



Serviço Público Federal
Ministério da Educação
Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

**MODELAGEM BIOECONÔMICA PARA POPULAÇÕES
BOVINAS DA RAÇA NELORE EM DIFERENTES SISTEMAS
DE PRODUÇÃO DO CERRADO**

Renata Felisberto Henriques

Campo Grande, MS

2024

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA ANIMAL
CURSO DE DOUTORADO

**MODELAGEM BIOECONÔMICA PARA POPULAÇÕES BOVINAS DA RAÇA
NELORE EM DIFERENTES SISTEMAS DE PRODUÇÃO DO CERRADO**

*Bioeconomic models applied to Nelore cattle populations in several Cerrado production
systems*

Renata Felisberto Henriques

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Carneiro Brumatti

Coorientadores: Profa. Dra. Susana Amaral Teixeira

Dr. Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes

Tese apresentada à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito à obtenção do título de Doutora em Ciência Animal. Área de concentração: Produção Animal.

Campo Grande, MS

2024

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, professor Doutor Ricardo Carneiro Brumatti pela oportunidade, por ter acreditado em mim e por todo o conhecimento adquirido com este trabalho.

Aos coorientadores, Doutor Gilberto Romeiro de Oliveira Menezes e a professora Doutora Susana Amaral Teixeira, pela disponibilidade.

A Universidade Federal de Mato Grosso do Sul por tornar meus sonhos possíveis, e aqui incluo professores, alunos e demais funcionários por todo apoio e tempo passados juntos.

A minha querida mãe, especialmente, pelo suporte em todos os momentos, sempre com uma dedicação incondicional.

Ao meu Felipe, pela atenção, prontidão e ensinamentos, sempre me apoiando.

Ao meu amado filho, Hugo por me motivar a ser sempre uma pessoa melhor e para quem busco ser motivo de orgulho.

A minha grande amiga Cintia e seus Raphael e Francisco, por sempre estarem presentes apesar de qualquer distância.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte desta jornada, meu muito obrigado.

Resumo

Henriques, R.F. Modelagem Bioeconômica para Populações Bovinas da Raça Nelore em Diferentes Sistemas de Produção. 2024. 91f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

É reconhecida a importância econômica da pecuária de corte no bioma Cerrado brasileiro, entretanto com a otimização dos processos é possível superar as expectativas do setor. Ao considerar os fatores de desempenho e financeiros por meio de modelos computacionais simulados é possível traçar avaliações bioeconômicas que contemplem a produtividade e a viabilidade econômica na bovinocultura de corte. Visando desenvolver uma modelagem bioeconômica, primeiramente foi desenvolvido um modelo de simulação para gerar informações de rebanho Nelore em diferentes sistemas de produção nas condições ambientais do bioma Cerrado. Dados extraídos da literatura foram empregados na concepção de seis modelos simulados, os quais representam distintos sistemas de produção: sistema modal (extensivo), sistema de produção melhorado 1, sistema de produção melhorado 2, sistema de produção melhorado 3, sistema de produção melhorado 4 e sistema de produção melhorado 5. A simulação foi realizada de forma estocástica por meio da utilização da matriz de Leslie, caracterizando os modelos estruturados por idade, incorporando probabilidades específicas por faixa etária, taxas de sobrevivência das matrizes, bem como a taxa de sobrevivência para bezerras. As principais variáveis abordadas nos modelos de simulação de rebanho incluíram informações quantitativas, tais como o número de animais no rebanho e variáveis de peso relacionadas às categorias de novilhas e novilhos de corte, e vacas à maturidade. Para a inclusão de dados econômicos à modelagem, foi criado um segundo algoritmo, em continuidade aos dados de rebanho, que simularam os valores para receita, custos e lucro nos seis sistemas de produção simulados. A receita por sistema foi simulada com base na média da arroba entre 2021 e 2023, segundo o indicador do boi gordo do CEPEA/B3 e considerou a variância correspondente a rendimento de carcaça e gordura. Os parâmetros relacionados aos custos de produção foram derivados dos custos de produção do Beef Report 2023 da ABIEC. O lucro bruto resultante de cada sistema foi obtido pela diferença entre receita e custo. Para verificar e avaliar a qualidade do ajuste das variáveis simuladas foram conduzidas análises de correlação e regressão, considerando um nível de significância de 5%. Toda a modelagem e análises estatísticas desenvolvidas foram geradas usando comandos programados no ambiente R. Os resultados destacam uma robusta e positiva correlação (variando de 0,93 a 0,99) ($p < 0,05$) entre os dados observados e os simulados, evidenciando a capacidade do atual modelo de simulação bioeconômica em replicar todos os sistemas analisados. A análise de regressão foi empregada para contrastar os dados observados e simulados, revelando uma regressão linear significativa para todas as variáveis examinadas ($p < 0,05$). Essa significância, aliada a um elevado coeficiente de determinação, sugere que tais variáveis podem ser adequadamente previstas pelos modelos de simulação bioeconômica. Os modelos avaliados demonstraram capacidade em prever rebanhos e dados econômicos, desde a produção extensiva até a mais intensiva de gado de corte em sistemas de ciclo completo. A ferramenta desenvolvida permite sua aplicação em diferentes contextos, viabilizando avaliações abrangentes para orientar investidores e produtores na gestão eficiente dos recursos animais e econômicos na atividade pecuária.

Palavras-chave: algoritmo; evolução de rebanho; simulação; rentabilidade.

Abstract

Henriques, R.F. Bioeconomical Models for Nelore Cattle Populations from Different Production Systems. 2024. 91f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, MS, 2023.

The economic importance of beef cattle farming in the Brazilian Cerrado biome is well known, however, by optimizing processes it is possible to overcome the sector's expectations. By considering performance and financial factors through simulated computer models, it is possible to establish bioeconomic evaluations, which take productivity and economic viability into account in beef cattle production. Aiming to develop a bioeconomic model, a simulation model was developed for the first time to generate information on Nelore herds in different production systems under the Cerrado biome environmental conditions. Data gathered from the literature was used to design six simulated models, representing different production systems: modal (extensive) system, improved breeding system 1, improved breeding system 2, improved breeding system 3, improved breeding system 4 and improved breeding system 5. Stochastic simulation was carried out using the Leslie matrix to describe age-structured model with age specific probability of producing calf survival and survival rates. The main target variables in the herd simulation models were quantitative, including number of animals and weight variables associated with heifer, steer and mature cows categories. In order to use the modeling economic data, a second algorithm was developed from the herd data, simulating values for income, costs and profit for all six simulated production systems. System income was simulated according to the average of arroba prices between 2021 and 2023, based on the CEPEA/B3 cattle indicator, as well as the variance related to carcass yield and fat was taken into account. Parameters related to production costs were derived from ABIEC's Beef Report 2023. The resulting gross profit for each system was derived by taking the difference between income and costs. Correlation and regression analyses were carried out to verify and evaluate the fit quality of the simulated variables. Significance was declared at $p \leq 0.05$. The modeling and statistical analyses performed were carried out by using programmed commands in the R environment. The results show a strong and positive correlation (from 0.93 to 0.99) ($p < 0.05$) between the observed and simulated data showing the current bioeconomic simulation model's ability to replicate all the systems studied. Regression analysis was applied to compare the observed and simulated data, showing significant linear regression for all the variables considered ($p < 0.05$). The significance of the regression, as well as the high coefficient of determination, suggests that the bioeconomic simulation models can adequately predict the variables. The evaluated models proved to be able to predict herds and economic data, from extensive to more intensive beef cattle production in full-cycle systems. The developed solution can be applied in different contexts, providing complete evaluations to provide support for both farmers and researchers in the management of animal and economic resources in the cattle production.

Keywords: algorithm; herd evolution; simulation; profitability.

Sumário

Capítulo 1 – Considerações gerais	8
1- Introdução geral	8
2- Revisão de literatura	9
2.1- Bovinocultura	9
2.2- Nelore	11
2.3- Sistemas de produção: bovinocultura de corte	12
2.4- Modelagem dos sistemas de produção	16
2.5- Custos atrelados à simulação	19
2.6- Análise econômica e custo de produção na bovinocultura de corte	20
3- Consideração finais	22
4- Referências bibliográficas	23
Capítulo 2 – Representação de um modelo dinâmico de simulação de rebanho no sistema de produção de gado de corte	33
Resumo	33
Abstract	34
1- Introdução	35
2- Material e métodos	37
2.1- Área de estudo	37
2.2- Dados de referência (população base)	38
2.3- Modelagem do sistema de produção	39
2.4	
3- Resultados.....	42
3.1- Simulação segundo a modelagem	42
3.2- Verificações dos sistemas modelados	43
4- Discussão	44
4.1- Simulação segundo a modelagem	44
4.2- Verificação dos sistemas modelados	48
5- Conclusão	49
6- Declarações de interesse	50
7- Referências	50
Capítulo 3 – Avaliação bioeconômica para diferentes sistemas de produção de gado de corte	
Resumo	65
Abstract	66
1- Introdução	67
2- Material e métodos	69
2.1- Área de estudo	69
2.2- Dados de referência	69
2.3- Modelagem bioeconômica	70
2.4- Verificações da simulação bioeconômica	73
3- Resultados	73
3.1- Simulação segundo a modelagem bioeconômica	73

3.2- Verificações da simulação bioeconômica	75
4- Discussão	76
4.1- Simulação segundo a modelagem bioeconômica	76
4.2- Verificações da simulação bioeconômica	79
5- Conclusão	81
6- Declarações de interesse	81
7- Referências	81

Capítulo 1 – Considerações gerais

1- Introdução geral

Ao observar o desenvolvimento da bovinocultura de corte no Brasil é possível perceber o resultado de diversos esforços, tanto de pesquisa quanto da indústria e produtores, e perceber seu papel fundamental no setor agropecuário, com enorme relevância econômica e social (Santich, 2014). Dentre as raças zebuínas amplamente utilizadas nesta atividade, destaca-se o Nelore. Originário da Índia, o Nelore chega ao Brasil no século XIX, com excelente adaptação às condições climáticas e geográficas, apresentando resistência, rusticidade e capacidade de adaptação, ofertando carne em quantidade e qualidade ao mercado brasileiro e para exportação (Santiago, 1987; Ferraz e Felício, 2010).

Almejando cada vez mais aprimorar a produtividade bovina, diversos sistemas de produção têm sido desenvolvidos e adotados para atender às necessidades e peculiaridades do setor. Observa-se sistemas produtivos que abrangem desde a criação extensiva em pastagens não manejadas, passando por diferentes modalidades de semiconfinamento e manejo suplementar, até os sistemas intensivos em confinamento (Millen & Arrigoni, 2013). Em cada sistema é possível observar características e pesquisas específicas inerentes à gestão, nutrição, genética, manejo sanitário e bem-estar animal, sempre almejando otimizar a produção de carne bovina com eficiência (Inácio et al., 2018). A sustentabilidade também é um fator preponderante na avaliação dos diversos sistemas, uma vez que práticas mais sustentáveis podem garantir sua viabilidade futura (Malafaia et al., 2019; Rowan et al., 2021).

Dentro da perspectiva de aprimorar a produção e maximizar os lucros na bovinocultura de corte, são propostas modelagens matemáticas e estatísticas (Sanders & Cartwright, 1979; Sorensen, 1990; Hlavatý et al., 2021). Entre essas abordagens, destacam-se os modelos bioeconômicos, que combinam princípios biológicos e econômicos para analisar e prever o desempenho produtivo dos rebanhos bovinos (Brumatti et al., 2011; Portes et al., 2020). Esses modelos podem considerar variáveis como a taxa de crescimento, a conversão alimentar, a taxa de mortalidade e a oferta de alimentos, além dos fatores econômicos relacionados ao custo de produção, mercado e demanda.

A utilização da simulação para estimar o valor econômico de características de produção de bovinos de corte é uma abordagem promissora que contribui para a melhoria da eficiência produtiva e maximização da rentabilidade no setor pecuário (Doren et al., 1985; Santana et al., 2013; Laiya et al., 2022). A capacidade de analisar o desempenho de diferentes animais e identificar as características que mais impactam financeiramente a produção, por meio de modelagem bioeconômica, torna possível identificar gargalos e impulsionar a produção na região do Cerrado brasileiro (Veloso et al., 2010; Portes et al., 2020).

Com objetivo de elucidar os principais conhecimentos sobre a modelagem bioeconômica, desenvolvida para diferentes sistemas produtivos na bovinocultura de corte, que atendam ao biosistema Cerrado, foi proposta a revisão de literatura. Para isso, foram realizadas buscas e seleção de trabalhos, com fins de se extrair informações idôneas de forma concisa que auxiliassem na compreensão e discussão de dados da modelagem bioeconômica desenvolvida nesta tese.

2- Revisão de literatura

2.1- Bovinocultura

Os ruminantes tiveram sua origem no Oligoceno, e após diversos processos evolutivos, chegaram atualmente a cerca de 190 espécies. Entre essas, pertencentes à família Bovidae, se encontram os bovinos, *Bos taurus* (Linnaeus, 1758), distribuídos cosmopolitamente com exceção da Austrália e Antártica (Jorge, 2013). A interação entre humanos e bovinos é observada desde o Neolítico, e até mesmo por grupos nômades que conduziam estes animais com objetivo de suprir suas necessidades (Ajmone-Marsan et al., 2010; Webster, 2017). Com o passar do tempo, devido ao crescimento populacional e o conseqüente aumento na demanda por alimentos, esforços se voltaram para o aprimoramento das práticas relacionadas à criação de gado, conduzido os avanços no que se diz respeito à nutrição, sanidade, manejo e genética (Feliús et al., 2014).

A domesticação dos bovinos proporcionou diversos avanços no desenvolvimento das sociedades humanas, inclusive o desenvolvimento da agricultura e o sedentarismo, impulsionando o crescimento populacional humano (Ajmone-Marsan et al., 2010). Fatores como dieta herbívora, reprodução em cativeiro e comportamento facilitaram o manejo e possibilitaram o sucesso na domesticação destes animais (Feliús et al., 2014). Atualmente, a junção dos conhecimentos advindos de fontes históricas aliadas aos avanços da biologia

molecular elucidaram questões referentes ao desenvolvimento dos bovinos atrelados ao desenvolvimento cultural humano (Feliuss et al., 2014).

O consumo de carne foi um dos principais impulsionadores deste setor, e se consegue observar que o consumo de carne bovina cresceu com o passar do tempo. Isto se deve a diversos fatores combinados, tais como crescimento populacional, crenças religiosas, poder aquisitivo, tradição cultural e favorecimento de importação de animais e seus produtos (Santich, 2014). Diversas atribuições ao consumo de carne ao longo da história humana permitiram que este hábito perdurasse e progredisse ao status em que se encontra nos dias atuais (Santich, 2014). Entretanto, é possível notar uma tendência ao declínio no consumo nos próximos anos, principalmente em países mais desenvolvidos, devido a maiores apelos publicitários relacionados à conservação ambiental, segurança alimentar, saúde e autenticidade dos produtos (Farmer e Farrell, 2018).

A bovinocultura teve início no Brasil concomitantemente à colonização, com marco de chegada dos primeiros animais em 1533. Predominantemente foram utilizados animais europeus, mas já se observava a utilização de mestiços zebuínos nos primórdios da produção nacional. Num primeiro momento, estes bovinos foram alocados no litoral e foram avançando posteriormente para regiões mais centrais, acompanhando os avanços de buscas por minérios e cedendo o espaço litorâneo à produção de cana de açúcar (Silva et al., 2012).

É notório o crescente desenvolvimento do Brasil frente às transformações do mercado e da sociedade, com sucessivos aumentos de demanda por carne bovina. A partir de 1950 se observa um rápido processo de tecnificação e incorporação de novas tecnologias que alavancam o crescimento da bovinocultura brasileira (Pereira et al., 2012).

O Brasil, em 2020, participa intensamente do mercado de carne bovina, representado neste ano como maior exportador e segundo maior produtor, possuindo o maior rebanho comercial do mundo (Fernandes et al., 2020). Essa expressiva participação nacional traz a necessidade de aprimoramento constante dos processos de produção e logística, levando a produtos com qualidade superior e em quantidade, que mantenha a competitividade e estabelecimento no setor (Oliveira et al., 2017).

Diversas raças, em diferentes proporções, participam da composição o rebanho nacional, sendo possível verificar rebanhos com composições tanto taurinas (*Bos taurus taurus*) quanto zebuínas (*Bos taurus indicus*). Os animais taurinos têm sua origem

majoritariamente europeia e apresentam biótipos característicos que proporcionam adaptação a condições ambientais específicas, apresentando alta produtividade se conduzidos sob clima temperado (Rosa et al., 2021). Com relação aos zebuínos, originários da região hoje denominada Paquistão, verifica-se a caracterização pela presença de cupim, melhor adaptação às regiões de clima tropical e resistência a ectoparasitos (Jorge, 2013). Entretanto, achados oriundos de marcadores moleculares evidenciam que as raças zebuínas, distribuídas no continente americano, seriam resultado de cruzamentos absorventes devido a presença de DNA mitocondrial taurino em raças tais como Nelore e Gir (Jorge, 2013).

2.2- Nelore

O rebanho bovino brasileiro é representado por um total de 208,2 milhões de animais no ano de 2020, sendo cerca de 80% constituídos de animais zebuínos (IBGE). A raça Nelore tem sua origem ao sul da Índia, na província de Madras. Primariamente esses animais receberam a denominação Ongole (Santiago, 1987). Em 1813 chegam ao Brasil o primeiro casal de zebuínos, oriundas da costa do Malabar. Os primeiros Nelore a chegar em território nacional datam de 1868, em Salvador, oriundos da Inglaterra. Após este marco, outros animais desta raça foram trazidos da Índia e Alemanha, com a criação iniciada no Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Frutos de um grande esforço em importações, na década de 60, chegam proeminentes reprodutores que dariam origem as principais linhagens Nelore observadas atualmente (ACGZ, 2021; Machado, 2015; Silva et al., 2013).

Os animais zebuínos em território brasileiro começaram a se destacar produtivamente, e com isso, é despertado o interesse na importação de novos exemplares por parte de produtores, principalmente nas primeiras décadas do século XX. Essas importações ocorreram sem os devidos cuidados sanitários, na maior parte dos casos, e resultou em morte de animais e necessidade de intervenção do governo no abate sanitário de animais contaminados e proibição ou controle das próximas importações e exportações. Somente a partir de 2009 foram permitidas as importações de materiais genéticos zebuínos (Machado, 2015).

Pode-se considerar como novillo zebuíno ideal o animal com longa ossatura, corpo longilíneo e pouco profundo, com massas musculares evidentes e linhas assimétricas, resultando em carcaça com máxima proporção de carne com relação à gordura (Lima et al., 1989). Em linhas gerais, os machos Nelore podem pesar em torno de 1200 kg quando adultos,

enquanto as fêmeas cerca de 600kg (Santos, 1995). Possuem pelos finos, curtos e lisos, de cor branca acinzentada e pele preta, que proporcionam melhor adaptação ao clima quente. Apresentam bons aprumos, cascos e ligamentos firmes, umbigo curto, vergalho bem direcionado, com testículos largos, bem conformados e curtos (Sarcinelli et al., 2007).

A predominância da raça Nelore no Brasil se deve a sua maior capacidade de adaptação, induzindo a sua distribuição em grande parte do território brasileiro, o que torna de grande relevância as avaliações genéticas para esta raça (Santiago, 1987; Ferraz e Felício, 2010). Cabe ressaltar a importância do direcionamento dos acasalamentos e avaliações genealógicas destes animais, dado sua prevalência neste território. Efeitos deletérios podem ser observados em animais Nelore com coeficientes de endogamia acima de 11%, resultando em perdas reprodutivas e no crescimento das progênes, o que pode resultar em perdas econômicas (Santana Jr. et al., 2010).

A alimentação dos animais, no Brasil, é majoritariamente à pasto, por se tratar de uma alimentação de baixo custo se comparada ao confinamento, e disponibilidade de áreas e clima propícios (Barbosa et al., 2015; Moreira, 2016; Inácio et al., 2018). Apesar da larga utilização de sistemas menos intensivos, a utilização de outras técnicas alimentares, tais como suplementação, creep-feeding, creep-grazing e até mesmo o confinamento, podem garantir a necessidade energética desses animais com mais eficiência e em menor tempo, gerando retornos financeiros mais vantajosos e melhor qualidade de carne (Casagrande et al., 2013; Limede et al., 2021). É interessante ressaltar que características reprodutivas podem ser economicamente mais importantes que características de desempenho em rebanhos bovinos Nelore (Brumatti et al., 2011).

2.3- Sistemas de produção: bovinocultura de corte

O Brasil, por se tratar de um país com dimensões continentais e grande diversidade climática e cultural, possibilita o desenvolvimento de distintos sistemas de produção na pecuária de corte, desde sistemas menos tecnificados até os que obtêm maior eficiência produtiva em menor tempo, com maior lucratividade (Millen & Arrigoni, 2013). Vantagens tais como terra a baixo preço, mão-de-obra barata, e clima sem variações extremas, podem impulsionar a atividade pecuária no país (Ferraz e Felício, 2010). É possível observar o desenvolvimento da bovinocultura de corte em todos os estados e ecossistemas do país,

apresentando uma grande variedade de raças, densidade de animais, índices produtivos e reprodutivos praticados nos diferentes sistemas de produção (Barbosa et al., 2015). A escolha do sistema de produção pelo produtor está relacionada a um múltiplo complexo de variáveis, tais como genética disponível, capital para investimento, anseios dos consumidores, e condições de manejo e sanidade (Inácio et al., 2018).

Dada importância econômica desta atividade, o entendimento e aprimoramento dos sistemas de produção podem viabilizar incrementos no desempenho produtivo e na lucratividade. Desta forma, visando a melhor compreensão dos aspectos que compõem os sistemas, estes são classificados e descritos como extensivos, semi-intensivos e intensivos (Barbosa et al., 2015; Moreira, 2016; Cezar et al., 2005). A opção, por qualquer que seja o sistema, irá requerer do produtor/investidor habilidades e conhecimentos específicos para garantir que os objetivos e melhores resultados possam ser alcançados (McManus et al., 2016). Cabe ressaltar que a pecuária de corte envolve distintas fases, tais como cria, recria e engorda/terminação, ficando a cargo do produtor a opção por se dedicar a apenas uma das fases ou até mesmo a abrangência do ciclo completo (Barbosa et al., 2015).

2.3.1- Sistema extensivo

Os sistemas extensivos se caracterizam por usarem grandes áreas, porém com menor utilização de tecnologia, insumos e mão-de-obra especializada, em que os animais são criados e terminados, geralmente, exclusivamente à pasto, e muitas das vezes com uso apenas de pastagem nativa e depreciada, sendo possível encontrar também pastagem cultivada (Cezar et al., 2005). A pecuária extensiva reproduz uma grande variação no desempenho dos animais e representa cerca de 80% dos modelos praticados no mercado brasileiro de produção de carne bovina (Cezar et al., 2005; Malafaia et al., 2019). Estima-se que mais da metade da área destinada ao pastejo esteja degradada em alguma porcentagem e isso vem comprometendo sua produtividade (Silva et al., 2017; de Oliveira et al., 2004).

Regiões tropicais, como no Brasil, possibilitam o rápido desenvolvimento de gramíneas durante a estação chuvosa, entretanto a qualidade nutricional das forrageiras é extremamente dependente do manejo adequado (Bento et al., 2019; Malafaia et al., 2019; Cezar et al., 2005). As características predominantes nos solos brasileiros, tais como solo ácido e de baixa a média fertilidade e capacidade de suporte, proporcionaram uma boa adaptação e produção para cultivares de *Brachiaria* spp. e *Panicum* spp. (Ferraz e Felício, 2010).

A utilização das pastagens nativas fornece uma capacidade de suporte média anual entre 0,5 e 1 UA/ha, enquanto a pastagem cultivada pode alcançar entre 0,5 e 2,5 UA/ha, ressaltando que maiores produtividades podem depender da utilização de tecnologias no manejo e manutenção (Cezar et al., 2005), o que descaracterizaria o sistema como extensivo. Nota-se também a dificuldade em quantificar e identificar a real extensão da degradação de pastagens no Brasil (Silva et al., 2017).

Segundo Passeti (2019), o que torna a pecuária extensiva mais atrativa, contudo, seria o baixo custo desta atividade se comparada aos demais sistemas, entretanto fatores como custo da terra e sazonalidade, com estação seca prejudicando o desempenho dos animais, podem contribuir negativamente para a lucratividade. O bom desempenho da atividade nos moldes extensivos se relaciona à sua capacidade de adaptação e resiliência perante às condições climáticas diversas ao longo do ano (Morgan-Davies et al., 2014).

