

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JULIANE PIRES MARTINS MEIRELES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
SISTEMAS DE CICLO COMPLETO NA
PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE**

**Bagé
2023**

JULIANE PIRES MARTINS MEIRELES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
SISTEMAS DE CICLO COMPLETO NA
PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Orientador: Vinicius do Nascimento Lampert
Coorientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral

**Bagé
2023**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

Meireles, Juliane Pires Martins

Modelagem e simulação de sistemas de ciclo completo na produção de bovinos de corte / Juliane Pires Martins Meireles.

75 f.: il.

Orientador: Vinicius do Nascimento Lampert
Coorientador: Érico Marcelo Hoff do Amaral
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pampa, Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada, 2023.

1. Dinâmica de Sistemas. 2. Sistema de Produção. 3. Pecuária de corte. 4. Indicadores. I. Título.

JULIANE PIRES MARTINS MEIRELES

**MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE
SISTEMAS DE CICLO COMPLETO NA
PRODUÇÃO DE BOVINOS DE CORTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Computação Aplicada.

Área de concentração: Agropecuária de Precisão

Dissertação defendida e aprovada em: 10 de Novembro de 2023.

Banca examinadora:

Documento assinado digitalmente
 VINICIUS DO NASCIMENTO LAMPERT
Data: 20/12/2023 12:47:13-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vinicius do Nascimento Lampert
Orientador – EMBRAPA Pecuária Sul

Documento assinado digitalmente
 VICENTE CELESTINO PIRES SILVEIRA
Data: 21/12/2023 15:36:14-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Vicente Celestino Pires Silveira
Universidade Federal de Santa Maria

Documento assinado digitalmente
 ANDRE ROZEMBERG PEIXOTO SIMOES
Data: 21/12/2023 08:55:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. André Rozemberg Peixoto Simões
Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul

Documento assinado digitalmente
 SANDRO DA SILVA CAMARGO
Data: 20/12/2023 11:09:42-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sandro da Silva Camargo
Universidade Federal do Pampa

*“Temos de nos tornar a mudança que
queremos ver” (Mahatma Gandhi)*

AGRADECIMENTO

Ao meu esposo Vandelflan, pelo apoio durante o mestrado, principalmente quando tive que deixá-lo no Espírito Santo e ir morar no Rio Grande do Sul com nosso filho Otto para terminar as matérias de modo presencial. Pelo carinho e compreensão despendidos nos momentos especiais.

A toda minha família, pelas palavras de incentivo, por sua dedicação, e por serem sempre meu porto seguro.

Ao meu orientador Professor Dr. Vinicius do Nascimento Lampert pela ajuda, experiência e pela oportunidade em repassar os conhecimentos necessários sobre o tema desenvolvido neste trabalho.

Ao meu coorientador Professor Dr. Érico Marcelo Hoff do Amaral pelo conhecimento, estímulo e disponibilidade em me orientar nos momentos necessários.

Ao Professor Dr. Sandro da Silva Camargo pela ajuda incondicional, motivação e valiosos ensinamentos e, principalmente, pelo tempo compartilhado.

Ao Programa de Pós-Graduação em Computação Aplicada e à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), aos professores, pesquisadores, colegas e amigos.

À Banca examinadora pela predisposição e o tempo dedicado na avaliação deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho trata de uma modelagem e simulação em dinâmica de sistemas na pecuária de corte para entender a importância dos indicadores de produção animal e estimar o desempenho econômico, ao longo do tempo, através da estrutura de rebanho com ciclo completo. Este estudo tem como objetivo desenvolver um modelo para a dinâmica de sistemas de ciclo completo na pecuária de corte para estimar a produtividade geral a partir de coeficientes técnicos de produção por meio dos diagramas de *loop* causal e a direção ou magnitude das mudanças nos resultados. Estes podem ser estimados usando taxas de natalidade e mortalidade. A eficiência do sistema também inclui a taxa de lotação. Através de uma revisão sistemática de literatura, foi possível identificar as metodologias e ferramentas computacionais utilizadas nas modelagens e simulações de sistemas de cria, recria e ciclo completo de produção. Os resultados mostraram que dependendo do custo e da receita um aumento na natalidade pode favorecer a produtividade e o lucro por hectare. A modelagem e a simulação buscaram quantificar a magnitude dos efeitos dos indicadores utilizados ao longo do tempo, considerando limites máximos de investimento ou custos.

Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas. Sistema de Produção. Pecuária de corte. Indicadores.

ABSTRACT

This work deals with modeling and simulation in system dynamics in beef cattle farming to understand the importance of animal production indicators and estimate economic performance, over time, through the herd structure with a complete cycle. This study aims to develop a model for the dynamics of full-cycle systems in beef cattle farming to estimate general productivity from technical production coefficients through causal *loop* diagrams and the direction or magnitude of changes in the results. These can be estimated using birth and death rates. System efficiency also includes stocking rate. Through a systematic literature review, it was possible to identify the methodologies and computational tools used in modeling and simulations of breeding, recreating and complete production cycle systems. The results showed that depending on cost and revenue, an increase in birth rates can favor productivity and profit per hectare. Modeling and simulation sought to quantify the magnitude of the effects of the indicators used over time, considering maximum investment limits or costs

Keywords: Modeling, Production System, Beef Livestock.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Metodologia da Pesquisa.	16
Figura 2	Fases da Pesquisa.....	18
Figura 3	Etapas da Revisão Sistemática.....	20
Figura 4	Quantidade de artigos encontrados por repositório.	22
Figura 5	Componentes utilizados na ferramenta dinâmica de sistemas.....	28
Figura 6	Relação entre variáveis.	30
Figura 7	Relação entre variáveis.	30
Figura 8	Relação entre variáveis.	31
Figura 9	Sistema de produção em ciclo completo no Brasil.....	33
Figura 10	Captura de tela do modelo de gado predador-presa diagrama causal (estoques e fluxos) implementado no NetLogo.	37
Figura 11	Modelador Dinâmico utilizado para Simulação: Fluxograma Completo.....	38
Figura 12	Estrutura do modelo din ^a mica de sistema adotado.....	39
Figura 13	Procedimento de Modelagem.	40
Figura 14	Primeira etapa do diagrama de influência.....	44
Figura 15	Segunda etapa do diagrama de influência.....	44
Figura 16	Terceira etapa do diagrama de influência.	45
Figura 17	Modelo Inicial.....	46
Figura 18	Diagrama Inicial Netlogo.	47
Figura 19	Monitor de comandos	50
Figura 20	Resultado obtido no primeiro ano.	51
Figura 21	Resultado obtido no quinto ano.	52
Figura 22	Resultado obtido no sexto ano.....	53
Figura 23	Demonstrativo da Simulação.....	54
Figura 24	Resultado obtido no primeiro cenário.	56
Figura 25	Resultado obtido no terceiro cenário.....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Critérios de inclusão e exclusão	23
Tabela 2 Sistematização dos Achados.....	24
Tabela 3 Índices zootécnicos médios do rebanho brasileiro e em sistemas envolvendo cria, recria e engorda com uso mais intensivo de tecnologia.	36
Tabela 4 Estrutura de rebanho - Ciclo completo	50
Tabela 5 Condições de outros parâmetros zootécnicos para taxa de natalidade e custo do rebanho.	55

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AREAEXP	Área Explorada
AREANAT	Ocupação Natalidade
CAB	Cabeça de gado
CUST	Custo Cabeça Rebanho
CUSTREB	Custo do Rebanho
DESOC	Desocupação
MORT	Mortalidade
NAT	Natalidade
PRV	Preço de Venda
PM	Peso Médio
REBEXC	Rebanho Excedente
REBF	Rebanho Final
REC	Receita de venda
TXLOT	Taxa de Lotação
TXMORT	Taxa de Mortalidade
TXNAT	Taxa de Natalidade
UA	Unidade Animal

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Problema de pesquisa	13
1.2 Justificativa	13
1.3 Objetivos	14
1.4 Organização do trabalho	15
2 METODOLOGIA	16
2.1 Classificação da pesquisa	16
2.2 Etapas da pesquisa	17
3 REFERENCIAL TEÓRICO	20
3.1 Revisão Sistemática de Literatura	20
3.2 Dinâmica de Sistemas	27
3.3 Diagrama de Influência	29
3.3.1 Feedback	31
3.4 Sistema de Produção de Gado de Corte	32
3.4.1 Aplicações Netlogo em Sistemas de Produção Pecuária de Corte	36
3.5 Modelagem e Simulação	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1 Descrição do modelo	43
4.2 Interface Netlogo	46
4.3 Simulação Dinâmica Netlogo	49
5 CONCLUSÕES	58
5.1 Trabalhos Futuros	59
REFERÊNCIAS	60
ANEXO A – CONDIÇÕES DE USO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO MODELO	69
APÊNDICE A – CÓDIGO NETLOGO	71

1 INTRODUÇÃO

A bovinocultura de corte é uma importante atividade econômica no Brasil. Segundo ABIEC- Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras De Carnes (2020), o Brasil desempenha um papel fundamental nos mercados globais de carne bovina, pois é o maior exportador e segundo maior produtor mundial de carne bovina, com produtividade média anual em torno 120 kg de peso corporal (aproximadamente 60 kg de carcaça) por hectare (FREITAS; PRUDENCIO; FILHO, 2022). Entre o 3º trimestre de 2019 e o 2º trimestre de 2023, a quantidade de animais abatidos chegou em aproximadamente 7,4 milhões de cabeças de bois, vacas, novilhos e novinhas que estão amplamente dispersas por todo o país (IBGE, 2023).

Em 2022, o Brasil exportou carne bovina para 159 países e a receita de exportação de carne bovina do Brasil aumentou 45,5% em comparação com o mesmo período de 2021.¹ As previsões atuais são de que esses números continuarão a aumentar em grande parte devido às condições favoráveis do mercado. Além disso, a melhoria da produtividade será indispensável para que o setor brasileiro de carne bovina se mantenha como protagonista no mercado doméstico e internacional.

Embora o desempenho econômico de produção de carne bovina seja favorável nos últimos anos, melhorias na produtividade podem continuar sendo o caminho para elevar a lucratividade a níveis suficientes para garantir que a indústria de carne bovina permaneça economicamente viável. Para ajudar na produção bovina, os produtores rurais podem contar com as ferramentas tecnológicas de produção e gestão para obter avanços nos sistemas de produção, bem como entender as práticas de criação (cria, recria e terminação), tipo de sistema (intensivo, semi-intensivo e extensivo) e práticas de manejo para atingir os benefícios esperados (ANDRADE; FERREIRA,).

O uso de modelos de simulação oferece uma oportunidade econômica para explorar a resposta de empreendimentos de pecuária extensiva às mudanças nas práticas de manejo de rebanho e recursos como resultado de avanços tecnológicos (ASH et al., 2015). As propriedades rurais são caracterizadas por estruturas e dinâmicas de rebanho complexas que estão sujeitas a interações entre um clima variável e recursos de pastagem, o que gera um risco de produção.

A metodologia aplicada em alguns modelos de simulação é baseada na representação do rebanho usando um grupo de indivíduos cujo comportamento deriva

¹<https://www.abiec.com.br/exportacoes-brasileiras-de-carne-bovina-tem-crescimento-de-455-na-receita-ate-julho/>

do desempenho de um animal médio (SIEBERS et al., 2010), ou ainda para simplificar e entender a realidade de como as variáveis dos sistemas afetam a atividade da pecuária de corte uma vez que estes consideram os principais fatores da produção de gado (PINI et al., 2014). O desenvolvimento desses modelos se deve principalmente à forte relação entre a economia e os resultados produtivos para que os produtores possam tomar a melhor decisão.

Ademais, o uso de modelos de simulação gera dinamicamente cenários alternativos em relação a produtividade para análise e otimização energética e econômica aplicados a comunidades agrícolas e zootécnicas (MATURO et al., 2021). Dessa forma, o desenvolvimento de um modelo de simulação pode indicar ao produtor rural quais variáveis ele poderá manipular para aumentar a produtividade e o retorno econômico.

1.1 Problema de pesquisa

A modelagem e simulação desenvolvidas por meio de um software computacional de dinâmica de sistemas de cria, recria e terminação na produção na pecuária de corte podem auxiliar a gestão dos sistemas de produção e facilitar as tomadas de decisão dos produtores rurais no entendimento da produtividade?

1.2 Justificativa

Tradicionalmente, a modelagem e simulação convertem o conhecimento especializado em modelos dinâmicos e os simulam para entender mais sobre sistemas. Assumindo que a modelagem pode ser uma ferramenta relevante para lidar com tais mudanças sistêmicas, os agricultores são incentivados a redesenhar seus sistemas de pecuária em profundidade para melhorar sua produtividade. De fato, a modelagem e simulação formalizam o mundo real em um ambiente e, em seguida, imitam os processos e as operações do mundo real (NILOOFAR et al., 2020).

Enquanto as técnicas de modelagem tornaram-se ferramentas e práticas úteis para representar, descrever, explicar, prever e/ou avaliar a realidade das mudanças nos sistemas agrícolas, outros diversos meios de investigação normalmente empregam modelos matemáticos tradicionais que emulam o problema com uma mera questão técnica, desde o ponto de apenas uma disciplina. Conseqüentemente, a falta de dados disponíveis e

as limitações de experimentos envolvendo os aspectos socioeconômicos dos sistemas agrícolas tornam inexplicáveis certas propriedades e comportamentos utilizando métodos tradicionais (MORA-HERRERA; HUERTA-BARRIENTOS; ZÚÑIGA-ESCOBAR, 2021). Portanto, uma abordagem que reflita as características naturais dos fenômenos em questão, pode ser capaz de conectar os aspectos dos sistemas agrícolas conforme as diretrizes socioeconômicas.

Nesse sentido, o uso de ferramentas desenvolvidas sob o arcabouço metodológico das ciências complexas, como na dinâmica de sistemas, facilita a explicação da estrutura hipotética do sistema que causa um comportamento dinâmico observado. A análise destes comportamentos podem incluir resultados básicos e de curto prazo, como preços e vendas, mas também dinâmicas de mudança estrutural e de longo prazo, com melhorias em competitividade e rentabilidade. Estes resultados a longo prazo podem ser contra-intuitivos e, portanto, difíceis de prever sem uma análise dinâmica formal (SIMÕES et al., 2020).

Trabalhos anteriores sobre a dinâmica de sistemas sugeriram software de simulação e banco de dados para aumentar a eficiência e rentabilidade em sistemas de pecuária de corte. Estes trabalhos estão descritos na seção 3.4.1. Dessa forma, o foco em dinâmica de sistemas parece ser razoavelmente pertinente para representar, simular e analisar a complexidade dos sistemas agropecuários.

1.3 Objetivos

Desenvolver um modelo de simulação para sistemas de produção de gado de corte em ciclo completo para estimar a produtividade geral a partir de coeficientes técnicos de produção.

São, ainda, objetivos específicos deste trabalho:

1. Desenvolver uma revisão sistemática de literatura sobre técnicas/ferramentas empregadas no sistema de produção de gado de corte.
2. Desenvolver um modelo de simulação usando o método de Dinâmica de Sistemas.
3. Simular a quantidade de animais a serem comercializados em diferentes cenários produtivos.

1.4 Organização do trabalho

Em relação à estrutura dos capítulos deste trabalho, além desta seção de introdução, apresenta-se da seguinte forma: No Capítulo 2 tem-se a Metodologia que identifica e analisa qualitativamente as principais características deste trabalho. No Capítulo 3 é apresentado o Referencial Teórico. No Capítulo 4 apresentam-se os Resultados e Discussões obtidos através da análise dos dados pela modelagem e simulação. O trabalho é finalizado no Capítulo 5 com a conclusão e propostas para trabalhos futuros.

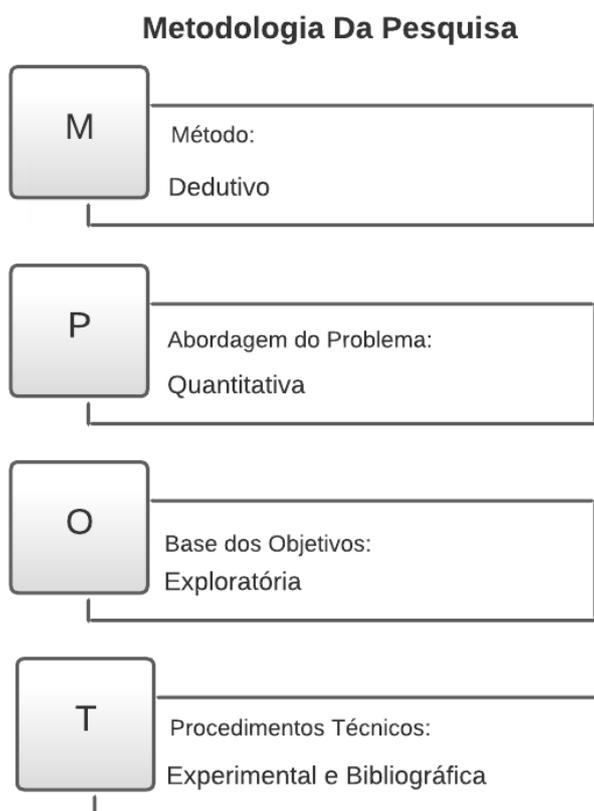
2 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a caracterização da pesquisa, bem como as etapas do método utilizado no desenvolvimento deste trabalho.

2.1 Classificação da pesquisa

Segundo Del-Masso, Cotta e Santos (2012), as pesquisas científicas podem ser classificadas quanto à natureza, ao método, a base dos objetivos, quanto ao procedimento técnico e quanto à abordagem do problema. Os parâmetros da metodologia científica são resumidos na Figura 1.

Figura 1 – Metodologia da Pesquisa.



Fonte: Autor (2023).

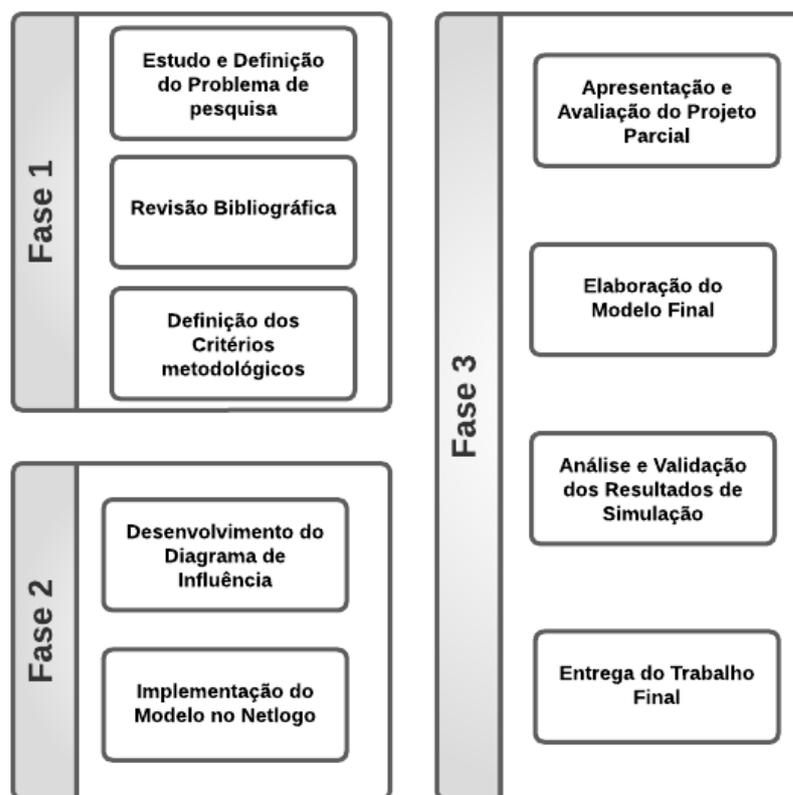
Empregou-se o método dedutivo, visto que foi avaliada a hipótese de trabalho formulada para análise dos resultados e enfim chegada de conclusões. Quanto a sua natureza, esta pesquisa é caracterizada como uma pesquisa aplicada, levando em consideração que as variáveis de saída poderão medir a eficiência de aspectos produtivos, econômicos e ambientais no sistema de produção na pecuária de corte. Como abordagem de pesquisa, adotou-se como quantitativa, pois esta possui como principal característica o ato de mensurar as variáveis de pesquisa. Segundo Miguel et al. (2010), as variáveis são determinadas pela teoria e o pesquisador pouco interfere nelas. Quanto aos objetivos, buscou-se de forma exploratória simular o comportamento de um sistema ao longo do tempo e, conseqüentemente, gerar informações para tomar a melhor decisão de interesse.

Em relação aos procedimentos técnicos, esta pesquisa é classificada como experimental, pois buscou-se avaliar e manipular as variáveis de forma a observar se cada alteração produz os resultados esperados através da modelagem e simulação. Outro procedimento técnico característico desta pesquisa é a bibliográfica, para embasar o desenvolvimento do trabalho, buscou-se encontrar soluções similares ao problema colocado através da revisão sistemática de literatura.

