes e que, dependendo do manejo adotado e de aspectos raciais, pode representar taxa superior a de partos simples. Neste sentido, seguindo os

parâmetros preconizados pelas cooperativas de carne ovina do estado do Paraná, o Quadro 7 apresenta os índices zootécnicos utilizados para o desenvolvimento do modelo de otimização.

Este esquema proposto para composição do rebanho foi inserido no modelo de otimização, de modo que o número otimizado de animais em cada categoria possa ser sugerido, respeitando as relações entre as categorias e os indicadores zootécnicos preconizados.

Para a composição da receita proveniente da comercialização de animais destinados ao abate, venda ou descarte, considerou-se a seguinte equivalência: i) os cordeiros (as) para abate ( $meatlambm + meatlambf$ ) são os balizadores de preço no mercado; ii) as borregas para venda ( $ewelambv$ ) possuem preço 40% superior ao preço do cordeiro para abate; iii) as ovelhas de descarte ( $damd$ ), apesar de possuírem peso superior possuem preço que corresponde à 75% do preço dos cordeiros para abate; iv) os carneiros de descarte ( $ramd$ ), pesam em média o dobro de um cordeiro para abate, no entanto, o valor de mercado do kg vivo equivale à metade do preço dos cordeiros, ou seja, acabam possuindo o mesmo valor de um cordeiro para abate. Essas relações de equivalência de preço entre categorias estão sumarizadas no Quadro 8.

**Quadro 8.** Equivalência de preços entre categorias de ovinos comercializáveis (cabeças). Fonte: os autores.

Equivalência de preços entre categorias de ovinos comercializáveis (cab.)
$1 \text{ damd} = 0,75 \text{ meatlamb}$
$1 \text{ ewelambv} = 1,4 \text{ meatlambm}$
$1 \text{ ramd} = 1 \text{ meatlambm}$

Para a aplicação do modelo proposto por Kutcher et al. (1988), utilizou-se para a propriedade representativa a mesma área agrícola (100 hectares). Foram utilizados os valores para o preço dos insumos produtivos, preços recebidos pela comercialização de produtos, custos das culturas agrícolas e da ovinocultura obtidos junto à Fundação ABC para Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário (2015), à pesquisa de preços pagos pelos produtores realizada pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado do Paraná (SEAB, 2015), à Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) para o estado do Paraná, além dos valores mensais pagos pelos produtores vinculados às cooperativas da região central do estado do Paraná, para o período entre 2011 e 2015, corrigidos pelo INPC/IBGE para o período de dezembro de 2015.

Partindo do resultado de evolução do rebanho ovino encontrado na aplicação do modelo de Gameiro et al. (2016), fixou-se um valor mínimo de produção de alimentos para os animais (expresso em área ocupada por forrageiras), de acordo com a demanda alimentar do rebanho e com o tipo de alimento produzido. Diante dessa demanda, formulou-se cenários para serem testados pelo modelo de Kutcher et al. (1988), combinando a demanda alimentar do rebanho com as demais culturas agrícolas disponíveis no restante da área agrícola da propriedade (Tabela 1).

A função objetivo do modelo proposto por Kutcher et al. (1988) foi adaptada para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná, sendo representada por:

$$[YFARM]_{-t} = [REVENUE]_{-ct} + [LABEARN]_{-t} - [LABCOST]_{-t} - mcost$$

No Quadro 9 são apresentados os índices, parâmetros, variáveis e restrições do modelo de Kutcher et al. (1988), adaptados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná.

**Quadro 9.** Índices, parâmetros, variáveis e restrições do modelo de Kutcher et al. (1988) adaptados para a simulação com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: Adaptado de Kutcher et al. (1988).