2.3.2- Sistema semi-intensivo

Apesar da predominância do sistema extensivo, a implementação de tecnologias nutricionais, tais como suplementos minerais, proteicos e energéticos, possibilitam que os objetivos da pecuária sejam alcançados com ciclos mais curtos, mesmo que se conserve a utilização de pastagens nativas ou cultivadas (Cezar et al., 2005), podendo ser denominado como sistema semi-intensivo. Este sistema pode também se beneficiar de pastejo rotacionado, com utilização de pastagens cultivadas, com melhor qualidade nutricional, durante o inverno, possibilitando animais terminados mais precocemente do que aqueles mantidos apenas em pastagens nativas (Ferraz e Felício, 2010).

Impactos no âmbito econômico, financeiro e físico são observados em propriedades que optam por esse sistema (Corrêa et al., 2000). O fator determinante na escolha do sistema semi-intensivo, em detrimento ao sistema extensivo, é justamente a avaliação do fluxo espaço-temporal dos preços da terra e dos preços agrícolas, o que é atrelado ao potencial de produtividade da terra, dos custos com insumos e transporte, e subsídios governamentais (Cohn et al., 2014).

Os sistemas semi-intensivos podem também resultar em melhores índices zootécnicos quando comparados aos extensivos, tais como menor idade ao primeiro parto, menor período de serviço e maior taxa de concepção (Nascimento et al., 2017). Visando melhorias na

produtividade, sistemas de produção à pasto podem fazer uso de suplementação com objetivo de aumentar a digestibilidade de matéria seca e a eficiência da ação microbiana ruminal (Bento et al., 2019). Pode-se também utilizar a suplementação mineral, com vista ao suprimento de minerais, tais como fósforo, zinco, sódio, cobre, cobalto, iodo, enxofre e selênio, que costumam ser deficientes nestas pastagens tanto nativas como cultivadas (Malafaia et al., 2019; Cezar et al., 2005). Segundo Bento et al. (2019), maiores níveis de suplementação resultam em melhor acabamento de carcaça, maior ganho de peso, aumentos na área de olho de lombo e espessura de gordura subcutânea.

Os investimentos em tecnologias que aprimoram a produtividade podem também contribuir para redução na emissão de gases do efeito estufa, ao reduzir a necessidade de desmatamento (Cohn et al., 2014). Apesar das vantagens oferecidas, quando implantado o sistema semi-intensivo, ainda é necessário maiores investimentos na manutenção e recuperação de pastagens, uma vez que a reversão deste processo resulta em perdas econômicas e avaliações econômicas, que não são frequentes, se tornam fundamentais, visando o retorno tanto das questões econômicas e financeiras do investimento, quanto do que se relaciona às questões ambientais (Silva et al., 2017).

2.3.3- Sistema intensivo

Diante dos desafios dos sistemas anteriores, surge o sistema intensivo, em que a aplicação de tecnologias e conceitos econômicos, sociais e ideológicos, pode intensificar a produção, aumentando a eficiência e garantindo melhores e mais rápidos resultados (Millen & Arrigoni, 2013). O principal fator que determina o quão intensificado é o sistema refere-se a quantidade de insumos destinados aos animais, seja na propriedade de cria ou ciclo completo, em todas as etapas de produção (Santana et al., 2013). Com a intensificação é possível minimizar os efeitos adversos provenientes da expansão de territórios destinados à agropecuária, possibilitando, inclusive, uma alternativa mais lucrativa e sustentável (Cohn, et al., 2014; Latawiec et al., 2014).

A utilização do confinamento pode ser uma alternativa interessante, pois este permite a utilização de áreas menores, trazendo como uma de suas vantagens a possibilidade de reduzir a necessidade de desmatamento para elevar sua produtividade (Miranda et al., 2021). O confinamento pode trazer uma melhor eficiência financeira, aumentando a lucratividade e

rentabilidade do sistema, em que o peso de entrada e o período em que os animais permanecem no confinamento se refletem nestes resultados. Desta forma, os produtores, adeptos deste sistema, devem avaliar sua produção por meio de ajustes nas equações que ponderam os seus índices zootécnicos (Soares et al., 2022). Outra questão interessante com relação ao confinamento é a capacidade em gerar produtos de melhor qualidade, como uma maior maciez de carne, mesmo em animais de descarte (Pacheco et al., 2019). Cabe ressaltar que essa alternativa pode também elevar o consumo de água e suplementação com soja e milho (Cezar et al., 2005).

Os sistemas de terminação intensiva podem ocorrer também à pasto, em que suplementos são oferecidos na fase de terminação de forma que os animais tenham suas necessidades energéticas, proteicas e minerais atendidas assim como no confinamento, porém sem a necessidade dos gastos relacionados ao mesmo (Silva et al., 2020). No Brasil, os sistemas intensivos a pasto apresentam pastagens rotacionadas e utilização de forrageiras de alta qualidade, fertilizantes, desenvolvimento e aplicação de tecnologias na condução da criação e nutricional animal, de forma a aumentar a eficiência produtiva dessas propriedades (Latawiec et al., 2014). Como vantagem, esse sistema intensivo à pasto pode trazer, além da redução do desmatamento, a diminuição da emissão dos gases de efeito estufa (Cohn et al., 2014). Por meio da recuperação das pastagens é possível aumentar o potencial do solo em sequestro de carbono, reduzindo assim as emissões de gases que participam do efeito estufa, entretanto o custo por área conseqüentemente aumenta (Silva et al., 2017).

2.4- Modelagem dos sistemas de produção

Para atender aos anseios do consumidor, a indústria tem voltado seus esforços para o aprimoramento do seu produto. As questões que envolvem o desenvolvimento/crescimento dos animais são de extrema importância para o sucesso da bovinocultura de corte e sempre estiveram presentes nas avaliações econômicas da produção (Ochsner et al., 2017; Cominotte et al., 2020; Portes et al., 2020; Calvano et al., 2021). Entretanto, a expressão de grande parte destas características apresenta diferenças proporcionadas por diferentes ambientes, uma vez que estas apresentam natureza quantitativa. Desta forma, os diferentes componentes biológicos devem ser tratados levando em consideração as condições ambientais para manifestação fenotípica de produção. Uma forma de contemplar as múltiplas fontes de informação simultaneamente seria por meio da modelagem do sistema de produção via

simulação de rebanho, por meio do uso de técnicas matemáticas e estatísticas para simular e prever os elementos que compõem a produção do gado de corte (Sanders & Cartwright, 1979; Sorensen, 1990).

A definição e construção de modelos que simulem os sistemas de produção pode ser uma ferramenta primordial para o planejamento e prospecção dos sistemas produtivos, auxiliando na tomada de decisão por meio dos pesquisadores e produtores, sobre o manejo, a criação, a nutrição e a eficiência geral do sistema de gado de corte (Gaspar et al., 2018; Calvano et al., 2021). As partes interessadas podem avaliar as consequências prováveis de vários métodos de gestão e avaliar os impactos econômicos e ambientais de suas decisões usando abordagens de modelagem.

Nos sistemas de produção de gado de corte, utiliza-se uma variedade de modelos, cada um deles focado em um aspecto específico do processo de produção. Modelos de crescimento/desempenho (Agabriel & Ingrand, 2004; Zimmermann et al., 2019), modelos bioeconômicos (Brumatti et al. 2011; Santana et al., 2013; Ferdousi et al., 2020; Calvano et al., 2021), modelos genéticos (Cammack et al., 2009; Abbona et al., 2020; Aherin et al., 2023) e modelos ambientais (Rotz et al., 2019; Rowan et al., 2021) são alguns exemplos de tipos de modelos frequentes. Esses modelos geralmente se baseiam em grandes bancos de dados de informações e incorporam variáveis como genética, dieta, ambiente e métodos de gerenciamento para produzir previsões e conhecimentos, e assim, podem auxiliar nas demandas de decisão para a produção.

Do nascimento ao peso de mercado, a trajetória de crescimento do gado de corte pode ser estimada por meio de modelos de desempenho dos rebanhos. Para prever o ganho de peso, a composição corporal e o tempo necessário para atingir o peso de mercado, a modelagem leva em conta elementos diversos que compõem o sistema produtivo, tais como raça, sexo, nutrição e procedimentos de manejo (Agabriel & Ingrand, 2004; Zimmermann et al., 2019; Hlavatý et al., 2021). Esses modelos podem auxiliar produtores na escolha dos planos de alimentação, intervalos de desmame e preparação para atender os anseios mercado.

Estimar a produtividade geral e a eficácia dos sistemas de gado de corte representa a ênfase dos modelos bioeconômicos. Para avaliar a lucratividade e a sustentabilidade de vários cenários de produção, eles levam em conta variáveis como tamanho do rebanho, taxas reprodutivas, taxas de sobrevivência de bezerros e custos de insumos (Brumatti et al. 2011;

Santana et al., 2013; Ferdousi et al., 2020; Calvano et al., 2021). Esses modelos podem ajudar os produtores e pesquisadores a direcionar recursos de forma mais eficiente, identificar possíveis gargalos e avaliar a viabilidade econômica de diferentes técnicas de gerenciamento.

O potencial genético dos animais é avaliado por meio de modelos genéticos, permitindo a estimação dos efeitos das características de interesse, e o direcionamento da seleção e reprodução dos animais. Esses modelos preveem características como taxa de crescimento (Abbona et al., 2020), eficiência alimentar (Xue et al., 2022), qualidade da carcaça (Clinquart et al., 2022) e resistência a doenças (Comin et al., 2022), levando em conta dados de pedigree, históricos de desempenho e marcadores genéticos. Os produtores podem escolher os melhores planos de acasalamento e reprodução, reprodutores e técnicas de aprimoramento genético empregando modelos genéticos (Cammack et al., 2009).

Considerando ainda o que cabe a genética, é importante mencionar que o melhoramento genético é um forte impulsionador da produção animal, participando ativamente no desenvolvimento da bovinocultura de corte por meio da modelagem genética animal. O melhoramento genético animal atua na seleção e acasalamento dos animais, promovendo a seleção dos melhores reprodutores que irão gerar progênes superiores na população (Lopes, 2005). Neste sentido, uma ferramenta muito utilizada é o desenvolvimento dos índices de seleção via populações simuladas por meio de modelagem computacional. Os índices de seleção utilizam a predição do mérito genético, com base na população modelada, em conjunto à ponderações econômicas para combinações de fontes de informação, que podem tratar de características obtidas do próprio indivíduo, de seus ancestrais, parentes colaterais e progênie (Ochsner et al., 2017, Portes et al., 2020).

Para avaliar como as práticas de produção de gado de corte afetam o meio ambiente, os modelos ambientais são essenciais. Esses modelos avaliam a sustentabilidade e o impacto ecológico de várias técnicas de produção, levando em conta variáveis como uso da terra, consumo de água, emissões de gases de efeito estufa e ciclos de nutrientes (Rotz et al., 2019; Angelidis et al., 2021; Rowan et al., 2021). As partes interessadas podem encontrar oportunidades para reduzir os impactos ambientais, aumentar a eficiência dos recursos e programar métodos sustentáveis de gerenciamento da terra usando modelos ambientais (Hirooka, 2010; Guo et al., 2022).

De modo geral, a modelagem em sistemas de produção de gado de corte fornece informações importantes sobre as intrincadas relações entre genética, nutrição, meio ambiente e abordagens de gerenciamento. O uso e entendimento dos resultados da modelagem auxiliam produtores, pesquisadores e demais interessados, no direcionamento das decisões com objetivo de melhorar a eficiência da produção, a lucratividade e o impacto ambiental das operações de gado de corte (Cammack et al., 2009; Cominotte et al., 2020; Wetlesen et al., 2020; Rowan et al., 2021; Guo et al., 2022). Usando esses modelos, o setor pode avançar para sistemas de produção de carne bovina mais ecológica e economicamente viáveis e, ao mesmo tempo, atender à crescente demanda mundial por maior qualidade de carne.

2.5- Custos atrelados à simulação

A modelagem computacional possui diversas vantagens, conforme já mencionado, entretanto custos financeiros e computacionais são atribuídos a essa ferramenta (Ferraz e Pinto, 2017). Um dos principais custos gerados pela simulação é o investimento inicial em tecnologia e software. Os programas de simulação de gado de corte podem variar em termos de funcionalidades e complexidade, e alguns podem exigir hardware específico para operar adequadamente (Doren et al., 1985; Pang et al., 1999; Barioni et al., 2012; Arroqui et al., 2017; Amaral et al., 2020; Correa et al., 2020; Abreu et al., 2021). Além disso, a coleta de dados para alimentar a simulação também pode representar um custo considerável. Para obter resultados precisos e úteis, os produtores precisam coletar informações detalhadas sobre o rebanho, como peso dos animais, ganho de peso, taxa de mortalidade, consumo de alimentos e custos de produção (Araujo Filho et al., 2019; Batista et al., 2019; Cominotte et al., 2019). Essa coleta de dados requer tempo e recursos, incluindo mão de obra, equipamentos de medição e sistemas de rastreamento.

Outro fator a ser considerado é o custo de capacitação e treinamento dos produtores e técnicos para usar adequadamente o software de simulação. A compreensão dos princípios subjacentes à simulação e a interpretação dos resultados exigem conhecimentos específicos. O treinamento adequado pode ser necessário para garantir que os produtores possam usar efetivamente a simulação como uma ferramenta de tomada de decisão (Cócaro e Lopes, 2004; Ceolin et al., 2008; Carvalho, 2016).

Além dos custos iniciais e de coleta de dados, também é importante considerar os custos contínuos associados à manutenção e atualização do software de simulação. Os programas de simulação geralmente requerem atualizações regulares para corrigir bugs, adicionar novos recursos ou incorporar descobertas científicas recentes e novas informações. Essas atualizações podem exigir licenças adicionais ou taxas de manutenção, que variam dependendo do fornecedor do software. É importante destacar que esses custos devem ser avaliados em relação aos benefícios potenciais que a simulação pode oferecer, como a capacidade de tomar decisões mais informadas e precisas, assim como maximizar a eficiência da produção de gado de corte.

O uso de softwares livres e de código aberto, como CAQDAS, R e PSPP, possibilita a utilização de dados qualitativos e quantitativos em manipulação de dados, análises e simulações. Cabe ressaltar que se define como software livre aquele que permite uso, cópia, estudo, modificação e redistribuição sem restrições, podendo ser distribuído livremente e ter disponibilizado ao usuário o seu código fonte (Schlosser et al., 2019). Desta forma, grande parte dos custos atrelados à simulação, como ferramenta potencial na otimização de resultados na produção bovina, podem ser drasticamente amenizados.

2.6- Análise econômica e custo de produção na bovinocultura de corte

A indústria pecuária enfrenta constantes desafios na busca por maximizar a eficiência produtiva e a rentabilidade dos sistemas de produção, e desta forma, a atribuição de um valor econômico às características de produção de bovinos de corte pode amparar a gestão do sistema produtivo. Por se tratar de uma atividade complexa, resultado de uma série de características tanto produtivas, como ganho de peso e conversão alimentar, quanto reprodutivas, como perímetro escrotal e idade ao primeiro parto, a produção de bovinos de corte deve considerar também a avaliação econômica para a tomada de decisões estratégicas (Araújo Filho et al., 2019). Neste contexto, o valor econômico dessas características é determinado pela sua influência nos custos de produção e na qualidade do produto final.

É importante ressaltar que a composição do preço final, verificado pelo consumidor, se dá pela composição de custos e valor econômico, obtida por meio de análise financeira da produção (Barney e Hesterly, 2007). Desta forma, o sucesso na escolha do sistema de produção é viabilizado principalmente pela correta análise financeira das possibilidades para

uma dada conjuntura. Assim, assume-se que ao identificar os custos de produção para cada sistema, é possível traçar estratégias que viabilizem maiores valores econômicos e produzam maiores lucratividades para a produção (Araújo Filho et al., 2019).

O conhecimento dos custos relativos à produção de bovinos de corte compreende um fator fundamental no sucesso do empreendimento. Assim, desenvolve-se a avaliação técnico-financeira, por meio da especificação de custos, despesas e receitas operacionais. Primeiramente, os custos são classificados em fixos, em que os gastos são constantes independentemente da quantidade produzida, e em variáveis, em que os gastos variam com a produção ou venda dos produtos. Na sequência, obtêm-se os custos totais, provenientes do somatório dos custos fixos e variáveis (Silveira et al., 2022). Neste momento é possível relacionar o ponto de equilíbrio contábil (PEC) (Figura 1), e avaliar a situação financeira da produção por meio da relação entre despesas e receitas, determinando o poder de sobrevivência do sistema de produção (Potkany e Krajcirova, 2015). Desta forma, o PEC representa o ponto em que não se observa lucro ou prejuízo, possibilitando avaliar o impacto da variação de custos e receitas no final do processo produtivo, e é obtido dado a equação (Potkany e Krajcirova, 2015):

$$PEC = \frac{CF}{\left(1 - \frac{CV}{RT}\right)}$$

em que, PEC é o ponto de equilíbrio contábil, CF o custo fixo, CV o custo variável, e RT a receita total.

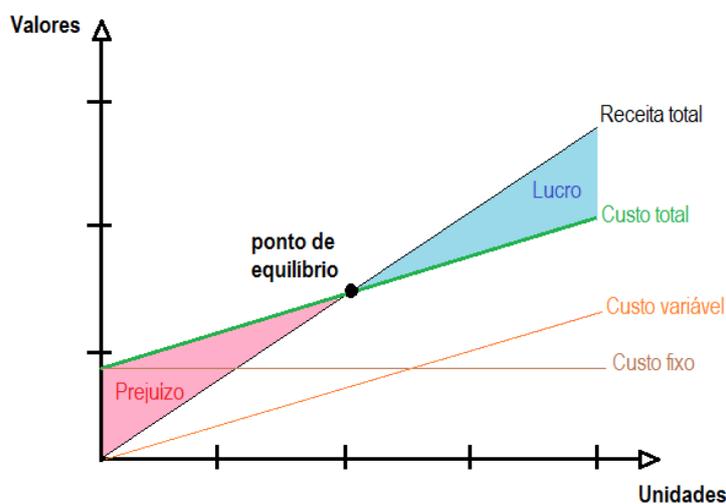


Figura 1 – Gráfico do ponto de equilíbrio. Adaptado de Souza e Diehl (2009).

É possível observar diferentes metodologias para que sejam realizadas as avaliações econômicas na produção de bovinos (Pang et al., 1999; Ceolin et al., 2008; Brumatti et al., 2011; Portes et al., 2020; Aherin et al., 2023). O principal desafio, no entanto, seria a escolha das características que comporiam essas avaliações. Essas características são representadas por grupamentos que irão compor o que se chama de objetivo de seleção (Hazel, 1943). A estimação dos valores econômicos deve ser feita simultaneamente para todas as características abordadas, de forma que se exclua a possibilidade da dualidade de interpretação de uma mesma característica, como ganho de peso por exemplo (Wolfová e Wolf, 2013). Cabe ressaltar que o valor econômico varia no espaço e tempo, sendo necessária uma avaliação para cada grupamento genético ou produto analisado (Hazel e Lush, 1942; Hazel, 1943).

Uma ferramenta que vem mostrando bons resultados, baseada nos modelos matemáticos e estatísticos, seriam os modelos bioeconômicos por meio da tratativa conjunta de parâmetros biológicos e econômicos (Bourdon, 1998; Santana et al., 2013). Esta modelagem permite avaliar o impacto de diferentes características de produção na rentabilidade do sistema de produção. Os custos, incluídos no modelo, visam mimetizar os diversos desembolsos relativos à produção, tais como alimentação, sanidade e manejo dos animais, de acordo com a fase de desenvolvimento e sexo dos animais (Aby et al., 2012).

3- Considerações finais

A simulação permite estimar o valor econômico das características da produção de bovinos de corte, considerando diversos fatores, como variações nos preços dos insumos, nos custos de produção e na demanda por carne. Com o avanço da tecnologia e disponibilidade de dados detalhados, simulações computacionais têm sido amplamente utilizadas para avaliar o valor econômico das características de produção, fornecendo informações valiosas para pesquisadores e tomadores de decisão. A utilização de simulações permite modelar e avaliar de forma precisa e abrangente, o impacto das características de produção de bovinos de corte, como os animais da raça Nelore, incluindo o desempenho econômico do sistema produtivo, para a produção na região de Cerrado brasileiro.

Os resultados simulados da avaliação econômica representam a contribuição de cada recurso para a lucratividade do sistema de produção e podem demonstrar a interação entre diferentes características e como otimizar a seleção de animais considerando vários objetivos. É possível avaliar o quanto representa o aumento percentual de uma característica e seu impacto na receita total do sistema. Esses dados permitem a identificação das características que têm maior representatividade na rentabilidade do sistema de produção, e com isso, auxiliando na seleção de animais mais produtivos e adaptados às condições específicas de cada propriedade. Além disso, a simulação permite avaliar cenários alternativos e tomar decisões estratégicas com base em resultados precisos e controlados.

4- Referências bibliográficas

Abbona, F.; Vanneschi, L.; Bona, M.; Giacobini, M. Towards modelling beef cattle management with Genetic Programming. *Livestock Science*, v.241, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104205>

Abreu, R.A.F.; Basso, T.; Carromeu, C.; Gomes, R.C.; Dias, F.R.T.; Paiva, D.M.B. Simulação de sistemas de produção de novilho precoce: Uma aplicação prática. SBIAGRO, 2021.

Aby, B.A.; Aass, L.; Sehested, E.; Vangen, O. A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive and extensive beef cattle breeds. *Livestock Science*, v.143, n.2-3, p.259-269, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.10.003>

ACGZ: Associação de criadores gaúchos de zebu. Disponível em: https://www.acgz.com.br/secao_racas.php?pagina=1 acesso em: 30/09/2021.

Agabriel, J.; Ingrand, S. Modelling the performance of the beef cow to build a herd functioning simulator. *Animal Research*, v.53, p.347-361, 2004. <https://doi.org/10.1051/animres:2004031>

Aherin, D.G.; Weaver, R.L.; Pendell, D.L.; Stamm, J.L.H.; Larson, R.L. Stochastic, individual animal systems simulation model of beef cow–calf production: development and validation. *Translational Animal Science*, v.7, p.1-20, 2023. <https://doi.org/10.1093/tas/txac155>

Amaral, T.B.; Costa, F.P.; Carromeu, C.; de Lucas Junior, N.C. Cria Certo: Simulador de resultados de técnicas reprodutivas na bovinocultura. Comunicado técnico 157, Embrapa, Brasília, Dezembro, 16p., 2020. ISSN 1983-9731

Angelidis, A.E.; Crompton, L.; Misselbrook, T.; Yan, T.; Reynolds, C.K.; Stergiadis, S. Equations to predict nitrogen outputs in manure, urine and faeces from beef cattle fed diets with contrasting crude protein concentration, *Journal of Environmental Management*, n.295, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113074>

Araújo Filho, H.J.; Malafaia, P.; Carvalho, C.A.B.; Garcia, F.Z.; Souza, V.C.; Ferreira, R.L.; Risso, T.L. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte a pasto, semiconfinados ou em confinamento com dieta de alto grão. *Custos e Agronegócio on line*, v.15, 2019.

Arroqui, M.; Ferreira, J.F.; Roselli, M.O.; Alvarez, J.R.; Machado, C.F.; Mateos, C.; Zunino, A. A simulation scheduling module to improve user experience in the Simugan Beef-Cattle Farm Simulator. *IEEE Latin America Transactions*, v.20, n.1, p.162-170, 2022, <https://doi.org/10.1109/TLA.2022.9662185>

IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (<http://www.ibge.gov.br/>)

Barney, J.B.; Hesterly, W.S. *Administração Estratégica e Vantagem Competitiva: casos brasileiros*. São Paulo: Pearson, 2007. 326p.

Barioni, L.G.; Albertini, Z.T.; Tonato, F.; De Medeiros, S.R.; Silva, R.O. Running head: Computer models for beef systems. Using computer models to assist planning beef production: experiences in Brazil. *Revista Argentina de Producción Animal*, v.32, n.1, p.77-86, 2012.

Barbosa, F.A.; Soares Filho, B.S.; Merry, F.D.; Azevedo, H.O.; Costa, W.L.S.; Coe, M.T.; Batista, E.L.S.; Maciel, T.G.; Sheepers, L.C.; de Oliveira, A.R.; Rodrigues, H.O. *Cenários para pecuária de corte amazônica*. Editora IGC/UFMG, 2015. 154p.