2.2 Etapas da pesquisa

A proposta de modelagem e simulação da dinâmica de sistemas contempla as seguintes etapas principais: a) construção de diagramas que visam o entendimento explícito de um problema contendo as relações entre as variáveis do modelo como forma representativa de "mapas mentais" dos analistas e tomadores de decisão; b) especificação e desenvolvimento de modelos matemáticos, que visam formalizar as relações de *feedback* e o tempo decorrido entre estímulo e resposta do sistema e; c) simulações do modelo, que testam cenários diferentes em relação aos diagramas de *loop* causal. A Figura 2 mostra claramente as etapas da pesquisa definidas e previamente avaliadas, respeitando a metodologia científica adotada.

Figura 2 – Fases da Pesquisa.



Fonte: Autor (2023).

A fase 1 é definida como a etapa inicial deste trabalho, a escolha do tema e do problema de pesquisa ocorreram com base em estudos relacionados à aplicação de modelagem no processo produtivo agropecuário. Desta forma, para melhor busca de material científico e análise crítica das produções acadêmicas relacionadas ao problema de pesquisa, foi feita uma revisão sistemática de literatura pela ferramenta *Parsifal*¹, descrita na seção 3.1.

A importância da revisão sistemática de literatura esteve na necessidade de compreender as ferramentas existentes em sistema de produção na pecuária de corte, quais técnicas podem ser empregadas na cria, recria e terminação e de que forma os modelos de simulação se comportam nessas ferramentas. Os critérios metodológicos foram definidos como uma base metodológica formulada aos aspectos do estudo para avaliar a utilidade prática e a validade dos resultados da pesquisa.

A fase 2 contempla a análise do comportamento ao longo do tempo através

¹<https://parsif.al/>

de diagramas de *loop* causal como uma hipótese dinâmica. Na primeira etapa, foram desenvolvidos três diagramas de influência, conhecido como Diagramas de *Loop* Causal, descrevendo como as variáveis podem se reforçar (R) ou se equilibrar (B). As influências causais entre duas variáveis são indicadas por uma seta. Cada um desses vínculos causais tem polaridade e isso explica como essas variáveis estão relacionadas. Ele pode se mover na mesma direção ou na direção oposta.

Os diagramas fornecem uma representação simplificada dos processos básicos de feedback de fluxo de estoque representados posteriormente no modelo dinâmico, além de descrever possíveis comportamentos hipotéticos do sistema. A partir disso, com o intuito de testar a efetividade do modelo proposto, implementou-se os dados no software Netlogo. Na seção 4 é apresentada a descrição do modelo e o detalhamento da execução da implementação.

A fase 3 é definida como a etapa final do trabalho, apresentação e avaliação do projeto parcial, discussão e ajustes ao modelo. O foco principal nesta etapa foi avaliar a eficácia de se investir na proposição defendida neste trabalho. Ao longo do desenvolvimento foram feitos testes de simulação, foram empregados os dados de entrada e observados se os dados de saída correspondiam aos resultados dos diagramas de *loop* causal. Por fim, foram realizados testes de simulação em diferentes cenários produtivos com o objetivo de facilitar a análise do lucro por hectare junto a situações hipoteticamente reais para obtenção de informações que contribuam com a tomada de decisão na propriedade rural.

Com base nos conceitos teóricos estudados e os resultados alcançados, realizou-se a entrega final do trabalho sobre a pesquisa desenvolvida. Nesta última etapa, avaliou-se a capacidade de predição da produtividade perante as variáveis utilizadas. Esta capacidade pode ser melhorada e tornar o sistema de produção cada vez mais robusto para que seja possível auxiliar o produtor da maneira mais eficaz e eficiente possível.

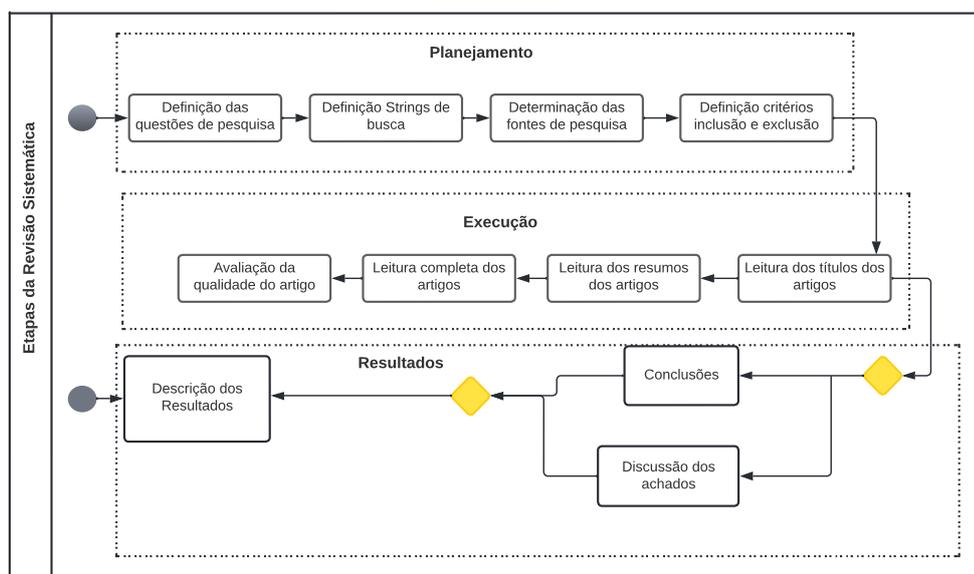
3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo serão abordados fundamentos e teorias relacionados ao sistema de produção agropecuário, modelagem e simulação, dinâmica de sistemas, e por fim, tecnologias aplicadas à simulação as quais podem ser consideradas elementos fundamentais para este estudo.

3.1 Revisão Sistemática de Literatura

Para a revisão sistemática de literatura, foi definido um protocolo de revisão, com o auxílio da ferramenta *Parsifal*¹. Essa ferramenta auxilia o planejamento e execução da revisão sistemática, desde a elaboração do protocolo até o desenvolvimento dos resultados. A estrutura para o protocolo adotado estava organizado em um conjunto de etapas: definição das questões de pesquisa, definição das *strings* de busca, determinação das fontes de pesquisa, definição dos critérios de inclusão e exclusão dos trabalhos, leitura parcial e completa dos trabalhos, conforme a Figura 3.

Figura 3 – Etapas da Revisão Sistemática.



Fonte: Adaptado de Martins; Gorsekek (2016).

De acordo com o fluxograma, o processo de revisão sistemática inclui várias etapas, que podem ser agrupadas em três fases principais: planejamento, condução e

¹<https://parsif.al/>

resultados(VILELA et al., 2017). A revisão de literatura foi motivada pela integração mais estreita das simulações no processo de sistema de produção em pecuária de corte.

As questões de pesquisa escolhidas para refletir o que se pretende descobrir com o levantamento bibliográfico foram as seguintes:

- **(Q1)** Quais os sistemas de modelagem existentes na pecuária de corte com foco em incremento de produtividade?
- **(Q2)** Quais as técnicas/ferramentas empregadas nos sistemas em cria, recria e ciclos completos de produção na pecuária de corte?

As palavras-chave foram escolhidas em idioma inglês, definidas como: *beef cattle*, *modeling* e *software*, com os respectivos sinônimos, também no idioma inglês: *beef farming*, *livestock cutting*, *modelling*, *simulation*. Nesse contexto, através das palavras-chaves, foram definidas as *strings* de busca pelos repositórios digitais ACM Digital Library², IEEE Digital Library³, El Compendex⁴, Scopus⁵ e Science Direct⁶.

A *string* de busca base definida foi ("*modeling*"OR "*modelling*"OR "*simulation*") AND ("*beef cattle*"OR "*beef farming*"), porém nos repositórios digitais IEEE Explore, ACM Digital e Science Direct foram determinadas *strings* de buscas diferentes, pois cada repositório varia o tipo de sintaxe, desta forma, foram feitos testes para a qualidade das *strings* de busca em cada biblioteca digital a fim de estabelecer uma busca acurada para identificação de diferentes trabalhos sobre o tema de pesquisa. Portanto, as *strings* de busca utilizadas foram as seguintes:

- **String 1** ("*modeling*"OR "*modelling*"OR "*simulation*") AND ("*beef cattle*"OR "*beef farming*") - Utilizada nos repositórios digitais SCOPUS e EL COMPENDEX.
- **String 2** ("*modeling*"OR "*modelling*"OR "*simulation*") AND ("*software*") AND ("*beef cattle*"OR "*beef farming*"OR "*livestock cutting*") - Utilizada nos repositórios digitais IEEE EXPLORE e ACM Digital Library e SCOPUS.
- **String 3** ("*livestock cutting*"OR "*beef farming*") AND ("*software*") AND ("*simulation*") - Utilizada no repositório digital Science Direct.

A Figura 4 mostra os repositórios dos 225 artigos científicos encontrados após a importação dos repositórios digitais na ferramenta utilizada.

²<http://portal.acm.org>

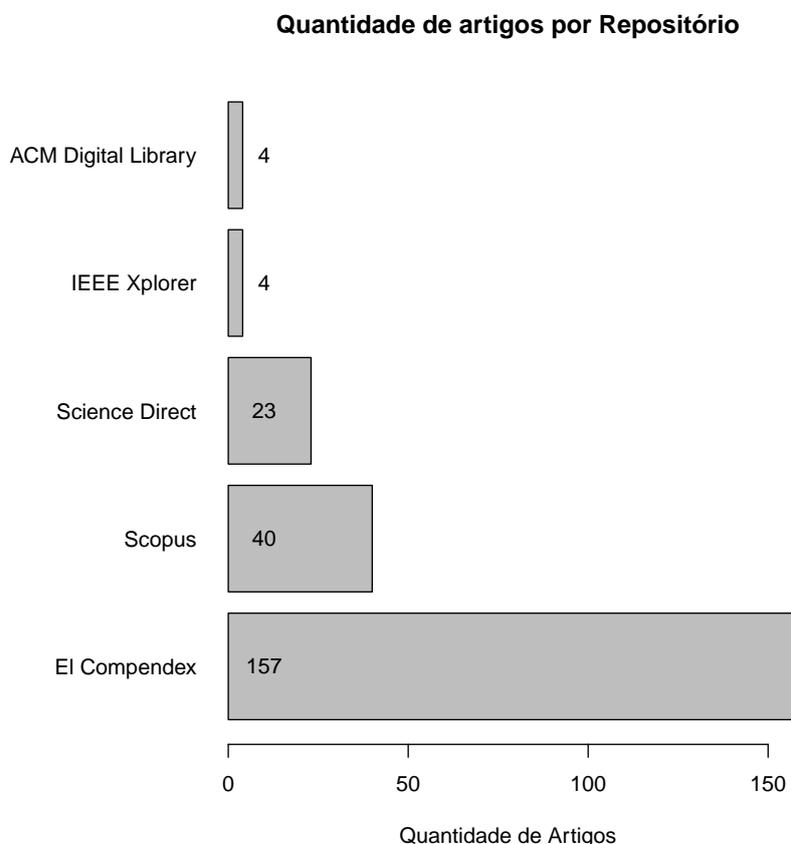
³<http://ieeexplore.ieee.org>

⁴<http://www.engineeringvillage.com>

⁵<http://www.scopus.com>

⁶<http://www.sciencedirect.com>

Figura 4 – Quantidade de artigos encontrados por repositório.



Fonte: Autor (2023).

No sentido de manter somente os trabalhos relacionados ao objetivo da revisão sistemática de literatura, foram estabelecidos critérios de inclusão e exclusão, mostrados na Tabela 1.

Para realizar a filtragem dos 225 trabalhos, quatro etapas foram executadas sequencialmente com o auxílio da ferramenta (PARSIFAL, 2021):

1) Eliminação de trabalhos redundantes ou publicados há mais de 10 anos, o que reduziu de 225 para 158 trabalhos, resultando em uma redução de 29,78%.

2) Leitura de títulos para descarte de artigos não relacionados ao tema da pesquisa. Foram considerados apenas os artigos com sistemas de modelagem na pecuária de corte, escritos nas línguas inglesa, portuguesa ou espanhola, com ano correto de publicação e sem duplicatas, o que reduziu de 158 para 80 trabalhos, resultando em uma redução de 50,63%.

Tabela 1 – Critérios de inclusão e exclusão

Critério de Inclusão	Critério de Exclusão
Artigos que apresentam o uso de sistemas de produção em modelagem em bovinos de corte.	Artigos publicados em idiomas diferentes da língua inglesa.
Artigos que abordam técnicas e ferramentas empregadas em sistema de cria, recria e ciclo completo de produção na pecuária de corte	Artigos sem qualquer tipo de avaliação das tecnologias adotadas.
Artigos publicados nos últimos 10 anos.	Resumos ou resenhas de artigos científicos, dissertações ou teses.
Estudo primário.	Artigos Duplicados.

Fonte: Autor (2023).

3) Leitura dos resumos que abordam técnicas e ferramentas empregadas em sistema de cria, recria e ciclo completo de produção na pecuária de corte, o que reduziu de 80 para 53 trabalhos, resultando em uma redução de 33,75%.

4) Leitura integral dos 53 trabalhos restantes. Nesta etapa, foram descartados 17 dos 52 trabalhos, resultando em uma redução de 32,69%. Os trabalhos por não apresentarem aspectos suficientes do uso de sistemas em modelagem em bovinos de corte.

Objetivamente, considerou-se os artigos que apresentavam os índices de produtividade média dos animais em variáveis de entrada e saída, tecnologias e métodos utilizados para viabilizar a produção. Também, considerou-se a apresentação de resultados consistentes. Os 35 trabalhos restantes foram avaliados na etapa de análise bibliométrica.

Os 35 artigos selecionados geram informações e conhecimentos sobre o tema da pesquisa, considerando o reconhecimento científico dos artigos, os repositórios, os autores e o ano de publicação. Vale ressaltar que também foram selecionados outros quatro artigos: Lampert et al. (2020), Canellas (2015), Carvalho (2016) e Vargas (2020). Estes trabalhos não estavam nos repositórios selecionados do *Parsifal*, porém possuem grande relevância para o tema da pesquisa. Portanto, esta revisão foi realizada sobre 39 artigos selecionados, conforme a Tabela 2.

O repositório digital *Scopus* teve o maior número de resultados com 17 artigos, e *Science Direct* em segundo com 14 artigos filtrados, ambos possuem o melhor retorno de material conceituado. A partir da seleção e leitura dos artigos escolhidos foi possível responder as questões de investigação que nortearam esta pesquisa.

Tabela 2 – Sistematização dos Achados

Autor	Modelo	Sistema (software)
Lancaster; Larson, 2022	Estocástico e Variante	R
McGee et al., 2022	Estático	SAS®
Arroqui et al., 2021	Variante	Simugan
Calvano et al., 2021	Determinístico	Microsoft Excel®
Logan et al., 2021	Estocástico	R
Maturo et al., 2021	Dinâmico	NetLogo
Harris et al., 2021	Dinâmico	APSIM + .NET
Hlavat et al., 2021	Dinâmico	Microsoft Excel®
Taylor et al., 2020	Estático	Microsoft Excel®
Vargas, 2020	Determinístico	Microsoft Excel®
Lampert et al., 2020	Determinístico	Microsoft Excel®
Filipini et al., 2020	Estático e determinístico	Vensim PLE
Oliveira et al., 2019	Estocástico	MATLAB
Schulte et al., 2019	Dinâmico	Python e Tensorflow
Yang et al., 2019	Dinâmico	AnyLogic
Enciso et al., 2019	Estocástico	@Risk
Setianto et al., 2019	Dinâmico	Vensim PLE e iThink®
Lopes et al., 2018	Determinístico e estocástico	Microsoft Excel®com @RISK
Wang et al., 2018	Estático	Microsoft Excel®
Marques et al., 2017	Determinístico	SAS®
Gaspar et al., 2017	Determinístico	Microsoft Excel®
Oltjen, 2017	Estocástico	Microsoft Excel®
Ruviaro et al., 2016	Determinístico	Microsoft Excel®
Carvalho, 2016	Variante	Microsoft Excel®
Harfuch et al., 2016	Dinâmico	Microsoft Excel®
Wang et al., 2016	Dinâmico	Netlogo
Tanure et al., 2015	Dinâmico	iThink®
Ash et al., 2015	Dinâmico	Microsoft Excel®
Moura et al., 2015	Dinâmico	Matlab
Dick et al., 2015	Estocástico	SimaPro
Canellas, 2015	Dinâmico	- Microsoft Excel®
Mancini et al., 2014	Dinâmico	Microsoft Excel®
Pravia et al., 2014	Estocástico	Microsoft Excel®
Mayer et al., 2013	Estocástico	BeefSpecs
Pini et al., 2014	Determinístico	Microsoft Excel®
Turner et al., 2013	Dinâmico	Stella™
Santana et al., 2013	Determinístico	Embrapec (Java)
Oaigen et al., 2013	Estocástico	SPSS®

(Q1) Quais os sistemas de modelagem existentes na pecuária de corte com foco em incremento de produtividade?

Na leitura feita dos 39 artigos selecionados, observou-se que os sistemas computacionais de rebanho estimam métodos para aumentar o potencial de produtividade. Apenas o trabalho de Arroqui et al. (2021) não teve esta finalidade, porém desenvolveu um simulador web cliente-servidor que permite aos usuários uma fazenda virtual de maneira simples e de baixo custo. Os trabalhos de Calvano et al. (2021), Hlavatý et al. (2021), Taylor et al. (2020), Vargas (2020), Lampert et al. (2020), Lopes et al. (2018), Wang et al. (2018), Gaspar et al. (2017), Oltjen (2017), Ruviaro et al. (2016), Carvalho (2016), Harfuch et al. (2016), Ash et al. (2015), Canellas (2015), Mancini et al. (2014), Pravia et al. (2014), Pini et al. (2014) desenvolveram sistemas através do Microsoft Excel®. Em Lopes et al. (2018) além da utilização do Microsoft Excel® também utilizou-se o @RISK7.5. O Enciso et al. (2019) também desenvolveu o sistema por @RISK. O único trabalho desenvolvido pelo SimaPro versão 7.3.3 foi o Dick, Silva e Dewes (2015).

Em Filipini et al. (2020), Setianto et al. (2019) utilizaram o software Vensim PLE 6.1. O software iThink®9.1.4 foi utilizado pelos trabalhos de Tanure, Nabinger e Becker (2015) e Setianto et al. (2019). Os sistemas em McGee et al. (2022), Marques et al. (2017), Marques, Magnabosco e Lopes (2012) foram desenvolvidos pelo programa *Statistical Analysis System* (SAS®), ambos para aplicações de processamento e análise estatística de dados relacionados a indicadores de eficiência bioeconômica.

Vale ressaltar que as pesquisas na área de sistema de produção estão sendo aplicadas em vários países, o que mostra sua importância para o setor agropecuário. O software AnyLogic 8.3.3, usado no trabalho de Yang et al. (2019), têm características similares ao software Netlogo 6.0.4 empregado pelos trabalhos Wang et al. (2016) e Maturo et al. (2021), ambos são baseados em simulações multiagentes e utilizam a linguagem Java.

Q2) Quais as técnicas/ferramentas empregadas nos sistemas em cria, recria e ciclos completos de produção na pecuária de corte?

Os modelos de Lancaster e Larson (2022), Logan et al. (2021), Maturo et al. (2021), Harris et al. (2021), Hlavatý et al. (2021), Lampert et al. (2020), Filipini et al. (2020), Oliveira et al. (2019), Lopes et al. (2018), Marques et al. (2017), Gaspar et al. (2017), Ruviaro et al. (2016), Harfuch et al. (2016), Ash et al. (2015), Mancini et

al. (2014), Pravia et al. (2014), Pini et al. (2014), Turner et al. (2013), Santana et al. (2013), Oaigen et al. (2013) avaliaram o impacto dos indicadores de produção animal através de equações diferenciais, integrais, cálculo de modelagem, regressão linear, dentre outros, para estimar os parâmetros de saída do sistema. Já o trabalho de Schulte et al. (2019) utilizou o método de redes neurais de *Long Short-Term Memory* (LSTM) em linguagem Python. Esses trabalhos determinaram estratégias “ótimas” com a finalidade de encontrar o conjunto ótimo de regras de decisão dada a precisão no conhecimento atual dos parâmetros.