<b>Índices</b>
<p><i>t</i>: tempo – expresso em meses (1, 2, 3,..., 60);</p> <p><i>c</i>: possibilidades de cultivos vegetais;</p> <p><i>p</i>: produtos produzidos pela propriedade;</p> <p><i>l</i>: possibilidades de uso do solo;</p> <p><i>o</i>:: produtividade das culturas agrícolas;</p> <p><i>r</i>: receita com as atividades agrícolas;</p>
<b>Parâmetros</b>
<p><i>pprice<sub>pt</sub></i> – preço do produto <i>p</i> comercializado pela propriedade no período <i>t</i>;</p> <p><i>yield<sub>c</sub></i> – produtividade da cultura agrícola <i>c</i>;</p> <p><i>mcost<sub>pt</sub></i> – custo operacional da cultura agrícola <i>c</i> no período <i>t</i>;</p> <p><i>tlab</i> – horas mensais de trabalho temporário contratado disponíveis na propriedade;</p> <p><i>owage</i> – custo de oportunidade do uso da mão de obra familiar fora da propriedade;</p> <p><i>twage</i> – salário do trabalhador contratado;</p> <p><i>dpm</i> – número de dias úteis por mês;</p> <p><i>laborreq<sub>pt</sub></i> – requerimento de horas trabalhadas pela cultura <i>c</i> no período <i>t</i>;</p> <p><i>landreq<sub>pt</sub></i> – área ocupada pela cultura <i>c</i> no período <i>t</i>;</p>
<b>Variáveis</b>
<p><i>YFARM<sub>t</sub></i> : resultado financeiro total do sistema no horizonte de planejamento;</p> <p><i>XCROP<sub>ct</sub></i> : cultura vegetal <i>c</i> plantada no período <i>t</i>;</p> <p><i>REVENUE<sub>ct</sub></i> : valor da produção da cultura <i>c</i> no período <i>t</i>;</p> <p><i>LABCOST<sub>t</sub></i> : custos com mão de obra no período <i>t</i>;</p> <p><i>LABEARN<sub>t</sub></i> : renda com o trabalho familiar no período <i>t</i>;</p> <p><i>FLAB<sub>t</sub></i> – horas mensais de trabalho familiar disponíveis na propriedade;</p> <p><i>FOUT<sub>t</sub></i> : oportunidade do uso do trabalho familiar no período <i>t</i></p> <p><i>TLAB<sub>t</sub></i>: trabalho temporário contratado no período <i>t</i>.</p>

<b>Restrições</b>	
1. Restrição quanto ao tamanho de área:	$LANDBAL_t = \sum XCROP_{ct} \cdot landreq_{pt} \forall c, p, t;$
2. Valor da produção agrícola:	$REVENUE_{ct} = \sum XCROP_{ct} \cdot yield_c \cdot pprice_{pt} \forall c, p, t;$
3. Disponibilidade de trabalho:	$\sum XCROP_{ct} \cdot laborreq_{ct} \leq FLAB_t + TLAB_t \forall c, t;$
4. Possibilidades de uso do trabalho familiar:	$FAMLAB_t = FLAB_t + FOUT_t \forall c, t;$
5. Custo da mão de obra:	$LABCOST_t = tlab.owage + lab.twage \forall t;$

A partir das adaptações do modelo proposto por Kutcher et al. (1988) em observações da realidade produtiva paranaense, foram criados dez cenários com a combinação da produção de alimentos de acordo com a expectativa da demanda alimentar média de volumosos para o rebanho ovino evoluído a partir do número máximo de 250 matrizes e definido pela aplicação do modelo Gameiro et al. (2016). O restante da área foi distribuído com possíveis combinações das demais culturas agrícolas disponíveis. A Tabela 1 descreve os dez cenários propostos.

**Tabela 1.** Cenários propostos para a aplicação do modelo de Kutcher et al. (1988) com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: os autores.

Cenário	Silagem	Silagem	Pré-	Pastagem	Pastagem	Soja	Milho	Cevada	Trigo	Aveia
	de milho	de cevada	secado de aveia e azevém	de tifton	de aveia e azevém					
	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)	(ha)
<b>C1</b>	21,84	-	-	-	-	52,00	26,16	33,33	33,33	33,33
<b>C2</b>	-	45,83	-	-	-	70,00	30,00	18,06	18,06	18,05
<b>C3</b>	-	-	68,08	-	-	70,00	30,00	10,64	10,64	10,64
<b>C4</b>	7,47	-	-	25,00	-	45,00	22,53	25,00	25,00	25,00
<b>C5</b>	9,20	-	-	-	38,10	60,00	30,80	20,63	20,63	20,63
<b>C6</b>	-	-	26,66	-	38,10	100,00	-	35,23	-	-
<b>C7</b>	21,84	-	-	-	-	52,00	26,16	100,00	-	-
<b>C8</b>	21,84	-	-	-	-	78,16	-	-	100,00	-
<b>C9</b>	21,84	-	-	-	-	-	78,16	-	-	100,00
<b>C10</b>	5,00	10,00	10,00	10,00	35,00	60,00	25,00	15,00	15,00	15,00