Batista, P.B.; Zambom, M.A.; dos Santos, P.E.F.; de Albuquerque, Í.R.R.; de Quadros, D.G.; Pereira, M.M. Bioeconomics characterization of different ages mating of beef cattle in the southwest of Bahia and in the southwest of Parana. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, n.2, p.1223–1236, 2019.

Bento, F.C.; Rovani, E.A.; Mesquita, G.F.; Ruiz, L.R.B.; Silva, M.I.L.; Moreira, P.S.A.; Polizel Neto, A.; Gomes, H.F.B. Efeito dos níveis de suplementação no desempenho de

bovinos em sistema de semi-confinamento. *Nativa*, v.7, n.6, p813-819, 2019. <http://dx.doi.org/10.31413/nativa.v7i6.7090>

Bourdon, R.M. Shortcomings of Current Genetic Evaluation Systems. *Journal of Animal Science*, n.76, 1998.

Brumatti, R.C.; Ferraz, J.B.S.; Eler, J.P.; Formigoni, I. B. Desenvolvimento de índice de seleção em gado corte sob o enfoque de um modelo bioeconômico. *Arch. Zootecnia*, v.230, n.60, p. 205-213, 2011. <https://doi.org/10.21071/az.v60i230.4669>

Calvano, M.P.C.A., Brumatti, R.C., Barros, J.C., Garcia, M.V., Martins, K.R., Andreotti, R.. Bioeconomic simulation of *Rhipicephalus microplus* infestation in different beef cattle production systems in the Brazilian Cerrado. *Agricultural Systems*, v.194, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103247>

Carvalho, Joethe Moraes de. A utilização de software de controle de rebanho bovino como ferramenta educativa para o curso de Agropecuária. 2016. 91p. Dissertação (Mestrado em Educação Agrícola) - Instituto de Agronomia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

Ceolin, A.C.; Abicht, A.M.; Corrêa, A.O.F.; Pereira, P.R.R.X.; Silva, T.N. Sistemas de informação sob a perspectiva de custos na gestão da pecuária de corte gaúcha. *Custos e Agronegócio on line*, v. 4, 2008.

Cócaro, H.; Lopes, M.A. O uso de softwares para a bovinocultura de corte: Uma revisão da literatura. *Revista Brasileira de Agroinformática*, v.6, n.1, p.64-78, 2004.

Comin, H.B.; Campos, G.S.; Domingues, R.; Gaspar, E.B.; Sollero, B.P.; Cardoso, F.F. Genetic parameters and accuracy of traditional and genomic breeding values for resistance to infectious bovine keratoconjunctivitis in Hereford. *Livestock Science*, v.264, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105078>

Cominotte, A.; Fernandes, A.F.A.; Dorea, J.R.R.; Rosa, G.J.M.; Ladeira, M.M.; van Cleef, E.H.C.B.; Pereira, G.L.; Baldassini, W.A.; Machado Neto, O.R. Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science*, n.232, p.1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>

Cammack, K.M.; Thomas, M.G.; Enns, R.M. Reproductive traits and their heritabilities in beef cattle. *The Professional Animal Scientist*, v.25, n.5, p.517-528, 2009. [https://doi.org/10.15232/S1080-7446\(15\)30753-1](https://doi.org/10.15232/S1080-7446(15)30753-1)

Casagrande, D.R., Vieira Azenha, M., Vieira, B.R., Dutra De Resende, F., Henrique De Faria, M., Berchielli, T.T., Ruggieri, A.C., Reis, R.A. Performance and carcass quality of feedlot-or pasture-finished Nellore heifers according to feeding managements in the postweaning phase. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.42, n.12, p.899-908, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013001200010>

Cezar, I.M.; Queiroz, H.P.; Thiago, L.R.; Garagorry, F.L.; Costa, F.P. Sistemas de produção de gado de corte no Brasil: uma descrição com ênfase no regime alimentar e no abate. Documento 151, EMBRAPA. Campo Grande, 2005, 44p.

Clinquart, A.; Ellies-Oury, M.P.; Hocquette, J.F.; Guillier, L.; Santé-Lhoutellier, V.; Prache, S. Review: On-farm and processing factors affecting bovine carcass and meat quality. *Animal*, V.16, n.1, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100426>

Cohn, A.S.; Mosnier, A.; Havlík, P.; Obersteiner, M. Cattle ranching intensification in Brazil can reduce global greenhouse gas emissions by sparing land from deforestation. *Social Sciences*, n.111, v.20, p.7236-7241, 2014. www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1307163111

Cominotte, A., Fernandes, A.F.A., Dorea, J.R.R., Rosa, G.J.M., Ladeira, M.M., van Cleef, E.H.C.B., Pereira, G.L., Baldassini, W.A., Machado Neto, O.R.. Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science*, v.232, p.1-10, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>

Corrêa, E.S.; Vieira, A.; Costa, F.P.; Cezar, I.M. Sistema semi-intensivo de produção de carne de bovinos nelores no centro-oeste do Brasil. Embrapa, Campo Grande, 2000, 49p.

Correia, M.C.; Camargo, S.S.; de Carvalho, H.G.; Lampert, V.N. Simulador MyBeef: protótipo de aplicativo para gestão de indicadores zootécnicos. CAI, Congresso Argentino de Agroinformática, p.314-317, 2020.

De Oliveira, O.C; de Oliveira, I.P.; Alves, B.J.R.; Urquiaga, S.; Boddey, R.M. Chemical and biological indicators of decline/degradation of *Brachiaria* pastures in the Brazilian Cerrado.

Agriculture, Ecosystems and Environment, v.103, p.289-300, 2004.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2003.12.004>

Doren, P.E.; Shumway, C.R.; Kothmann, M.M.; Cartwright, T.C. An Economic Evaluation of Simulated Biological Production of Beef Cattle. *Journal of Animal Science*, v.60, n.4, p.913-934, 1985. <https://doi.org/10.2527/jas1985.604913x>

Ferdousi, D.T.; Gruenbacher D.; Scoglio, C.M. A Permissioned Distributed Ledger for the US Beef Cattle Supply Chain. *IEEE Access*, v.8, p.154833-154847, 2020.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3019000>

Ferraz, J.B.S.; Felício, P.E. Production systems – An example from Brazil. *Meat Science*, v.84, p.238-243, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.06.006>

Ferraz, C.O.; Pinto, W.F. Tecnologia da informação para agropecuária: Utilização de ferramentas da tecnologia da informação no apoio a tomada de decisões em pequenas propriedades. *Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar*, v.3, n.1, 2017.

Gaspar, A.O.; Brumatti, R.C.; de Paula, L.A.; Dias, A.M. A simulation of the economic and financial efficiency of activities associated with beef cattle pasture. *Custos e agronegócio*, v.14, n.1, 2018.

Guo, H.; Su, Z.; Yang, X.; Xu, S.; Pan, H. Greenhouse Gas Emissions from Beef Cattle Breeding Based on the Ecological Cycle Model. *Environmental Research and Public Health*, v.19, n.15, 2022. <https://doi.org/10.3390/ijerph19159481>

Hazel, L.N.; Lush, J.L. The efficiency of three methods of selection. *The journal of Heredity*, p.393-399, 1942.

Hazel, L.N. Genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28, p.476-490, 1943.

Hirooka, H. Systems approaches to beef cattle production systems using modeling and simulation. *Animal Science Journal*, 2010. <https://doi.org/10.1111/j.1740-0929.2010.00769.x>

Hlavatý, R.; Krejčí, I.; Houska, M.; Moulis, P.; Rydval, J.; Pitrová, J.; Pilar, L.; Horáková, T.; Tichá, I. Understanding the decision-making in small-scale beef cattle herd management

through a mathematical programming model. *International Transactions in Operational Research*, v.30, 2021. <https://doi.org/10.1111/itor.13014>

Inácio, M. C. P.; Baldi, H.F.; Dos Santos, C.F.; Oliveira, L.S.; Ferreira, C.E.C.; Mendonça, A.T. Sistema intensivo x extensivo na criação de gado de corte. *Revista da Universidade no Vale do Rio Verde*, v. 16, n. 1, p. 1-9, 2018. <http://dx.doi.org/10.5892/ruvrd.v16i1.4642>

Laiya, S.y.U.; Djoko, S.E.; Syamsiar, R.U.; Konda, A.K.; Nada, K.J.; Aloysius, M. The economic value of feeding natural grass silage and concentrate to fattened beef cattle. *RJOAS*, n.11, v.131, 2022. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2022-11.28>

Latawiec, A.E.; Strassburg, B.B.N.; Valentim, J.F.; Ramos, F.; Alves-Pinto, H.N. Intensification of cattle ranching production systems: socioeconomic and environmental synergies and risks in Brazil. *Anima*, v.8, n.8, p.1255-1263, 2014. <https://doi.org/10.1017/S1751731114001566>

Lima, F.P.; Bonilha Neto, L.M.; Razook, A.G.; Pacola, L.J.; Figueiredo, L.A. ; de Peixoto, A.M. Parâmetros genéticos em características morfológicas de bovinos Nelore. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v.46, n. 2, p. 249-257, 1989.

Limede, A.C.; Marques, R.S.; Polizel, D.M.; Cappellozza, B.I.; Miszura, A.A.; Barroso, J.P.R.; Martins, A.S.; Sardinha, L.A.; Baggio, M.; Pires, A.V. Effects of supplementation with narasin, salinomycin, or flavomycin on performance and ruminal fermentation characteristics of *Bos indicus* Nelore cattle fed with forage-based diets. *Journal of Animal Science*, v.99, n.4, p.1-11, 2021. <https://doi.org/10.1093/jas/skab005>

Machado, C.H.C. Análise histórica das raças zebuínas no Brasil e estudo do consumo alimentar residual (CAR) como critério de seleção. *Dissertação - Universidade de Uberaba*, 2015.

McManus, C.; Barcellos, J.O.J.; Formenton, B.K.; Hermuche, P.M.; Carvalho, O.A. de C. Jr; Guimarães, R.F.; Gianezini, M.; Dias, E.A.; Lampert, V.N.; Zago, D.; Braccini Neto, J. Dynamics of Cattle Production in Brazil. *PLOS ONE* n.11, v.1, 2016. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0147138>

Malafaia, G.C.; Azevedo, D.B.; Pereira, M.A.; Matias, M.J.A. Capítulo 8: A sustentabilidade na cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira. In: Bungenstab, D.J.; Almeida, R.G. de;

Laura, V.A.; Balbino, L.C.; Ferreira, A.D. (Ed.). ILPF: inovação com integração de lavoura, pecuária e floresta. Brasília, DF: Embrapa Cerrados, 2019. 835 p.

Millen, D.D.; Arrigoni, M.D.B. Drivers of change in animal protein production systems: Changes from ‘traditional’ to ‘modern’ beef cattle production systems in Brazil. *Animal Frontiers*, V.3, n.3, p. 56-60, 2013. <https://doi.org/10.2527/af.2013-0025>

Miranda, M.E.R.; Reinaldi, M.A.A.; Freitas, C.C.G. Custos na produção de gado de corte: pastagem versus confinamento. *Research, Society and Development*, V.10, n.14, 2021. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i14.21923>

Moreira, G.M.O. Bovinocultura de corte: Sistema de produção. Trabalho de conclusão de curso. Barretos, 2016. 23p.

Morgan-Davies, J.; Morgan-Davies, C.; Pollock, M.L.; Holanda, J.P.; Waterhouse, A. Characterisation of extensive beef cattle systems: Disparities between opinions, practice and policy. *Land Use Policy*, v.38, p. 707-718, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2014.01.016>

Nascimento, M.F.A.; Taveira, R.Z.; Carvalho, F.E.; Amaral, A.G.; da Silva, R.M.; Campos, J.C. Viabilidade econômica de dois sistemas de produção de bovinos de corte. *Revista Espacios*, v.18, n27, 2017.

Ochsner, K.P.; MacNeil, M.D.; Lewis, R.M.; Spangler, M.L. Economic selection index development for Beefmaster cattle II: General-purpose breeding objective. *American Society of Animal Science*, v.95, p. 1913-1920, 2017. <https://doi.org/10.2527/jas2016.1232>

Pacheco, R.F.; Alves Filho, D.C.; Cattalam, J.; Mayer, A.R.; Burin, M.; Pereira, L.B.; Adams, S.M.; Brondani, I.L. Probability of beef tenderness in confined cows - a meta-analytic Approach. *Ciências Agrárias*, v.40, n.3, p.1307-1316, 2019. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2019v40n3p1307>

Passeti, M. Gado de Corte: Tudo que o produtor precisa saber. 2019. https://blog.agromove.com.br/gado-de-corte/#Sistema_Extensivo Acesso em: 19/12/2022.

Pang, H.; Makarechian, M.; Basarab, J.A.; Berg, R.T.; Berg, J.A. Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Canadian Journal of Animal Science*, n.79, p.409–417, 1999. <https://doi.org/10.4141/A99-020>

- Portes, J. Portes, J.V., Menezes, G.R.O., MacNell, M.D., da Silva, L.O.C., Gondo, A., Braccini Neto, J. Selection indices for Nelore production systems in the Brazilian Cerrado. *Livestock Science*, v.242, p.1-8, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104309>
- Potkany, M.; Krajcirova, L. Quantification of the Volume of Products to Achieve the BreakEven Point and Desired Profit in Non-Homogeneous Production. *Procedia Economics and Finance*, n.26, p.194-201, 2015. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(15\)00811-4](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(15)00811-4)
- Rosa, A.N.F.; Menezes, G.R.O.; Egito, A.A.; Nogueira, E. Genética aplicada para pequenos e médios produtores de gado de corte. Embrapa, Campo Grande, MS, 2021 82p.
- Rotz, A.C.; Asem-Hiablie, S.; Place, S.; Thoma, G. Environmental footprints of beef cattle production in the United States. *Agricultural Systems*, v.169, p.1-13, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.11.005>
- Rowan, T.N.; Durbin, H.J.; Seabury, C.M.; Schanabel, R.D.; Decker, J.E. Powerful detection of polygenic selection and evidence of environmental adaptation in US beef cattle. *Plos Genetics*, p.1-29, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.1009652>
- Sanders, J.O.; Cartwright, T.C. A general cattle production systems model. I: Structure of the model. *Agricultural Systems*, v.4,n.3, p.217-227, 1979. [https://doi.org/10.1016/0308-521X\(79\)90031-3](https://doi.org/10.1016/0308-521X(79)90031-3)
- Santana Jr., M.L.; Oliveira, P.S.; Pedrosa, V.B.; Eler, J.P.; Groeneveld, E.; Ferraz, J.B.S. Effect of inbreeding on growth and reproductive traits of Nelore cattle in Brazil. *Livestock Science*, v.131, p.212-217, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2010.04.003>
- Santana, R.A.V.; Barbosa, F.A.; Mandarino, R.A.; Lobo, C.F. Desempenho bioeconômico de sistemas intensivos de cria e de ciclo completo por meio de simulação. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária*, n.65, v.6, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-09352013000600027>
- Santiago, A. A. Gado Nelore: 100 anos de seleção. São Paulo: Editora dos Criadores, 1987. 591 p.
- Santich, B.J. Capítulo 1– Beef consumption: historical overview, recent trends and contemporary attitudes p.1-16. In: Cottle, D.; Kahn, L. Beef cattle production and trade. Csiro Publishing, 2014. <https://doi.org/10.1071/9780643109896>

Santos R. Nelore a vitória brasileira. Uberaba: Agropecuária Tropical, 1995. 391p.

Santos, S.A.; Desbiez, A.L.J.; Buainain, A.M.; Abreu, U.G.P.; Santos, D.; Silva, R.A.M.S.; dos Santos, R.C.R. Cadeia Produtiva Bovina no Pantanal Sul-Mato-Grossense: diagnóstico participativo. Embrapa Pantanal, 2008. 60p.

Sarcinelli, M.F., Venturini, K.S., Silva, L.C. Produção de Bovinos - Tipo Carne. Universidade Federal do Espírito Santo – UFES. Pró-Reitoria de Extensão – Programa Institucional de Extensão. Boletim Técnico. 2007.

Schlosser, D. F.; Frasson, A. C.; Cantorani, J. R. H. Softwares livres para análise de dados qualitativos. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia, v.12, n.1, 2019. <https://doi.org/10.3895/rbect.v12n1.9550>

Silva, R.O.; Barioni, L.G.; Hall, J.J.; Moretti, A.C.; Veloso, R.F.; Alexandre, P.; Crespolini, M.; Moran, D. Sustainable intensification of Brazilian livestock production through optimized pasture restoration. Agricultural Systems, V.153, p.201-211, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.02.001>

Silva, A. H. S. ; Branco, P. A. C. ; Santos, M. V. S. ; Vale, W. G. ; Bretas, A. A. Intensive pasture termination (tip): perspective for the Sergipe semi-arid. Scientific Electronic Archives, v. 1, p. 110-116, 2020. <https://doi.org/10.36560/131120201143>

Silveira, J.P.; Louzada, J.A.; Alves, D.O.; da Silva, L.X. Capítulo 7: Avaliação técnico-financeira da unidade de produção agrícola. In: Miguel, L.A.; Schreiner, C.T. Gestão e Planejamento de Unidades de Produção Agrícola. UFRGS Editora, 2ed.; 2022. 279p.

Soares,L.O.; Nogueira, C.H.; Jayme, C.G.; Almeida, P.F.S. Financial efficiency in the confinement system for beef cattle. Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia, n.75, v.5, 2022. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-12619>

Sorensen, J.T. Validation of livestock herd simulation models: a review. Livestock Production Science, v.26, n.2, p.79-90, 1990. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90058-E)

Souza, M. A.; Diehl, C. A. Gestão de custos: Uma abordagem integrada entre contabilidade, engenharia e administração. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

Veloso, R.F.; Barrioni, L.G.; Malaquias, J.V.; Gomes, E.G.; Moreira, J.M.M.A.P.; Dantas, O.D.; Fernandes, F.B. Modelo bioeconômico para avaliação ex ante de investimentos em sistemas de produção de bovinos de corte a pasto no Cerrado. Boletim de pesquisa e desenvolvimento 298. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, 2010.

Webster, J. Chapter 7: Beef and dairy – The cattle story. In: D´Silva, J.; Webster, J. The Meat Crisis: Developing more Sustainable and Ethical Production and Consumption. Routledge, 2ed.; 2017. 390p. <https://doi.org/10.4324/9781315562032>

Wolfová, M.; Wolf, J. Strategies for defining traits when calculating economic values for livestock breeding: a review. *Animal*, v.7, n.9, p.1401-1413, 2013. <https://doi.org/10.1017/S1751731113001018>

Xue, M.; Xie, Y.; Zhong, Y.; Ma, X.; Sun, H.; Liu, J. Integrated meta-omics reveals new ruminal microbial features associated with feed efficiency in dairy cattle. *Microbiome*, v.10, 2022. <https://doi.org/10.1186/s40168-022-01228-9>

Zimmermann, M.J.; Kuehn, L.A.; Spangler, M.L.; Thallman, R.M.; Snelling, W.M.; Lewis, R.M. Comparison of different functions to describe growth from weaning to maturity in crossbred beef cattle. *Journal of Animal Science*, v.97, n.4, p.1523-1533. <https://doi.org/10.1093/jas/skz045>

Capítulo 2 - Desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação de rebanho no sistema de produção de gado de corte

Resumo:

A produção de carne bovina requer estudos adicionais que tornem essa atividade ainda mais rentável e produtiva. A avaliação de sistemas de pecuária de corte por meio de estudos de simulação proporciona resultados mais rápidos e custos reduzidos. Nesse contexto, este artigo descreve o projeto, o uso e a validação de modelos de simulação aplicados em sistemas de criação de ciclo completo na produção de gado de corte para avaliar diferentes sistemas de produção no bioma Cerrado, Brasil. As informações obtidas da literatura foram usadas para projetar os seis modelos simulados, que são representativos de diferentes sistemas de produção: sistema modal, sistema de produção melhorado 1, sistema de produção melhorado 2, sistema de produção melhorado 3, sistema de produção melhorado 4 e sistema de produção melhorado 5. A matriz Leslie foi usada para descrever modelos estruturados por idade com probabilidade específica para cada idade, de produzir taxas de sobrevivência das matrizes, e taxa de sobrevivência para bezerras, que foram usadas durante as previsões de simulações estocásticas. As principais variáveis simuladas nos modelos foram variáveis quantitativas provenientes de contagens, como o número total de animais do rebanho, bois de corte e vacas de descarte, e verificação de peso para as categorias de novilhas de corte, bois de corte e vacas maduras. As análises de correlação e regressão foram usadas para verificar e avaliar a qualidade do ajuste das variáveis simuladas no nível de significância de 5%. Os resultados mostram uma correlação forte e positiva (de 0,93 a 0,99) ($p < 0,05$) entre os dados observados e simulados, evidenciando que o presente modelo de simulação foi capaz de reproduzir todos os sistemas avaliados. A análise de regressão foi usada para comparar os dados observados e simulados. Foi observada regressão linear significativa para todas as variáveis avaliadas ($p < 0,05$), mostrando um alto coeficiente de determinação, o que indica que essas variáveis

podem ser previstas pelos modelos de simulação. O peso da vaca à maturidade não apresentou variação nos dados observados, portanto não foi considerado para análises adicionais. Desta forma, o estudo mostra que os seis modelos de simulação podem ser usados para prever os dados dos rebanhos, desde a produção extensiva até a produção mais intensiva de gado de corte em sistemas de ciclo completo.

Palavras-chave: Correlação, evolução de rebanho, modelos estocásticos, regressão.

Depicting a dynamic herd simulation model for beef cattle production system

Abstract: Beef production requires additional studies that make this activity even more profitable and productive. The evaluation of beef cattle systems via simulation studies provides faster results and reduced costs. In this context, this paper describes the design, use and validation of simulation models applied of full-cycle in beef cattle production designed to evaluate different production systems in the Cerrado biome, Brazil. Published information was used to design the six simulated models, which are representative of different production systems: modal system, improved breeding system 1, improved breeding system 2, improved breeding system 3, improved breeding system 4, and improved breeding system 5. The Leslie matrix was used to describe age-structured models with age specific probability of producing female calf survival and survival rates, which was used during stochastic simulations predictions. The main simulated variables on the models were counting variables as number of total herd animals, harvest steers and cull cows, and weight variables for harvest heifer, harvest steer, and mature cows categories. Correlation and regression analyses were used to validate and assess the goodness-of-fit of simulated variables at the 5% significance level. The results show strong and positive correlation (from 0.93 to 0.99) ($p < 0.05$) between observed and simulate data, evidencing that our simulation models were able to reproduce all

evaluated systems. Regression analyses was used to compare observed and simulated data. The significant linear regression for all variables evaluated ($p < 0.05$), showing high determination coefficient, which indicates that these variables can be predicted by simulation models. The mature cow weight did not presented variation in the observed data, so it was not considered for further analyses. Therefore, the study shows that the six simulation models could be used to predict herds data from extensive to more intensive beef cattle production in full cycle systems.

Key words: correlation analyses, evolution herd, regression analyses, stochastic.

1 - Introdução

A produção de gado de corte é uma atividade importante em todo o mundo e vários estudos sobre melhorias na cadeia produtiva da pecuária de corte brasileira têm sido desenvolvidos (Koetz Junior et al., 2019; Vale et al., 2019; Cominotte et al., 2020; Fernandes et al., 2020; Portes et al., 2020). Atualmente, o Brasil possui o maior rebanho bovino comercial, porém ocupa a segunda posição na produção de carne bovina (Fernandes et al., 2020; Greenwood, 2021). As avaliações dos sistemas de produção tentam obter a melhor maneira de melhorar a produtividade brasileira, reduzir a utilização de recursos e proteger o meio ambiente (Pang et al., 1999; Cardoso et al., 2020; Stabile et al., 2020). Estudos que contribuem para melhorias na produção bovina tornam-se cada vez mais relevantes, uma vez que a demanda por carne bovina deverá aumentar em 17% até 2027, especialmente nos países em desenvolvimento. (FAO, 2018).

Para o desenvolvimento crescente dos níveis de produção, é essencial o envolvimento de todo o processo produtivo, procurando a melhoria total da saúde, nutrição, gestão e genética (Mwangi et al., 2019; Souza et al., 2021; Yokoo et al., 2019). Para atingir estes

objetivos, pesquisadores investem uma quantidade considerável de tempo e dinheiro em avaliações de um sistema biológico real, mas se for utilizado uma modelagem matemática para representar os componentes biológicos ou descrever eficazmente o sistema de produção, podem ser menores investimentos. Os modelos de sistemas de simulação podem ser utilizados para representar situações ou características reais e tornam-se mais baratos e com soluções mais rápidas (Tedeschi and Menendez, 2019). Os modelos de simulação também permitem identificar melhorias na criação de animais e aumentar a produção real (Batista et al., 2019; Lopes et al., 2018).