Os trabalhos de Lancaster e Larson (2022), Taylor et al. (2020), Vargas (2020), Lopes et al. (2018), Gaspar et al. (2017), Carvalho (2016), Pini et al. (2014), Turner et al. (2013) foram aplicados em sistema de cria, que ocorre geralmente de seis a dez meses de idade. Nos trabalhos Gaspar et al. (2017), Oltjen (2017), Ash et al. (2015), Pravia et al. (2014), Pini et al. (2014) em recria, fase de desmame e início de reprodução. Em McGee et al. (2022), Vargas (2020), Lopes et al. (2018), Gaspar et al. (2017), Ash et al. (2015), Pravia et al. (2014), Pini et al. (2014) na fase de terminação. Finalmente, os trabalhos de Vargas (2020), Filipini et al. (2020), Gaspar et al. (2017), Pini et al. (2014), Santana et al. (2013) foram desenvolvidos em ciclo completo. Os sistemas de produção em ciclo completo apresentam um cenário amplo em que os produtores possam tomar decisões frente à sua atividade produtiva, ademais apresenta uma maior representatividade nas maiores regiões do Brasil, como o Rio Grande do Sul.

Os sistemas desenvolvidos em McGee et al. (2022), Filipini et al. (2020), Taylor et al. (2020) e Wang et al. (2018) utilizaram o método estático. Já os trabalhos Arroqui et al. (2021) e Carvalho (2016) desenvolveram o modelo variante. Os trabalhos Lancaster e Larson (2022), Logan et al. (2021), Enciso et al. (2019), Lopes et al. (2018), Oltjen (2017), Dick, Silva e Dewes (2015), Pravia et al. (2014), Oaigen et al. (2013), Mayer et al. (2013) e Marques, Magnabosco e Lopes (2012) desenvolveram o método estocástico. A abordagem estocástica é geralmente mais adequada para resolver os modelos de pecuária manejo, uma vez que seus parâmetros estão associados à utilização dos animais e, portanto, possuem um componente aleatório. Calvano et al. (2021), Vargas (2020), Filipini et al. (2020), Lampert et al. (2020), Lopes et al. (2018), Marques et al. (2017), Gaspar et al. (2017), Ruviano et al. (2016), Pini et al. (2014) e Santana et al. (2013) utilizaram modelos determinísticos. Os modelos de simulação determinísticos foram aplicados para avaliar a eficiência biológica e econômica em diferentes cenários na pecuária de corte. Maturo et al. (2021), Harris et al. (2021), Hlavatý et al. (2021),

Schulte et al. (2019), Setianto et al. (2019), Yang et al. (2019), Wang et al. (2018), Harfuch et al. (2016), Wang et al. (2016), Ash et al. (2015), Canellas (2015), Moura et al. (2015), Tanure, Nabinger e Becker (2015), Mancini et al. (2014) e Turner et al. (2013) desenvolveram soluções baseadas em método dinâmico. Os sistemas dinâmicos prevalecem como o método mais utilizado nos trabalhos descritos, o que é algo relevante, pois considera as mudanças na composição do rebanho e no desempenho de um único animal ao longo do tempo.

Diante do exposto, é possível identificar que os trabalhos citados possuem principal ênfase em técnicas que utilizam sistemas computacionais como um método para medir a eficiência de aspectos produtivos, econômicos e ambientais, objetivando o melhoramento produtivo. Entretanto, estes trabalhos não apresentam modelagem e simulação em multiagentes através de sistemas de produção na pecuária de corte ao longo do tempo. Embora em alguns encontram-se modelos baseados em simulações multiagentes em outras áreas de conhecimento como forma de fundamentar a técnica escolhida para o problema de pesquisa. Além disso, a capacidade da união dessas técnicas estima-se que a utilização de dinâmica de sistemas em ciclo completo na pecuária de corte é uma solução viável e com ampla capacidade de sucesso, observada a literatura atual.

3.2 Dinâmica de Sistemas

A Dinâmica de Sistemas é uma metodologia que usa teoria de *feedback* e controle de informações para avaliar negócios e assuntos complexos. Esta abordagem busca estudar as estruturas dos sistemas organizacionais e sociais por meio das relações causais descritas em termos de estoques e fluxos (fluxos sendo as relações entre os estoques) por meio do estudo de sua evolução ao longo do tempo. O foco principal da metodologia é a estrutura composta pelas interações dos elementos (fluxos e níveis) entre eles (FIGUEIREDO, 2010). Essencialmente, a dinâmica de sistema visa prever o comportamento de um sistema e, para isso, depende fortemente do uso de um modelo com uma estrutura complexa e os ciclos de *feedback* que vinculam cada elemento dentro dessa estrutura.

A complexidade dinâmica surge como o comportamento contra-intuitivo de sistemas complexos pela interação dos agentes ao longo do tempo. Ela surge, porque os sistemas complexos estão em constante mudança, fortemente acoplados, governados por *feedback*, não lineares, auto-organizados, adaptativos e resistentes a gestão, entre outras

características (STERMAN, 2001).

O processo de dinâmica de sistema de acordo com Rodriguez-Ulloa R. (2005), segue três etapas resumidas da seguinte forma:

- Compreensão do problema dinâmico;
- Construção de modelo causal qualitativo;
- Construção de modelo de simulação quantitativa.

A ênfase na definição do problema é uma dos principais passos da metodologia dinâmica de sistemas. O problema é descrito juntamente com os fatores causais e as relações entre eles, esses fatores são enquadrados em ciclos de informação-*feedback* que são usados para modelagem. Na construção do modelo é utilizado um diagrama causal de sinal que ajuda a compreender as influências entre as variáveis/elementos. Uma vez que o modelo é construído, diferentes cenários são analisados e usados para testar diferentes decisões. Os usuários podem explorar diferentes situações hipotéticas.

Segundo Han et al. (2015), a modelagem e simulação é desenvolvida através de diagramas com fluxos, conversores, estoques e conectores. A Figura 5 mostra o significado de cada componente utilizado na modelagem.

Figura 5 – Componentes utilizados na ferramenta dinâmica de sistemas.

COMPONENTES	DEFINIÇÕES
<p>ESTOQUE</p> 	Os estoques: abrangem as variáveis armazenadas de forma potencial para a utilização por outros componentes da modelagem.
 <p>FLUXOS</p>	Os fluxos: representam as variáveis responsáveis pela modificação dos estoques.
 <p>CONVERTER</p>	Os <i>conversores</i> : têm como função definir as equações algébricas dos fluxos, estoque ou outros auxiliares, mediante operações algébricas.
 <p>CONECTOR</p>	Os conectores: possuem a função de inter-relacionar todos os componentes do sistema, com o propósito de formar as equações algébricas.

Fonte: Filho, Figueiredo e Neto (2009).

Em dinâmica de sistemas, estoques representam estoques reais de materiais, indivíduos, animais, dentre outros, que consiste em formalizar o modelo especificando as variáveis de estoque que caracterizam o modelo em qualquer instante t . Seus valores

variam em função dos fluxos que alimentam ou esvaziam os estoques. Fluxos definem suas taxas de mudança – como os valores dos estoques mudam e definem a dinâmica do sistema. Os fluxos consistem, portanto, em canais de transporte de matéria ou energia. Eles são conservativos e são controlados por torneiras que regulam o fluxo dependendo das forças que atuam sobre o sistema (GRIGORYEV, 2015).

Desta forma, as variáveis auxiliares podem ser constantes ou o resultado de uma equação pode depender de outras variáveis. Os fluxos oferecem a possibilidade de introduzir a não linearidade. Essas informações são representadas dentro do modelo por links que atuam como rotas de informação.

No nível metodológico, é necessário que os *loops* de *feedback* positivo e negativo sejam identificados. Os *loops* de *feedback* negativo têm um efeito estabilizador, pois reduzem o fenômeno, enquanto os *loops* de *feedback* positivo o amplificam. Esta etapa de conceituação identifica se o modelo é influente ou causal (CORSON; OLIVIER, 2015).

Na pesquisa agrícola, especialmente no campo da pecuária de corte, embora tenha sua própria abordagem para entender o sistema, ou seja, abordagem biofísica, ainda é limitada pela existência da complexidade agropecuária (RAILSBACK; GRIMM, 2019).

A dinâmica de sistemas pode representar a cadeia de produção de carne bovina levando em conta as especificidades de cada animal, como sua raça e sexo. Além de incluir elementos que podem levar em conta variáveis aleatórias, como peso ao nascer, taxa de crescimento, preços per capita do bezerro ou atributos que respondem pelas proporções esperadas do animal (ADDIS et al., 2022).

3.3 Diagrama de Influência

O diagrama de influência, conhecido como diagrama de *loop* causal, é uma abordagem apropriada para avaliar problemas (comportamentos ao longo do tempo que são considerados problemáticos pelos tomadores de decisão) envolvendo variáveis multidimensionais conectadas por processos de *feedback* que fornecem uma representação visual da estrutura do sistema e do *Stock-and-Flow* (diagrama que destaca estruturas de atraso e taxas que controlam os principais resultados dinâmicos). Juntos, esses diagramas descrevem a hipótese dinâmica (STERMAN, 2001).

Essas ferramentas de diagramação fornecem uma base para o desenvolvimento e avaliação de um modelo formal de simulação matemática. O diagrama causal representa os elementos-chave do sistema e as relações entre eles, é uma ferramenta importante para

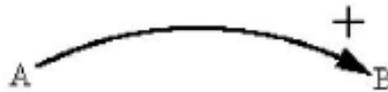
a representação esquemática do *feedback* de sistemas e é útil para representar de forma qualitativa e simplificada hipóteses sobre as causas da dinâmica (GARCÍA, 2020).

Como discutido acima, é importante elaborar versões que aproximem-se cada vez mais do modelo complexo final. O conjunto mínimo de elementos e relações que serve para reproduzir a referência histórica de um sistema é o que forma a estrutura básica do sistema.

As variáveis de um sistema e as relações hipotéticas entre essas variáveis podem ser representadas graficamente. O diagrama mostra as relações como setas entre as variáveis. Essas setas são marcadas com um sinal (+ ou -) que indica a influência que uma variável exerce sobre a outra. A "+" significa que uma mudança na variável de influência produzirá uma mudança na mesma direção no alvo. A "-" significa que o efeito será o oposto (FORRESTER, 1997).

Então, quando um aumento em A resulta em um aumento em B, ou uma queda em A causa uma queda em B, esta é uma relação positiva, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Relação entre variáveis.



Fonte: Adaptado de Sterman (2001).

Quando um aumento em A resulta em uma queda em B, ou uma queda em A causa um aumento em B, esta é uma relação negativa, que é expressa na Figura 7.

Figura 7 – Relação entre variáveis.



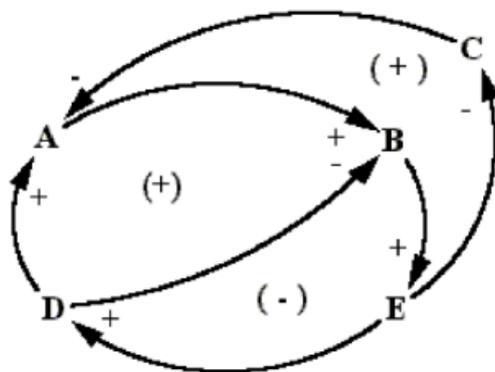
Fonte: Adaptado de Sterman (2001).

3.3.1 Feedback

Uma cadeia fechada de relacionamentos pode ser chamada de *loop* ou *loop de feedback*. O diagrama pode ser *loop de feedback* de reforço ou de balanço. O *Loop* de Reforço é representado pela letra R no seu centro, a mudança em uma direção é composta por mais mudanças. Por exemplo, o dinheiro em uma conta poupança gera juros, o que aumenta o saldo da conta poupança e rende mais juros, ou seja, à medida que o tempo passa esta se torna cada vez maior (comportamento exponencial). Já o *Loop* de Balanço ou *loop* de balanceamento, representado pela letra B no seu centro, contrabalançam a mudança em uma direção com a mudança na direção oposta, ou seja, retroalimentação em um modelo a partir de uma variável resposta obtida em um tempo n , contribui para que este, em um tempo $n+1$, mantenha-se mais próximo de um equilíbrio pré-estabelecido, em comparação ao tempo n (SANTOS et al., 2019).

Quando é construído um modelo, aparecem *loops*. Por exemplo, a Figura 8 mostra aqueles formados por ABEDA, DBED e ABECA no diagrama causal.

Figura 8 – Relação entre variáveis.



Fonte: García (2020).

Os *loops* são definidos como "positivos" quando o número de relacionamentos negativos é par. Se o número de relacionamentos negativos for ímpar, o *loop* é "negativo". *Loops* negativos tendem a estabilizar o modelo, enquanto *loops* positivos tendem a desestabilizá-lo, independentemente do problema básico em questão. O sinal de negativo na ponta da flecha que conecta duas variáveis representa uma relação inversa entre uma variável e outra, ou seja, enquanto uma cresce, a outra diminui (ANDERSON; JOHNSON, 1997).

Em diagramas de causalidade o conceito de *loop* é muito útil, pois permite analisar

e trabalhar em direção ao seu comportamento dinâmico a estrutura do sistema que está sendo estudada. Se um sistema permanece em equilíbrio ou cai rapidamente, é possível identificar as razões estruturais e tomar a decisão de como proceder para modificar os laços causais que vão influenciá-lo. O uso mais importante desse conceito é entender como a estrutura dos sistemas afeta seu comportamento.

3.4 Sistema de Produção de Gado de Corte

Gerenciar um grande número de animais, garantir que as demandas de produção sejam atendidas e as preocupações ambientais não sejam desconsideradas são fatores que causaram a mudança da agricultura tradicional para a tecnologia. Segundo Hazard et al. (2018), o negócio agrícola é arriscado, porque a operação está sujeita a eventos naturais imprevisíveis (clima, doença, etc.) e fatores econômicos em mudança (demanda de mercado, flutuação de preços, etc.). Claramente, os aspectos importantes da gestão da produção quanto ao controle de riscos, mudanças (novas práticas, produtos e técnicas) e alocação de recursos requerem abordagens inovadoras que reconheçam e foquem no holístico e na dimensão dos sistemas agrícolas.

Os sistemas de produção variam dependendo, entre outros fatores, do ambiente de produção. A carne bovina tende a ficar mais forte ao especializar suas etapas com o intuito de otimizar e aumentar a eficiência (RUVIARO et al., 2016). O bioma Pampa abrange todo território Uruguaio, uma parte da Argentina e cerca de dois terços do estado do Rio Grande do Sul do Brasil, e tem como principal atividade econômica a pecuária extensiva. A pecuária baseia-se principalmente nas raças Braford, Brangus, Devon, Hereford, Aberdeen Angus, Simental e Charolês, em pastagens nativas com pastoreio contínuo e extensivo.

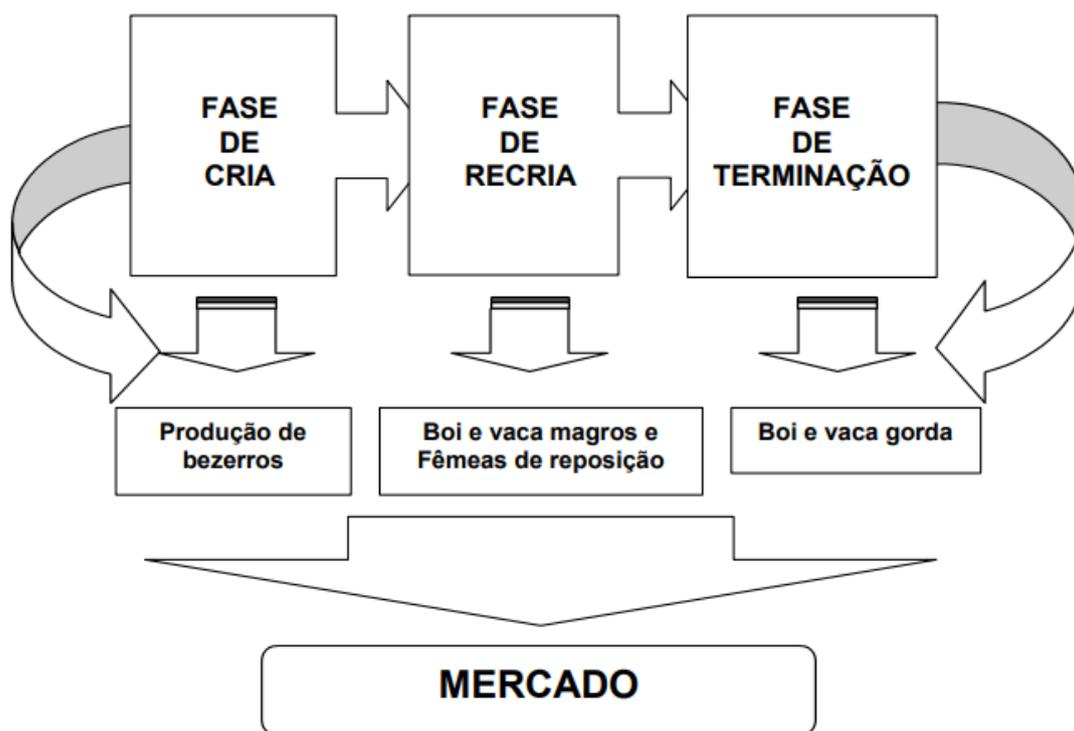
Do ponto de vista socioeconômico, segundo Santos, Trevisan et al. (2009), as baixas taxas de produtividade da pecuária extensiva resultam em retornos mínimos da economia local, causando baixa densidade populacional e menor desenvolvimento em relação a outras regiões do estado, principalmente quando se comparam índices, como Produto Interno Bruto (PIB) e geração de empregos.

O gado em pastagem nativa é visto como a principal ferramenta de conservação, pois mantém a diversidade da flora e fauna do bioma Pampa ao impedir o avanço da fronteira agrícola. No entanto, o manejo inadequado da pecuária nesta região devido ao excesso de lotação do pastejo durante o inverno, gera perda de peso dos animais,

além de consequências negativas da cobertura do solo, contribuindo para a degradação das pastagens. Segundo NEUMANN, ZUCHONELLI e PRIEB (2006), a inovação tecnológica é necessária para identificar os fatores que limitam a eficiência econômica dos sistemas de produção.

A Figura 9 mostra o sistema de produção de gado de corte dividido em três categorias gerais temporais: cria (produção de bezerros), recria (boi e vaca magros e fêmeas de reposição) e terminação (boi e vaca gorda). Os sistemas que executam uma ou duas etapas são sistemas especiais que podem envolver apenas cria, cria e recria, recria e terminação, recria ou apenas terminação. Há também aqueles que são denominados ciclo completo por abrangerem as três etapas: cria, recria e terminação (CANELLAS, 2015). Os indicadores técnicos e econômicos variam de acordo com os sistemas de produção. Em sistema apenas de cria, a venda de vacas ao abate constitui grande parte da receita total do sistema; em ciclo completo, os machos engordados contribuem mais, pois é um produto mais valioso que a vaca descarte. Os sistemas de produção de recria e engorda são mais efetivos no ganho de peso do que as vacas, além do maior preço de venda do boi gordo (BARBOSA et al., 2010).

Figura 9 – Sistema de produção em ciclo completo no Brasil.



Fonte: Lampert (2002).

Na fase da cria, o bezerro entra em uma fase exponencial de crescimento, desde que lhe seja oferecida uma dieta de alta qualidade (SESSIM, 2020). A produtividade de um rebanho de bezerros é medida pelo número e peso dos bezerros desmamados. Nesse sentido, a nutrição de vacas gestantes é uma importante ferramenta para melhorar a eficiência e produtividade de vacas e bezerros em longo prazo, bem como a qualidade da carcaça e da carne (ZAGO, 2017).

Em sistemas de produção vaca-bezerro, a paridade das vacas pode afetar alguns elementos-chave relacionados à eficiência da produção, como a taxa de concepção das vacas e o peso ao desmame de seus bezerros, indicando que o efeito da paridade das vacas na estratégia de descarte pode ser um fator importante quando a otimização econômica dos sistemas de produção é direcionada ao nível do rebanho (OISHI et al., 2013). De acordo com Kugler et al. (2008), a tecnologia de desmame precoce é disponível para aplicação em sistemas de criação de bovinos. A viabilidade desta técnica tem sido demonstrado na área, observando uma melhora significativa na condição corporal das vacas e na taxa de prenhez.

As respostas produtivas e econômicas dos sistemas pecuários são os resultados da interação dos diferentes componentes biofísicos (solo, forragem, animais), e são fortemente influenciados pelo seu manejo e pela aspectos incontrolláveis, como clima e mercados. A taxa de lotação pode ser um dos fatores mais importantes que um agricultor obterá em um equilíbrio entre oferta e demanda de forragem. Dentro de uma determinada faixa de carga animal, um aumento significa uma menor resposta individual, porém é compensada pelo maior número de animais, levando a um acréscimo da produção por unidade de área. No entanto, em níveis muito altos de taxa de lotação, os efeitos sobre o produção individual e por unidade de área pode ser negativa. Por outro lado, como a carga é um fator de peso preponderante nos sistemas *pastoris* é lógico que haja interação com outros fatores passível de gestão (ORIONTE, 2014).