Os modelos matemáticos de Kutcher et al. (1988) e de Gameiro et al. (2016), adaptados para os dados produtivos do estado do Paraná foram processados com o uso do solver CPLEX por meio do software General Algebraic Modeling System (GAMS), versão 24.8.5.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos processos de modelagem retratam soluções de otimização, obtidas a partir de dados inseridos nos modelos. Portanto, quanto mais próximas à realidade produtiva forem as informações utilizadas, mais próximos dessa realidade estarão os resultados otimizados. A Tabela 2 reúne os resultados da otimização dos sistemas de produção de carne ovina a partir da aplicação do modelo de Gameiro et al. (2016) com os dados produtivos do estado do Paraná.

Ainda como resultados da composição do rebanho, o modelo otimizado indicou que 32 ovelhas permanecerão vazias e que o número de ovelhas de descarte deverá ser de no mínimo 36 cabeças. Este sistema de composição do rebanho a partir da definição do número de animais da categoria principal para, a partir dessa e, com base nos índices zootécnicos, gerar os montantes para as outras categorias também foi utilizado por Barros et al. (2017) que enfatizam a necessidade de maior monitoramento e organização da atividade, afim de identificar valores relacionados à cada unidade de produção e, conseqüentemente, garantir a acurácia dos dados.

**Tabela 2.** Características do modelo 1 otimizado para a produção de ovinos em combinação com atividades agrícolas no estado do Paraná a partir da aplicação do modelo de Gameiro et al. (2016). Fonte: os autores.

<b>Categoria</b>	<b>Resultado otimizado</b>
<b>Animais (cabeças)</b>	
Ovelhas	244
Carneiros	5
Cordeiros (as) para abate	160
Borregas reposição	60
Borregas para venda	44
<b>Cultivos (em hectares)</b>	
Silagem de milho (ano 1)	1,00
Pastagem de aveia e azevém (ano 1)	100,00
Soja (ano 1)	8,75
Soja (ano 2)	23,78
Cevada (ano 1)	71,33
Cevada (ano 2)	71,26
Cevada (ano 3)	71,26
Cevada (ano 4)	71,26
Cevada (ano 5)	15,42
Trigo (ano 5)	9,25

Quanto ao estoque inicial de alimentos, o modelo indicou a demanda por grãos em proporção semelhante à observada para a produção agrícola na simulação, além de ter utilizado milho grão, aveia grão e silagem de cevada. Nota-se que o modelo priorizou o uso da área agrícola para produção de alimentos para os ovinos no período de inverno, sendo 100% da área utilizada para pastejo dos ovinos no ano um e maior proporção da área para produção de cereais de inverno nos anos dois, três, quatro e cinco. Nos momentos de colheita de cereais de inverno, houve a maior demanda por mão de obra, sendo

indicada a contratação de mão de obra temporária no mês de novembro. O modelo considerou o uso de grãos estocados na cooperativa, como o caso da soja, para a formulação da dieta dos ovinos, equivalente à produção de 8,48 hectares.

O modelo de Gameiro et al. (2016) também considera custos de transação, representados por custos logísticos; variáveis ambientais como a reutilização dos dejetos animais e da água da limpeza do processo de ordenha nos tratos culturais e; o balanço de carbono equivalente emitido/sequestrado pelo sistema. Esse modelo apresenta como principais vantagens os benefícios dos processos de diversificação de atividades e integração lavoura-pecuária, tanto no aspecto de economias de escopo quanto nos ganhos ambientais. Para a aplicação desse modelo com os dados produtivos do estado do Paraná, encontrou-se como fator limitante a dificuldade de alternar a importância entre as atividades agrícola e de produção animal. O modelo de Gameiro et al. (2016) tem a bovinocultura de leite como atividade central, sendo a produção agrícola elementar para o fornecimento da alimentação para os animais. Para a realidade paranaense, seria interessante conduzir as culturas anuais de verão como atividades centrais e a produção de animais (ovinocultura) como atividade complementar e otimizadora dos insumos produtivos, na busca por economias de escopo.