O desenvolvimento de uma simulação que represente diferentes sistemas de produção, desde o modelo de sistemas extensivos até ao modelo de sistemas intensivos, com poucas entradas ou modificações, constitui um desafio. Um modelo concebido para fornecer características de crescimento e reprodução, bem como taxas de retenção e de abate de vacas, deve ser também representativo da genética, do ambiente e dos recursos alimentares (Spreen and Denham, 2019). Um sistema de produção de carne de bovina é complexo e composto por subsistemas interdependentes. Desta forma, quanto mais efeitos um modelo incorporar, mais próximo o modelo correspondente estará do sistema real (Pang et al., 1999).

Os modelos matemáticos utilizados para simular os dados relativos ao efetivo pecuário podem ser modelos determinísticos ou estocásticos, contínuos ou discretos. Assim sendo, o valor do número de dados faltantes pode ser obtido por meio da utilização de variáveis fixas ou aleatórias (Pouillot et al., 2004). A análise estocástica permite uma descrição mais detalhada de um processo estudado, incorporando alguma aleatoriedade no modelo. Informações como as taxas de sobrevivência, crescimento e fecundidade podem ser consideradas por uma matriz estruturada por idade e/ou estágio de desenvolvimento, pelos modelos de matriz de Leslie e incorporará a estocasticidade nos modelos biológicos (Kajin et

al., 2012). Além de determinar o modelo, é relevante obter características e informações de dados reais para fornecer os dados de simulação, que conduzirão a resultados tão próximos quanto possível dos objetivos da raça ou do sistema.

Nestas circunstâncias, é necessário avaliar as projeções simuladas para garantir que os seus resultados projetem a produção esperada na bovinocultura de carne, tal como identificar métodos para verificar a relação correspondente entre o modelo de simulação e o sistema real (Sorensen, 1990). Por meio de simulação é possível identificar até mesmo diferenças subtis entre raças e sistemas (Wetlesen et al., 2020). Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi explorar diferentes cenários por meio de modelagem de simulação e verificar o quanto esse modelo representa a realidade biofísica observada nas propriedades de gado de corte.

2 - Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi baseado nos sistemas de produção de bovinos de corte do estado de Mato Grosso do Sul (LAT 20°45'0S e LONG 54°30'0W), localizado na região Centro-Oeste do Brasil e com uma área de 358.147,995 km². A classificação climática da maior parte do estado é tropical, com uma estação chuvosa e quente de outubro a março e uma seca e fria de abril a setembro. As vegetações predominantes são os biomas Cerrado e Pantanal, com precipitação média anual de 1250-1500 mm. A região analisada neste estudo foi o bioma Cerrado, que se caracteriza por uma estação chuvosa na primavera, uma estação seca no inverno e temperatura média anual de 22°C, constituindo uma região de boa adaptabilidade do Nelore, proporcionando resultados atrativos na bovinocultura de corte.

2.2 Dados de referência (população base)

Os valores dos parâmetros de entrada foram derivados de uma produção típica de gado de corte no estado do Mato Grosso do Sul, conforme descrito por Corrêa et al. (2006). Os sistemas e parâmetros utilizados neste estudo de simulação estão descritos nas tabelas 1 e 2. Neste estudo, os seis diferentes cenários foram projetados de acordo com os dados de Corrêa et al. (2006), nos quais foram contemplados desde sistemas extensivos até aqueles mais intensivos em um ciclo completo de produção.

O primeiro sistema projetado foi o sistema modal (Modal), que representa o sistema mais extensivo, com vacas que pariram pela primeira vez aos quatro anos de idade, mortalidade de 6% nos novilhos ao primeiro ano, mortalidade nas outras categorias de 2% e abate aos 48 meses de idade. O segundo sistema foi o primeiro sistema de produção melhorado (SM1), no qual se registou idade ao primeiro parto (três anos), mortalidade de animais ao primeiro ano (3%), mortalidade nas demais categorias (1%) e idade de abate (39 meses) mais baixas em comparação com Modal. O terceiro sistema (SM2) foi semelhante ao SM1, entretanto a idade ao abate foi inferior às anteriores (35 meses) devido ao fato destes animais receberem pastagem com suplementação alimentar proteica (1 kg/100 kg Peso vivo (PV)/animal/dia. Fornecimento diário ração: 4,5 kg/cab.) no terceiro período seco. O quarto sistema (SM3) foi como o SM1 e SM2, no entanto, os animais do SM3 foram abatidos aos 31 meses porque receberam suplementação proteica na primeira e segunda estação seca e ração (0,8 kg / 100 kg PV/animal/dia. Fornecimento diário ração: 3,6 kg/cab.) na estação chuvosa. O quinto sistema (SM4) foi semelhante ao SM1, SM2 e SM3, porém este sistema foi capaz de abater os animais aos 23 meses de idade, graças à suplementação alimentar com ração na primeira estação seca e ao confinamento (4,2 kg de concentrado/cab./dia) na segunda estação seca. O sexto sistema (SM5) foi o mais intensivo em relação aos demais, e os animais foram abatidos aos 19 meses de idade devido à nutrição especial baseada em *creep-feeding* (0,9

kg/100 kg PV. Fornecimento diário ração:1,6 kg/cab.) antes do desmame (de 4 à 7 meses de idade) e confinamento nas estações seca e chuvosa até a terminação. Os índices de natalidade (80%), mortalidade ao ano (3%) e em outras categorias (1%) e a idade ao primeiro parto (3 anos) foram semelhantes ao SM1, SM2, SM3 e SM4, e SM5, apresentaram melhores indicadores em relação ao Modal (Tabela 1).

2.3 Modelagem do sistema de produção

Para este estudo de simulação, foi desenvolvido um modelo matemático para simular diferentes cenários de produção de bovinos de corte por meio de uma simulação dinâmica e estocástica, utilizando linhas de comando programadas no ambiente do software R (R Core Team, 2021). Para esta finalidade, foi criado um script contendo o máximo de informação possível relativa à constituição de um rebanho bovino, permitindo que os valores das entradas pudessem ser atualizados imediatamente quando fossem obtidos pelo usuário e criar um novo cenário.

A capacidade de carga relativa foi estimada com base na Eq. (1) proposta por Anderson et al. (1983):

$$TDN/day = 4.6631 + 0.0030CW + 0.0127 \cdot (0.022MP) \quad (1)$$

em que TDN é o total de nutrientes digestíveis, CW é o peso da vaca e MP é a produção de leite.

Os parâmetros relacionados à alimentação foram estimados com base na pastagem natural do Mato Grosso do Sul para todos os seis sistemas e os sistemas de produção melhorados receberam também suplementação de ração e proteica, de acordo com as necessidades do sistema (Tabela 2).

Os modelos de matriz Leslie foram utilizados para prever e descrever uma população mais realista, recorrendo a informação sobre as taxas de sobrevivência das diferentes classes etárias, previsões de crescimento da população e estimativas de parâmetros para diferentes cenários. Os elementos da matriz foram construídos com as taxas de sobrevivência específicas por idade na diagonal e a probabilidade específica por idade de produzir uma cria fêmea na linha superior. Utilizámos uma matriz de Leslie 14x14 para simular os dados para o Modal e uma matriz de Leslie 10x10 para os sistemas de produção melhorados.

Foram utilizados 500 ciclos de reprodução como *burn-in*, utilizando valores representativos do efetivo de bovinos de corte abordados. Os ciclos foram efetuados para obter a distribuição etária do efetivo, a fim de fornecer os números de vacas, vacas de descarte, novilhos e novilhas por idade da mãe, e novilhas de reposição. As vacas de descarte, novilhas e novilhos foram calculados por meio de uma decomposição de Choleski, para calcular a fatoração de uma matriz quadrada real simétrica positiva-definida, e uma construção básica de fluxo de comando para processar uma condição de iteração.

O número total de bezerros produzidos, por idade da mãe, foi obtido pela taxa de sobrevivência dos bezerros multiplicada pela taxa de reprodução total. O número de novilhas para abate foi obtido pelo desvio entre todas as novilhas produzidas no seu último ano no sistema e as novilhas de reposição. Os novilhos de um ano e todas as outras idades dos novilhos foram obtidos multiplicando a taxa de sobrevivência do bezerro ao ano por metade dos bezerros produzidos. O número de novilhas de reposição foi calculado com base na taxa de reprodução de acordo com a idade do animal no momento da produção. O número de novilhas destinadas ao abate foi obtido a partir do desvio entre os novilhos e as novilhas de reposição.

O peso à maturidade foi estimado pelo modelo de Brody (Arango e Van Vleck, 2002), em que o peso assintótico (à maturidade) era uma função da idade e do parâmetro da curva de crescimento, calculado utilizando a Eq. (2).

$$W_t = A - be^{-kt} \quad (2)$$

em que W_t é o peso do animal a uma dada idade (t), A é o peso assintótico, b é o parâmetro de escala temporal, e é o logaritmo na base natural, e k é o índice de maturidade.

Os pesos das novilhas e dos novilhos foram estimados do desmame ao abate. Adotou-se uma penalidade padrão de 0,97 e 1,04 para a função peso da novilha e do boi, respetivamente, considerando todos os períodos e o ganho médio diário (Tabela 2).

2.4 Verificações da estrutura modelada

A avaliação da adequabilidade do modelo simulado foi baseada no grau de ajuste da simulação e dos dados observados de Corrêa et al. (2006) por meio de correlação. O teste de correlação de Pearson foi utilizado para descrever a força da relação entre as variáveis. Os coeficientes de correlação de Pearson (r) foram utilizados pela função *cor.test* no ambiente do software R (R Core Team, 2021). As imagens gráficas de correlação foram geradas utilizando a função *ggplot* do pacote *ggplot2* no ambiente de software R (R Core Team, 2021). Em todas as análises, a significância foi estabelecida em $p \leq 0,05$.

A análise de regressão linear foi utilizada para determinar o coeficiente angular dos dados observados-simulados, a fim de avaliar o impacto da variabilidade da variável independente (dados observados) na variável dependente (dados da simulação). As funções *lm* e *plot* do ambiente de software R (R Core Team, 2021) foram utilizadas para identificar os

modelos de regressão linear e os gráficos. Em todas as análises, a significância foi considerada em $p \leq 0,05$.

3 - Resultados

3.1 Simulação segundo a modelagem

A matriz de Leslie foi utilizada para produzir uma estrutura populacional estável e os valores reprodutivos de cada classe etária para cada sistema de simulação foram previstos por efeitos cumulativos de flutuações estocásticas ao longo de 500 anos de reprodução. O número de animais gerados em cada categoria e por idade é apresentado na Tabela 3. Neste presente estudo, observou-se que quanto mais intensivo o sistema de produção, maior o número de animais por área. O SM5, sistema mais intensificado nesta abordagem, constituiu o maior rebanho com 3270 animais, enquanto o sistema menos extensivo, representado pelo Modal, apresentou 54% menos animais que o SM5 para a mesma quantidade de área (1200 ha) (Tabela 3). Obteve-se um total de 2804, 2784, 2610 e 2973 animais nos sistemas SM1, SM2, SM3 e SM4, respectivamente (Tabela 3).

Os dados de número de vacas e de animais comercializados foram utilizados como entrada e corresponderam aos valores observados por Corrêa et al. (2006). O menor número de novilhas excedentes foi registrado no Modal (44 novilhas), seguido por SM2 (155), SM1 (162), SM3 (182), SM4 (209) e SM5 (233) (Tabela 3). Da mesma forma, o menor número de bois para venda, foi observado em Modal (114), seguido por SM2 (260), SM1 (261), SM3 (301), SM4 (343) e SM5 (377) (Tabela 3). Modal também apresentou o menor número de novilhas de reposição (68), seguido por SM1 (94), SM2 (98), SM3 (112), SM4 (127) e SM5 (135) (Tabela 3). Na categoria das vacas de descarte, o Modal também apresentou o menor

número de animais (53), seguido por SM1 (97), SM2 (99), SM3 (114), SM4 (129) e SM5 (142) (Tabela 3).

Os pesos simulados em cada categoria nas diferentes fases de desenvolvimento da produção de bovinos de corte foram apresentados na Tabela 4. Os pesos ao abate e ao desmame dos novilhos, relatados por Corrêa et al. (2006), foram utilizados como entrada para os modelos simulados. Os pesos à maturidade simulados apresentaram o menor crescimento no SM5, atingindo 445kg, seguido do SM1, SM2, SM3, SM4, ambos com 460kg, e por último Modal com 469kg (Tabela 4). Os pesos simulados para a categoria de novilhas excedentes foram 448 kg, 470 kg, 471 kg, 473 kg, 473 kg e 477 kg para SM5, SM3, SM4, SM1, SM2 e Modal, respectivamente (Tabela 4). Da mesma forma, o SM5 apresentou o menor peso para os bois para venda, atingindo 464 kg, seguido pelo SM3, SM4, SM1, SM2 e Modal, nos quais foram observados 482 kg, 483 kg, 485 kg, 485 kg e 487 kg, respectivamente (Tabela 4).

3.2 Verificações dos sistemas modelados

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os valores previstos e observados foram altos e positivos para todas as variáveis consideradas neste estudo. O r para o número total de animais no efetivo foi de 0,98 ($p < 0,0001$; Figura 1), e para o número de novilhos e vacas de descarte foi de 0,99 em ambos ($p < 0,0001$; Figuras 2 e 3). O r para os pesos das novilhas e dos novilhos foi de 0,95 ($p = 0,003$; Figura 4) e 0,93 ($p = 0,006$; Figura 5), respectivamente. Como os pesos das vacas à maturidade foram iguais para todos os seis sistemas simulados (Figura 6), o valor do desvio padrão foi zero e, portanto, não foi possível calcular r .

Foi detectada uma significativa relação linear entre os dados observados e os simulados para todas as variáveis, exceto para o peso das vacas à maturidade (Figura 7, 8, 9, 10 e 11). O modelo de regressão linear bivariada para o número total de animais do rebanho apresentou uma relação significativa entre os dados observados e simulados ($p=0,0003$) e um coeficiente de determinação (r^2) acentuado (0,96) (Figura 7). Os resultados de número de novilhos de e vacas de descarte apresentaram o maior r^2 (0,99) e relação significativa entre os dados observados e simulados ($p<0,0001$) (Figura 8 e 9). Os pesos de novilhas e novilhos para venda apresentaram r^2 de 0,88 e 0,84, respectivamente, com relação significativa ($p=0,0033$ e 0,0062, respectivamente), sendo os seus resultados apresentados na Figura 10 e 11.

4 - Discussão

4.1 Simulação segundo a modelagem

Vários processos na produção de bovinos de corte podem ser simulados, e esses modelos podem dar suporte a diversas áreas da pecuária, como nutrição, melhoramento genético, reprodução e saúde (Fontoura Júnior et al., 2007). Durante a simulação, alguns valores inseridos foram utilizados para alimentar o simulador de rebanho, que será capaz de reproduzir os demais dados o mais próximo possível do observado em sistemas reais. Nesse contexto, o número de vacas e de animais comercializados, derivados de representações reais de Corrêa et al. (2006), permite que o sistema seja alimentado inicialmente e reproduza sistemas pecuários úteis a um custo menor para estudos posteriores. Com base nessas entradas e auxiliado pela matriz de Leslie, foi possível gerar o número de categorias de outros animais.

A matriz de Leslie considera a aleatoriedade dos eventos relacionados ao crescimento populacional, pois incorpora a estocasticidade em modelos biológicos (Huffmyer, 2022), o que é especialmente importante para eventos relacionados à expressão de características

reprodutivas. Portanto, o uso dessa matriz permitiu retratar o crescimento de populações de bovinos de corte no bioma Cerrado brasileiro. A matriz de Leslie já havia sido utilizada em estudos que visavam entender o comportamento populacional, avaliar o potencial de crescimento populacional, bem como nesta mesma aplicação (Bradshaw et al., 2007; Mollet e Cailliet, 2002; Slade e Levenson, 1982). Estudando o tamanho populacional, Bradshaw et al. (2007) encontraram os efeitos cumulativos de flutuações estocásticas ao longo de 22 gerações (7 anos/geração), simuladas com a espécie não nativa bovina banteng no norte da Austrália. Os modelos de crescimento exponencial por matriz de Leslie também podem ser usados para prever e controlar o início da extinção em populações (Slade e Levenson, 1982). Comparando os modelos para quatro espécies de elasmobrânquios, Mollet e Cailliet (2002) observaram semelhanças entre os modelos baseados em estágios e os modelos de matriz de Leslie, ao avaliar o crescimento potencial da população e a reprodução.

No presente estudo, os sistemas melhorados simulados produziram o maior número de animais nos rebanhos em que o sistema de produção adotado era mais intensivo. O SM5 foi responsável pelo maior rebanho na mesma área (1200 ha). Animais criados em confinamento ou mesmo recebendo suplementação além da forragem, têm potencial para atingir os índices produtivos desejados em menor tempo do que aqueles que receberam apenas forragem como dieta, além de permitir maior número de animais alocados em cada área (Molossi et al., 2020). Soares et al. (2015) estudando três diferentes sistemas de terminação de bovinos no Rio Grande do Sul, utilizando 90 ha em cada sistema, também verificaram que o sistema de maior aporte nutricional suportou o maior número de animais por hectare. Cabe ressaltar que, ao adotar o confinamento, a produção aumenta, sem expandir a área de pastagem (Vale et al., 2019). Verifica-se também que o sistema extensivo de criação de gado poderia resultar em menores custos de alimentação quando comparado ao sistema intensivo (Molossi et al., 2020;

Wetlesen et al., 2020), embora os lucros retidos correspondam à maior quantidade nos sistemas mais intensivos (Greenwood, 2021).

O sistema extensivo é o mais típico na produção de gado de corte no bioma Cerrado brasileiro, uma vez que o patrocínio governamental nas décadas de 1970 e 1980 contribuiu para o estabelecimento predominante desse sistema (Viu et al., 2007). No entanto, o sistema extensivo proporciona o menor número de animais para todas as categorias utilizadas na simulação, em contraste com os sistemas melhorados, nos quais foi observado maior número de animais. Mesmo que o sistema extensivo proporcione menor produtividade que os demais sistemas, ele pode ser rentável para o número de animais abatidos e para as áreas de pastagens disponíveis no Mato Grosso do Sul (Souza et al., 2015). Além disso, o Modal apresentou o maior período de reprodução, o que também contribuiu para a receita dessa atividade pecuária, embora a estação de parição prolongada possa levar a uma baixa eficiência produtiva (Boyer et al., 2020).

Em relação ao número de animais por categoria, todos estes foram maiores nos sistemas melhorados em relação ao modal, o que foi mais evidenciado quando se comparou sistemas mais intensivos com sistemas mais extensivos. A escolha de sistemas de criação mais intensivos, como o confinamento, pode proporcionar maior produtividade, redução do desmatamento e das emissões de carbono, e melhores atributos de qualidade da carne (Vale et al., 2019). A ingestão de grãos e proteínas pode aumentar as taxas de lotação do rebanho, aumentando a produção anual e os retornos econômicos (Molossi et al., 2020). Deve-se notar que alguns aspectos negativos podem estar relacionados à produção mais intensiva usando confinamento, como o aumento da poluição da água e do ar, a contaminação do solo, a diminuição do bem-estar animal, a seleção de parasitas e patógenos mais virulentos e a disseminação de doenças zoonóticas (Vale et al., 2019). Por outro lado, os sistemas semi-

intensivos podem minimizar os pontos negativos citados anteriormente, mesmo não apresentando a mesma produtividade, ainda assim podem aumentar os índices produtivos se comparados aos sistemas extensivos de produção (Costantini et al., 2021). No entanto, um importante gargalo nos sistemas de produção, independentemente de ser intensivo ou extensivo, é o uso abaixo do esperado e a implementação incorreta das informações técnicas disponíveis (Viu et al., 2007).

O peso corporal constitui uma medida representativa do desempenho do crescimento dos bovinos. Por este motivo, o peso específico por idade foi também simulado neste estudo em todos os cenários de bovinos de carne. Em relação a isso, os pesos à maturidade das vacas após os 5 anos de idade foram de 445 kg e 469 kg, respectivamente, no SM5 e no Modal, os quais foram próximos aos observados em outros estudos para vacas Nelore à maturidade (Boligon et al., 2008; Koetz Junior et al., 2019).

No sistema Modal os animais apresentaram maior peso (477 kg para as novilhas e 487kg para os novilhos) apesar desses animais não terem recebido suplementação alimentar, o que pode ser explicado pela maior permanência no abate (52 meses). Entre os sistemas melhorados, o SM5 apresentou o menor peso ao abate (448kg para novilhas e 464kg para novilhos) e a produção mais precoce (19 meses). Casagrande et al. (2013) relataram que não foi encontrada diferença significativa entre os pesos de abate em novilhas Nelore quando terminadas em confinamento (366kg) ou a pasto (365kg) no período seco, mesmo tendo sido observados diferentes tempos de crescimento entre confinamento (86 - 102 dias) e pasto (225 - 271 dias). Cominotte et al. (2020) trabalhando com predição de peso corporal em confinamento de bovinos Nelore encontraram animais pesando 449,5kg aos 25 meses no final do confinamento. Lima et al. (2013) encontraram pesos aos 550 dias de touros Nelore em provas centrais de desempenho a pasto, analisados por grupos de cluster, variando de 269 a

450kg. Portanto, as diferenças de peso ao abate observadas em nosso estudo de simulação podem estar associadas à fase de terminação que ocorre durante o período chuvoso, que se caracteriza por uma maior permanência dos animais até o abate, especialmente para aqueles terminados a pasto, e à alta qualidade da suplementação ou do confinamento para os sistemas melhorados. Apesar disso, vale ressaltar que, para fins de rentabilidade, longas permanências são muitas vezes inviáveis economicamente.

4.2 Verificações dos sistemas modelados

Um bom modelo de simulação é obtido a partir da concordância entre o modelo de predição e o comportamento do sistema real, e desta forma ele será um modelo adequado (Sorensen, 1990). Por este motivo, é necessário um processo de validação, que pode ser realizado por meio de análises de correlação e regressão.

Em todas as análises de correlação realizadas com os dados de peso e número de animais, observou-se uma relação monotônica alta e positiva entre as variáveis observadas e simuladas (Figura 1, 2, 3, 4 e 5). Este resultado indica que o algoritmo utilizado para simular os rebanhos e os dados reais utilizados por Corrêa et al. (2006) como entrada durante este estudo de simulação foram capazes de criar diferentes cenários de produção de gado de corte, que refletem o sistema pecuário real no bioma Cerrado brasileiro. Altas correlações sugerem que as respostas dos modelos simulados refletem os sistemas reais (Kleijnen, 1995). Isso implicou em uma simulação suficientemente precisa de acordo com a relação entre essas variáveis. Estudos que utilizam a simulação como ferramenta preliminar ou comparativa com dados experimentais são comuns na avaliação de fármacos para entender a função biológica e a atividade farmacêutica, e ou devido aos altos custos e a complexidade desse comportamento molecular (van Gunsteren et al., 2018; Wang et al., 2015).

O peso à maturidade não apresentou relação entre os dados observados e simulados porque os dados observados não se apresentaram como uma variável contínua. No entanto, foi possível notar que os dados observados e simulados apresentaram uma tendência geral de caminharem juntos. Dessa forma, pode-se supor que ele também reagiu adequadamente à simulação devido ao comportamento semelhante ao das demais variáveis consideradas.

A análise de regressão foi utilizada para comparar dados observados e simulados, em que uma variável independente poderia prever uma variável dependente (Vetter e Schober, 2018). Neste estudo, foi observado um ajuste significativo para a regressão linear considerando todas as variáveis ($p < 0,05$), indicando que todas as variáveis podem ser preditas pela simulação. Além disso, os coeficientes de determinação (r^2) maiores que 0,8 foram obtidos em todas as análises de regressão avaliadas, o que significa que mais de 80% da variação nos dados simulados poderiam ser atribuíveis aos dados observados. Uma vez que maiores r^2 corroboram a avaliação do bom ajuste para a predição da acurácia da simulação (Plaizier et al., 1997; Vetter e Schober, 2018), é possível concluir que todos os modelos simulados, incluindo todas as variáveis avaliadas, foram acurados. Eventualmente, a decisão sobre qual sistema de produção escolher dependerá de vários fatores, que podem ser obtidos de forma rápida e precisa por modelos de simulação. Entre estes elementos chave estão o número de animais por área, a probabilidade de produção e as diferenças entre os sistemas modais e melhorados, que foram simulados com sucesso no presente estudo. Os sistemas simulados também podem ser utilizados em análises posteriores para avaliar os custos econômicos e a rentabilidade da produção de bovinos de corte (Batista et al., 2019; Calvano et al., 2021; Lopes et al., 2018; Wetlesen et al., 2020), além de produzir valores econômicos (Souza et al., 2021) e índices de seleção (Portes et al., 2020).