A fase de recria adiciona peso corporal aos bezerros recém desmamados, resultando em novilhos prontos para o confinamento. Em comparação com a fase de pré-desmame, a taxa de crescimento do gado durante a recria costuma ser significativamente reduzida em condições normais de exploração de bovinos de corte no Bioma Pampa. A razão é que, além do estresse causado pelo desmame, o início da criação coincide principalmente com a estação seca, quando a disponibilidade e a qualidade das pastagens se deterioram claramente. Baixas taxas de crescimento durante o cultivo prolongam a duração desta fase de crescimento, atrasando o início do período

final e, portanto, alongando o ciclo de produção (MAGNABOSCO et al., 2009). Já a fase de terminação da produção é onde o gado é alimentado até atingir o peso de mercado. O ato de alimentar um animal exclusivamente com pasto condiciona a taxa de ganho de peso diário, sendo este um fator importante ao tentar engordar animais em idade precoce ou no outono e inverno, onde sua qualidade não é suficiente para atingir o depósito de gordura necessário para comercialização e trabalho (CAMINOS et al., 2015).

Em sistemas de terminação de bovinos de corte, quando os animais são suficientemente alimentados após um período de redução de energia via nutrição restrita, ocorre o processo fisiológico de crescimento compensatório, o que significa um período de maior crescimento em comparação com aqueles não submetidos à restrição alimentar.

De acordo com Andrade e Ferreira (), os sistemas de bovinos de corte são classificados em três categorias diferentes: Intensivo (tempo de terminação de 12 a 15 meses), semi-intensivo (15 a 20 meses) e extensivo (mais de 20 meses). Os sistemas intensivos são mais dependentes de concentrados, enquanto os sistemas extensivos são geralmente baseados em forragem e pasto. Em geral, os sistemas intensivos terão melhor conversão alimentar e maiores ganhos de peso vivo, maiores custos de alimentação por dia. Um sistema semi-intensivo envolve períodos de pasto com um período de terminação em confinamento. A localização de uma propriedade e sua capacidade de produzir ou obter diferentes tipos de ração também podem desempenhar um papel na determinação do sistema de terminação. As fazendas que têm uma fonte de cereais ou subprodutos são mais propensas a operar um sistema intensivo, enquanto as fazendas em áreas de pastagem operarão sistemas semi-intensivos ou extensivos.

No sistema melhorado 1 (Tabela 3), além do uso de suplemento alimentar durante a estação seca, alguns pastos são restaurados todos os anos e outros recebem adubação de manutenção para manter a alta produtividade. No sistema melhorado 2, a maioria dos animais é terminada a pasto e abatida em confinamento. Nesse caso, além dos investimentos relacionados à produção de matéria-prima e grãos, é necessário o uso mais intensivo de substâncias corretas e fertilizantes no pasto (PINI et al., 2014).

Segundo Costa e Sant'Anna (2016), a importância do gerenciamento na produção animal envolve a interação entre um sistema eficiente e os aspectos produtivos e econômicos na pecuária de corte. Nesse contexto, reduzir falhas de gerenciamento e propor soluções para as empresas rurais é de grande valia quando se trata de aplicações tecnológicas em sistemas de produção para monitoramento individual e em tempo real do gado. De acordo com Niloofar et al. (2020), a modelagem e as abordagens de simulações

Tabela 3 – Índices zootécnicos médios do rebanho brasileiro e em sistemas envolvendo cria, recria e engorda com uso mais intensivo de tecnologia.

Índices	Média Brasileira	Sistema Melhorado 1	Sistema Melhorado 2
Natalidade (%)	60	>70	>80
Mortalidade até a desmama (%)	8	6	4
Taxa de desmama (%)	55	>66	>77
Mortalidade pós-desmama (%)	4	3	2
Idade à primeira cria (anos)	4	3	2
Intervalo entre partos (meses)	20	<17	<15
Idade média de abate (anos)	4	3	2
Taxa de abate (%)	17	20	35
Peso médio de carcaça (kg)	210	230	240
Rendimento de carcaça (%)	53	54	57
Taxa de lotação (animal/ha)	0,9	1,2	1,6
Peso de carcaça kg/ha	34	53	80

Fonte: Adaptado de Pini et al. (2014), citado por Filho (2000).

ajudam os tomadores de decisão e agricultores em seus problemas de decisão, fornecendo *insights* sobre suas práticas gerenciais. De fato, formalizam o mundo real em um ambiente e, em seguida, imitam os processos e as operações do mundo real.

3.4.1 Aplicações Netlogo em Sistemas de Produção Pecuária de Corte

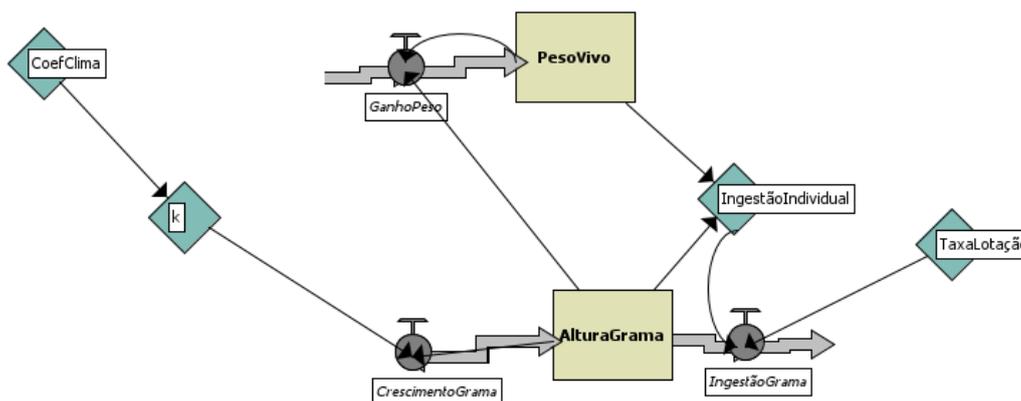
Um software que já existe há algum tempo e possui várias ferramentas como dinâmica de sistemas, modelagem baseado em agente ou modelos híbridos é o NetLogo. Segundo Furtado et al. (2015), o programa, construído em Java, possui comandos de fácil utilização que possibilita o programador, seja ele estudante, professor ou pesquisador, a habilidade de modelador operacional. Os resultados do Netlogo são intercambiáveis com outras linguagens e programas, como Python e R. Além disso, apresenta recursos de links em formato de rede, como biblioteca de modelos ou extensões ao código básico para conectar R ou Python, manual de usuário em vários idiomas, além de representação gráfica de fácil compreensão.

Além disso, o software NetLogo oferece algumas características em dinâmica de sistemas como estrutura de linguagem simples, gráficos em modelo 2D e 3D, controle de velocidade de simulação e monitores que permitem analisar e controlar os agentes (LIMA et al., 2009). As configurações de um modelo permitem explorar diferentes cenários

ou hipóteses. Alterando as configurações e, em seguida, executando o modelo para ver como ele reage pode lhe dar uma compreensão mais profunda dos fenômenos que estão sendo modelados. Seletores, interruptores e controles deslizantes fornecem acesso às configurações de um modelo (GAUDOU et al., 2017).

Dentre algumas aplicações no Netlogo, Dieguez e Fort (2019) apresentaram um modelo ecológico baseado na abordagem predador-presa, usado para simular o efeito da deficiência de forragem no desempenho econômico da fazenda. Diferentes cenários de taxa de lotação animal e capacidade de suporte de pastagens são considerados para avaliar o impacto da deficiência de forragem na primavera.

Figura 10 – Captura de tela do modelo de gado predador-presa diagrama causal (estoques e fluxos) implementado no NetLogo.



Fonte: Dieguez e Fort (2019).

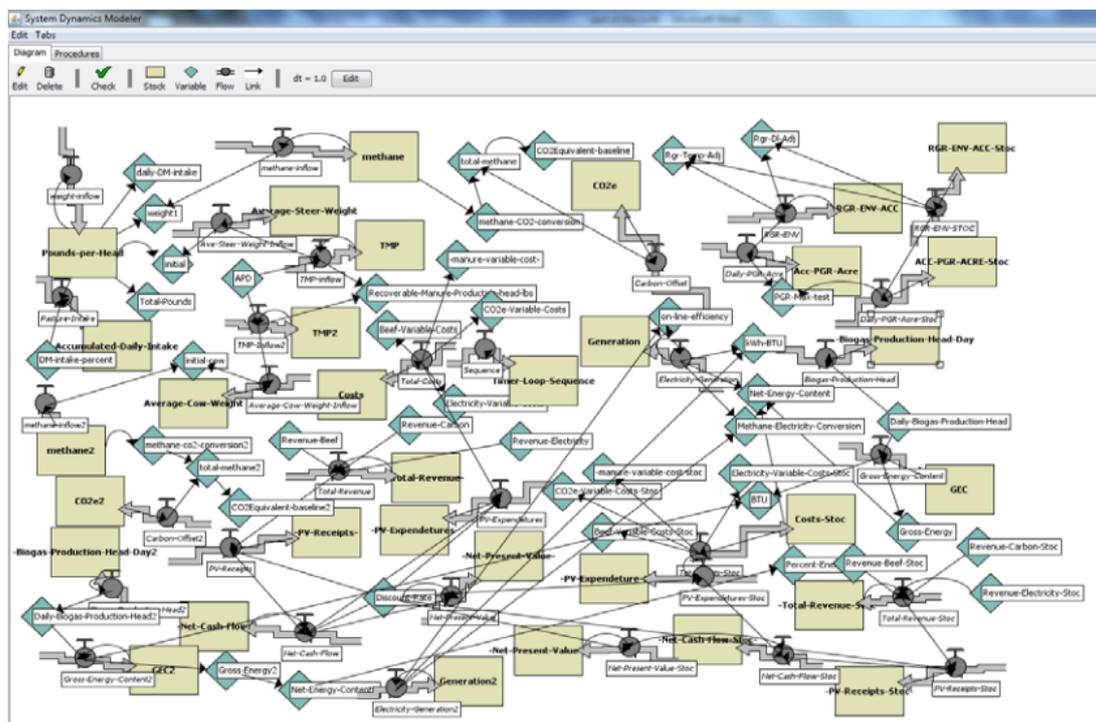
Conforme mostrado na Figura 10, as variáveis de status do sistema são peso vivo e altura do pasto relacionada no meio pelo consumo de pasto. De um lado os animais de peso vivo a variação é afetada pelo próprio peso vivo e pela altura volumosa. No mesmo tempo, a altura do pasto é afetada por sua taxa de lotação e pela própria altura do pasto. Em relação ao clima, o modelo considerou um coeficiente climático (o parâmetro coefClima) que afeta a taxa de lotação real variando a capacidade de carga do crescimento logístico da pastagem (parâmetro K).

Os resultados de Dieguez e Fort (2019) sugerem uma resposta cúbica do produto bruto por hectare em função da margem bruta. O valor máximo desta função de resposta cúbica depende fortemente da altura inicial e dos cenários climáticos. A inicial a altura do pasto é crítica para maximizar a produtividade secundária e economia agrícola resultados. Dessa forma, a análise reforça a utilidade do ajuste de atribuição de forragem modulando

a taxa de lotação para melhorar ganho de peso vivo e resultados econômicos em condições de mudança climática.

O modelo desenvolvido por Rodriguez (2012) ilustra as condições em que é viável para uma fazenda produzir vários produtos. A abordagem inclui a produção de alimentos, energia e compensações de carbono de uma forma que aumenta a lucratividade no nível da fazenda, ao mesmo tempo em que permite comunidades vizinhas para se beneficiar de produtos alimentícios de alta qualidade e desenvolvimento econômico, para capturar as dinâmicas ao longo do tempo e do espaço expressa através de equações matemáticas usando o NetLogo.

Figura 11 – Modelador Dinâmico utilizado para Simulação: Fluxograma Completo.



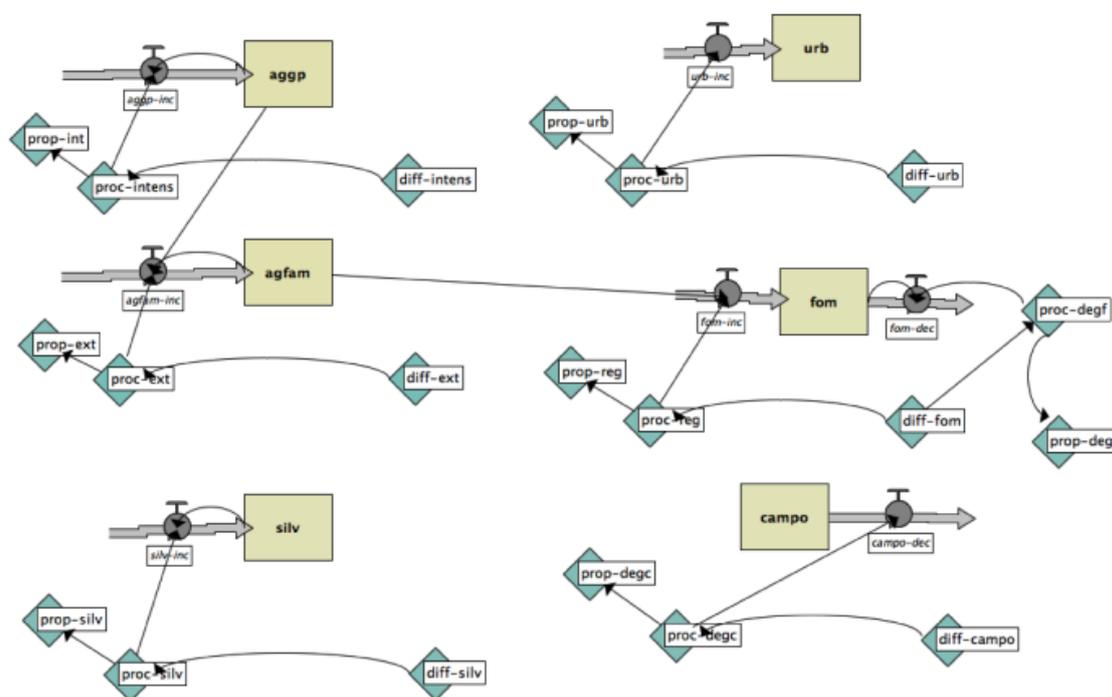
Fonte: Rodriguez (2012).

De acordo com a Figura 11, os links permitem um valor de uma variável em um estoque ou fluxo tornando-os disponíveis de uma fonte para outra para realizar a simulação. No modelo de Rodriguez (2012), algumas variáveis estão conectadas a mais de uma seta quando as variáveis são usadas em outras funções que permitem multiuso e eliminam replicações desnecessárias da mesma variável. Os estoques são capazes de mudar ao longo do tempo devido às influências causadas por mudanças em seus fluxos. Os fluxos são afetados por mudanças nos valores de suas variáveis e no tempo fazendo com que estoques aumentem ou diminuam ao longo do tempo. Essas variáveis

podem ser identificadas como parâmetro ou valor armazenado na variável ou identificado na visualização da interface na simulação painel de controle. Assim, as interações que ocorrem em todo o sistema teriam, basicamente, um impacto nos estoques que eventualmente se refletirá na produção, rentabilidade ou outros componentes do sistema.

O modelo dinâmico de FREITAS (2013) foi baseado na orientação dos processos de mudanças de uso e cobertura da terra, sua estrutura corresponde aos fluxos de demandas de transição com os níveis correspondendo às diferentes regiões, permitindo a construção de cenários através das áreas de usos e proporções de incremento desses processos. Foi gerado um cenário para retratar as condições atuais do paradigma de desenvolvimento capitalista, outro cenário característico de uma estratégia alternativa de desenvolvimento participativo e sustentável e outro cenário que reflita a ampliação do cenário econômico.

Figura 12 – Estrutura do modelo dinâmico de sistema adotado.



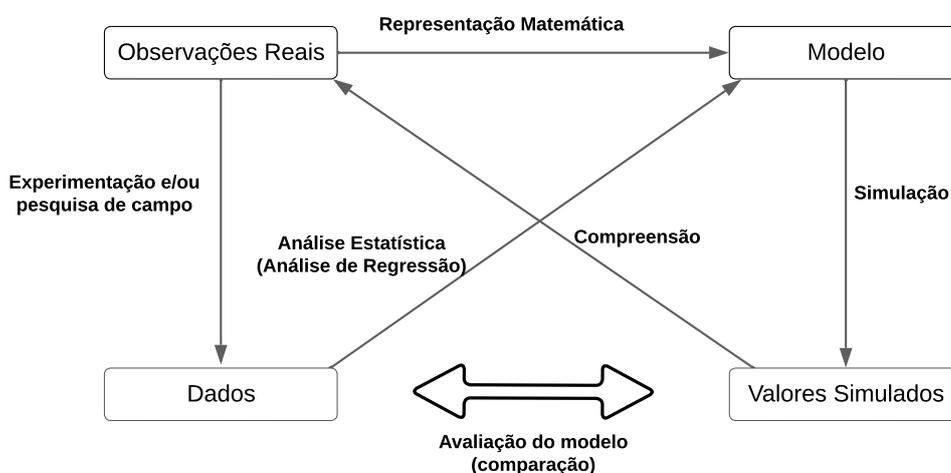
Fonte: FREITAS (2013).

A interface do modelo com os dados de entrada, as variáveis dos cenários e os resultados gráficos com os totais em cada passo de tempo das classes floresta, campo nativo, silvicultura, agricultura familiar, agricultura de grande porte e urbano foram relacionadas e calculadas para cada região nos passos iterativos do modelo, conforme Figura 12.

3.5 Modelagem e Simulação

Segundo Hirooka (2010), um modelo é definido como uma representação matemática simplificada e idealizada da realidade com base em um conjunto ordenado de suposições e observações. As etapas envolvidas em um processo de modelagem comum usando uma abordagem de sistemas são descritas na Figura 13.

Figura 13 – Procedimento de Modelagem.



Fonte: Adaptado de Hirooka (2010).

Em geral, um modelo é construído empiricamente usando dados e/ou informações de experimentação e pesquisas de campo por meio de métodos de análise estatística (ou seja, análise de regressão). Tal modelo é classificado como um modelo empírico. Por outro lado, outro tipo de modelo, um modelo teórico, é derivado diretamente de teorias sobre a natureza fundamental do sistema real. O teste do modelo é um processo importante e é realizado comparando valores simulados (previstos) do modelo com dados reais. Os valores simulados derivados do modelo testado (validado) desempenham um papel na compreensão de sistemas reais (HIROOKA, 2010).

A modelagem é uma ferramenta poderosa e pode ser entendida como uma representação explícita de parte da realidade, com a finalidade de compreendê-la, gerenciá-la e controlá-la. A modelagem feita usando uma abordagem de sistemas pode nos permitir integrar resultados de muitos experimentos realizados com bovinos de corte e quantificar e representar sistemas grandes e complexos de forma matemática.

Além disso, segundo Hirooka (2010), a simulação por computador pode ter várias

vantagens sobre a experimentação convencional da vida real. Por exemplo, em uma simulação, o ambiente pode ser controlado alterando as variáveis exógenas (variáveis de entrada) e os parâmetros do modelo, fornecendo assim informações que não podem ser obtidas da experimentação da vida real devido às restrições acima.

Os modelos podem apresentar duas fontes principais de erros: (i) erros de estrutura, associados à escolha dos processos a serem considerados no modelo e como serão apresentados; e (ii) erros relacionados à parametrização, ou seja, aos valores dos parâmetros obtidos experimentalmente ou empiricamente (ŠTSEK; ULRYCH, 2008). À medida que a complexidade do modelo aumenta, os erros associados à estrutura do modelo são reduzidos, pois isso é mais realista ao incluir os componentes do sistema e os processos operacionais. No entanto, os erros de parametrização aumentam em resposta à inclusão de novos parâmetros (TANURE; NABINGER; BECKER, 2013). Assim, um modelo deve ser tão simples quanto possível e tão complexo quanto necessário para um determinado uso, visando alcançar um bom equilíbrio entre erros de estrutura e de parâmetros.

Os modelos de simulação podem ser classificados por vários métodos diferentes. Um modelo determinístico é descrito como um modelo que faz previsões definidas para saídas sem qualquer distribuição de probabilidade associada, enquanto um modelo estocástico contém alguma distribuição de probabilidade (elementos aleatórios). Os modelos estocásticos consideram a variabilidade de entrada (por exemplo, flutuações nos preços dos alimentos) em suas distribuições de probabilidade estimadas ou conhecidas. Por meio de uma abordagem estocástica, o risco financeiro de um sistema de produção pode ser quantificado analisando o efeito da variação de insumos sobre os parâmetros econômicos (LOPES et al., 2018).

Um modelo dinâmico é geralmente apresentado como um conjunto de equações diferenciais ordinárias com tempo, enquanto um modelo estático não inclui o tempo como uma variável (THORNLEY; FRANCE, 2007). O modelo de simulação do sistema é geralmente dinâmico e muitas vezes determinístico e consiste em muitas variáveis de estado, equações diferenciais, parâmetros e constantes.