O modelo de Kutcher et al. (1988) é relativamente pequeno em termos de variáveis e restrições simbólicas; enfatiza questões relacionadas à produção de alimentos para o consumo familiar, limitação de área e uso de mão de obra, inclusive sob o aspecto de oportunidade alternativa do uso da mão de obra em atividades não agrícolas. No entanto, apresenta como vantagens o efeito da combinação de atividades e a análise de sensibilidade em relação às suas restrições. Na Tabela 3 é apresentado o resultado dos dez cenários simulados com esse modelo e a relação do resultado financeiro do cenário otimizado com os demais, para os dados produtivos do Paraná.

**Tabela 3.** Resultado dos cenários para o valor da função objetivo e a relação entre o resultado financeiro do melhor cenário com os demais para a aplicação do modelo de Kutcher et al. (1988) com os dados produtivos do estado do Paraná. Fonte: os autores.

Cenário	Valor da função objetivo	Variação % em relação ao cenário otimizado (C6)
C1	1.956.750	15%
C2	2.146.666	17%
C3	2.101.033	16%
C4	1.979.790	15%
C5	1.929.967	15%
C6	12.810.107	“_”
C7	1.956.750	15%
C8	1.896.542	15%
C9	3.420.750	27%
C10	683.500	5,3%

O cenário 6 apresentou o melhor resultado econômico e está baseado na produção de soja em toda a área agricultável no verão e produção de alimentos para os ovinos no inverno com: 38,10% da área de inverno ocupada com pastagem de aveia e azevém; 26,66% com silagem pré-secada de aveia e azevém e 35,23% com cevada para produção de grãos. Tais resultados vão ao encontro das observações de campo nas mesorregiões abrangidas nesse estudo.

O cenário 9 foi apresentado o segundo melhor resultado econômico e utiliza: 21,84% da área agrícola no verão para produzir toda a demanda de forrageiras conservadas para os ovinos e o restante da área de verão (78,16%) é utilizada para a produção de milho grão. Esse cenário foge parcialmente da realidade de campo, pois a cultura do milho é considerada mais instável e arriscada que a cultura da soja, portanto, dificilmente o produtor irá elegê-la como cultura exclusiva para o verão no estado do Paraná. Neste cenário, toda a área de inverno foi destinada à produção de aveia grão, o que pode racionalmente ser adotado pelos produtores devido ao menor risco desta cultura.

O cenário 10 apresentou o pior resultado econômico. Neste cenário, foram produzidas todas as opções de cultivo, sendo no verão: 10% da área com pastagem de tifton, 5% com silagem de milho, 60% com soja e 25% com milho grão. Já no inverno a área foi utilizada: 10% com silagem de cevada, 10% com silagem pré-secada de aveia e azevém, 35% com pastagem de aveia e azevém, 15% com cevada grão, 15% com trigo grão e 15% com aveia grão. Neste cenário, o fator limitante é a mão de obra e, a partir do incremento desta variável, o resultado econômico tende a melhorar.

Sistemas de produção que integram produção animal e vegetal, têm potencial para fornecer serviços ecossistêmicos adicionais, evitando impactos negativos ao meio ambiente e, ao mesmo tempo, promover a rotação de culturas, os cultivos consorciados, o uso de cultivares de duplo propósito e o aproveitamento dos resíduos culturais pelo pastejo. Dessa maneira podendo auferir maior rentabilidade (Sulc: Franzluebbbers, 2014).

De acordo com o Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social (IPARDES) a área cultivada com soja no estado do Paraná, no ano de 2015, foi de aproximadamente 5,25 milhões de hectares, enquanto que o cultivo dos cereais de inverno aveia, cevada e trigo somados atingiram 1,44 milhões de hectares, ou seja, 27,47% das áreas de cultivo da soja no verão. Quando analisadas as cinco mesorregiões contempladas nesta pesquisa (Centro-Sul, Centro Oriental, Oeste, Sudoeste e Norte Central), este agrupamento compreende 60,26% da área cultivada com soja no estado, 59,33% da área de cultivo de trigo, 66,24% da área de cultivo de aveia e, 92,19% da área de cultivo de cevada. Quando comparada a área de cultivo de soja com as áreas de cultivo dos cereais de inverno elencados para estas cinco mesorregiões, há uma diferença de aproximadamente 900 mil hectares que não são utilizados para produção dos cereais de inverno (IPARDES, 2016). Nesse sentido, a integração lavoura-pecuária mostra-se como importante alternativa para a otimização destas áreas agricultáveis, sendo a ovinocultura uma das possibilidades para o desenvolvimento de sistemas de produção integrados.