5 - Conclusão

Os sistemas simulados em nosso estudo representam uma ferramenta valiosa para a avaliação da produção de gado de corte no bioma Cerrado brasileiro. Nossos resultados sugerem que esses modelos de simulação podem ser usados para prever rebanhos e dados a partir da produção extensiva até a produção mais intensiva de gado de corte em sistemas de ciclo completo. Com essa ferramenta é possível prever o desempenho animal, conduzir a produção de Nelore no bioma Cerrado, ou em outros biomas e raças, e permitir o direcionamento da produção para as necessidades e recursos econômicos dos produtores.

6 - Declarações de interesse: nenhuma

7 - Referências

- Anderson, V.L., Jost, L., Dinkel, C.A., Brown, M.A., 1983. Prediction of daily total digestible nutrient requirement of beef cows in northern climates 1. *J Anim Sci* 56, 271–279.
<https://doi.org/10.2527/jas1983.562271x>
- Arango, J.A., Van Vleck, L.D., 2002. Size of beef cows: early ideas, new developments. *Genetics and Molecular Research* 1, 51-63.
https://www.funpecrp.com.br/gmr/year2002/vol1-1/gmr0021_full_text.htm
- Batista, P.B., Zambom, M.A., dos Santos, P.E.F., de Albuquerque, Í.R.R., de Quadros, D.G., Pereira, M.M., 2019. Bioeconomics characterization of different ages mating of beef cattle in the southwest of Bahia and in the southwest of Parana. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research Braz. J. Anim. Environ. Res* 2, 1223–1236.
<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/2579>

- Boligon, A.A., Albuquerque, L.G., Mercadante, M.E.Z., Lôbo, R.B., 2008. Models for genetic evaluation of Nelore cattle mature body weight. *J Anim Sci* 86, 2840–2844. <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0823>
- Boyer, C.N., Griffith, A.P., Pohler, K.G., 2020, Improving beef cattle profitability by changing calving season length. *Journal of Applied Farm Economics* 3, 1, 1-9. <https://doi.org/10.7771/2331-9151.1035>
- Bradshaw, C.J.A., Isagi, Y., Kaneko, S., Brook, B.W., Bowman, D.M.J.S., Frankham, R., 2007. Low genetic diversity in the bottlenecked population of endangered non-native banteng in northern Australia. *Mol Ecol* 16, 2998–3008. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03365.x>
- Calvano, M.P.C.A., Brumatti, R.C., Barros, J.C., Garcia, M.V., Martins, K.R., Andreotti, R., 2021. Bioeconomic simulation of *Rhipicephalus microplus* infestation in different beef cattle production systems in the Brazilian Cerrado. *Agric Syst* 194. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103247>
- Cardoso, A.S., Barbero, R.P., Romanzini, E.P., Teobaldo, R.W., Ongaratto, F., Fernandes, M.H.M.R., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2020. Intensification: A key strategy to achieve great animal and environmental beef cattle production sustainability in *Brachiaria* grasslands. *Sustainability* 16. <https://doi.org/10.3390/su12166656>
- Casagrande, D.R., Azenha, M.V., Vieira, B.R., De Resende, F.D., De Faria, M.H., Berchielli, T.T., Ruggieri, A.C., Reis, R.A., 2013. Performance and carcass quality of feedlot-or pasture-finished Nelore heifers according to feeding managements in the postweaning phase. *Revista Brasileira de Zootecnia* 42, 12, 899-908. <https://doi.org/10.1590/S1516-35982013001200010>

- Corrêa, E.S., Costa, F.P., Melo Filho, G.A., Pereira, M. de A., 2006. Sistemas de produção melhorados para gado de corte em Mato Grosso do Sul Introdução. Campo Grande. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CNPGC-2009-09/12487/1/COT102.pdf> (accessed 10 March 2021).
- Cominotte, A., Fernandes, A.F.A., Dorea, J.R.R., Rosa, G.J.M., Ladeira, M.M., van Cleef, E.H.C.B., Pereira, G.L., Baldassini, W.A., Machado Neto, O.R., 2020. Automated computer vision system to predict body weight and average daily gain in beef cattle during growing and finishing phases. *Livestock Science* 232, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.103904>
- Costantini, M., Vázquez-Rowe, I., Manzardo, A., Bacenetti, J., 2021. Environmental impact assessment of beef cattle production in semi-intensive systems in Paraguay. *Sustain Prod Consum* 27, 269–281. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.11.003>
- FAO, 2018. OECD-FAO Agricultural Outlook 2018-2027. OECD. https://doi.org/10.1787/agr_outlook-2018-en
- Fernandes, E.A. de N., Sarriés, G.A., Bacchi, M.A., Mazola, Y.T., Gonzaga, C.L., Sarriés, S.R.V., 2020. Trace elements and machine learning for Brazilian beef traceability. *Food Chem* 333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127462>
- Fontoura Júnior, J.A.S., Menezes, L.M., Corrêa, M.N., Dionello, N.J.L., 2007. Utilização de modelos de simulação em sistemas de produção de bovinos de corte. *Veterinária e Zootecnia* 14, 19–30. https://www.researchgate.net/publication/302875810_Utilizacao_de_modelos_de_simulacao_em_sistemas_de_producao_de_bovinos_de_corte

- Greenwood, P.L., 2021. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal* 15, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>
- Huffmyer, W. L. (2022). Modern Methods in Stochastic Ecological Matrix Models [Master's thesis, Case Western Reserve University]. OhioLINK Electronic Theses and Dissertations Center. http://rave.ohiolink.edu/etdc/view?acc_num=case1649335224151461
- Kajin, M., Almeida, P.J.A.L., Vieira, M.V., Cerqueira, R., 2012. The state of the art of population projection models: from the Leslie matrix to evolutionary demography. *Oecologia Australis* 16, 1, 13-22. <http://dx.doi.org/10.4257/oeco.2012.1601.02>
- Kleijnen, J.P.C., 1995. Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research* 82, 1, 145-162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00016-6)
- Koetz Junior, C., Roso, V.M., Fávaro, P. da C., Pereira, G.R., Borges, M.H.F., Barca, F.A., Barcellos, J.O.J., Ribeiro, E.L. da A., 2019. Heritability estimation and genetic correlations for mature weight, visual scores, and growth traits in Nelore cattle. *Revista Brasileira de Zootecnia* 48, 1-10. <https://doi.org/10.1590/RBZ4820170246>
- Lima, P.R.M., Paiva, S.R., Cobuci, J.A., Braccini Neto, J., Machado, C.H.C., McManus, C., 2013. Genetic parameters for type classification of Nelore cattle on central performance tests at pasture in Brazil. *Trop. Anim. Health Prod.* <https://doi.org/10.1007/s11250-013-0408-1>
- Lopes, R.B., Canozzi, M.E.A., Canellas, L.C., Gonzalez, F.A.L., Corrêa, R.F., Pereira, P.R.R.X., Barcellos, J.O.J., 2018. Bioeconomic simulation of compensatory growth in

- beef cattle production systems. *Livest Sci* 216, 165–173.
<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.011>
- Mollet, H.F., Cailliet, G.M., 2002. Comparative population demography of elasmobranchs using life history tables, Leslie matrices and stage-based matrix models, in: *Marine and Freshwater Research* 53, 503–516. <https://doi.org/10.1071/MF01083>
- Molossi, L., Hoshide, A.K., Pedrosa, L.M., de Oliveira, A.S., de Abreu, D.C., 2020. Improve pasture or feed grain? Greenhouse gas emissions, profitability, and resource use for nelore beef cattle in Brazil's cerrado and amazon biomes. *Animals* 10, 1–21.
<https://doi.org/10.3390/ani10081386>
- Mwangi, F.W., Charmley, E., Gardiner, C.P., Malau-Aduli, B.S., Kinobe, R.T., Malau-Aduli, A.E.O. Diet and Genetics influence beef cattle performance and meat quality characteristics. *Foods*. 2019; 8(12):648. <https://doi.org/10.3390/foods8120648>
- Pang, H., Makarechian, M., Basarab, J.A., Berg, R.T., Berg, J.A., 1999. Structure of a dynamic simulation model for beef cattle production systems. *Can. J. Anim. Sci.* 79, 409–417. <https://doi.org/10.4141/A99-020>
- Plaizier, J.C.B., King, G.J., Dekkers, J.C.M., Lissemore, K., 1997. Estimation of Economic Values of Indices for Reproductive Performance in Dairy Herds Using Computer Simulation. *J Dairy Sci* 80, 2775–2783. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76240-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76240-4)
- Pouillot, R., Dufour, B., Durand, B., 2004. A deterministic and stochastic simulation model for intra-herd paratuberculosis transmission. *Vet. Res.* 35, 53 – 68.
<https://doi.org/10.1051/vetres:2003046>

- Portes, J.V., Menezes, G.R.O., MacNell, M.D., da Silva, L.O.C., Gondo, A., Braccini Neto, J., 2020. Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. *Livestock Science* 242, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104309>
- R Core Team (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>
- Slade, N.A., Levenson, H., 1982. Estimating Population Growth Rates from Stochastic Leslie Matrices, *Population Biology*.
- Soares, J.C.R., Barcellos, J.O.J., Queiroz Filho, L.A.V., Oaigen, R.P., Canozzi, M.E.A., Camargo, C.M., Drumond, L.C.D., Braccini Neto, J., 2015. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte em pastagem irrigada. *Arq Bras Med Vet Zootec* 67, 1096–1104. <https://doi.org/10.1590/1678-4162-7340>
- Sorensen, J.T., 1990. Validation of livestock herd simulation models: a review. *Livestock Production Science* 26, 79-90. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90058-E)
- Souza, K.A. de, Valero, M.V., Guerrero, A., Sañudo, C., do Prado, I.N., 2015. Refúgio ecológico e sistema de produção extensivo de bovinos de corte: exemplo da fazenda Caiman no Pantanal do Mato Grosso do Sul. *Pub Vet* 9, 467–472. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v9n11.467-472>
- Souza, F.M., Lopes, F.B., Rosa, G.J.M., Magnabosco, C.U., 2021. Economic values of reproductive, growth, feed efficiency and carcass traits in Nellore cattle. *Journal of Animal Breeding and Genetics* 139, 170–180. <https://doi.org/10.1111/jbg.12652>
- Spreen, T.H., Denham, S.C., 2019. Introduction to simulation of beef cattle production, in: Spreen, T.H., Laughlin, D.H. (Eds.), *Simulation of Beef Cattle Production Systems and*

Its Use in Economic Analysis. Routledge Taylor & Francis Group, London and New York, pp. 39–62. <https://doi.org/10.1201/9780429306044-3>

Stabile, M.C.C., Guimarães, A.L., Silva, D.S., Ribeiro, V., Macedo, M.N., Coe, M.T., Pinto, E., Moutinho, P., Alencar, A., 2020. Solving Brazil's land use puzzle: Increasing production and slowing Amazon deforestation. *Land Use Policy* 91. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.104362>

Tedeschi, L.O., Menendez, H.M., 2019. Mathematical modeling in animal production, in: *Animal Agriculture: Sustainability, Challenges and Innovations*. Elsevier, pp. 431–453. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817052-6.00025-2>

Vale, P., Gibbs, H., Vale, R., Christie, M., Florence, E., Munger, J., Sabaini, D., 2019. The Expansion of Intensive Beef Farming to the Brazilian Amazon. *Global Environmental Change* 57. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2019.05.006>

van Gunsteren, W.F., Daura, X., Hansen, N., Mark, A.E., Oostenbrink, C., Riniker, S., Smith, L.J., 2018. Validierung von molekularen Simulationen: eine Übersicht verschiedener Aspekte. *Angewandte Chemie* 130, 894–915. <https://doi.org/10.1002/ange.201702945>

Vetter, T.R., Schober, P., 2018. Regression: The apple does not fall far from the tree. *Anesth Analg* 127, 277–283. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003424>

Viu, M.A.D.O., Muniz, L.C., Trovo, J.B. de F., Magnabosco, C.U., Martha Junior, G.B., 2007. Panorama da pecuária de corte no bioma cerrado. *Pubvet* 1.

Wang, L., Wu, Y., Deng, Y., Kim, B., Pierce, L., Krilov, G., Lupyan, D., Robinson, S., Dahlgren, M.K., Greenwood, J., Romero, D.L., Masse, C., Knight, J.L., Steinbrecher, T., Beuming, T., Damm, W., Harder, E., Sherman, W., Brewer, M., Wester, R., Murcko, M., Frye, L., Farid, R., Lin, T., Mobley, D.L., Jorgensen, W.L., Berne, B.J., Friesner, R.A.,

Abel, R., 2015. Accurate and reliable prediction of relative ligand binding potency in prospective drug discovery by way of a modern free-energy calculation protocol and force field. *J Am Chem Soc* 137, 2695–2703. <https://doi.org/10.1021/ja512751q>

Wetlesen, M.S., Åby, B.A., Vangen, O., Aass, L., 2020. Simulations of feed intake, production output, and economic result within extensive and intensive suckler cow beef production systems. *Livest Sci* 241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104229>

Yokoo, M.J.I., Seno, L.D.O., Oliveira, L.C., Costa, P.U.N.D., Silva, G.M.D., Suñé, R.W., Cardoso, F.F., 2019. Economic selection index in small rural dairy farms. *Journal of Dairy Research* 86, 25–33. <https://doi.org/10.1017/S0022029918000894>

Tabela 1 - Parâmetros de entrada utilizados nos modelos de simulação, modificados a partir de Corrêa et al. (2006).

Parâmetros	Unidade	Sistemas					
		Modal	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Natalidade	%	60	80	80	80	80	80
Mortalidade ao sobreano	%	6	3	3	3	3	3
Mortalidade em outras categorias	%	2	1	1	1	1	1
Idade ao primeiro parto	ano	4	3	3	3	3	3
Total de animais	número	1269	2508	2490	2561	2917	3208
Total de vacas	número	402	694	689	792	902	992
Peso ao desmame de machos	kg	150	180	180	180	180	230
Idade ao abate	mês	48	39	35	31	23	13
Peso ao abate	kg	490	480	480	480	480	464
Rendimento de carcaça (machos)	%	53	53	53	53	53	55
Peso de carcaça (machos)	kg	260	254	254	254	254	255
Peso de carcaça (fêmeas)	kg	195	195	195	195	195	195
Animais à venda	número	211	520	516	597	681	752
Área de pastagem	ha	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Capacidade de carga do pasto	UA/ha	0.60	1.15	1.15	1.10	1.05	1.00

Modal = Sistema modal, SM = Sistema melhorado, UA = Unidade animal

Tabela 2 - Desempenho de peso e formação da dieta de bezerros por sistema, modificado de Corrêa et al. (2006).

Estágios de desempenho	Unidade	Sistemas					
		Modal	SM1	SM2	Sm3	SM4	SM5
Peso ao desmame	kg	150	180	180	180	180	230
1 st DS (alimentação)		P	P	P	P + PS	P +R	C
1 st DS(ganho diário)	kg	0.000	0.100	0.100	0.250	0.500	1.300
Peso ao sobreano	kg	150	195	195	218	255	425
1 st RS (alimentação)		P	P	P	P	P	C
1 st RS(ganho diário)	kg	0.430	0.500	0.500	0.500	0.500	1.300
Peso (19 meses)	kg	240	300	300	323	360	464
2 nd DS(alimentação)		P	P	P	P + PS	C	-
2 nd DS(ganho diário)	kg	0.000	0.100	0.100	0.250	1.100	
Peso (24 meses)	kg	240	315	315	361	480	
2 nd RS (alimentação)		P	P	P	P+R		
2 nd RS(ganho diário)	kg	0.430	0.500	0.500	0.600		
Peso (31 meses)	kg	331	420	420	480		
3 rd DS (alimentação)		P	P	P+R			
3 rd DS (ganho diário)	kg	0.000	0.100	0.600			
Peso (36 meses)	kg	331	435	480			
3 rd RS (alimentação)		P	P				
3 rd RS(ganho diário)	kg	0.430	0.500				
Peso (43 meses)	kg	421	480				
4 th DS (alimentação)		P					
4 th DS (ganho diário)	kg	0.000					
Peso (48 meses)	kg	421					
4 th RS (alimentação)		P					
4 th RS (ganho diário)	kg	0.430					
Peso (52 meses)	kg	480					

Modal = Sistema modal, SM = sistema melhorado, AU = Unidade animal, DS = Estação seca, RS = Estação chuvosa, P = Pasto, PS = Suplementação proteica, C= Confinamento, R= Ração.

Tabela 3 – Resultados do número de animais para os seis rebanhos simulados.

Categorias	Modal	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Vacas em produção (anos)	14	10	10	10	10	10
Área de pastagem (ha)	1200	1200	1200	1200	1200	1200
		Número de animais no rebanho				
Total de animais	1577	2804	2784	2610	2973	3270
Vacas	402	694	689	792	902	992
Bezerros	247	538	535	615	700	770
Novilhas ao sobreano	120	266	265	304	347	381
Novilhas -2 anos	115	258	257	294	336	368
Novilhas -3 anos	113	256	253	-	-	-
Novilhas -4 anos	112	-	-	-	-	-
Novilhas para abate	44	162	155	182	209	233
Novilhas de reposição	68	94	98	112	127	135

Novilhos ao sobreano	121	267	265	304	346	381
Novilhos -2 anos	118	264	262	301	343	377
Novilhos -3 anos	116	261	260	-	-	-
Novilhos -4 anos	114	-	-	-	-	-
Novilhos para abate	114	261	260	301	343	377
Vacas de descarte	53	97	99	114	129	142
Total de animais vendidos	211	520	516	597	681	752

Modal = Sistema modal, SM= Sistema melhorado

Table 4 – Peso dos animais por categoria, em kg, para todos os seis rebanhos simulados.

Categorias	Modal	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Peso ao abate	490	480	480	480	480	464
Peso à maturidade	469	460	460	460	460	445
Novilhas ao desmame	139	168	168	168	168	214
Novilhas ao sobreano	232	290	290	313	350	409
Novilhas -2 anos	324	413	413	470	471	448
Novilhas -3 anos	417	473	473	-	-	-
Novilhas -4 anos	477	-	-	-	-	-
Novilhas para abate	477	473	473	470	471	448
Novilhos ao desmame	150	180	180	180	180	230
Novilhos ao sobreano	242	302	302	325	362	425
Novilhos -2 anos	334	425	425	470	483	464
Novilhos -3 anos	427	485	485	-	-	-
Novilhos -4 anos	487	-	-	-	-	-
Novilhos para abate	487	485	485	482	483	464

Modal = Sistema modal, SM = Sistema melhorado

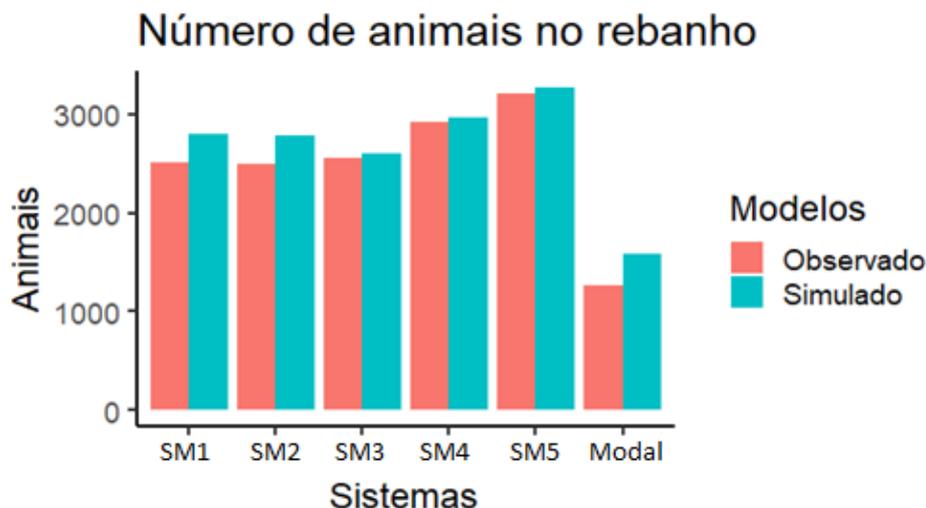


Figura 1 – Quantidade total de animais do rebanho por sistema, considerando os dados observados de Corrêa et al. (2006) e os dados da simulação, para todos os seis sistemas,

em que Modal= Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

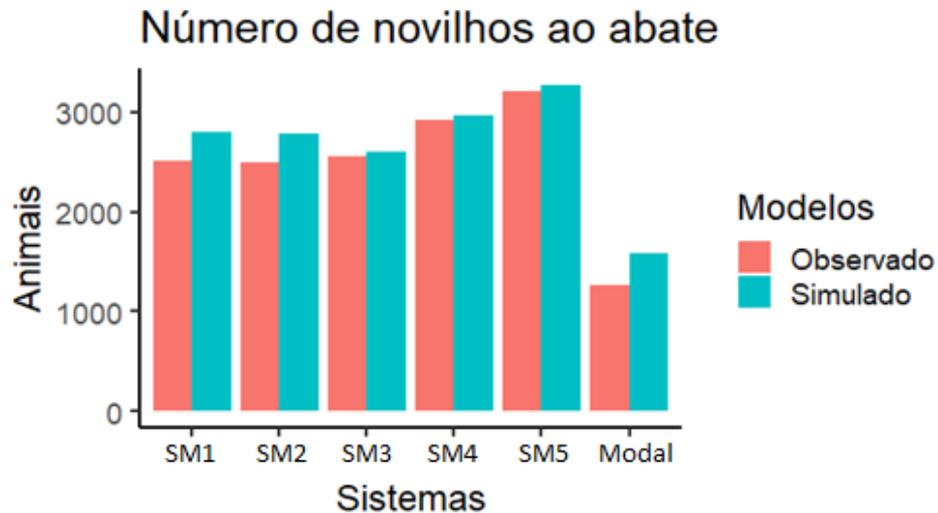


Figura 2 - Número de novilhos para abate por sistema nos dados observados de Corrêa et al. (2006) e nos dados da simulação, considerando todos os seis sistemas, em que Modal = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

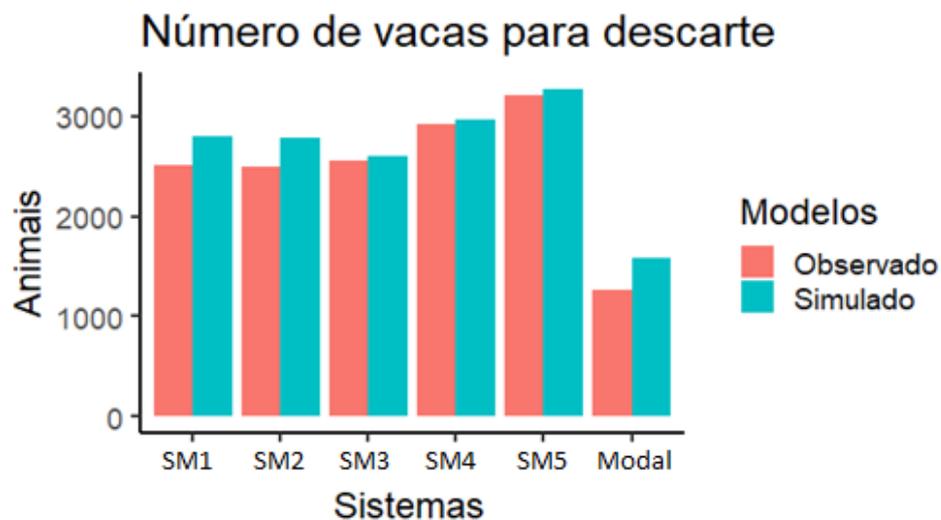


Figura 3 - Número de vacas para descarte por sistema nos dados observados de Corrêa et al. (2006) e nos dados da simulação, considerando todos os seis sistemas, em que Modal = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