A comunidade de pesquisa agrícola tem um interesse particular na modelagem de sistemas agrícolas. De acordo com Robert et al. (2017), três ideias principais na literatura científica que são interessantes de considerar ao modelar um sistema agrícola: uma representação sistêmica é relevante, processos dinâmicos trazem a agricultura sistema à vida e os processos de tomada de decisão dos agricultores são flexíveis e adaptáveis ao

longo do tempo e espaço. Os modelos estáticos ignoram o efeito dos estados transitórios em relação ao comportamento do sistema. Esses modelos assumem que os estados transitórios não interferem nos resultados do modelo e, portanto, basta determinar o estado do sistema em um determinado tempo para estabelecer suas respostas. Os modelos estáticos são atualmente utilizados em sistemas de alimentação de ruminantes em vários países desenvolvidos (MUNIZ et al., 2007).

Entre os maiores desafios atuais na construção de modelos, podemos citar a correção das limitações mencionadas e a utilização de modelos dinâmicos. Quase todos os modelos aplicados na produção agropecuária (ou mesmo no amplo contexto do agronegócio) empregam critérios e variáveis “estáticos” para a criação de planilhas e interconexões entre os elementos-chave (TANURE; NABINGER; BECKER, 2015).

As técnicas de simulação mais populares incluem simulação de eventos discretos, simulação de monte carlo, e modelagem baseada em agentes (GODFREY, 2021). A modelagem multiagente torna possível conceituar e simular um conjunto organizado de agentes interagindo uns com os outros e seu ambiente, e permite a formalização de sistemas com múltiplos e variados espaços, temporais e escalas organizacionais (BEZZOUT et al., 2017). Desta forma, a modelagem multiagente possui grande potencial para modelagem de sistema de produção agropecuária. As simulações de monte carlo podem ser usadas tanto para estimar futuros resultados de determinado problema, como construir probabilidade de distribuições dos possíveis resultados, além de gerar alertas (AL-HUSSAINI et al., 2021). No entanto, se a computação e os recursos forem limitados ou as soluções de interesse forem raras, o monte carlo pode ser ineficiente (HUANG et al., 2021). Os modelos de eventos discretos normalmente capturam atores representados no modelo como grupos normativos de entidades homogêneas. Em contraste, a modelagem baseada em agente permite que o modelador capture propriedades em um nível, permitindo que cada agente tenha suas próprias características e comportamento (GODFREY, 2021).

A simulação por computador requer substancialmente menos tempo e despesas do que o trabalho experimental com um verdadeiro sistema biológico; no entanto, é limitado pela capacidade do projetista de descrever o sistema e seus componentes matematicamente (PANG et al., 1999). Se os componentes de um sistema puderem ser quantificados e apresentados adequadamente em uma forma matemática, um modelo de simulação pode fornecer estudos detalhados e mecanísticos para permitir uma compreensão completa do sistema total.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados da modelagem e simulação em dinâmica de sistemas em ciclo completo pelo software Netlogo e as etapas tecnológicas utilizadas para construção da solução.

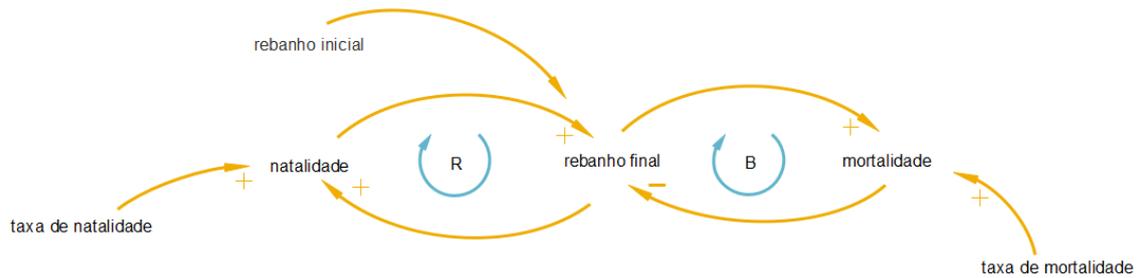
4.1 Descrição do modelo

Os dados para análise foram oriundos de um modelo computacional determinístico, desenvolvido por Lampert et al. (2020) e Lampert (2010). A produtividade é estimada a partir do desempenho do rebanho, da taxa de lotação animal, área explorada, lucro operacional efetivo e de coeficientes técnicos da atividade em ciclo completo. Para avaliar o impacto das variáveis, foram definidas algumas equações do modelo determinístico citado e, desta forma, avaliar alguns parâmetros de saída do sistema.

Por conseguinte, o modelo equacionado foi transferido parcialmente para o software de simulação, para executar e analisar os resultados de forma dinâmica ao longo do tempo. Além disso, com o auxílio do modelo, foi possível identificar a quantidade aproximada de animais a ser vendida, tendo em vista a realização de uma modelagem parcial do referido sistema de ciclo completo.

A Figura 14 mostra as variáveis envolvidas nos sistemas de ciclo completo na pecuária de corte. O rebanho final é o tamanho do rebanho e está relacionado com a natalidade, mortalidade e rebanho inicial. O R sinaliza que há um *loop* de reforço no sistema entre a natalidade e o tamanho do rebanho final, ou seja, quanto maior a natalidade maior o tamanho do rebanho final e vice-versa (reforço positivo). O B indica que se ocorrer um aumento no rebanho final, aumentará a mortalidade, mas ao mesmo tempo um aumento da taxa de mortalidade reduz o rebanho final, ou seja, uma relação de equilíbrio.

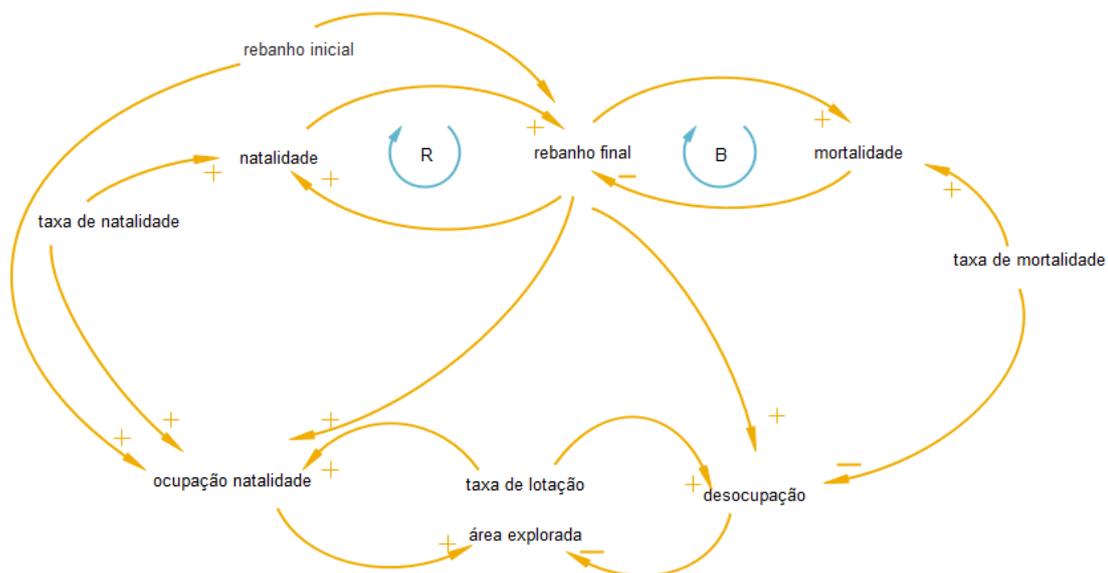
Figura 14 – Primeira etapa do diagrama de influência.



Fonte: Autor (2023).

A segunda etapa, mostrada na Figura 15, busca encontrar a área de exploração a partir do tamanho do rebanho final. Neste caso, ocorre uma relação de equilíbrio no sistema entre a mortalidade, natalidade e o tamanho do rebanho. Presume-se que a área ocupada através da taxa de natalidade (ocupação natalidade) varia consoante o tamanho do rebanho e determina um fator fundamental que é a área explorada. Em relação à taxa de mortalidade, a área explorada aumenta com o aumento da desocupação, dessa forma, a taxa de mortalidade é diretamente proporcional a área que precisa ser desocupada.

Figura 15 – Segunda etapa do diagrama de influência.

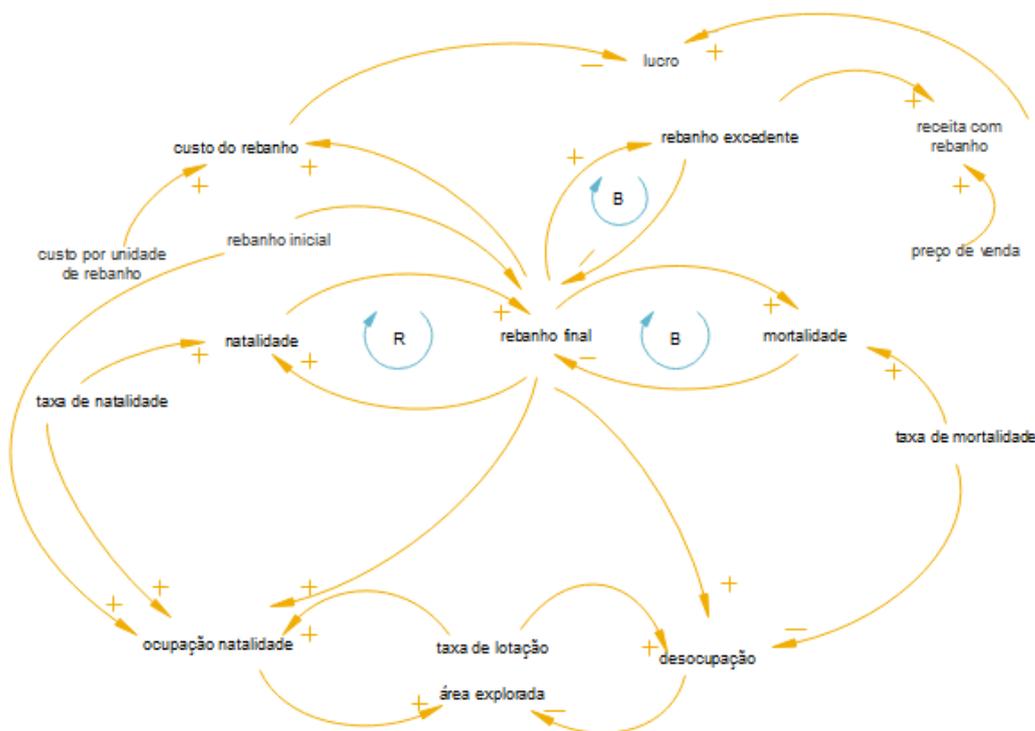


Fonte: Autor (2023).

A terceira etapa do diagrama, mostrada na Figura 16, refere-se à relação entre o efetivo de que se desfruta, retirado do sistema anualmente, e o efetivo existente na área

explorada, mais a variação do estoque. Isso é particularmente importante para sistemas de ciclo completo. O efeito do ciclo de equilíbrio entre o rebanho final e o rebanho excedente pode ajudar a compensar os potenciais efeitos negativos. O aumento do rebanho final afetará positivamente o rebanho excedente. Contudo, um aumento no rebanho final e no custo por unidade de rebanho implicará na redução do lucro. Após a estabilização do tamanho do rebanho final, a receita gerada pela venda do rebanho excedente tenderá a ser maior que o custo de manutenção do rebanho.

Figura 16 – Terceira etapa do diagrama de influência.



Fonte: Autor (2023).

O modelo foi orientado para a produção, ou seja, o objetivo principal do diagrama de influência foi facilitar o entendimento dos processos realizados para estimar a produtividade de modo a avaliar o tamanho do rebanho ideal pra se gerar o maior lucro possível. Para isso, considera-se o tamanho da área disponível e os custos provenientes do rebanho. Quando o rebanho atingir a capacidade suporte da propriedade, a produtividade será o rebanho excedente, sendo que a distribuição das categorias animais reflete os efeitos das variáveis no nascimento, morte e venda.

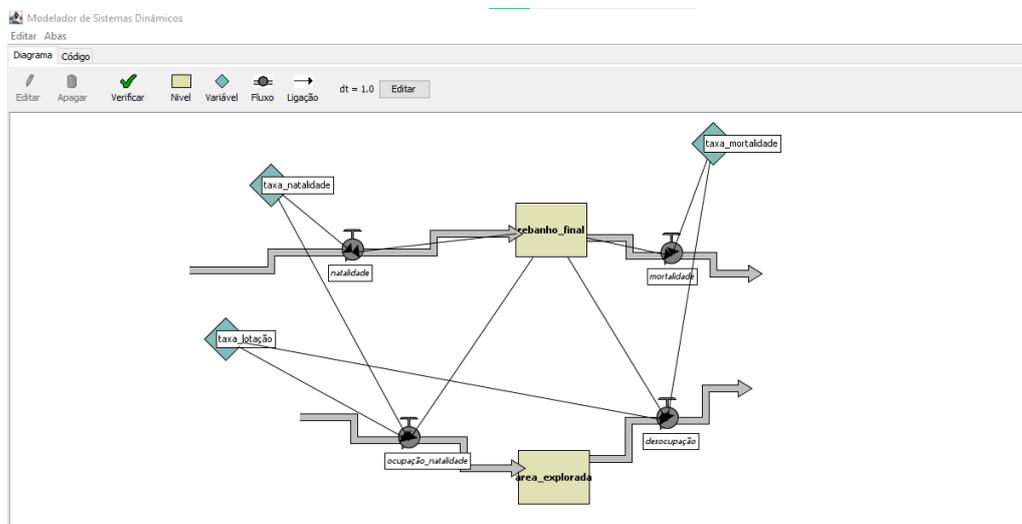
A construção dos diagramas de influência deve garantir a representação da dinâmica do sistema, o que permite acompanhar a evolução do modelo escolhido ao longo do tempo. Esta abordagem agrega um conjunto de elementos em interação que

compõem um sistema cujas características são o resultado emergente da dinâmica global (CHIACCHIO et al., 2014). Observe que sem um modelo de simulação quantitativo que represente empiricamente esses processos, não é possível determinar a direção ou magnitude das mudanças nos resultados.

4.2 Interface Netlogo

O modelo foi desenvolvido através da ferramenta modelador dinâmico. Quando este módulo é aberto, uma segunda janela aparece, contendo as abas Diagrama e Código. A guia Diagrama possui elementos básicos do diagrama e relacionamentos a serem criados. Este diagrama é traduzido no código NetLogo que pode ser lido, mas não editado diretamente pelo usuário (TISUE; WILENSKY, 2004). A Figura 17 mostra a etapa inicial do modelo.

Figura 17 – Modelo Inicial.



Fonte: Autor (2023).

As variáveis rebanho final e área explorada são referidas como níveis, pois representam o estoque que se acumula ou se esgota ao longo do tempo real do modelo. A taxa de natalidade, taxa de mortalidade e taxa de lotação são representadas como variáveis globais. O fluxo de natalidade, mostrado na Equação 1, expressa a quantidade de animais que nascem de acordo com o rebanho final e a taxa de natalidade.

$$NAT = (REBF * TXNAT) * dt \quad (1)$$

A taxa de natalidade foi aplicada no rebanho inicial, entretanto, futuramente, deve-se ajustar o modelo de estoque para as diferentes categorias aplicando esta taxa exclusivamente nas fêmeas aptas para reprodução, pois esta é uma limitação do modelo. O fluxo de ocupação de natalidade é gerado para mostrar a área que os animais que nasceram ocupam.

$$AREANAT = ((REBF * TXNAT) * TXLOT) * dt \quad (2)$$

Já o fluxo de mortalidade (Equação 3) expressa a quantidade de animais que morrem através da taxa de mortalidade e rebanho final.

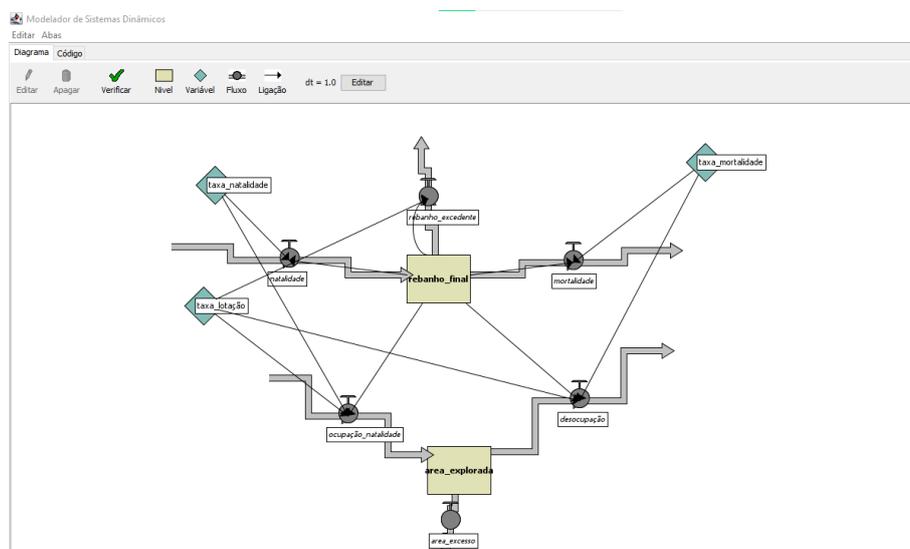
$$MORT = (REBF * TXMORT) * dt \quad (3)$$

Logo, o fluxo de desocupação refere-se a área que o rebanho que morreu desocupa, mostrado na Equação 4.

$$DESOC = (REBF * TXMORT) * TXLOT) * dt \quad (4)$$

Para realizar uma análise quantitativa mais detalhada sobre a produtividade, foi feita uma nova interface do modelo. Foi adicionado um fluxo de rebanho excedente e um fluxo de área em excesso para que o tomador de decisão saiba o quanto de rebanho precisa ser vendido, e a área total da propriedade não seja ultrapassada, conforme Figura 18.

Figura 18 – Diagrama Inicial Netlogo.



Fonte: Autor (2023).

O rebanho excedente possui expressão de condição. A condição refere-se quando a área ocupada for maior ou igual a 1000 hectares. Neste caso, a área é escrita em função do tamanho total do rebanho, o que inclui os fluxos de mortalidade e natalidade. Se esta condição for verdadeira, o fluxo rebanho excedente será positivo. Caso a condição seja falsa, o valor do fluxo rebanho excedente será igual a zero. Os modelos matemáticos expressam as variáveis e relações relevantes do problema, permite simular a resposta do sistema a diferentes escolhas feitas pelo tomador de decisão (ARGOLOME; OLIVEIRA, 2006).

Para o fluxo de área excedente, a condição prevalece a mesma do fluxo rebanho excedente (área ocupada ≥ 1000 hectares), bem como a expressão do fluxo quando esta condição é verdadeira, já que o valor da taxa de lotação hipotética é igual a 0,81 UA ha⁻¹. O valor do fluxo da área excedente será zero quando a condição não for satisfeita. Os valores de cada variável do modelo são descritos na Tabela 5.

A nova interface, determina o quanto será produzido após o rebanho atingir a capacidade de suporte da fazenda. Após uma certa quantidade de tempo, o rebanho excedente é vendido por um determinado preço de venda (reais por quilo vivo comercializado), o que torna necessária a determinação do peso do rebanho excedente. Para isso, calculou-se através de média ponderada (conforme Tabela 4) o peso médio de venda do rebanho. Com isso, foi-se então gerada a receita da propriedade, conforme Equação 5. A venda é exclusiva para animais que refletem a comercialização para abate, considera-se apenas animais produzidos na propriedade rural, pois não é considerada compra de animais.

$$REC = REBEXC * PRV * PM \quad (5)$$

Em contrapartida, o rebanho que permanece na propriedade gera custos ao produtor, visto que este rebanho precisa ser mantido saudável para poder reproduzir. A dificuldade de realizar uma análise completa de custos ocorre, entre outros motivos, porque não existe um protocolo padrão previamente definido, uma vez que existem diferentes formas de conceituar custos (SARTORELLO; BASTOS; GAMEIRO, 2018). O custo cabeça animal no modelo é representado pela Equação 6.

$$CUST = REBF * CUSTREB \quad (6)$$

Com a receita e os custos determinados, pode-se estimar o lucro operacional

efetivo da propriedade, conforme a Equação 7 .

$$LUC = (REC - CUST)/AREAEXP \quad (7)$$

Para a maximização do lucro operacional efetivo, a variável custo do rebanho é indispensável, pois o produtor deve buscar alternativas e tecnologias para reduzir este custo e, ao mesmo tempo, manter a qualidade do rebanho, para assim reduzir os custos sem interferência no preço de venda.

Diante do exposto, o controle das taxas de natalidade e mortalidade são de fundamental importância, visto que elas determinarão o tamanho do rebanho e, conseqüentemente, o rebanho excedente comercializado. Dessa forma, métodos para aumentar a qualidade e expectativa de vida do rebanho como bem estar animal, suplementação, manejo, dentre outros, são de fundamentais importância para o lucro do produtor rural.