A aplicação do modelo de Kutcher et al. (1988) com os dados produtivos do estado do Paraná, permitiu evidenciar diferentes combinações de culturas agrícolas para produção de grãos e para a produção de alimentos para os animais, ressaltando as épocas mais adequadas para cada uma dessas atividades e demonstrando o potencial do estado para a implantação de sistemas de integração lavoura-pecuária.

## CONCLUSÕES

A aplicação dos modelos de otimização permitiu a visualização das possibilidades produtivas e dos efeitos da combinação de insumos para a produção de ovinos integrada às atividades agrícolas no estado do Paraná.

Tanto na aplicação do modelo de Gameiro et al. (2016) quanto na aplicação do modelo de Kutcher et al. (1988), o resultado otimizado conduz a produção de alimentos para os animais a partir das culturas anuais de inverno, demonstrando a importância dos processos de integração para obter economias de escopo e maximizar o resultado econômico da produção agropecuária.

Na simulação de cenários, fica evidente os motivos pelos quais a sojicultura é a principal atividade agrícola da área de abrangência do estudo, ao mesmo tempo que revela o potencial de utilização destas áreas em processos integrados com a produção animal.

Novos estudos no âmbito da modelagem e programação linear podem auxiliar tanto os produtores quanto os profissionais da assistência técnica na determinação das proporções de combinação de atividades para a condução dos processos de produção e na tomada de decisão, visando obter melhores resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barros, C. S. et al. (2013). Farm-boarding school management: linear programming contributions in the search of self-sufficiency and optimization. *Journal of Agricultural Science*, 9, 59-73.
- BCB (2017). Banco Central do Brasil. Correção de valores. Disponível em: [www3.bcb.gov.br/calcidadeao](http://www3.bcb.gov.br/calcidadeao). Acesso em 20 mai. 2017.
- CONAB (2017). Companhia Nacional de Abastecimento. Preços Agropecuários. Disponível em: <http://sisdep.conab.gov.br/precosiagroweb>. Acesso em 20 mai. 2017.
- Dorfman, R. (1966). Programação Linear ou Programação Matemática (uma Exposição Não Matemática). *Revista de Administração de Empresas*, 6, 115-155.
- Dossa, D. (2004). Programação linear na gestão da propriedade rural: um enfoque alternativo. *Teoria e Evidência Econômica*, 2, 31-57.
- Fontoura Júnior, J. A. S. et al. (2007). Utilização de modelos de simulação em sistemas de produção de bovinos de corte. *Veterinária e Zootecnia*, 14, 19-30.

- Fundação ABC – Pesquisa e Desenvolvimento Agropecuário. Custos de Produção de Forrageiras – Safra 2015/2016. Disponível em: <http://fundacaoabc.org/forragicultura/img/custos.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2017.
- Gameiro, A. H. et al. (2016). Linear Programming in the economic estimate of livestock-crop integration: application to a Brazilian dairy farm. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 45, 181-189.
- Gerichhausen, M. et al. (2009). A quantitative framework to analyse cooperation between rural households. *Agricultural Systems*, 101, 173-185.
- Guimarães, V. P. et al. (2010). Modelagem de lotes de produção na eficiência e planejamento de sistemas de ovinos de corte. *Revista Científica de Produção Animal*, 12, 232-235.
- Helmers, G. A. et al. (2001). Separating the impacts of crop diversification and rotations on risk. *Agronomy Journal*, 93, 1337-1340.
- IBGE (2017) Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. INPC. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/precos-e-custos/9258-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor.html>. Acesso em: 27 set. 2017.
- IPARDES (2016). Instituto Paranaense de Desenvolvimento Econômico e Social. Base de dados do Estado – BDEWeb – Agropecuária – Produção Agrícola. Curitiba, 2016. Disponível em: <<http://www.ipardes.pr.gov.br/imp/index.php>>. Acesso em: 26 setembro 2016.
- Krupová, Z. et al. (2014). Impact of variation in production traits, inputs costs and product prices on profitability in multi-purpose sheep. *Spanish Journal of Agricultural Research*, 12, 902-9012.
- Kutcher, G. P. et al. (1998). *Modeling for agricultural policy and project analysis*, The World Bank: Washington.
- NRC (1895). National Research Council. *Nutrient Requirements of Sheep*. 6.ed. Washington DC, USA: NAP.
- Oliveira, J. E. G. et al. (2010). Optimized feed planning for a grazing horse production systems. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 39, 932-940.
- Reijers, T. S. S. S. (2016). *Desenvolvimento de um modelo computacional híbrido – baseado em agentes e em simulação de eventos discretos para a avaliação e planejamento da produção animal: uma aplicação na ovinocultura de corte*. Tese, USP, Pirassununga, São Paulo, Brasil.
- SEAB (2015). Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento do Paraná. Pesquisa: preços pagos pelos produtores. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=195>. Acesso em: 27 mai. 2017.
- Sulc, R. M.; Franzluebbbers, A. J. (2014) Exploring integrated crop–livestock systems in different ecoregions of the United States. *European Journal of Agronomy*, 57, 21-30.