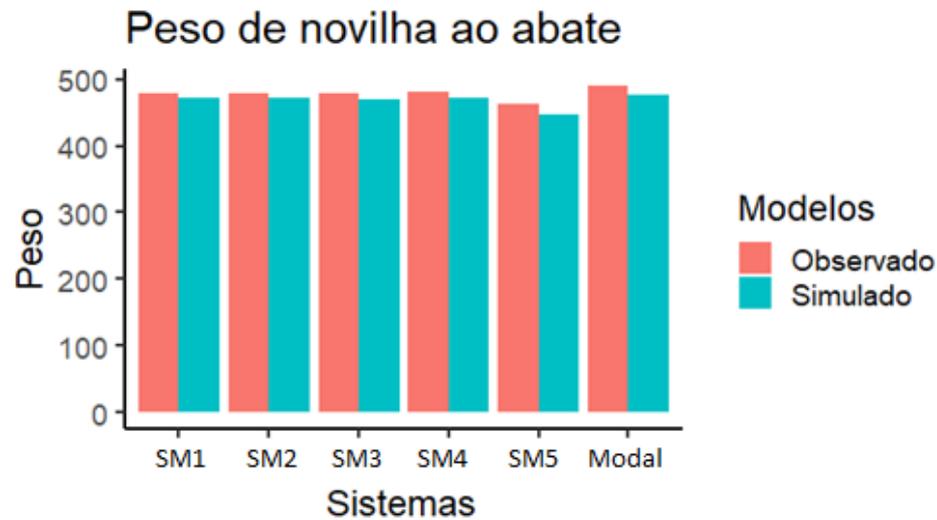


Figura 4 - Pesos ao abate de novilhas (kg), por sistema, nos dados observados de Corrêa et al. (2006) e nos dados da simulação, considerando todos os seis sistemas, em que Modal = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

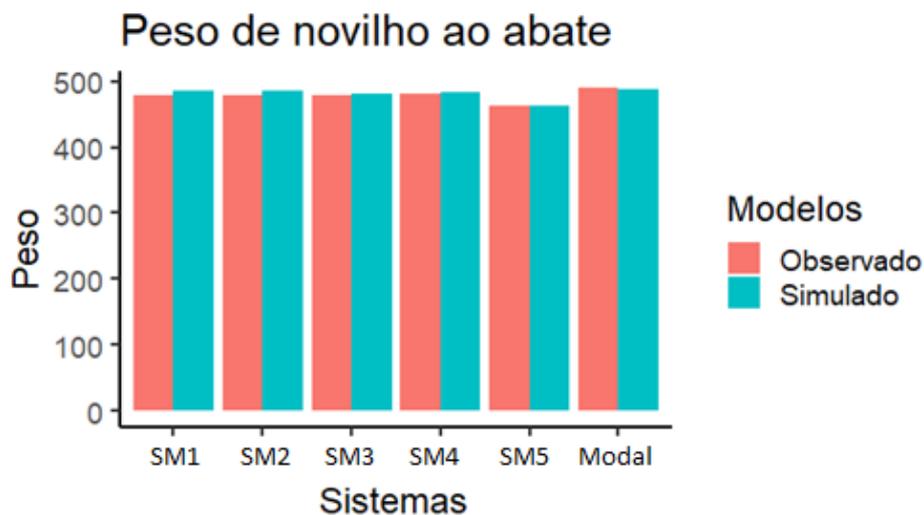


Figura 5 - Pesos ao abate de novinhos (kg), por sistema, nos dados observados de Corrêa et al. (2006) e nos dados da simulação, considerando todos os seis sistemas, em que Modal = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

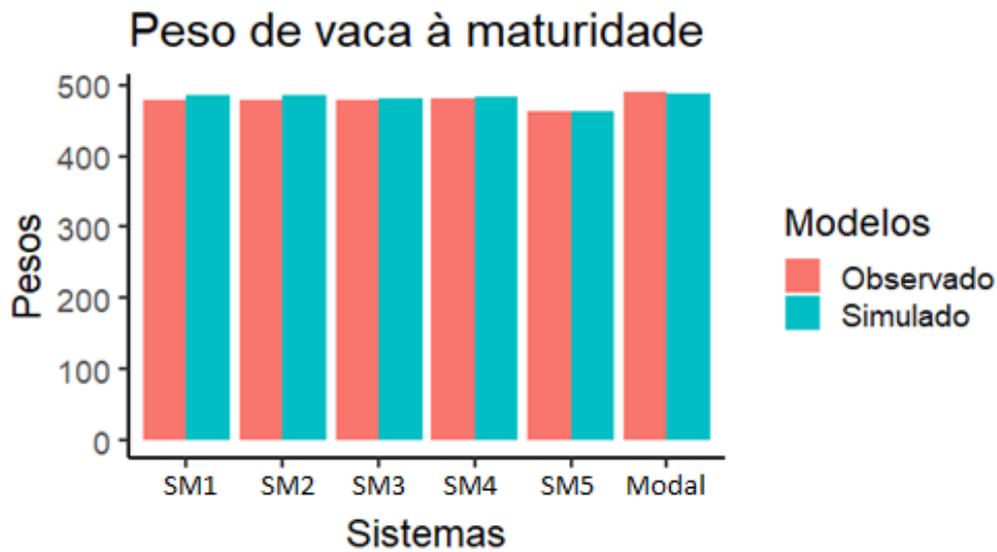


Figura 6 - Os pesos de vacas à maturidade (kg) nos dados observados de Corrêa et al. (2006) e nos dados de simulação, considerando todos os seis sistemas, em que Modal = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado 1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

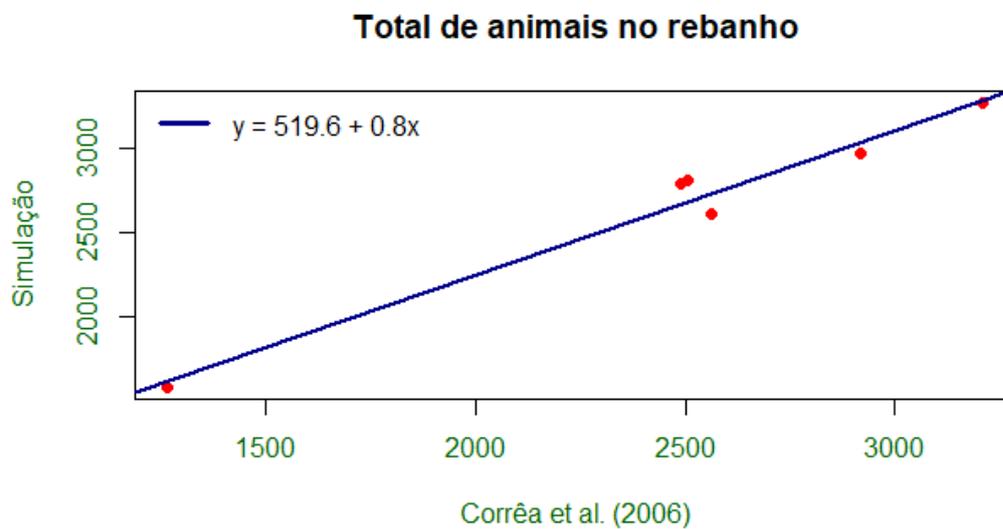


Figura 7 - Análises de regressão para o número total de animais do rebanho.

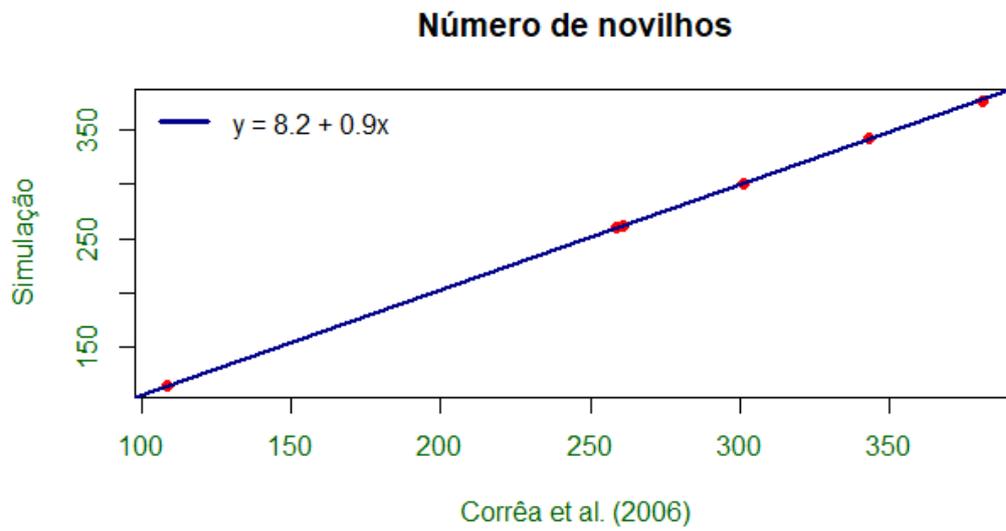


Figura 8 - Análises de regressão para o número de novilhos para abate.

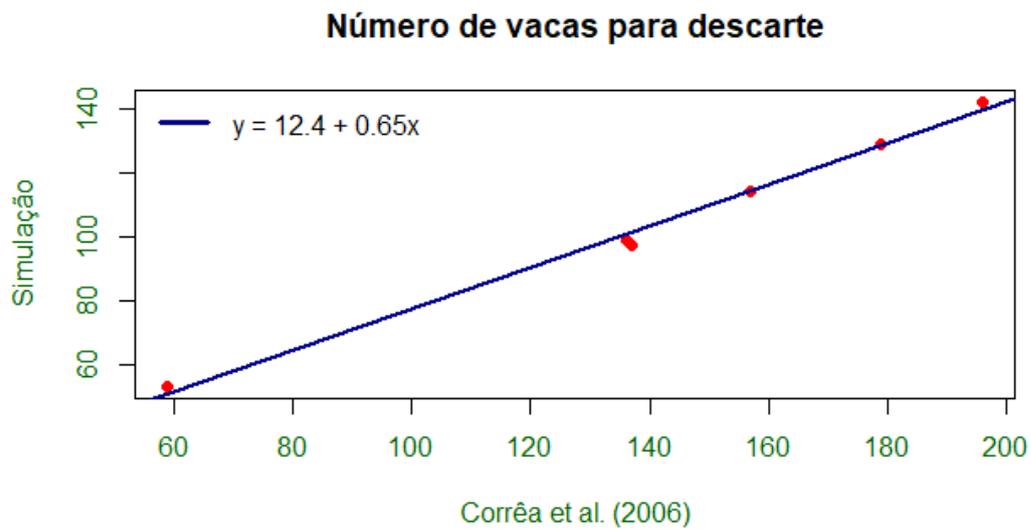


Figura 9 - Análises de regressão para o número de vacas de descarte.

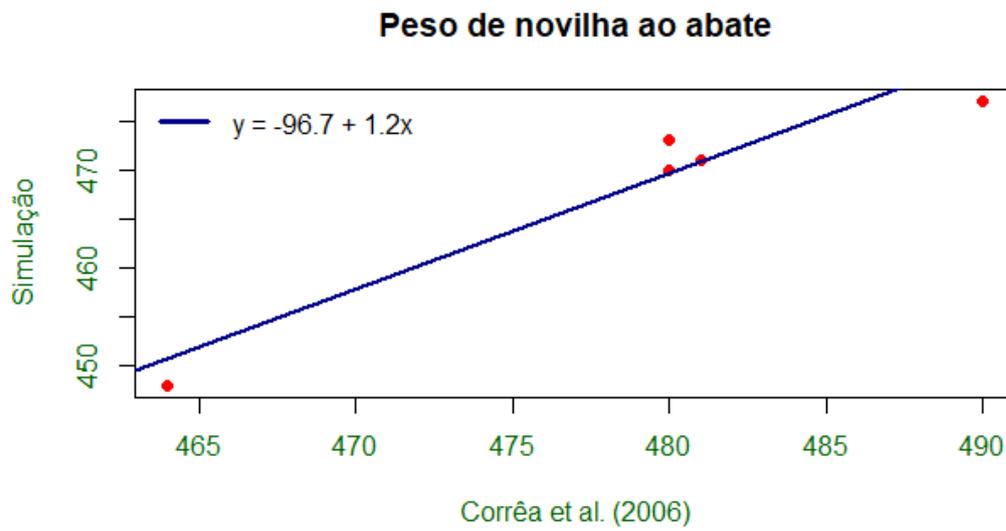


Figura 10 - Análises de regressão para os pesos das novilhas para abate.

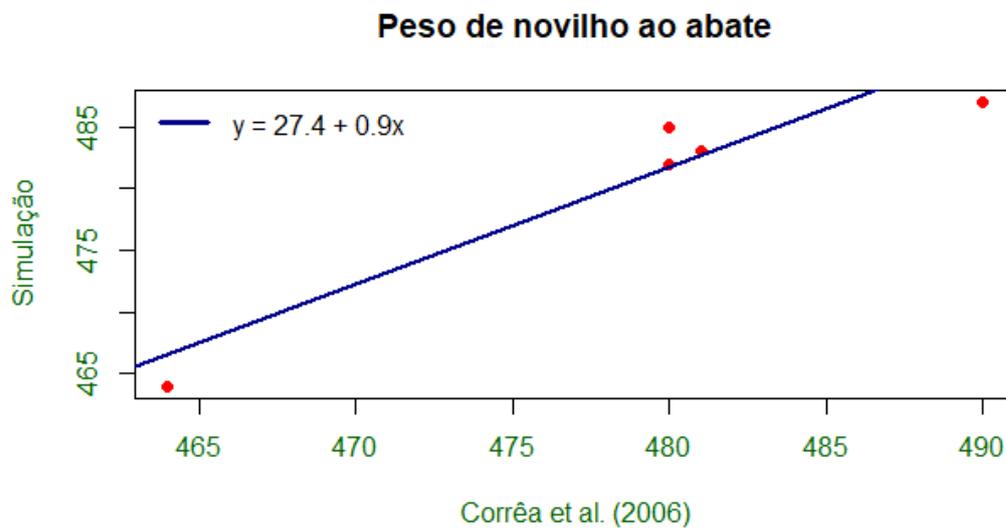


Figura 11 - Análises de regressão para os pesos dos novinhos ao abate.

Capítulo 3 - Avaliação bioeconômica para diferentes sistemas de produção de gado de corte

Resumo:

Dada a importância econômica da pecuária de corte no bioma Cerrado brasileiro, e visando a otimização da produção para atender à demanda por carne bovina, foram considerados fatores econômicos, como custos de produção e receitas, para a proposição de uma modelagem de simulação bioeconômica como uma ferramenta capaz de avaliar a viabilidade econômica na bovinocultura de corte. Para o desenvolvimento da modelagem bioeconômica foram utilizados dados de rebanhos simulados de seis diferentes sistemas de produção pré existentes com a finalidade de fornecer informações relativas à produtividade em cada um dos sistemas. Foram consideradas informações financeiras para composição das entradas na formação de receita, custos e lucro. A geração de receita por sistema foi fundamentada na média da arroba entre os anos de 2021 e 2023, utilizando o indicador do boi gordo do CEPEA/B3 em função da produtividade de cada sistema. A simulação da receita levou em consideração a variância correspondente ao rendimento de carcaça e gordura. Os parâmetros relacionados aos custos de produção foram extraídos do Beef Report 2023 da ABIEC e utilizados na simulação de custos com a percepção de diferentes composições por categoria animal. O lucro bruto de cada sistema foi calculado como a diferença entre a receita e os custos. A adequação das variáveis simuladas foram avaliadas por meio de análises de correlação e regressão, com um nível de significância de 5%. Toda a modelagem e as análises estatísticas foram realizadas por meio de comandos programados no ambiente R. Os resultados evidenciam uma forte e positiva correlação (variando de 0,98 a 0,99) ($p < 0,05$) entre os dados observados e simulados, destacando a eficácia do modelo de simulação bioeconômica em replicar todos os sistemas analisados. A análise de regressão revelou uma significativa regressão linear para todas as variáveis examinadas ($p < 0,05$) acompanha de alto coeficiente de determinação, sugerindo que

tais variáveis podem ser adequadamente previstas pelos modelos de simulação bioeconômica. Os modelos avaliados demonstraram habilidade em prever dados econômicos em diferentes sistemas de produção, desde a criação extensiva até a mais intensiva de gado de corte em sistemas de produção de ciclo completo. A ferramenta desenvolvida tem potencial de aplicação em diversos cenários, proporcionando avaliações para nortear investidores e produtores na eficiente condução de recursos animais e econômicos na bovinocultura de corte.

Palavras-chave: Custos, Modelagem, Receita, Simulação.

Bioeconomic evaluation for different beef cattle production systems

Abstract:

In light of the economic importance of beef cattle farming in the Brazilian Cerrado biome, and with the aim of improving production in order to respond to the demand for beef, economic factors such as production costs and income were considered in order to propose a bioeconomic simulation model as an effective tool for evaluating the performance and economic viability of beef cattle production. Data from simulated herds from six different production systems were used to develop the bioeconomic model, in order to provide information on yields in each one of the systems. The composition of the inputs in the formation of income, costs and profit was based on financial information. Income was generated per system based on the average arroba between the years 2021 and 2023, using the CEPEA/B3 cattle indicator as a function of the productivity of each system. The income simulation included the variance in fat and carcass yields. Parameters associated with production costs were taken from ABIEC's Beef Report 2023 and used in cost simulations with the different compositions per animal category. Each system's profit was calculated as the difference between income and costs. Correlation and regression analyses were used to

evaluate the fit quality of the simulated variables. In all analyses, significance was declared at $p \leq 0.05$. All the modeling and statistical analyses were performed using programmed commands in the R environment. The results show a strong, positive correlation (between 0.98 and 0.99) ($p < 0.05$) between the observed and simulated data, indicating the efficiency of the bioeconomic simulation model in replicating all the systems under analysis. The regression analysis showed a significant linear regression for all the variables studied ($p < 0.05$) with a high coefficient of determination, suggesting that such variables can be predicted by the bioeconomic simulation models. All the models evaluated were highly accurate in predicting the economic data from different production systems, ranging from extensive to more intensive beef cattle in full-cycle production systems. The tool developed has potential to be applied in various scenarios, allowing evaluations to guide investors and producers in managing animal and economic resources more efficiently in beef cattle production.

Keywords: Costs, Modeling, Income, Simulation.

1 - Introdução

A pecuária de corte participa de forma importante na economia global. Por meio do fornecimento carne bovina, a pecuária atende à crescente demanda por proteína animal além de gerar empregos e renda (Fernandes et al., 2020). No contexto brasileiro, a região do Cerrado se destaca como uma das principais áreas de produção de gado de corte, contribuindo significativamente para a economia nacional (Molossi et al., 2020; Portes et al., 2020). Assim, a otimização da produção nessa região é essencial para atender à demanda por carne bovina de forma sustentável, ao mesmo tempo em que gera benefícios econômicos substanciais para os produtores, a indústria e a sociedade em geral.

Diante dos complexos fatores que envolvem a produção de bovinos de corte, a questão econômica assume uma posição crucial para a sustentabilidade do setor. Os estudos envolvendo custos atrelados à atividade pecuária e receitas geradas são de suma importância para a manutenção e sucesso do empreendimento (Batista et al., 2019; Calvano et al., 2021; Lopes et al., 2018; Wetlesen et al., 2020). O custo de produção para bovinos é influenciado por diversos fatores, como nutrição, mão de obra, genética, tecnologia, medicamentos e instalações, variando entre as possibilidades de estabelecimento dos sistemas de produção (Araújo Filho et al., 2019; Brito et al., 2022; Silveira et al., 2022). As receitas geradas são oriundas da venda de animais, carne e subprodutos, e o acompanhamento destas, atrelado aos custos relacionados, possibilita uma eficiente gestão financeira do empreendimento, gerando sustentabilidade e rentabilidade (Wetlesen et al., 2020).

A avaliação econômica na bovinocultura de corte visa otimizar a produção, controlar os custos, tomar decisões estratégicas e garantir a sustentabilidade financeira da operação (Brumatti et al., 2011; Molossi et al., 2020). Além disso, permite que os produtores se defrontem com os diversos desafios do mercado de carne com segurança, adaptando suas estratégias conforme as adversidades, mantendo a saúde econômica do empreendimento a longo prazo (Brumatti et al., 2011). A compreensão dos fatores que influenciam a geração de valores econômicos nesse contexto também perfazem o processo, sendo essencial para orientar pesquisadores, produtores rurais e investidores na busca por práticas de manejo mais eficazes, apresentando viabilidade econômica e maior produtividade (Araújo Filho et al., 2019; Greenwood, 2021). Para tanto, a avaliação da relação entre receitas e despesas deve ponderar a condução dos sistemas de produção, permitindo a geração de resultados satisfatórios.

As diferentes possibilidades de cenários produtivos, variando de sistemas extensivos até os mais tecnificados, podem gerar relações de produtividade/lucratividade variados. Com essa percepção, tem se intensificado pesquisas que proponham as melhores alternativas (Moreira et al., 2019; Portes et al., 2020). Sistemas menos tecnificados, como os caracterizados como extensivos, operam com menores custos operacionais, entretanto custos atrelados à manutenção do rebanho, como vacinação, controle parasitário e gestão de recursos hídricos devem compor as avaliações do setor. Com a intensificação da utilização de recursos e tecnologias, é proporcionalmente aumentada a demanda por investimentos em instalações, equipamentos e insumos (Molossi et al., 2020). Apesar dos maiores custos identificados nos sistemas mais intensivos, estes também apresentam maiores receitas, proporcionando considerável lucratividade (Greenwood, 2021).

A simulação bioeconômica dos sistemas de produção possibilita a avaliação do desempenho e viabilidade econômica na bovinocultura de corte, de forma rápida e com menores custos, se comparado à avaliação *in situ*, aprimorando seus índices produtivos e resultados financeiros (Moreira et al., 2019). A utilização de modelagem bioeconômica dos sistemas produtivos, de posse de variáveis biológicas e geração de informações financeiras, permite estimar resultados futuros e conduzir estratégias operacionais e direcionar a atividade (Greenwood, 2021; Brito et al., 2022). Almejando uma maior redução de custos e recursos computacionais, é possível utilizar softwares livres e de código aberto nas avaliações por simulação bioeconômica dos sistemas de produção bovinos. Desta forma, o objetivo desse trabalho foi gerar uma modelagem bioeconômica por meio da simulação de receita e custos, aplicáveis na bovinocultura de corte, abrangendo diferentes sistemas de produção, e verificar a adequabilidade desse modelo perante condições financeiras observadas para o cenário produtivo do Cerrado brasileiro.

2 - Material e métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi baseado nos sistemas de produção de bovinos de corte do estado de Mato Grosso do Sul (LAT 20°45'0S e LONG 54°30'0W), localizado na região Centro-Oeste do Brasil e com uma área de 358.147,995 km². A classificação climática da maior parte do estado é tropical, com uma estação chuvosa e quente de outubro a março e uma seca e fria de abril a setembro. As vegetações predominantes são os biomas Cerrado e Pantanal, com precipitação média anual de 1250-1500 mm. A região analisada neste estudo foi o bioma Cerrado, que se caracteriza por uma estação chuvosa na primavera, uma estação seca no inverno e temperatura média anual de 22°C.

2.2 Dados de referência

Os valores dos parâmetros de entrada relacionados aos custos de produção foram derivados do relatório discriminatório da pecuária no Brasil, descrito pela Associação Brasileira das Industrias Exportadoras de Carnes em Beef Report 2023 (ABIEC, 2023). Estes custos foram relacionados enquanto custos variáveis e custos fixos, na composição do custo operacional total. Para a relação da receita por sistema de produção foi considerada a média de valores por arroba entre os anos de 2021 a 2023 segundo o indicador do boi gordo do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (CEPEA/B3), objeto de convênio entre a Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz (Fealq) e a B3 (CEPEA, 2023). O lucro bruto resultante de cada sistema foi obtido pela diferença entre receita e custo. Os parâmetros utilizados no presente estudo foram descritos na tabela 1.

2.3 Modelagem bioeconômica

As análises bioeconômicas foram realizadas a partir de modelagem de rebanho já existente, utilizando os valores gerados para número de animais e pesos para todas as categorias pertinentes ao modelo de ciclo completo, em seis diferentes sistemas de produção, conforme tabelas 3 e 4, dispostas no capítulo 2. Os sistemas de produção partiam de um sistema extensivo (sistema modal - SM), e gradativamente foram incorporadas tecnologias, majoritariamente relacionadas ao manejo alimentar, até o que o último sistema melhorado atingisse a maior tecnificação, constituindo o sistema melhorado mais intensificado (Sistema melhorado 1 - SM1, Sistema melhorado 2 - SM2, Sistema melhorado 3 - SM3, Sistema melhorado 4 - SM4 e Sistema melhorado 5 - SM5). Estes dados, frutos da modelagem dos rebanhos, formaram a base para a modelagem dos parâmetros econômicos, perante relações de custos e despesas, gerados no presente trabalho.