4.3 Simulação Dinâmica Netlogo

A interface primária é usada para a simulação do modelo, os dois botões chamados *Setup* e *Go* recebem o comando para limpar todas as configurações e para iniciar o sistema dinâmico, respectivamente. O deslizador chamado de rebanho inicial possui variação de 0 a 1000, pois cada produtor terá um rebanho inicial conforme sua propriedade rural. Em seguida, foram criados os monitores: Área, tempo e tamanho do rebanho, custo cabeça animal, rebanho excedente, receita de venda, lucro, novilhas, novilhos, terneiros, vacas e touros, com o intuito de mensurar o tempo necessário para ocorrer a natalidade e mortalidade perante uma área de lotação ideal. Dessa forma, quando a área hipotética de 1.000 hectares ocupada pelo rebanho atingir este valor, o simulador será parado.

A determinação do comando no monitor para cada variável descrita em estoque animal foi calculada através do valor da variável (% cab) multiplicada pelo rebanho final. Nesse caso, o percentual de terneiros, novilhos, vacas e touros neste modelo estão conforme Tabela 4. Posteriormente estes valores poderão ser flexibilizados com a implementação de variáveis de estoques para diferentes categorias em outras modelagens derivadas deste trabalho.

Tabela 4 – Estrutura de rebanho - Ciclo completo

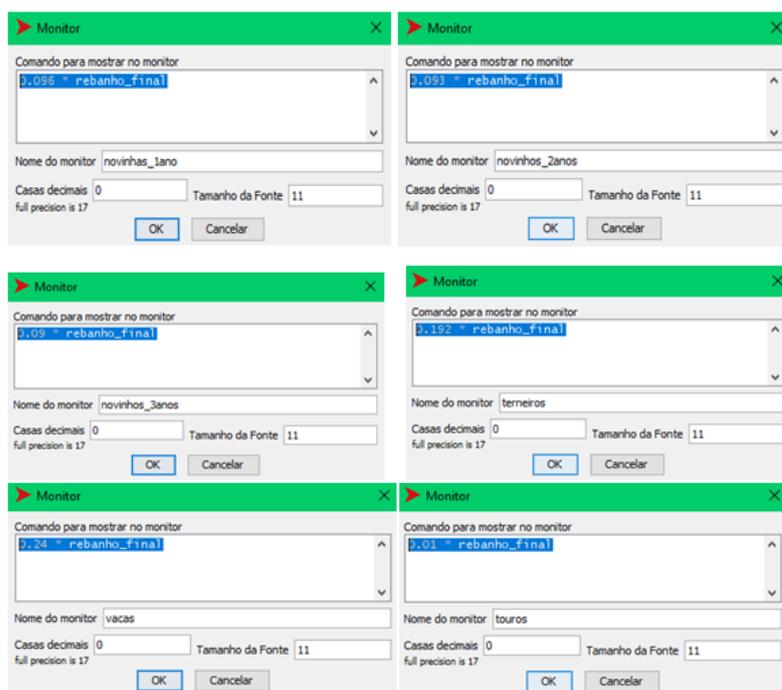
Estoque Animal	% cab	% UA	UA*	Peso Venda
Vacas	24,0	29,7	1,00	500
Novilhas 3 anos	9,0	9,3	0,83	470
Novilhas 2 anos	9,3	8,5	0,74	420
Novilhas 1 ano	9,6	7,6	0,64	320
Novilhos 3 anos	9,0	12,1	1,08	550
Novilhos 2 anos	9,3	10,5	0,92	480
Novilhos 1 ano	9,6	8,8	0,74	360
Terneiros(as)	19,2	11,9	0,50	180
Touros	1,0	1,6	1,32	825

Fonte: Adaptado de Lampert (2010).

O comportamento desses dados foi lançado e observado do primeiro ano ao sexto ano no Netlogo com o objetivo de entender como o sistema se comporta sob vários anos. A análise do lucro é representada pelos parâmetros de produção estimada pelas simulações a partir dos valores da tabela 4.

A Figura 19 mostra os monitores de comando para visualização do comportamento das variáveis ao longo do tempo. Os comandos são instruções que o Netlogo recebe e deve executar, podem ser definidos pelo software ou gerados pelo usuário, como no caso desse projeto (BENNETT, 2015).

Figura 19 – Monitor de comandos

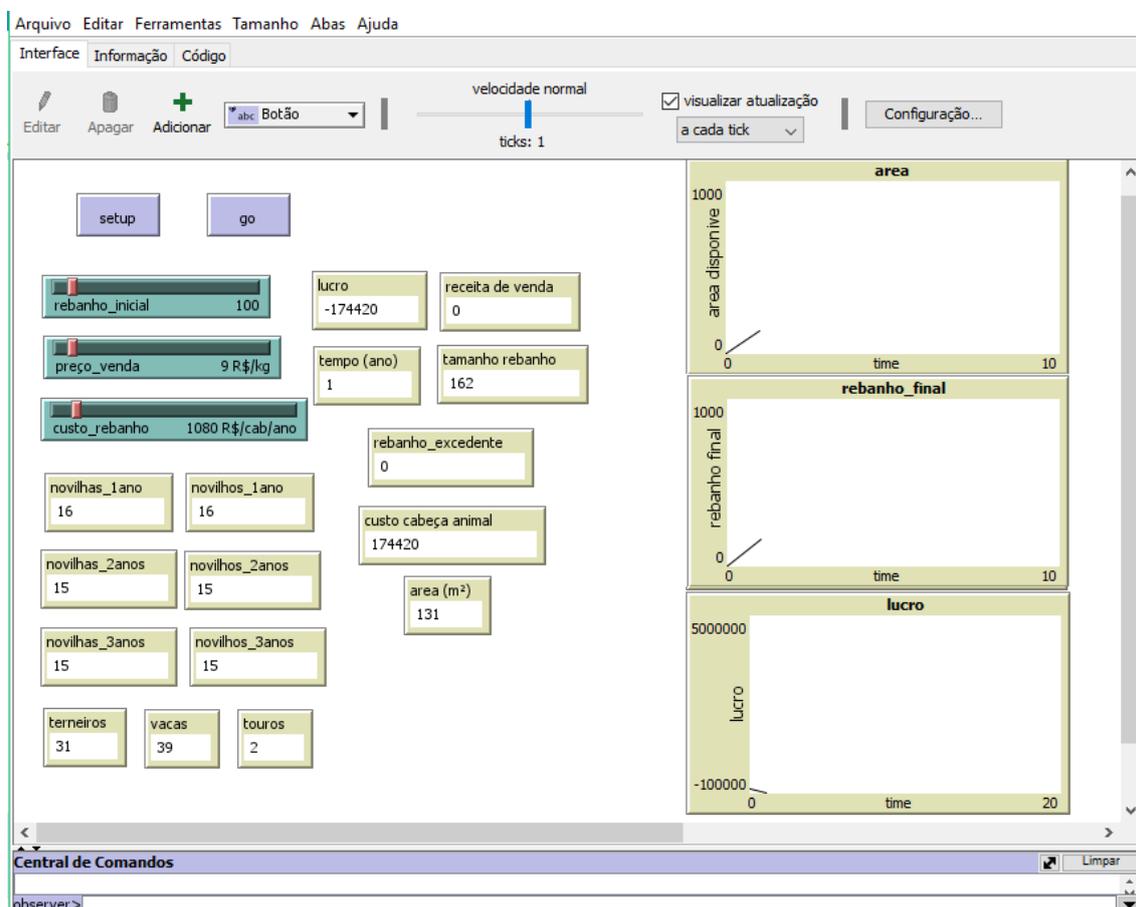


Fonte: Autor (2023).

No início da simulação, os parâmetros "custo_rebanho", "rebanho_inicial" e "preço_venda" foram configurados em R\$ 7,00 /kg de peso vivo, 100UA e R\$ 1080/cab/anos, respectivamente. No ano zero, o rebanho inicial tem 100 UA e, a partir do primeiro ano, ocorre o crescimento do rebanho devido à taxa de natalidade e decréscimo do rebanho por causa da taxa de mortalidade.

Sabendo que a taxa de natalidade é maior que a taxa de mortalidade, ocorre o aumento no tamanho do rebanho, passando de 100 UA para 162 UA. Nesse período, não existe venda de rebanho excedente, somente o custo de cabeça animal, o que faz as despesas serem maiores que as receitas (lucro negativo), conforme Figura 20.

Figura 20 – Resultado obtido no primeiro ano.

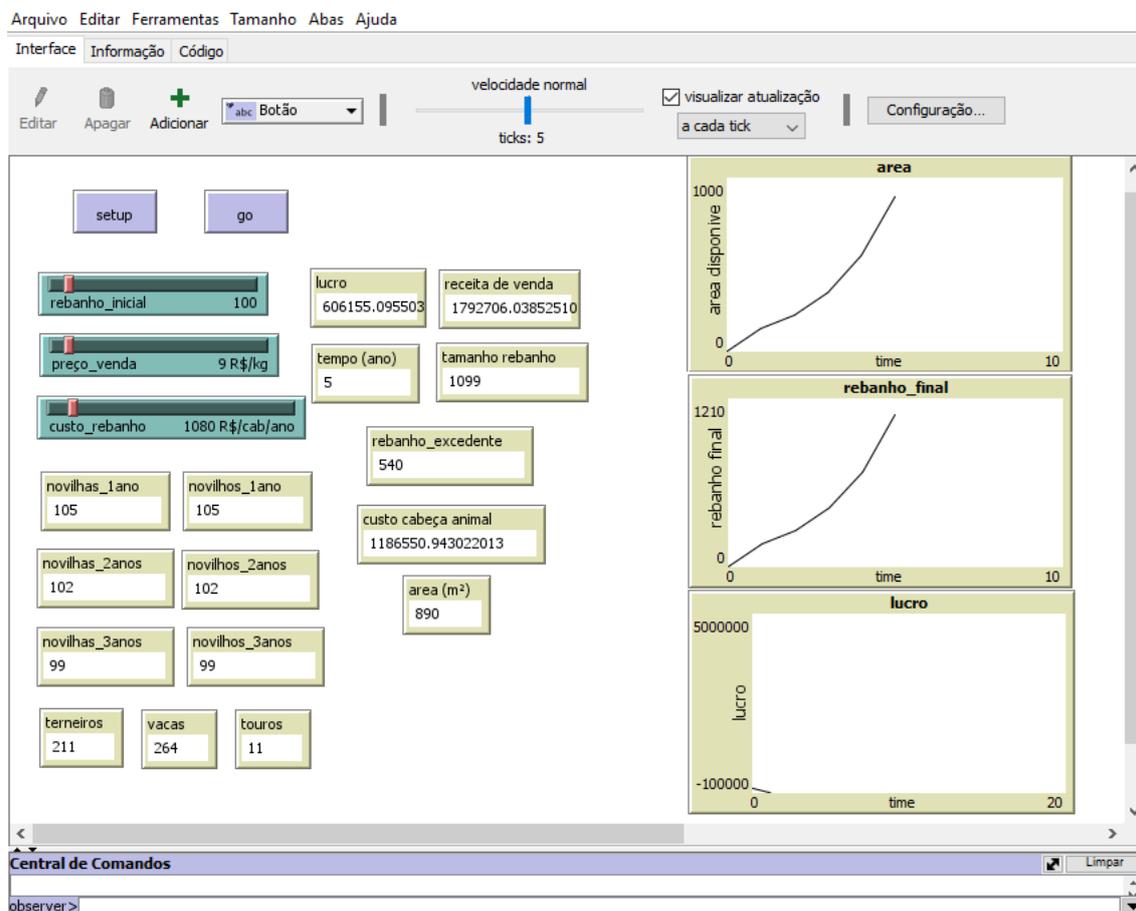


Fonte: Autor (2023).

A rentabilidade da atividade pecuária de corte é um fator que depende de diferentes variáveis, e cada uma tem um grau de importância na determinação do lucro ou prejuízo. Assim, conhecer a importância dessas variáveis pode ser um ponto crucial para saber onde determinar estrategicamente mudanças na gestão para melhorar a rentabilidade.

A Figura 21 mostra o quinto ano, nessa etapa ocorre a venda de uma quantidade de rebanho excedente devido às limitações da área de lotação. Contudo, a receita gerada por este rebanho excedente ainda é menor que a despesa por custo do rebanho. O conhecimento das variáveis econômicas pode diagnosticar gargalos com maior facilidade e precisão, o que permite concentrar nos insumos gerenciais e tecnológicos, apresentando assim maiores possibilidades de alcance dos objetivos e sucesso na atividade (SEMACHEM et al., 2021).

Figura 21 – Resultado obtido no quinto ano.

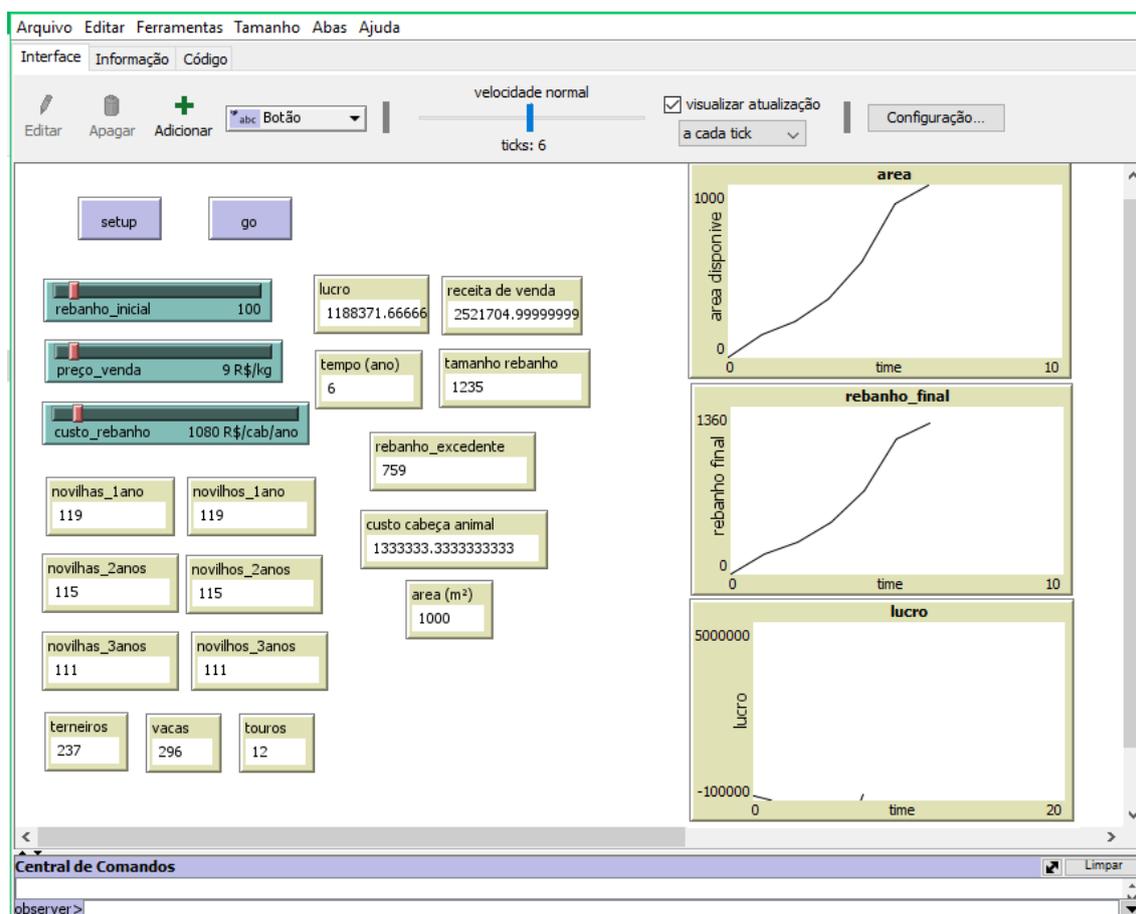


Fonte: Autor (2023).

A Figura 22 mostra o sexto ano, nesse caso o tamanho do rebanho excedente comercializado gera uma receita superior as despesas do custo do rebanho, apresentando um lucro. A partir deste ano, a produtividade é estabelecida, bem como o lucro e as variáveis ficam constantes. Essas variáveis exemplificam a grande variabilidade nos rendimentos gerados pela pecuária de corte no Brasil. Considerando a uma taxa de lotação adequada é possível garantir uma maior produtividade, pois com menor número de animais por hectare, a quantidade de alimento disponível aumenta, melhorando a

taxa de natalidade e minimizando a mortalidade dos animais. Além disso, deve-se ter cuidado com a utilização de altas taxas de lotação, principalmente em áreas de pastagens nativas e não melhoradas, pois pode afetar negativamente fazendas com baixa eficiência bioeconômica (MARQUES et al., 2017).

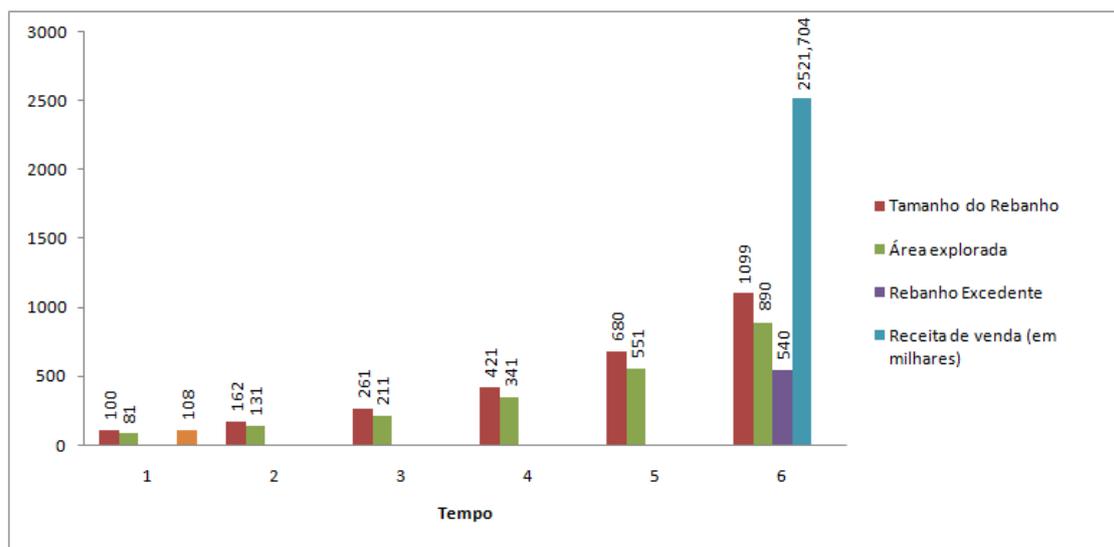
Figura 22 – Resultado obtido no sexto ano.



Fonte: Autor (2023).

Os resultados na Figura 23 mostram que o rebanho excedente (cab) e a receita de venda (R\$) começam a ser gerados no quinto ano devido a limitação da área. Neste caso, o rebanho é excedente, pois ele cresce de tal maneira que ultrapassa o valor da área disponível, então esse rebanho excedente deve ser vendido. A partir do sexto ano o lucro fica positivo e começa a ficar constante. Neste caso, os dados de entrada mostram diferentes saídas e a evolução da simulação até o sistema entrar em equilíbrio dinâmico.

Figura 23 – Demonstrativo da Simulação.



Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 5, foi desenvolvido dois cenários para simulação de outros parâmetros zootécnicos, taxa de natalidade e custo do rebanho, para estimar o incremento na produtividade e no valor da produção e o impacto no lucro esperado ao longo do tempo. Se, ao reduzir a taxa de natalidade de 65% para 50%, e o custo do rebanho for R\$830/cab/ano, o lucro começará a ficar positivo no sétimo ano. Entretanto, ao aumentar a taxa de natalidade de 65% para 85%, e o custo do rebanho for R\$ 1350/cab/ano, o lucro começará a ficar positivo no quarto ano e entra em equilíbrio dinâmico no quinto ano, evidenciando que taxas de natalidade mais elevadas auxilia no aumento da produtividade e receita de venda, mantendo-se o preço de venda constante.

A diversidade de resultados entre pesquisas ocorre devido aos diferentes cenários modelados que estimam o desempenho das variáveis de entrada em conjunto com a viabilidade econômica dos sistemas de produção. A eficiência reprodutiva é um dos componentes mais importantes da eficiência da produção em sistemas de produção de bovinos de corte, visto que, ao selecionar os animais, estão sendo selecionadas, também, quais características irão prevalecer no rebanho (LIMA et al., 2023).

Tabela 5 – Condições de outros parâmetros zootécnicos para taxa de natalidade e custo do rebanho.