## Índice Remissivo

- A**
- Agricultura 4.0, 91, 92  
 Altura de plantas, 83  
 Asteraceae, 134  
*Azospirillum brasilense*, 19, 20, 21
- B**
- Bacillus subtilis*, 19, 20, 22, 23, 24  
 Boca a Boca, 192, 195  
 Bosque, 179, 180, 181, 183, 185, 186  
 Brassicaceae, 223, 226
- C**
- CNC Flora, 69, 70  
 Compostagem, 8  
*Cryptococcus*, 179, 180, 183, 185, 186
- D**
- Densidade do solo, 120, 124
- G**
- Germinação, 66  
 Gestão Ambiental, 197
- I**
- Infraestrutura, 193
- L**
- Londrina, 179, 180, 183, 186
- M**
- Meio Ambiente, 200, 202  
 Microrganismos promotores de crescimento,  
 21, 23
- N**
- Nordeste brasileiro, 115
- P**
- pH, 8, 11, 12  
 Preço, 193
- S**
- Senecio*, 134, 135, 136, 137, 138, 139  
*Senecio brasiliensis*, 136, 137, 138, 139  
 Solanaceae, 211, 216
- T**
- Toxicidade, 138  
 Transporte, 193, 194, 196  
*Triticum aestivum* L., 55

## Sobre os organizadores



  **Alan Mario Zuffo**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (2010) na Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT). Mestre (2013) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal do Piauí (UFPI). Doutor (2016) em Agronomia - Fitotecnia (Produção Vegetal) na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Pós - Doutorado (2018) em Agronomia na Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul (UEMS). Atualmente, possui 165 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 127 resumos simples/expandidos, 66 organizações de e-books, 45 capítulos de e-books. É editor chefe da Pantanal editora e revisor de 18 revistas nacionais e internacionais. Professor adjunto na UEMA em Balsas. Contato: [alan\\_zuffo@hotmail.com](mailto:alan_zuffo@hotmail.com).



  **Jorge González Aguilera**

Engenheiro Agrônomo, graduado em Agronomia (1996) na Universidad de Granma (UG), Bayamo, Cuba. Especialista em Biotecnologia (2002) pela Universidad de Oriente (UO), Santiago de Cuba, Cuba. Mestre (2007) em Fitotecnia na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Doutor (2011) em Genética e Melhoramento de Plantas na Universidade Federal do Viçosa (UFV), Minas Gerais, Brasil. Pós - Doutorado (2016) em Genética e Melhoramento de Plantas na EMBRAPA Trigo, Rio Grande do Sul, Brasil. Professor Visitante na Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) no campus Chapadão do Sul (CPCS), MS, Brasil. Atualmente, possui 74 artigos publicados/aceitos em revistas nacionais e internacionais, 29 resumos simples/expandidos, 49 organizações de e-books, 37 capítulos de e-books. É editor da Pantanal Editora e da Revista Agrária Acadêmica, e revisor de 19 revistas nacionais e internacionais. Contato: [j51173@yahoo.com](mailto:j51173@yahoo.com), [jorge.aguilera@ufms.br](mailto:jorge.aguilera@ufms.br).



**Pantanal Editora**

Rua Abaete, 83, Sala B, Centro. CEP: 78690-000  
Nova Xavantina – Mato Grosso – Brasil  
Telefone (66) 99682-4165 (Whatsapp)  
<https://www.editorapantanal.com.br>  
[contato@editorapantanal.com.br](mailto:contato@editorapantanal.com.br)