A modelagem dos parâmetros econômicos foi desenvolvida segundo um modelo matemático para predição de receitas e custos em cada um dos seis sistemas de produção simulados, por meio de simulação em que foram utilizadas linhas de comando programadas no ambiente do software R (R Core Team, 2023). Para esta finalidade, foi criado um script contendo o máximo de informação possível relativa à formação dos parâmetros bioeconômicos, permitindo que os valores das entradas pudessem ser atualizados imediatamente quando fossem obtidos pelo usuário e criar um novo cenário. Os primeiros comandos se relacionaram aos valores introduzidos como entrada dos parâmetros discriminados na tabela 1, em que se utilizou o valor da arroba do boi gordo para geração da receita e os custos variáveis para composição da entrada referente ao custo diário de produção para cada sistema. O custo diário de produção foi obtido por meio da Eq. (1):

$$CDP = \left(\left((PM^{0,75}) * RC \right) / 15 \right) * CA \Big/ 365 \quad (1)$$

Em que, CDP representa o custo diário de produção, PM é o peso à maturidade, RC é o rendimento de carcaça e CA é o custo alimentar. O custo alimentar representa o somatório dos custos nutricionais, fertilizantes e defensivos, e foram obtidos por meio dos resultados na pecuária de ciclo completo 2022 relacionados nos custos de produção do Beef Report 2023 (ABIEC, 2023), para cada sistema de produção e constitui parte da formação dos custos variáveis.

Os custos variáveis foram subdivididos em custos alimentares e não alimentares, e calculados por categoria de animais presentes em cada um dos seis sistemas de produção utilizados. Primeiramente foram estimados os custos alimentares para a categoria de vacas matrizes, por meio da Eq. (2):

$$CC = (365 * CDP * VACAS) / CCAP \quad (2)$$

Em que CC é o custo alimentar para vacas, CDP é o custo diário de produção, Vacas é o vetor para o peso das matrizes distribuídas por idade produtiva e CCAP é a capacidade de carga.

Os custos alimentares para novilhos e novilhas foram estimados por estação do ano e diferenciados por ano dos animais até atingirem o peso ao abate. Para que se formasse uma base de comparação para animais em idades diferentes, todos os pesos foram transformados à peso metabólico para todos os animais nestas categorias. Estes custos foram estimados por meio da Eq. (3):

$$CN = \sum_{i=0}^n (PMMN_i * RC) * N_i * CDP * D_i \quad (3)$$

Em que CN é o custo para novilhos e novilhas, $PMMN_i$ é o peso metabólico médio para novilhos(as) na estação i , em que i representa as estações seca e chuvosa por ano de produção,

RC é o rendimento de carcaça, N_i é o número de animais na estação i , CDP é o custo diário de produção e D_i é o número de dias na estação i .

Os custos não alimentares foram calculados pela proporção que representaram na composição de custos variáveis listados pelos custos de produção do Beef Report 2023 (ABIEC, 2023). A composição destes custos utilizados como entrada foi listada na tabela 2.

Os custos fixos, também retirados da referência nos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), foram calculados de acordo com a produção (em arrobas) de cada sistema de produção, atrelado aos valores de custos fixos por arroba pertinente a cada sistema e inseridos na modelagem como entrada (Tabela 1 e 2).

Os valores relacionados à receita de cada sistema foram obtidos por meio da média registrada pelo indicador da arroba do boi gordo CEPEA/B3 e ponderações que consideravam o desvio padrão para gordura e rendimento de carcaça, perfazendo receitas diferenciadas ao considerar as particularidades de cada uma das três categorias de venda de animais (novilhos, novilhas e vacas para descarte).

2.4 Verificações da simulação bioeconômica

Os resultados observados na pecuária de ciclo completo 2022, segundo custos de produção do Beef Report 2023 (ABIEC, 2023) foram utilizados para verificação dos custos de produção e lucro simulados (Tabela 2). Para isso, cada parâmetro da composição dos custos foi multiplicado pelo número de arrobas produzidas em cada um dos seis sistemas simulados. Os resultados provenientes dos modelos bioeconômicos simulados foram avaliados de acordo com o grau de ajuste da simulação e dos dados observados dos resultados na pecuária de ciclo

completo 2022, segundo os custos de produção do Beef Report 2023 (ABIEC, 2023), por meio da correlação para avaliação da adequabilidade. O teste de correlação de Pearson foi utilizado para descrever a força da relação entre as variáveis. Os coeficientes de correlação de Pearson (r) foram gerados pela função *cor.test* no ambiente do software R (R Core Team, 2023). As imagens gráficas de correlação foram geradas utilizando a função *ggplot* do pacote *ggplot2* no ambiente de software R (R Core Team, 2023). Em todas as análises, a significância foi estabelecida em $p \leq 0,05$.

A análise de regressão linear foi utilizada para determinar o coeficiente angular dos dados observados-simulados, a fim de avaliar o impacto da variabilidade da variável independente (dados observados) na variável dependente (dados da simulação). As funções *lm* e *plot* do ambiente de software R (R Core Team, 2023) foram utilizadas para identificar os modelos de regressão linear e os gráficos. Em todas as análises, a significância foi considerada em $p \leq 0,05$.

3- Resultados

3.1 Simulação segundo a modelagem bioeconômica

Os valores gerados por meio da modelagem para receita, custos e lucro para cada um dos sistemas de produção avaliados são apresentados na tabela 3. Em todos os parâmetros foram observados que os valores gerados aumentam com a intensificação da aplicabilidade tecnológica nos sistemas de produção. Os custos fixos foram utilizados como entradas na modelagem e por isso não apresentam variação entre os valores observados e simulados.

O sistema modal foi o que apresentou menor produtividade (3667 arrobas) e menores receitas, com R\$1.172.950,28 observado nos dados baseados no indicador da arroba do boi

gordo CEPEA/B3 (CEPEA, 2023) e R\$1.145.741,00 no resultado da simulação. Este sistema também apresentou resultados inferiores aos demais sistemas para custos (variável e total). O custo variável no sistema modal foi de R\$175.518,89 para o observado, segundo dados de custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), e R\$160.880,10 para o simulado. Esses resultados refletem na constatação do custo total e lucro, em que SM1 também apresenta os menores valores entre os sistemas avaliados. O sistema modal apresentou os menores resultados para custo total, em que o observado, proveniente de dados dos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), foi de R\$886.762,81, e o simulado foi de R\$872.124,00. Para o lucro foi constatado R\$286.187,47 no observado com base nos dados dos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), e R\$273.617,00 no simulado.

A maior produtividade foi observada no sistema mais intensivo, SM5, com 12045 arrobas, e este sistema também apresentou as maiores receitas. O observado com base nos dados do indicador da arroba do boi gordo CEPEA/B3 (CEPEA, 2023) totalizou uma receita de R\$3.853.434,21 e o simulado R\$3.818.655,00 em SM5. Os maiores custos variáveis também foram observados no SM5, com R\$2.303.485,80 observados com base nos dados dos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), e R\$2.423.079,00 no simulado. Os custos variáveis se refletiram nos resultados para custos totais, em que foram constatados em SM5 os maiores valores. O custo total para o observado com base nos dados dos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023) foi de R\$2.787.092,55 e para a simulação R\$2.906.686,00. Os maiores valores para lucro foram observados em SM4, apresentando R\$1.257.033,42 no observado com base nos dados dos custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), e R\$1.249.467,00 na simulação bioeconômica.

3.2 Verificações da simulação bioeconômica

Os coeficientes de correlação de Pearson (r) entre os valores observados com base nos valores do indicador da arroba do boi gordo CEPEA/B3 (CEPEA, 2023) e custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023) e os simulados via modelagem bioeconômica foram altos e positivos para todas as variáveis (receita, custo variável, custo total e lucro). O r para receita gerada pela produção foi de 0,99 ($p < 0,0001$; Figura 1), para o custo variável foi de 0,99 ($p < 0,0001$; Figura 2), para o custo total foi de 0,99 ($p < 0,0001$; Figura 3) e para o lucro foi de 0,98 ($p = 0,0005$; Figura 4).

Foi identificada uma significativa relação linear entre os dados observados com base nos valores do indicador da arroba do boi gordo CEPEA/B3 (CEPEA, 2023) e custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023) e os simulados via modelagem bioeconômica para todas as variáveis (receita, custo variável, custo total e lucro) (Figura 5, 6, 7 e 8). O modelo de regressão linear bivariada para a receita gerada pela produção apresentou uma relação significativa entre os dados observados e simulados ($p < 0,0001$) e um coeficiente de determinação (r^2) acentuado (0,99) (Figura 5). Os custos variável e total também apresentaram relação significativa entre os dados observados e simulados ($p < 0,0001$) e r^2 de 0,99 (Figura 6 e 7). O lucro apresentou o menor r^2 (0,95) e também um relação significativa entre os dados observados e simulados ($p < 0,0001$) (Figura 8).

4 – Discussão

4.1 Simulação segundo a modelagem bioeconômica

Os custos fixos foram utilizados como entrada no simulador, proporcionando uma realidade com relação a essa composição do custo total, uma vez que estes custos representam valores que não se alteram com a produção. É preciso destacar que por não se alterar, os custos fixos se diluem ao aumentar o tamanho dos rebanhos e se submetem a gerenciamento diferencial aos demais custos (Lawrence & Strohbehn, 1999).

Conforme esperado, os valores se comportaram de forma crescente com a implantação de tecnologias que a apoiaram a intensificação da produtividade. Isso também se verifica em outros estudos que avaliaram economicamente diferentes sistemas de produção. Araújo Filho et al. (2019) ao avaliarem bovinos em fase de terminação em três diferentes sistemas produtivos, constataram que ocorre uma elevação dos índices produtivos e redução do tempo para terminação com a implementação de tecnologias alimentares ao intensificar os sistemas. Hoffmann et al. (2014) ao comparar abate tradicional e precoce, também verificaram que os sistemas mais intensificados geram uma pecuária mais lucrativa, destacando os efeitos da sazonalidade de produção forrageira nas condições tropicais. Peripolli et al. (2016) verificaram comportamentos diferentes ao avaliarem animais Nelore e cruzados em sistemas a pasto e confinamento, em que animais Nelore apresentam melhores resultados com a intensificação, porém os bovinos cruzados não apresentaram diferença significativa entre os resultados econômicos, provavelmente por não conseguirem ganhos de peso expressivos no período das águas.

O primeiro parâmetro avaliado foi a receita gerada por cada um dos seis sistemas de produção avaliados, em que o sistema modal obteve a menor receita (R\$1.172.950,28). O valor de receita encontrado em sistemas extensivos, na maior parte das vezes, é menor que a receita observada em sistemas mais intensivos, como o observado nesse trabalho, pois esses sistemas têm sua produtividade por área reduzida devido a baixa implantação de tecnologias e cuidados referentes a manejo, alimentação e sanidade (Brito et al., 2022). Incrementos nas variáveis que compõem a bovinocultura de corte possibilitam a maior geração de receitas pela otimização do espaço disponível para a produção animal, entretanto geram também maiores custos, evidenciando a necessidade de uma completa avaliação econômica dos sistemas produtivos (Hoffmann et al., 2014; Portes et al., 2020).

Sistemas melhorados, em que se intensifica a utilização de tecnologias produtivas, apresentam melhores receitas ao apontarem as maiores produtividades por área disponível (Hoffmann et al., 2014; Peripolli et al., 2016; Brito et al., 2022). Isto ficou evidente ao observar a evolução das receitas entre os sistemas melhorados abordados neste estudo. Entretanto, SM1 (R\$2.727.248,36) apresentou uma receita sutilmente maior que SM2 (R\$2.710.936,69), pois, segundo a modelagem, SM1 obteve maior produtividade do que SM2. Apesar do incremento da utilização de ração no último período chuvoso em SM2, o maior tempo de permanência e maior número de animais em SM1 garantiram maior geração de receita a esse sistema.

Os custos, variáveis e total, apresentaram um comportamento crescente acompanhando os incrementos gradativos entre os sistemas. Os custos variáveis foram compostos por custos variáveis alimentares e não alimentares (Tabela 2), e foi possível verificar que a causa das diferenças, entre os valores observados entre os seis sistemas, foi destacada nas questões alimentares. Desta forma foi possível identificar a origem de seus aumentos gradativos e atribuir esses incrementos à utilização de técnicas alimentares com vistas a suprir os requerimentos nutricionais, aperfeiçoando os índices zootécnicos nessas propriedades (McAllister et al., 2020). Outros estudos também constataram esse comportamento nos custos variáveis. Aby et al. (2012) observaram maiores custos variáveis em criações bovinas norueguesas em sistemas intensivos quando comparados aos extensivos. Portes et al., (2020) encontraram menores custos variáveis nos sistemas produtivos a pasto em relação ao confinamento ao simularem sistemas produtivos para o bioma Cerrado.

O custo total na bovinocultura de corte representa o dispêndio financeiro para produção animal desde a concepção até a entrega do produto final, ressaltando que a gestão financeira possui alta relação com a adequação dos custos aos sistemas pertinentes (Lawrence &

Strohbehn, 1999; Ramsey et al., 2005; Brito et al., 2022). Este estudo trabalhou com a probabilidade de uma eficiente gestão financeira gerando custos totais em que as variações são atribuídas majoritariamente a produção animal. O custo total, assim como o custo variável, teve aumentos gradativos e acompanhou os incrementos entre os sistemas, mas cabe ressaltar que entre SM1 e SM2, R\$1.513.622,00 e R\$1.561.415,00 respectivamente, o custo total teve uma alteração suave apenas. A pequena variação verificada entre SM1 e SM2 se deve a produtividade destes sistemas, como ressaltado na verificação da simulação das receitas, conjuntamente à composição dos custos fixos nestes sistemas.

Por fim, resultante da diferença entre receita e custo, o lucro reflete o ganho bruto em cada sistema de produção avaliado, representando o retorno sobre cada investimento. Vale ressaltar que as receitas são o principal fator de impacto no lucro, podendo ser geridas ao controlar a produtividade do rebanho por meio da intensificação da atividade (Ramsey et al., 2005). Entretanto, não foi observada essa relação (receita/lucro) entre os seis sistemas avaliados, em que os lucros ranqueados assumiram ordem diferente às receitas para os mesmos sistemas. Segundo os lucros observados, o sistema modal é o que apresenta menor lucratividade (R\$273.617,00), entretanto entre os sistemas melhorados a ordenação não segue a sequência prevista pela intensificação dos sistemas.

Ao verificar esses valores de lucro é possível também visualizar uma diferença mais expressiva entre o sistema modal e os sistemas melhorados, do que entre os sistemas melhorados em si. Foram processados, em ordem crescente de lucro, os seguintes sistemas: Sistema modal (R\$273.617,00), SM5 (R\$911.969,00), SM2 (R\$1.128.553,00), SM3 (R\$1.192.257,00), SM1 (R\$1.192.759,00) e SM4 (R\$1.249.467,00), o que remete à relação de lucratividade e unidades produzidas, neste caso arrobas de carne bovina, uma vez que a rentabilidade depende diretamente do ganho de peso diário dos animais, que é resultante da

qualidade nutricional disponível (McAllister et al., 2020) juntamente à eficiência alimentar dos animais em produção (Barp et al., 2022).

Outro ponto a se observar é o fato desta simulação se basiar em rebanhos compostos por animais da raça Nelore. De acordo com estudos de Garcia et al. (2015) animais Nelore apresentam potencial de gerar maior valor presente líquido, apontando maior preponderância de receitas com relação à despesas, indicando o potencial para resultados vantajosos em utilizar bovinos desta raça ao compará-los com resultados de demais raças bovinas. Desta forma, esses resultados não se extrapolam para conclusões em outros cenários ou sob utilização de diferentes raças. Porém, valores de entrada pertinentes a condicionantes alternativos podem ser utilizados em análises futuras neste mesmo simulador.

4.2 Verificações da simulação bioeconômica

A modelagem proposta deve ser avaliada quanto à compreensão de que o sistema real foi devidamente representado pelo algoritmo do simulador proposto, possibilitando que o mesmo seja reutilizado para diferentes demandas dadas sua adequabilidade (Sorensen, 1990). Visando essa verificação, foram realizadas análises de correlação e regressão linear entre os dados observados (ou reais) e simulados. As altas e positivas correlações como as obtidas entre o observado (CEPEA, 2023 e Beef Report, 2023) e o simulado, em todas as avaliações, que envolveram receita, custos e lucro, indicam a boa representação do comportamento destas variáveis pela modelagem proposta (Kleijnen, 1995).

A análise de regressão foi utilizada para comparar dados observados, provenientes de informações do indicador da arroba do boi gordo CEPEA/B3 (CEPEA, 2023) e custos de produção do Beef Report (ABIEC, 2023), e os simulados via modelagem bioeconômica.

Desta forma, os resultados destas análises de regressão podem ser interpretados de forma que uma variável independente pode prever uma variável dependente por meio do modelo de regressão e seus parâmetros (Vetter e Schober, 2018). Os significativos ajustes observados em todas as análises realizadas ($p < 0,05$) indicam que, para todos os modelos de regressão propostos, é possível prever variáveis de receita, custos e lucro, por meio da modelagem de simulação proposta.

A verificação do coeficiente de determinação (r^2) também contribui para a constatação da eficiência da modelagem proposta, uma vez que altos r^2 são também indicadores de acurácia no ajuste das predições (Plaizier et al., 1997; Vetter e Schober, 2018). Os valores de r^2 encontrados para as análises realizadas variaram entre 0,95 e 0,99, indicando que mais de 95% da variação nos dados simulados se devem aos dados observados, garantindo assim que informações bioeconômicas podem ser obtidas pela modelagem proposta de forma muito acurada. Esta modelagem de simulação bioeconômica pode ser utilizada para diversos fins, como geração de valores econômicos na composição de índices de seleção (Souza et al., 2021; Portes et al., 2020) e avaliação de custos e rentabilidade (Batista et al., 2019; Calvano et al., 2021; Lopes et al., 2018; Wetlesen et al., 2020). Uma vez verificada a eficiência da modelagem bioeconômica, essa ferramenta também se torna valiosa ao proporcionar conclusões e direcionamentos aos investidores, poupando tempo e gastos (Kamilaris et al., 2020; Lampert et al., 2020; Moreira et al., 2019).

5 – Conclusão

A modelagem bioeconômica empregada nesse estudo se apresentou como uma ferramenta de grande valia para avaliação do comportamento econômico da produção de bovinos de corte no bioma Cerrado brasileiro. Os resultados obtidos indicam que tais modelos

de simulação apresentam capacidade de antecipar aspectos relacionados à rentabilidade e desempenho financeiro, abrangendo desde sistemas de produção extensiva até aqueles caracterizados por uma abordagem mais intensiva na criação de bovinos de corte em sistemas de ciclo completo. A utilização desta ferramenta, dada sua versatilidade, proporciona também a geração de dados para outros momentos ou rebanhos e, por extensão, outros biomas e raças, permitindo a avaliação de investidores e produtores, conduzindo da melhor forma os recursos econômicos na atividade.

6. Declarações de interesse: nenhuma

7 - Referências

ABIEC, 2023. Beef Report 2023 - Capítulo 04 - A pecuária do Brasil. <https://www.abiec.com.br/publicacoes/beef-report-2023-capitulo-04/> (accessed 10 November 2023).

Aby, B.A.; Aass, L.; Sehested, E.; Vangen, O., 2012. A bio-economic model for calculating economic values of traits for intensive and extensive beef cattle breeds. *Livestock Science* 143, 259–269. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2011.10.003>

Araújo Filho, H.J.; Malafaia, P.; Carvalho, C.A.B.; Garcia, F.Z.; Souza, V.C.; Ferreira, R.L.; Risso, T.L., 2019. Avaliação econômica da terminação de bovinos de corte a pasto, semiconfinados ou em confinamento com dieta de alto grão. *Custos e Agronegócio on line* 15. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/especialv15/OK%2014%20bovinos.pdf>

Barp, M. J., Patricia Freitas, C., Camargo, A. C., Teixeira, A. J. ,2022. Avaliação do desempenho e rendimento de carcaça de diferentes grupos genéticos de bovinos de corte suplementados com ração no cocho. Revista Perspectiva 46(175), 15-24.

<https://doi.org/10.31512/persp.v.46.n.175.2022.219.p.15-24>

Batista, P.B., Zambom, M.A., dos Santos, P.E.F., de Albuquerque, Í.R.R., de Quadros, D.G., Pereira, M.M., 2019. Bioeconomics characterization of different ages mating of beef cattle in the southwest of Bahia and in the southwest of Parana. Brazilian Journal of Animal and Environmental Research Braz. J. Anim. Environ. Res 2, 1223–1236.

<https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/2579>

Brito, M.R., Ferreira Neto, M.A., Santos, D., Martins, A.G., de Avila, M.R., Mendel, H.T.S., Quadros, W.M., da Fontoura Júnior, J.A.S., 2022. Simulação da resposta econômica de três sistemas de produção de integração lavoura pecuária. Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar 8(1), 38–67.

<https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/148>

Brumatti, R.C.; Ferraz, J.B.S.; Eler, J.P.; Formigoni, I. B., 2011. Desenvolvimento de índice de seleção em gado corte sob o enfoque de um modelo bioeconômico. Arch. Zootecnia 230(60), 205–213. <https://doi.org/10.21071/az.v60i230.4669>

Calvano, M.P.C.A., Brumatti, R.C., Barros, J.C., Garcia, M.V., Martins, K.R., Andreotti, R., 2021. Bioeconomic simulation of Rhipicephalus microplus infestation in different beef cattle production systems in the Brazilian Cerrado. Agric Syst 194.

<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103247>

CEPEA, 2023. Indicador do boi gordo CEPEA/B3.

<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/indicador/boi-gordo.aspx> (accessed 10 November 2023)

Fernandes, E.A. de N., Sarriés, G.A., Bacchi, M.A., Mazola, Y.T., Gonzaga, C.L., Sarriés, S.R.V., 2020. Trace elements and machine learning for Brazilian beef traceability. *Food Chem* 333. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127462>

Garcia, J., Anderson, D.P., Herring, A.D., Riley, D.G., 2015. Economic Analysis os selection for cow longevity. *AgEcon Search: Research in agricultural and applied economics*. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.196863>

Greenwood, P.L., 2021. Review: An overview of beef production from pasture and feedlot globally, as demand for beef and the need for sustainable practices increase. *Animal* 15, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.animal.2021.100295>

Hoffmann, A., de Moraes, E.H.B.K., Mousquer, C.J., Simioni, T.A., Junior Gomes, F., Ferreira, V.B., Silva, H.M., 2014. Produção de bovinos de corte no sistema de pasto-suplemento no período da seca. *Nativa* 2, 2, 119–130.

Kamilaris, C., Dewhurst, R. J., Vosough Ahmadi, B., Crosson, P., Alexander, P., 2020. A bio-economic model for cost analysis of alternative management strategies in beef finishing systems. *Agricultural Systems*, 180. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2019.102713>

Kleijnen, J.P.C., 1995. Verification and validation of simulation models. *European Journal of Operational Research* 82, 1, 145-162. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(94\)00016-6](https://doi.org/10.1016/0377-2217(94)00016-6)

Lampert, V.N., Canozzi, M.E.A., McManus, C.M., Dill, M.D., de Oliveira, T.E., Mercio, T.Z., Teixeira, O.S. Barcellos, J.O.J., 2020. Modelling beef cattle production systems from the Pampas in Brazil to assess intensification options. *Scientia Agricola*, 77, 4. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2018-0263>

Lawrence, J.D. and Strohbehn, D.R., 1999. Understanding and Managing Costs in Beef Cow-Calf Herds. Iowa Beef Center, Iowa State University. Integrated Resource Management

Committee, National Cattlemen's Beef Association Convention, February 12-13.

<https://www2.econ.iastate.edu/faculty/lawrence/acrobat/irmwhitepaper.pdf>

Lopes, R.B., Canozzi, M.E.A., Canellas, L.C., Gonzalez, F.A.L., Corrêa, R.F., Pereira, P.R.R.X., Barcellos, J.O.J., 2018. Bioeconomic simulation of compensatory growth in beef cattle production systems. *Livest Sci* 216, 165–173.