Cenários	Variável	Unidade	Valores
1	Taxa de natalidade	(%)	50
2			65
3			85
1	Taxa de mortalidade	(%)	3,5
2			
3			
1	Taxa de lotação	UA ha ⁻¹	0,81
2			
3			
1	Rebanho inicial	UA	100
2			
3			
1	Custo do rebanho	reais cab ⁻¹ ano ⁻¹	830
2			1080
3			1350
1	Preço de venda	reais kg vivo ⁻¹	9
2			
3			

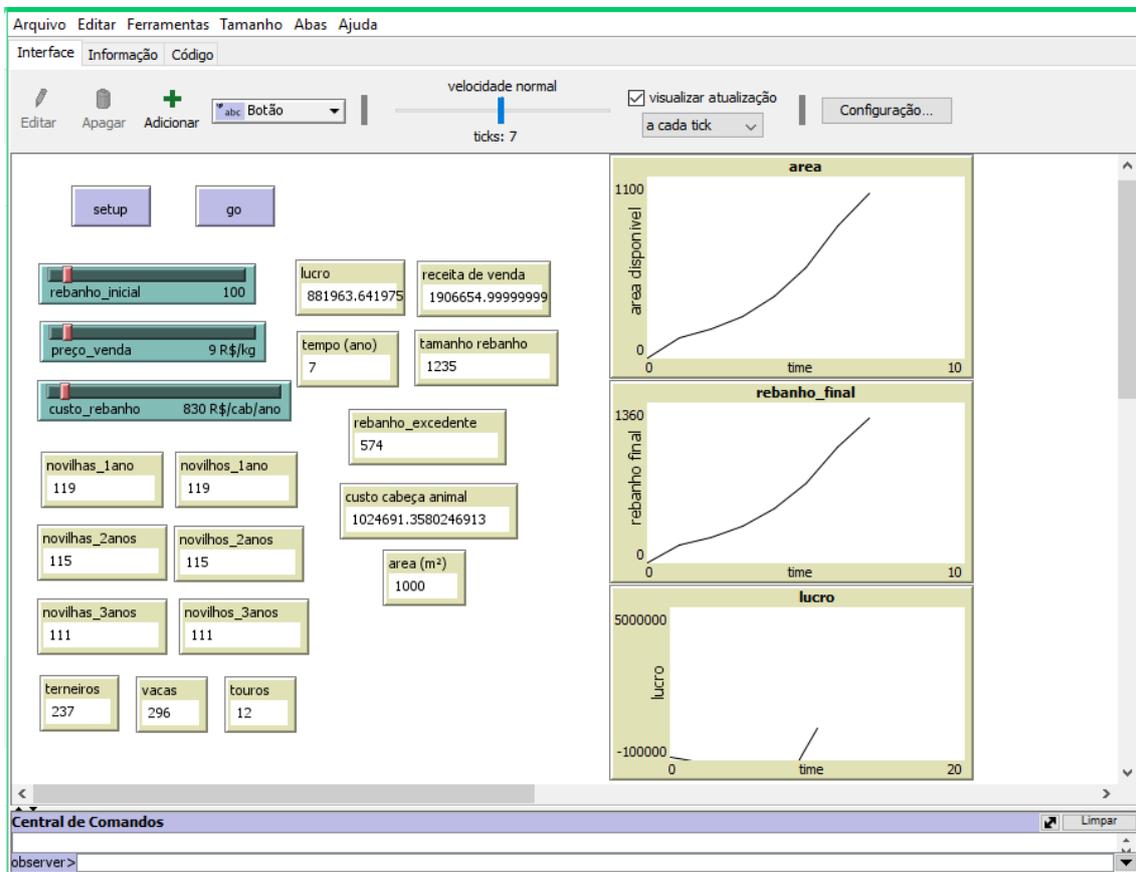
Fonte: Autor (2023).

O uso do modelo possui potencial de utilização, por outro lado existem diversos pontos de otimização que não foram considerados, como clima, suplementação, raça, entre outros. A modelagem e simulação, como um todo, é capaz de obter uma visão clara de quais as variáveis causam um maior impacto na produtividade e, conseqüentemente, no lucro. Além disso, permite que cada variável seja avaliada individualmente a cada ano, além de facilitar a análise dos dados através de uma interface gráfica e proporcionar ao produtor maior confiabilidade sobre os pontos em que ele deve focar para obter o maior retorno possível. A qualidade e o custo do rebanho devem estar alinhados, pois a elevação deste custo causará conseqüentemente uma redução no lucro.

A Figura 24 mostra a simulação referente ao primeiro cenário. Segundo Lampert et al. (2020), a tomada de decisão quanto à adoção de tecnologias deve observar em que situação se encontra o produtor. A resposta da produtividade dos sistemas de produção depende da taxa de natalidade, da capacidade de suporte de pastagens e dos preços de venda. Na atividade pecuária, é fundamental estabelecer princípios e regras para a tomada

de decisão em diferentes cenários.

Figura 24 – Resultado obtido no primeiro cenário.

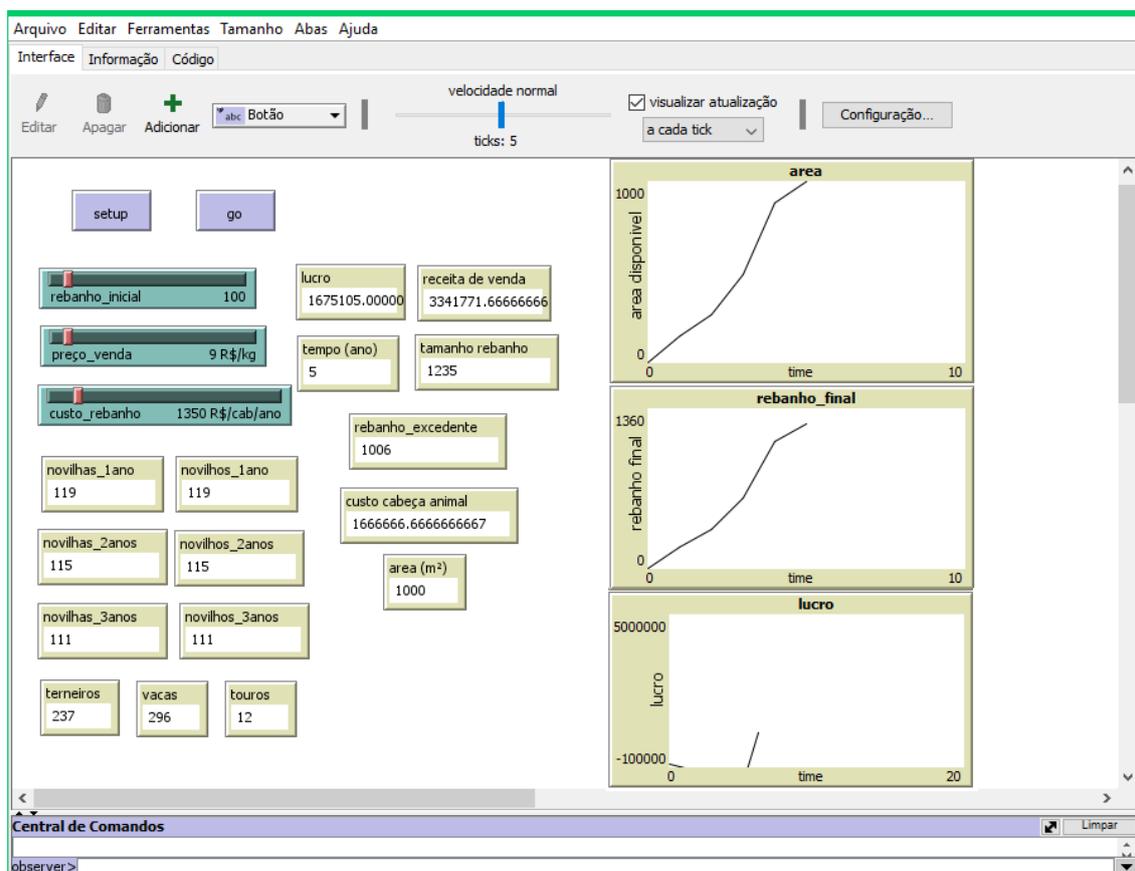


Fonte: Autor (2023).

Na Figura 25 mostra a simulação do terceiro cenário. Nesse caso, o tempo decorrido entre o estímulo na taxa de natalidade e resposta do sistema no rebanho excedente ocorreu mais rápido. Assim, umas das contribuições dessa análise é auxiliar o produtor, em cada cenário, a estimar o valor que ele deve investir na manutenção do rebanho para obter o lucro por ele desejado.

O investimento em indicadores de produção relativamente baixos é a maneira mais eficaz de aumentar a produtividade global da pecuária. Uma maneira de obter esta "relativização" é comparar o valor do indicador com a média e a variabilidade em uma amostra ou região de agricultores com sistemas de produção comparáveis. Nesse sentido, identificar o impacto das alterações dos indicadores de produção animal na produtividade do sistema agropecuário pode auxiliar na definição de estratégias e no ordenamento de prioridades de investimentos (LAMPERT et al., 2020).

Figura 25 – Resultado obtido no terceiro cenário.



Fonte: Autor (2023).

De acordo com Neves et al. (2022), para garantir o aumento da receita no mercado interno e externo, a produção de carne precisará aumentar 35% entre 2020 e 2030. Esse aumento só será possível com um incremento de 45% na produtividade média da pecuária brasileira. Esse aumento se baseia em alguns fatores como o crescimento do ganho de peso dos animais, o aumento nas taxas de natalidade, a diminuição na mortalidade e também na expressiva diminuição na idade ao abate (GOMES; FEIJÓ; CHIARI, 2017).

A melhoria da produtividade pode ser obtida através do incremento dos indicadores zootécnicos que apresentam maiores aspectos produtivos e econômicos conjuntamente. A execução automatizada do modelo reduz o tempo para obter uma decisão de gestão, o produtor pode executar o modelo com muitos cenários para aumentar a probabilidade de selecionar a prática de gestão que mais se adapta às suas ou seus objetivos. A dificuldade reside em expressar relações dos fatores críticos de uma forma que o usuário possa entender. Nesse sentido, uma linha de pesquisa aliada ao uso da tecnologia da informação poderá contribuir para o desenvolvimento da agropecuária de precisão.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi desenvolvida a modelagem e simulação parcial em sistemas dinâmicos de ciclo completo na pecuária de corte a partir dos dados de um modelo determinístico já existente. Para responder o problema de pesquisa, foi feita uma revisão sistemática de literatura dividida em delineamento do protocolo de revisão, condução do processo e sistematização dos resultados encontrados. Com isso, obteve-se uma ideia clara sobre o que já existe, o que ainda não existe e quais são os caminhos interessantes que podem ser trilhados.

Com base nos resultados alcançados, a construção de um modelo de Dinâmica de Sistemas permitiu parcialmente o funcionamento dos sistemas de produção de gado de corte em ciclo completo e encontrar seu equilíbrio dinâmico. As principais contribuições do trabalho foi a construção dos diagramas de influência e a estrutura de estoque e fluxo quantitativa em que favoreceram a acurácia do modelo, as suposições sobre os limites do modelo e a estrutura de feedback.

Entretanto, tal estudo e a abordagem, podem ser expandidos para incluir mais indicadores zootécnicos e interações dentro do sistema. O modelo desenvolvido pode funcionar melhor se as proporções das categorias forem flexibilizadas, a taxa de natalidade foi aplicada no rebanho inicial, entretanto, não foi ajustado o modelo de estoque para as diferentes categorias aplicando esta taxa exclusivamente nas fêmeas aptas para reprodução. É importante considerar essas limitações ao utilizá-lo e complementá-lo com outras fontes de informação e experiência, incluindo uma abordagem holística.

Apesar de suas limitações, o modelo tem potencial para ser utilizado para identificar em quais circunstâncias de desempenho zootécnico a taxa de lotação diminui ou aumenta a produtividade e a lucratividade. Essa avaliação contribui na geração de soluções estratégicas para o tomador de decisão, permitindo intervenções futuras e revisões por demais profissionais que tenham interesse em aprimorar este modelo.

Os indicadores zootécnicos e a produção por unidade de área são parâmetros cruciais para estimar a produtividade dos sistemas de pecuária de corte. A magnitude dos efeitos dos indicadores utilizados ao longo do tempo, de acordo com a intensificação do sistema, pode ser quantificada por meio da avaliação integrada aqui apresentada. Como resultado, conforme apresentado no modelo, as reduções na taxa de natalidade e o custo do rebanho impactaram a produtividade do sistema de uma maneira negativa para o equilíbrio dinâmico.

5.1 Trabalhos Futuros

Como trabalhos futuros, pode-se construir um modelo dinâmico com uma caracterização mais detalhada dos sistemas pecuários nas diferentes categorias do rebanho com estoques separados para contemplar os índices propostos. A flexibilização das proporções das categorias pode melhorar a eficiência do sistema de produção de carne bovina utilizando outro software que explique a dinâmica de sistemas.

Além disso, o estudo e abordagem podem ser expandidos para incluir mais variáveis e cenários dentro do sistema, novos *insights* sobre a prática de modelagem da produção agrícola podem servir como diretrizes para outros estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- ABIEC- Associação Brasileira Das Indústrias Exportadoras De Carnes. **Perfil da Pecuária no Brasil**. São Paulo, SP, 2020. Disponível em: <http://abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2020/>. Acesso em: 21 mar. 2022.
- ADDIS, A. H. et al. Agent-based modeling to improve beef production from dairy cattle: Model description and evaluation. **Agriculture**, MDPI, v. 12, n. 10, p. 1615, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/12/10/1615>. Acesso em: 12 set. 2023.
- AL-HUSSAINI, S. et al. A simulation-based framework for generating alerts for human-supervised multi-robot teams in challenging environments. In: **IEEE International Symposium on Safety, Security, and Rescue Robotics (SSRR)**. [S.l.: s.n.], 2021. p. 168–175.
- ANDERSON, V.; JOHNSON, L. Systems thinking basics. In: **From Concepts to Causal Loops**. Cambridge, MA: Pegasus Communications, 1997.
- ANDRADE, G. D. d.; FERREIRA, L. **REVISÃO DE LITERATURA: EVOLUÇÃO DA BOVINOCULTURA NO BRASIL**. ARIQUEMES, RO: Faculdade de Educação e Meio Ambiente. Trabalho Conclusão de Curso em Agronomia. Disponível em: <http://repositorio.faema.edu.br:8000/jspui/handle/123456789/2984>. Acesso em: 07 set. 2021.
- ARGOLOME, A. C.; OLIVEIRA, R. D. Um modelo de simulação de cenários como ferramenta de planejamento na bovinocultura de corte. In: **Congresso Universidade de São Paulo de Controladoria e contabilidade**. [s.n.], 2006. Disponível em: <https://congressosp.fipecafi.org/anais/artigos62006/313.pdf>. Acesso em: 21 ago 2022.
- ARROQUI, M. et al. A simulation scheduling module to improve user experience in the simugan beef-cattle farm simulator. **Latin America Transactions, IEEE**, v. 20, n. 1, p. 162–170, 2021.
- ASH, A. et al. Boosting the productivity and profitability of northern australian beef enterprises: Exploring innovation options using simulation modelling and systems analysis. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 139, p. 50–65, 2015.
- BARBOSA, F. et al. Produtividade e eficiência econômica de sistemas de produção de cria, recria e engorda de bovinos de corte na região sul do estado da bahia. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, SciELO, v. 62, p. 677–685, 2010.
- BENNETT, N. Serie tutorial de netlogo: Introducción y conceptos básicos. 2015. Disponível em: <https://www.nickbenn.com/sites/default/files/projects/documents/Core%20Concepts%20%28Spanish%29.pdf>. Acesso em: 12 set 2022.
- BEZZOUT, H. et al. Simulation of electromagnetic waves propagation in free space using netlogo multi-agent approach. In: **Proceedings of the 2nd international Conference on Big Data, Cloud and Applications**. [S.l.: s.n.], 2017. p. 1–4.
- CALVANO, M. P. C. A. et al. Bioeconomic simulation of rhipicephalus microplus infestation in different beef cattle production systems in the brazilian cerrado. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 194, p. 103–247, 2021.

CAMINOS, A. et al. Modelado y simulación de la producción ganadera a corral. In: **VIII Congreso Argentino de Ingeniería Industrial**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1–12.

CANELLAS, L. C. **Modelagem e simulação para análise de sistemas de recria-terminação de bovinos de corte**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia., 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/133188>. Acesso em: 21 jul. 2021.

CARVALHO, M. A. L. **Metodologia para aferição da competitividade de sistemas de cria na bovinocultura de corte**. Programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pampa, 2016. Disponível em: <https://repositorio.unipampa.edu.br/jspui/handle/rii/543>. Acesso em: 21 ago. 2021.

CHIACCHIO, F. et al. Agent-based modeling of the immune system: Netlogo, a promising framework. **BioMed research international**, Hindawi, 2014. Disponível em: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2014/907171/>. Acesso em: 15 ago 2022.

CORSON, N.; OLIVIER, D. Dynamical systems with netlogo. In: **Agent-Based Spatial Simulation with Netlogo**. [S.l.]: Elsevier, 2015. p. 183–221.

COSTA, M. Paranhos da; SANT’ANNA, A. Bem-estar animal como valor agregado nas cadeias produtivas de carnes. **Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal : Funep ISBN: 978-85-7805-162-4**, 2016.

DEL-MASSO, M. C. S.; COTTA, M. A. d. C.; SANTOS, M. A. P. Ética em pesquisa científica: conceitos e finalidades. **RedeFor Educação Especial e Inclusiva, Texto II. São Paulo: Unesp**, p. 1–16, 2012. Disponível em: <http://acervodigital.unesp.br/handle/unesp/155306>. Acesso em: 11 set. 2021.

DICK, M.; SILVA, M. A. da; DEWES, H. Life cycle assessment of beef cattle production in two typical grassland systems of southern brazil. **Journal of Cleaner Production**, Elsevier, v. 96, p. 426–434, 2015.

DIEGUEZ, F.; FORT, H. An application of a dynamical model with ecological predator–prey approach to extensive livestock farming in uruguay: Economical assessment on forage deficiency. **J. Dyn. Games**, v. 6, p. 119–29, 2019.

ENCISO, K. et al. The inclusion of leucaena diversifolia in a colombian beef cattle production system: An economic perspective. **Tropical Grasslands-Forrajes Tropicales**, v. 7, n. 4, p. 359–369, 2019.

FIGUEIREDO, J. C. B. de. Modelo computacional para simulação de aplicação da teoria das restrições. **Revista Alcance. Universidade do Vale do Itajaí. Bigaçu**, v. 17, n. 2, p. 19–31, 2010. Disponível em: <https://periodicos.univali.br/index.php/ra/article/view/2126>. Acesso em: 14 set 2023.

FILHO, A. F. P.; FIGUEIREDO, R. S.; NETO, O. J. d. O. Aplicação da metodologia system dynamics na avaliação da sustentabilidade econômico-financeira da bovinocultura de corte no município de parintins–estado do amazonas. Brasil, 2009.

FILHO, K. E. Produção de bovinos de corte e o trinômio genótipo-ambiente-mercado. **Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte.**, Campo Grande, MS, 2000. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/104782/1/Producao-de-bovinos-de-corte-trinomio.pdf>. Acesso em: 10 out. 2021.

FILIPINI, V. T. et al. Simulation model for bull: cow ratio in beef cattle. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 57, n. 3, p. e164061–e164061, 2020.

FORRESTER, J. W. Industrial dynamics. **Journal of the Operational Research Society**, Taylor & Francis, v. 48, n. 10, p. 1037–1041, 1997.

FREITAS, G. da S.; PRUDENCIO, M. F.; FILHO, C. V. S. O uso de tecnologias para reduzir impactos ambientais na intensificação da pecuária de corte. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 8, p. e17611830416–e17611830416, 2022.

FREITAS, M. W. d. Estudo integrado e modelagem da dinâmica da paisagem no alto uruguai (rs-sc). **Marcos Wellausen Dias de Freitas.–São José dos Campos: INPE**, v. 26, p. 119, 2013.

FURTADO, B. A. et al. Abordagem de sistemas complexos para políticas públicas. **Modelagem de sistemas complexos para políticas públicas**, p. 21–42, 2015.

GARCÍA, J. **Theory and practical exercises of system dynamics: modeling and simulation with Vensim PLE**. [S.l.]: Preface John Sterman, 2020. 25–96 p.

GASPAR, A. et al. Bioeconomic simulation of productive systems in beef cattle production activities which emphasis in maintenance and pasture recovery. **Archivos de zootecnia**, Universidad de Córdoba, v. 66, n. 256, p. 485–490, 2017.

GAUDOU, B. et al. Netlogo, an open simulation environment. In: **Agent-based Spatial Simulation with NetLogo, Volume 2**. [S.l.]: Elsevier, 2017. p. 1–36.

GODFREY, T. Domain-specific modelling languages for participatory agent-based modelling in healthcare. In: IEEE. **2021 ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems Companion (MODELS-C)**. [S.l.], 2021. p. 654–659.