<https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.011>

McAllister, T. A., Stanford, K., Chaves, A. V., Evans, P. R., Eustaquio de Souza Figueiredo, E., Ribeiro, G., 2020. Nutrition, feeding and management of beef cattle in intensive and extensive production systems, in: Bazer, F.W., Lamb, G.C., Wu, G. (Eds.), *Animal Agriculture, Sustainability, challenges and innovations*. United Kingdom, PP.75–98.

<https://doi.org/10.1016/b978-0-12-817052-6.00005-7>

Molossi, L., Hoshide, A.K., Pedrosa, L.M., de Oliveira, A.S., de Abreu, D.C., 2020. Improve pasture or feed grain? Greenhouse gas emissions, profitability, and resource use for nelore beef cattle in Brazil's cerrado and amazon biomes. *Animals* 10, 1–21.

<https://doi.org/10.3390/ani10081386>

Moreira, H.L., Savegnago, R.P., de Freitas, L.A., Lôbo, R.B., Bezerra, L.A.F., de Paz, C.C.P., 2019. Breeding goals and economic values for Nelore cattle in a full-cycle production system. *Animal Production*, 41. <https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v41i1.43361>

Peripolli, E., Oliveira, M.A.L., Baldi, F., Pereira, A.S.C., Vercesi, A.E. Albuquerque, L.G., 2016. Valores econômicos para sistemas de recria e engorda de bovinos Nelore e cruzado. *Arch. Zootec.* 65, 250, 145–154.

Plaizier, J.C.B., King, G.J., Dekkers, J.C.M., Lissemore, K., 1997. Estimation of Economic Values of Indices for Reproductive Performance in Dairy Herds Using Computer Simulation. *J Dairy Sci* 80, 2775–2783. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(97\)76240-4](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(97)76240-4)

Portes, J.V., Menezes, G.R.O., MacNell, M.D., da Silva, L.O.C., Gondo, A., Braccini Neto, J., 2020. Selection indices for Nellore production systems in the Brazilian Cerrado. *Livestock Science* 242, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104309>

R Core Team (2023). *_R: A Language and Environment for Statistical Computing_*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.R-project.org/>

Ramsey, R., Doye, D., Ward, C., McGrann, J., Falconer, L., Bevers, S., 2005. Factors Affecting Beef Cow-Herd Costs, Production, and Profits. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 37(01), 91–99. <https://doi.org/10.1017/s1074070800007124>

Silveira, J.P.; Louzada, J.A.; Alves, D.O.; da Silva, L.X., 2022. Capítulo 7: Avaliação técnico-financeira da unidade de produção agrícola. In: Miguel, L.A.; Schreiner, C.T. (Eds.) *Gestão e Planejamento de Unidades de Produção Agrícola*. UFRGS Editora, 2ed. 279p.

Sorensen, J.T., 1990. Validation of livestock herd simulation models: a review. *Livestock Production Science* 26, 79-90. [https://doi.org/10.1016/0301-6226\(90\)90058-E](https://doi.org/10.1016/0301-6226(90)90058-E)

Vetter, T.R., Schober, P., 2018. Regression: The apple does not fall far from the tree. *Anesth Analg* 127, 277–283. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000003424>

Wetlesen, M.S., Åby, B.A., Vangen, O., Aass, L., 2020. Simulations of feed intake, production output, and economic result within extensive and intensive suckler cow beef production systems. *Livest Sci* 241. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104229>

Tabela 1- Parâmetros utilizados na geração de entrada ao simulador bioeconômico para os seis sistemas de produção avaliados.

Parâmetros (em R\$/@)	Fonte	SM	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Receita	CEPEA	319,84	319,84	319,84	319,84	319,84	319,84
Custos variáveis	ABIEC	47,86	62,70	121,62	158,69	191,24	192,28
Custos fixos	ABIEC	193,94	112,84	73,56	48,54	40,15	30,32
Custos operacionais totais	ABIEC	241,80	175,54	195,18	207,27	231,39	222,60

SM = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

Tabela 2 – Custos operacionais totais adaptados dos resultados na pecuária de ciclo completo 2022, segundo custos de produção do Beef Report 2023 (ABIEC, 2023), para os seis sistemas de produção (em reais por arroba).

Composição de resultados		SM	SM1	SM2	SM3	SM4	SM5
Custos variáveis alimentares	Nutrição	18,11	21,71	35,81	63,43	68,45	77,53
	Fertilizantes	0,00	9,41	55,17	61,72	88,77	84,87
	Defensivos	0,00	10,37	6,19	4,30	2,35	1,31
Custos variáveis não alimentares	Sanidade	4,28	4,19	4,45	4,20	4,25	3,8
	Combustíveis	25,47	14,7	11,84	9,93	11,92	10,89
	Reprodução	0,00	2,32	8,16	15,11	15,50	13,88
Custos fixos	Funcionários	28,66	24,51	17,13	12,33	10,97	8,66
	Manutenção	31,33	15,66	10,81	9,96	9,14	7,21
	Administrativos	2,87	2,45	1,71	1,23	1,10	0,87
	Energia	1,27	0,74	0,59	0,50	0,60	0,54
	Depreciações	129,91	69,49	43,32	24,56	18,36	13,05
Custo operacional total		241,80	175,54	195,18	207,27	231,39	222,6

SM = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

Tabela 3 – Resultados para os valores observados (CEPEA, 2023 e Beef Report, 2023) e simulação bioeconômica, para receita, custos e lucro, em cada um dos seis sistemas de produção avaliados (em reais).

Sistema	Produção simulada em arrobas (@)	Receita (em R\$)		Custo variável (em R\$)	
		CEPEA/B3	Simulado	Beef Report	Simulado
SM	3667	1.172.950,28	1.145.741,00	175.518,89	160.880,10
SM1	8527	2.727.248,36	2.706.381,00	534.642,90	551.436,00
SM2	8476	2.710.936,69	2.689.968,00	1.030.851,12	937.920,00
SM3	9772	3.125.445,18	3.099.621,00	1.188.470,64	1.188.536,00
SM4	11167	3.571.617,51	3.542.367,00	1.772.091,23	1.750.408,00
SM5	12045	3.852.434,21	3.818.655,00	2.303.485,80	2.423.079,00

Sistema	Produção simulada em arrobas (@)	Custo Fixo (em R\$)		Custo Total (em R\$)	
		Beef Report	Simulado	Beef Report	Simulado
SM	3667	711.243,92	711.243,92	886.762,81	872.124,00
SM1	8527	962.186,68	962.186,68	1.496.829,58	1.513.622,00
SM2	8476	623.494,56	623.494,56	1.654.345,68	1.561.415,00
SM3	9772	718.828,32	718.828,32	1.907.298,96	1.907.364,00
SM4	11167	542.492,86	542.492,86	2.314.584,09	2.292.900,00
SM5	12045	483.606,75	483.606,75	2.787.092,55	2.906.686,00

Sistema	Produção simulada em arrobas (@)	Lucro (em R\$)	
		Beef Report	Simulado
SM	3667	286.187,47	273.617,00
SM1	8527	1.230.418,78	1.192.759,00
SM2	8476	1.056.591,01	1.128.553,00
SM3	9772	1.218.146,22	1.192.257,00
SM4	11167	1.257.033,42	1.249.467,00
SM5	12045	1.065.341,66	911.969,00

SM = Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado 1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

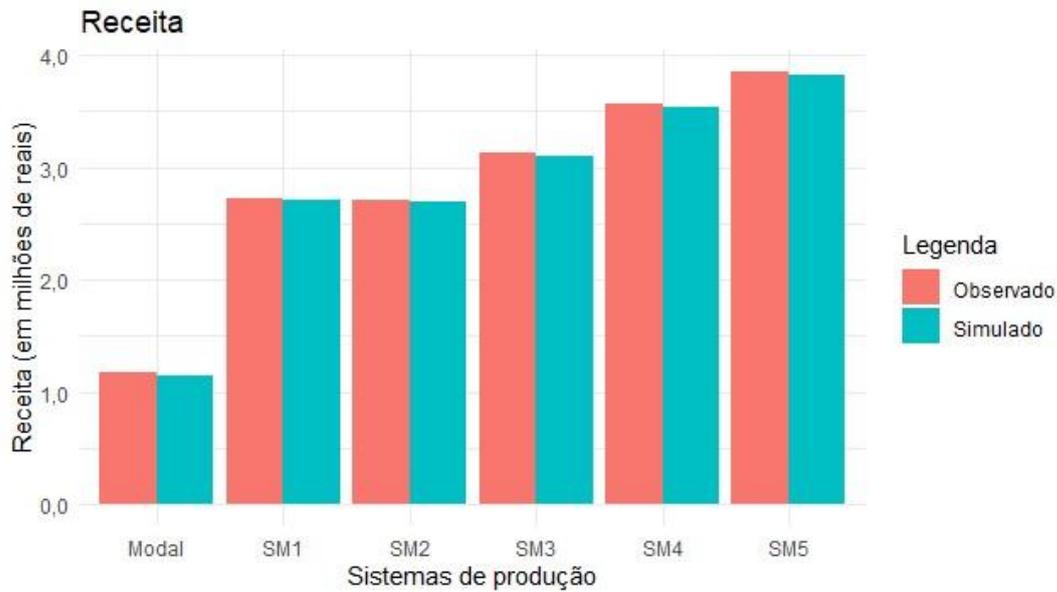


Figura 1 – Receita (em milhões de reais), considerando os dados observados dos índices de boi gordo (CEPA,2023) e os dados bioeconômicos simulados, para todos os seis sistemas de produção, em que Modal= Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

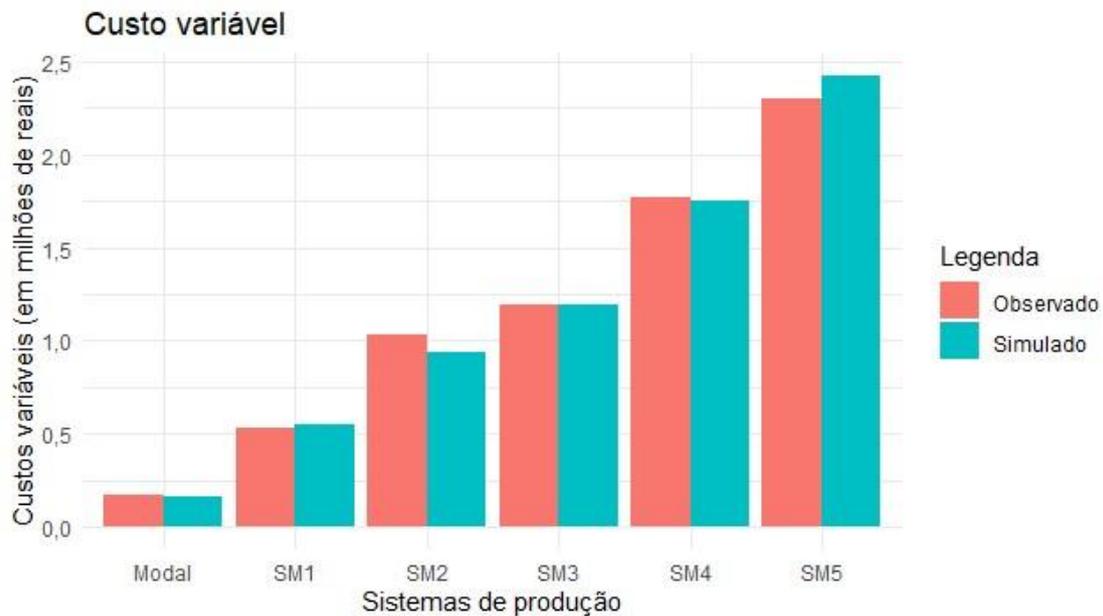


Figura 2 – Custo variável (em milhões de reais), considerando os dados observados dos índices de boi gordo (CEPA,2023) e os dados bioeconômicos simulados, para todos os seis sistemas de produção, em que Modal= Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

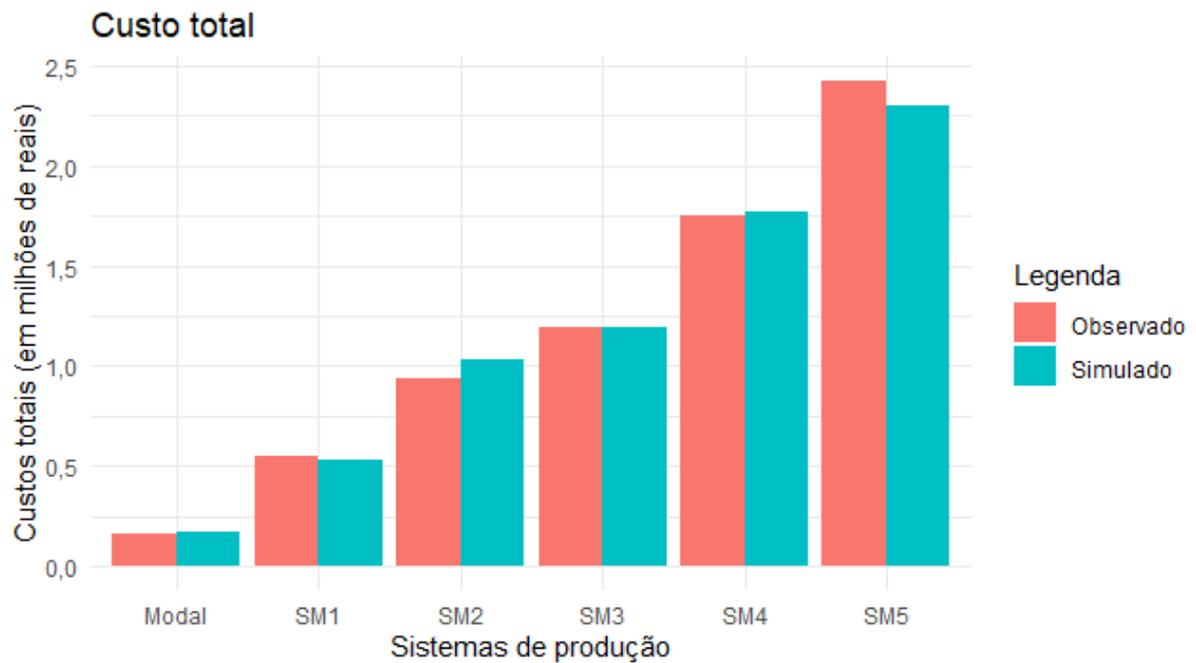


Figura 3 – Custo total (em milhões de reais), considerando os dados observados dos índices de boi gordo (CEPA,2023) e os dados bioeconômicos simulados, para todos os seis sistemas de produção, em que Modal= Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.



Figura 4 – Lucro (em milhões de reais), considerando os dados observados dos índices de boi gordo (CEPA,2023) e os dados bioeconômicos simulados, para todos os seis sistemas de produção, em que Modal= Sistema modal, SM1 = Sistema melhorado1, SM2 = Sistema melhorado 2, SM3 = Sistema melhorado 3, SM4 = Sistema melhorado 4, SM5 = Sistema melhorado 5.

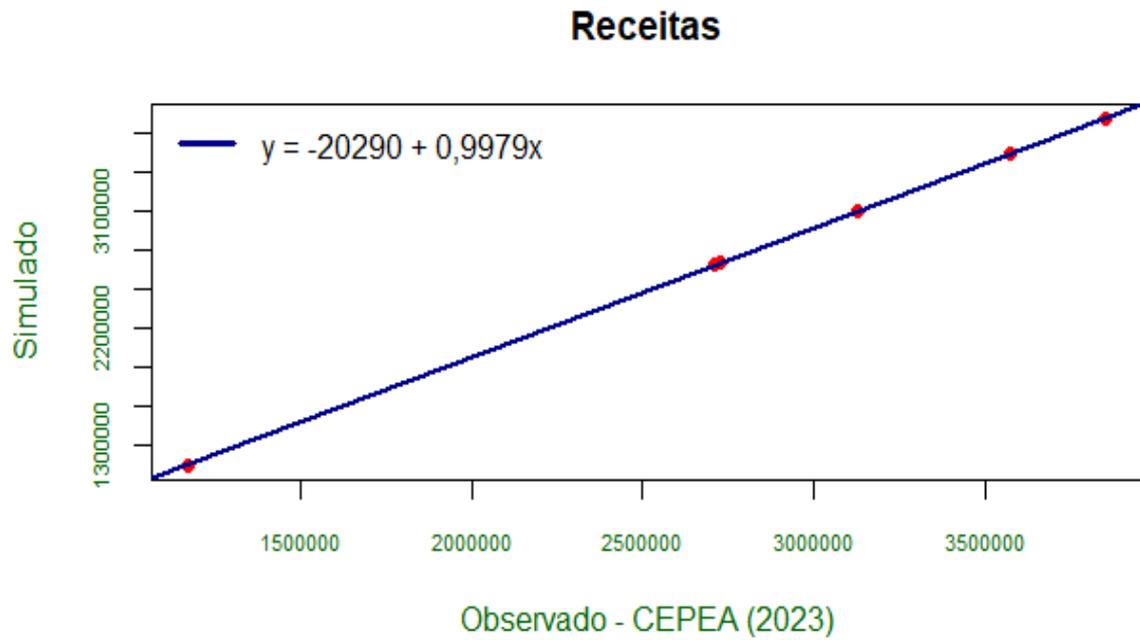


Figura 5 – Análises de regressão para as receitas (em reais)

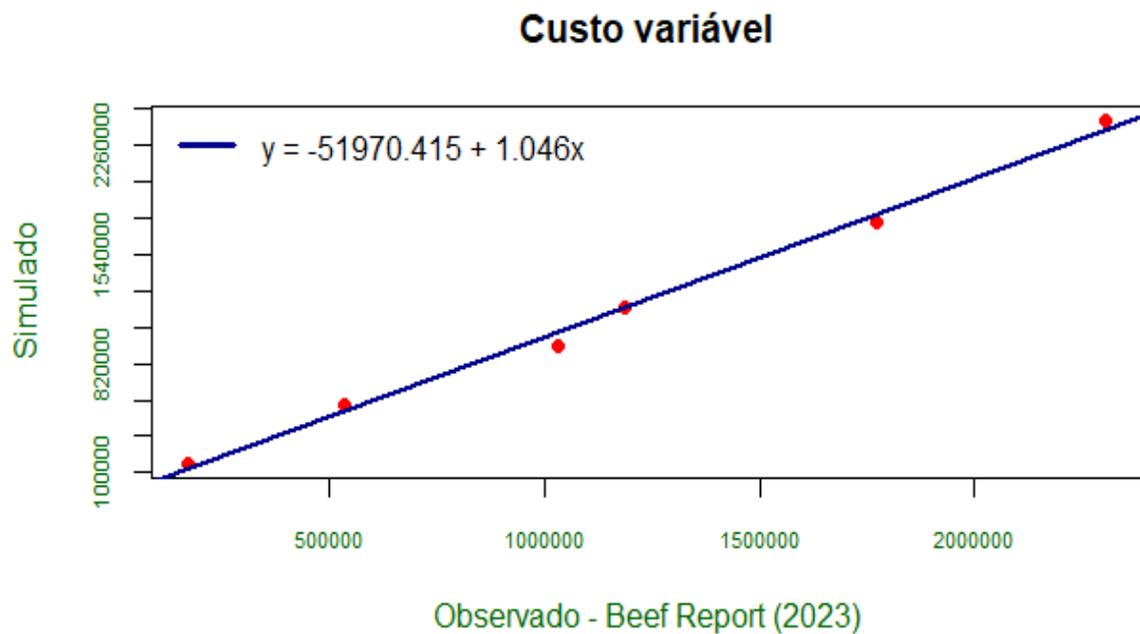


Figura 6 – Análises de regressão para custo variável (em reais)

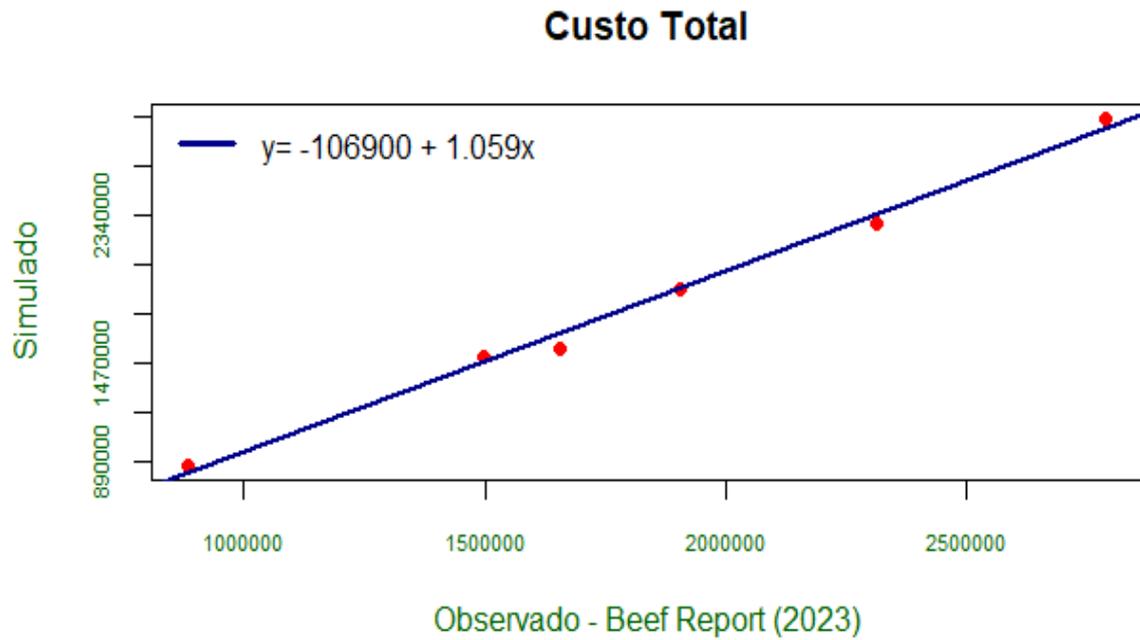


Figura 7 – Análises de regressão para custo total (em reais)

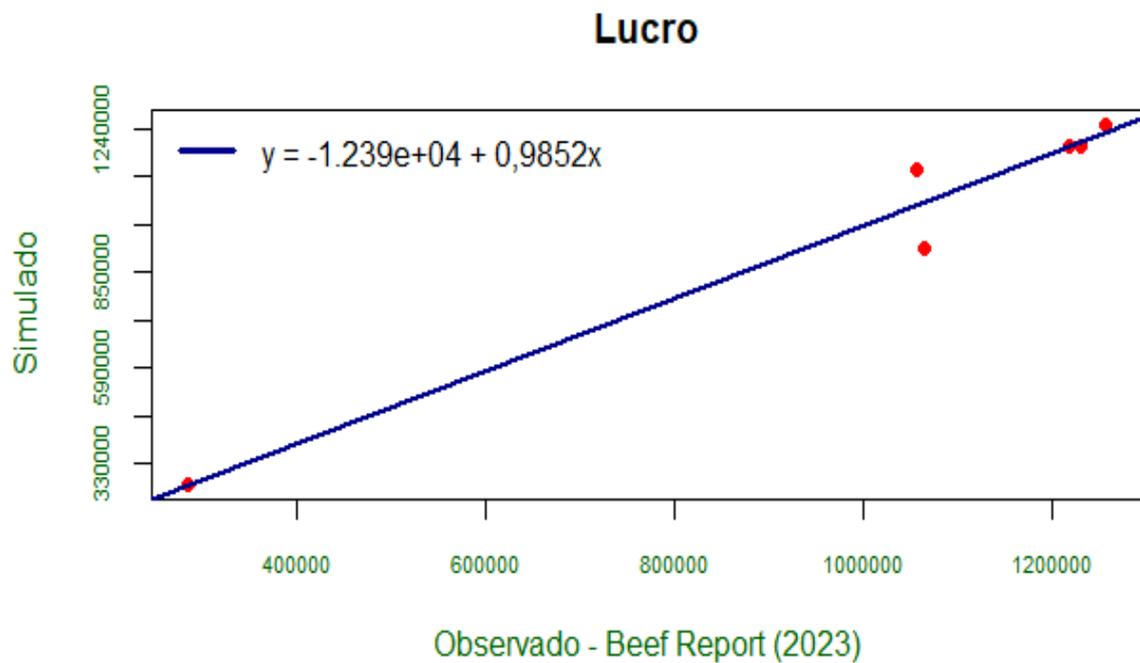


Figura 8 - Análises de regressão para o lucro (em reais)