GOMES, R. da C.; FEIJÓ, G. L. D.; CHIARI, L. Evolução e qualidade da pecuária brasileira. **EMBRAPA, Nota Técnica. Campo Grande**, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/10180/21470602/EvolucaoQualidadePecuaria.pdf>. Acesso em: 15 out 2022.

GRIGORYEV, I. Anylogic 7 in three days. **A quick course in simulation modeling ISBN-13: 978-1508933748**, v. 2, 2015. Disponível em: <https://www.anylogic.com/upload/al-in-3-days/anylogic-7-em-tres-dias.pdf>. Acesso em: 30 out 2022.

HAN, Z. et al. An urban traffic simulation system based on multi-agent modeling. In: IEEE. **The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)**. [S.l.], 2015. p. 6378–6383.

HARFUCH, L. et al. Modelling beef and dairy sectors' productivities and their effects on land use change in brazil. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, SciELO, v. 54, p. 281–304, 2016.

HARRIS, S. et al. Developing an indicator of productive potential to assess land use suitability in new zealand. **Environmental and Sustainability Indicators**, Elsevier, v. 11, p. 100–128, 2021.

HAZARD, L. et al. Mutual learning between researchers and farmers during implementation of scientific principles for sustainable development: the case of biodiversity-based agriculture. **Sustainability Science**, Springer, v. 13, n. 2, p. 517–530, 2018.

HIROOKA, H. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. **Animal science journal**, Wiley Online Library, v. 81, n. 4, p. 411–424, 2010.

HLAVATÝ, R. et al. Understanding the decision-making in small-scale beef cattle herd management through a mathematical programming model. **International Transactions in Operational Research**, Wiley Online Library, 2021.

HUANG, Y.-L. et al. Spsc: an efficient, general-purpose execution policy for stochastic simulations. In: IEEE. **2021 Winter Simulation Conference (WSC)**. [S.l.], 2021. p. 1–12.

IBGE. **Pesquisa Trimestral do Abate de Animais**. [S.l.], 2023. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/home/abate/nordeste>. Acesso em: 14 set. 2023.

KUGLER, N. et al. Cow performance in conventional versus early weaning herds in north patagonia, argentina. **Rangelands**, BioOne, v. 30, n. 1, p. 12–16, 2008.

LAMPERT, V. et al. Modelling beef cattle production systems from the pampas in brazil to assess intensification options. **Scientia Agricola**, v. 77, n. 4, p. e20180263–e20180263, 2020.

LAMPERT, V. d. N. **Produtividade e eficiência de sistemas de ciclo completo na produção de bovinos de corte**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós Graduação em Zootecnia. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, 2010. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/28644>. Acesso em: 10 ago 2022.

LAMPERT, V. d. N. L. **Sistema de apoio às decisões econômicas no manejo de novilhas de corte**. Viçosa -MG: 92 f. Dissertação (Mestrado em Economia Aplicada). Universidade Federal de Viçosa, 2002. Disponível em: <http://www.locus.ufv.br/handle/123456789/8960>. Acesso em: 23 set 2021.

LANCASTER, P. A.; LARSON, R. L. Evaluation of strategies to improve the environmental and economic sustainability of cow–calf production systems. **Animals**, MDPI, v. 12, n. 3, p. 385, 2022.

LIMA, L. D. d. S. et al. **Inseminação artificial em tempo fixo (IATF) como ferramenta do melhoramento animal em bovinos de corte no Nordeste Paraense**. Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA.

- Trabalho Conclusão de Curso em Agronomia, 2023. Disponível em: https://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/3214/1/TCC_VersaoFinal_assinado%20%281%29.pdf. Acesso em: 28 nov. 2023.
- LIMA, T. F. M. de et al. Modelagem de sistemas baseada em agentes: Alguns conceitos e ferramentas. In: **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 25–30.
- LOGAN, B. G. et al. Classification of southern australian grass-and grain-fed beef. **Food Analytical Methods**, Springer, v. 14, n. 8, p. 1730–1743, 2021.
- LOPES, R. B. et al. Bioeconomic simulation of compensatory growth in beef cattle production systems. **Livestock Science**, Elsevier, v. 216, p. 165–173, 2018.
- MAGNABOSCO, C. d. U. et al. Avaliação econômica de duas estratégias de recria de bovinos nelore utilizando pastagens renovadas em sistema de integração lavoura pecuária. **Embrapa Cerrados. Comunicado Técnico**, Planaltina, DF: Embrapa Cerrados., 2009.
- MANCINI, A. et al. A compact and flexible c++ framework to support modular development of hierarchical dynamic systems simulators (wip) embrapa agricultural informatics. In: **Proceedings of the Symposium on Theory of Modeling & Simulation-DEVS Integrative**. [S.l.: s.n.], 2014. p. 1–6.
- MARQUES, E. G.; MAGNABOSCO, C. U.; LOPES, F. B. Selection indices for nellore beef cattle from performance test weight in confinement. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, SciELO, v. 13, p. 669–681, 2012.
- MARQUES, P. R. et al. A proposal for the evaluation of the bioeconomic efficiency of beef cattle production systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO, v. 46, p. 65–71, 2017.
- MATURO, A. et al. Design and environmental sustainability assessment of energy-independent communities: The case study of a livestock farm in the north of italy. **Energy Reports**, Elsevier, v. 7, p. 8091–8107, 2021.
- MAYER, D. et al. Integrating stochasticity into the objective function avoids monte carlo computation in the optimisation of beef feedlots. **Computers and electronics in agriculture**, Elsevier, v. 91, p. 30–34, 2013.
- MCGEE, M. et al. Performance, meat quality, profitability, and greenhouse gas emissions of suckler bulls from pasture-based compared to an indoor high-concentrate weanling-to-beef finishing system. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 198, p. 103–379, 2022.
- MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Elsevier, 2010. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/001800911>. Acesso em: 05 dez 2022.
- MORA-HERRERA, D. Y.; HUERTA-BARRIENTOS, A.; ZÚÑIGA-ESCOBAR, O. A review of agent-based modeling for simulation of agricultural systems. **Dyna, Revista DYNA**, v. 88, n. 217, p. 103–110, 2021.

MOURA, D. J. et al. Impact of global warming on beef cattle production cost in brazil. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **ASABE 1st Climate Change Symposium: Adaptation and Mitigation Conference Proceedings**. [S.l.], 2015. p. 1–3.

MUNIZ, L. et al. Modelagem e simulação na agropecuária. **PUBVET**, v. 1, n. 11, 2007. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/569752>. Acesso em: 12 nov 2021.

NEUMANN, M.; ZUCHONELLI, C.; PRIEB, R. I. A cadeia produtiva da carne bovina: análise de formação de preços da carne bovina no rio grande do sul. **Jornada técnica em sistemas de produção de bovinos de corte e cadeia produtiva: tecnologia, gestão e mercado**, v. 1, 2006.

NEVES, G. V. S. et al. Bovinocultura de corte no brasil: uma revisão sistemática de literatura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 6, p. 277–293, 2022.

NILOOFAR, P. et al. Modeling and simulation for decision support in precision livestock farming. In: IEEE. **Winter Simulation Conference (WSC)**. [S.l.], 2020. p. 2601–2612.

OAIGEN, R. P. et al. Competitividade inter-regional de sistemas de produção de bovinocultura de corte. **Ciência Rural**, SciELO, v. 43, p. 1489–1495, 2013.

OISHI, K. et al. Economic and environmental impacts of changes in culling parity of cows and diet composition in japanese beef cow–calf production systems. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 115, p. 95–103, 2013.

OLIVEIRA, D. G. d. et al. Binary programming for the simulation of crop rotation and animal transit in an integrated crop–livestock system. **Revista Ciência Agronômica**, SciELO, v. 50, p. 123–130, 2019.

OLTJEN, J. Using models for optimum growing cattle harvest endpoint. **Precision Livestock Farming 2017 - Papers Presented at the 8th European Conference on Precision Livestock Farming, ECPLF 2017**, Scopus, p. 557 – 563, 2017. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85060612267&partnerID=40md5=67d3b12e804648c9bab175f84b72a874>. Acesso em: 10 jul. 2021.

ORIONTE, S. **Simulación de alternativas tecnológicas en sistemas de cría vacuna en el valle bonaerense del Río Colorado**. Tese (Doutorado) — Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar del Plata, 2014.

PANG, H. et al. Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. **Canadian Journal of Animal Science**, NRC Research Press Ottawa, Canada, v. 79, n. 4, p. 409–417, 1999.

PARSIFAL. **Perform Systematic Literature Reviews**. [S.I.]: [s.n.], 2021. Disponível em: <https://parsif.al/>. Acesso em: 21 jun. 2021.

PINI, T. et al. Aplicabilidade da simulação técnico-econômico na bovinocultura de corte de mato grosso do sul. **Archivos de zootecnia**, SciELO, v. 63, n. 241, p. 191–198, 2014.

PRAVIA, M. I. et al. Identification of breeding objectives using a bioeconomic model for a beef cattle production system in uruguay. **Livestock Science**, Elsevier, v. 160, p. 21–28, 2014.

RAILSBACK, S. F.; GRIMM, V. **Agent-based and individual-based modeling: a practical introduction**. [S.l.]: Princeton university press, ISBN 978-0-691-19082-2, 2019. v. 2.

ROBERT, M. et al. Adaptive and dynamic decision-making processes: A conceptual model of production systems on indian farms. **Agricultural systems**, Elsevier, v. 157, p. 279–291, 2017.

RODRIGUEZ, I. **Land as a Renewable Resource: Integrating Climate, Energy, and Profitability Goals using an Agent-Based NetLogo Model**. Tese (Doutorado) — Agricultural and Resource Economics Program. Doctor of Philosophy. West Virginia University, Morgantown, WV, 2012. Disponível em: <https://researchrepository.wvu.edu/etd/3547/>. Acesso em: 25 jul. 2021.

RODRIGUEZ-ULLOA R., P.-C. A. Metodologia soft system dynamics (ssdm): Combinando soft systems methodology (ssm) e system dynamics (sd). **Syst Pract Act Res** **18**, 2005. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11213-005-4816-7#citeas>. Acesso em: 14 set 2023.

RUVIARO, C. F. et al. Economic and environmental feasibility of beef production in different feed management systems in the pampa biome, southern brazil. **Ecological indicators**, Elsevier, v. 60, p. 930–939, 2016.

SANTANA, R. A. V. et al. Desempenho bioeconômico de sistemas intensivos de cria e de ciclo completo por meio de simulação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, SciELO, v. 65, p. 1773–1782, 2013.

SANTOS, L. D. d. et al. **Produção de madeira e conservação da Mata Atlântica: uma abordagem de dinâmica de sistemas**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Agroecossistemas. Universidade Federal de Santa Catarina, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/215426>. Acesso em: 30 ago 2022.

SANTOS, T.; TREVISAN, R. et al. Eucaliptos versus bioma pampa: compreendendo as diferenças entre lavouras de arbóreas eo campo nativo. **Lavouras de Destrução: a (im) posição do consenso**, Pelotas, RS, p. 299–332, 2009.

SARTORELLO, G. L.; BASTOS, J. P. S. T.; GAMEIRO, A. H. Development of a calculation model and production cost index for feedlot beef cattle. **Revista Brasileira de Zootecnia**, SciELO Brasil, v. 47, 2018.

SCHULTE, L. G. et al. Decision support system for precision livestock: Machine learning-based prediction module for stocking rate adjustment. In: **Proceedings of the XV Brazilian Symposium on Information Systems**. [S.l.: s.n.], 2019. p. 1–8.

SEMCHICHEM, R. et al. Relationship among productive and economic variables of beef cattle in brazil. **Ciência Rural**, SciELO Brasil, v. 51, p. e20190841, 2021.

SESSIM, A. G. **Idades de descarte da vaca: eficiência bioeconômica e resiliência do sistema de cria**. Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/232250>. Acesso em: 20 out 2022.

SETIANTO, N. et al. Unintended effect of government program on beef development in indonesia; a system approach. In: IOP PUBLISHING. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. [S.l.], 2019. v. 372, n. 1, p. 012003.

SIEBERS, P.-O. et al. Discrete-event simulation is dead, long live agent-based simulation! **Journal of Simulation**, Springer, v. 4, n. 3, p. 204–210, 2010.

SIMÕES, A. R. P. et al. Dynamic impacts of farm-level technology adoption on the brazilian dairy supply chain. **International Food and Agribusiness Management Review**, Wageningen Academic Publishers, v. 23, n. 1, p. 71–84, 2020. Disponível em: <https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.22434/IFAMR2019.0033>. Acesso em: 14 set. 2023.

STERMAN, J. D. System dynamics modeling: tools for learning in a complex world. **California management review**, SAGE Publications Sage CA: Los Angeles, CA, v. 43, n. 4, p. 8–25, 2001. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/doi/10.2307/41166098>. Acesso em: 14 set 2023.

ŠTSEK, J.; ULRYCH, L. Strategic thinking in the management of agribusinessu companies. **Agricultural Economics**, Czech Academy of Agricultural Sciences (CAAS), v. 54, n. 3, p. 117–124, 2008.

TANURE, S.; NABINGER, C.; BECKER, J. L. Bioeconomic model of decision support system for farm management. part i: Systemic conceptual modeling. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 115, p. 104–116, 2013.

TANURE, S.; NABINGER, C.; BECKER, J. L. Bioeconomic model of decision support system for farm management: proposal of a mathematical model. **Systems Research and Behavioral Science**, Wiley Online Library, v. 32, n. 6, p. 658–671, 2015.

TAYLOR, R. et al. Bioeconomic and greenhouse gas emissions modelling of the factors influencing technical efficiency of temperate grassland-based suckler calf-to-beef production systems. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 183, p. 102860, 2020.

THORNLEY, J. H.; FRANCE, J. Mathematical models in agriculture: quantitative methods for the plant, animal and ecological sciences. **Journal of Agricultural Science**. ISBN 0 85199 010 X, Wallingford, UK: CABI, 2007.

TISUE, S.; WILENSKY, U. Netlogo: A simple environment for modeling complexity. In: CITESEER. **International conference on complex systems**. [S.l.], 2004. v. 21, p. 16–21.

TURNER, B. et al. Analyzing ranch profitability from varying cow sales and heifer replacement rates for beef cow-calf production using system dynamics. **Agricultural Systems**, Elsevier, v. 114, p. 6–14, 2013.

VARGAS, M. F. d. C. **Modelagem e aplicação de um sistema de custeio baseado no método ABC para uma fazenda de pecuária de corte e leite.** [S.I.]: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Curso de Graduação. Engenharia de Produção., 2020. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/213536>. Acesso em: 10 jul. 2021.

VILELA, J. et al. Integration between requirements engineering and safety analysis: A systematic literature review. **Journal of Systems and Software**, Elsevier, v. 125, p. 68–92, 2017.

WANG, H.-H. et al. Simulated interactions of white-tailed deer (*odocoileus virginianus*), climate variation and habitat heterogeneity on southern cattle tick (*rhipicephalus (boophilus) microplus*) eradication methods in south texas, usa. **Ecological Modelling**, Elsevier, v. 342, p. 82–96, 2016.

WANG, M. et al. Cost of bovine respiratory disease in preweaned calves on us beef cow–calf operations (2011–2015). **Journal of the American Veterinary Medical Association**, Am Vet Med Assoc, v. 253, n. 5, p. 624–631, 2018.

YANG, Q. et al. Developing an agent-based model to simulate the beef cattle production and transportation in southwest kansas. **Physica A: Statistical Mechanics and its Applications**, Elsevier, v. 526, p. 120–856, 2019.

ZAGO, D. **Nutrição de vacas de corte prenhes e seus efeitos sobre o desempenho pré e pós-natal de suas progênies: uma metanálise.** Tese (Doutorado) — Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul., 2017. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/169282>. Acesso em: 07 out. 2021.

**ANEXO A – CONDIÇÕES DE USO DAS VARIÁVEIS DE ENTRADA DO
MODELO**

Variável de entrada	Unidade	Valores
Área explorada	hectare	1000
Taxa de lotação	UA ha ⁻¹	0,50 a 1,50
Taxa de natalidade	%	50 a 80
Taxa de mortalidade média do rebanho	%	2 a 5
Taxa anual do descarte de vacas	%	15
Taxa anual do descarte de touros	%	25
Quantidade de touros no rebanho	%	3
Idade de acasalamento das novilhas	anos	1 a 3
Idade de abate dos novilhos	anos	1 a 3
Peso de abate dos novilhos com 1 ano	kg	360 a 400
Peso de abate dos novilhos aos 2 anos	kg	400 a 440
Peso de abate dos novilhos aos 3 anos	kg	440 a 480
Peso de abate das novilhas de descarte	kg	350 a 415
Peso de abate das vacas de descarte	kg	400 a 500
Peso de abate dos touros	kg	800
Peso ao desmame machos (IAB = 3)	kg	158
Peso ao desmame machos (IAB = 2)	kg	177
Peso ao desmame machos (IAB = 1)	kg	200
Peso ao desmame fêmeas (IAC = 3)	kg	110
Peso ao desmame fêmeas (IAC = 2)	kg	130
Peso ao desmame fêmeas (IAC = 1)	kg	180
Peso médio machos de 1 ano (IAB = 3)	kg	195 a 203
Peso médio machos de 2 anos (IAB = 3)	kg	267 a 291
Peso médio machos de 3 anos (IAB = 3)	kg	340 a 380
GMD recria dos machos (IAB = 3)	kg	0,199 a 0,243
Peso médio machos de 1 ano (IAB = 2)	kg	218 a 232
Peso médio machos de 2 anos (IAB = 2)	kg	300 a 340

APÊNDICE A – CÓDIGO NETLOGO

```
;; System dynamics model globals

globals [

  ;; constants

  taxa_natalidade

  taxa_mortalidade

  taxa_lotação

  ;; stock values

  area_explorada

  rebanho_final

  ;; size of each step, see SYSTEM-DYNAMICS-GO

  dt

]

;; Initializes the system dynamics model.

;; Call this in your model's SETUP procedure.

to system-dynamics-setup

  reset-ticks

  set dt 1.0

  ;; initialize constant values

  set taxa_natalidade 0.65

  set taxa_mortalidade 0.035

  set taxa_lotação 1

  ;; initialize stock values

  set area_explorada rebanho_inicial * taxa_lotação

  set rebanho_final rebanho_inicial

end
```

```

;; Step through the system dynamics model by performing next iteration of Euler's method.

;; Call this in your model's GO procedure.

to system-dynamics-go

  ;; compute variable and flow values once per step

  let local-natalidade natalidade

  let local-mortalidade mortalidade

  let local-ocupação_natalidade ocupação_natalidade

  let local-desocupação_desocupação

  let local-rebanho_excedente rebanho_excedente

  let local-area_excesso area_excesso

  ;; update stock values

  ;; use temporary variables so order of computation doesn't affect result.

  let new-area_explorada ( area_explorada + local-ocupação_natalidade - local-desocupação -
  local-area_excesso )

  let new-rebanho_final max( list 0 ( rebanho_final + local-natalidade - local-mortalidade - local-
  rebanho_excedente ) )

  set area_explorada new-area_explorada

  set rebanho_final new-rebanho_final

  tick-advance dt

end

;; Report value of flow

to-report natalidade

  report ( rebanho_final * taxa_natalidade

  ) * dt

```

end

;; Report value of flow

to-report mortalidade

```
report ( rebanho_final * taxa_mortalidade
) * dt
```

end

;; Report value of flow

to-report ocupação_natalidade

```
report ( (rebanho_final * taxa_natalidade) * taxa_lotação
) * dt
```

end

;; Report value of flow

to-report desocupação

```
report ( (rebanho_final * taxa_mortalidade) * taxa_lotação
) * dt
```

end

;; Report value of flow

to-report rebanho_excedente

```
report ( ifelse-value (rebanho_final + natalidade - mortalidade) * taxa_lotação >= 1000
[(rebanho_final + natalidade - mortalidade) - 1000 / taxa_lotação ] [0]
) * dt
```

end

;; Report value of flow

```
to-report area_excesso
```

```
  report ( ifelse-value ( rebanho_final + natalidade - mortalidade) * taxa_lotação >= 1000  
    [(rebanho_final + natalidade - mortalidade) - 1000 / taxa_lotação ] [0]
```

```
  ) * dt
```

```
end
```

```
;; Plot the current state of the system dynamics model's stocks
```

```
;; Call this procedure in your plot's update commands.
```

```
to system-dynamics-do-plot
```

```
  if plot-pen-exists? "area_explorada" [
```

```
    set-current-plot-pen "area_explorada"
```

```
    plotxy ticks area_explorada
```

```
  ]
```

```
  if plot-pen-exists? "rebanho_final" [
```

```
    set-current-plot-pen "rebanho_final"
```

```
    plotxy ticks rebanho_final
```

```
  ]
```

```
end
```