UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

OSCAR ALEJANDRO OJEDA ROJAS

VERSÃO CORRIGIDA

Modelo de simulação para análise econômica do uso de biotecnologias
reprodutivas em rebanhos leiteiros

Pirassununga

2015

OSCAR ALEJANDRO OJEDA ROJAS

Modelo de simulação para análise econômica do uso de biotecnologias
reprodutivas em rebanhos leiteiros

Dissertação apresentada à
Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo,
como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Mestre em
Administração do programa de
Mestrado Profissional em
Gestão e Inovação na Indústria
Animal.

Área de Concentração: Gestão e
Inovação na Indústria Animal

Orientador: Prof. Dr. Augusto
Hauber Gameiro

Pirassununga

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
da Universidade de São Paulo

O39m Ojeda Rojas, Oscar Alejandro
Modelo de simulação para análise econômica do uso de
biotecnologias reprodutivas em rebanhos leiteiros /
Oscar Alejandro Ojeda Rojas. -- Pirassununga, 2015.
117 f.
Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Nutrição e Produção Animal.
Área de Concentração: Gestão e Inovação na Indústria
Animal.
Orientador: Prof. Dr. Augusto Hauber Gameiro.

1. IATF 2. Sêmen sexado 3. Payback 4. VPL 5. TIR.
I. Título.

OJEDA-ROJAS, O.A. Modelo de simulação para análise econômica do uso de biotecnologias reprodutivas em rebanhos leiteiros. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Administração.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedicado a uma mulher maravilhosa... Minha amada esposa Angela, a quem
admiro profundamente pela paixão com a que faz cada coisa e por seu
compromisso constante em melhorar. Você me faz uma melhor pessoa todos
os dias, te amo e te amare sempre.

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus e à vida a incrível oportunidade de aprender cada dia mais sobre as coisas que gosto fazer.

Gostaria de expressar meus agradecimentos mais sinceros ao professor Augusto Hauber Gameiro por permitir-me fazer parte de sua equipe. Sua infinita paciência, otimismo, entusiasmo, inteligência, humildade, dedicação e o fato de acreditar que todas as pessoas merecem uma oportunidade são um exemplo valioso para mim.

À minha amada Gela, sempre disposta a me ajudar, ainda em seus momentos mais difíceis, obrigado por ouvir, ler e discutir assuntos que em muitos casos não eram de teu interesse, mas mesmo assim sempre aportando ideias e comentários de grande valor, TE AMO.

Agradeço à minha família, especialmente a meus pais Gilberto e Cecilia, minhas irmãs Lina e Cami, pelo seu apoio incondicional e compreensão na minha ausência nos momentos importantes, como a chegada de Lucianita, queria muito estar presente esse dia. À minha família adotiva, família Gonella, por todos os auxílios e palavras de alento durante este tempo, especialmente à dona Angela, não tenho como agradecer tantas e tantas ajudas. À família Scolari, nossa família brasileira, com vocês estar longe de casa foi bem mais fácil, obrigado sempre.

Um agradecimento especial ao professor Mario Binelli, principalmente por me apresentar ao professor Gameiro, mas também por suas atenções no momento de nossa chegada a Pirassununga. Ao professor Ed Hoffman Madureira, pelas conversas e sua disposição para compartilhar ideias. A todos os integrantes do VRA de Pirassununga,

Aos professores Rubens Nunes e Manoel de Sá Filho por seus valiosos aportes a este trabalho e sua excelente disposição.

Aos professores e colegas do programa de mestrado em Gestão e Inovação na Indústria Animal, especialmente ao Professor Celso da Costa Carrer, por seu apoio e colaboração.

Aos colegas do LAE, Camila, Thayla, Esther, Fernanda, Debora, Bruna Frederich e Gustavo, pela sua amizade, a troca de ideias e toda a colaboração recebida.

À Universidade de São Paulo, à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e cada um de seus funcionários, por fornecer uma excelente estrutura que permite o crescimento cultural e intelectual dos que a diário convivemos aqui.

Finalmente, quero agradecer aos brasileiros e seus governantes pela grande oportunidade que me foi concedida. Tenho certeza que este tipo de oportunidades contribuirá com que América Latina seja uma região mais prospera e com menos desigualdades.

RESUMO

OJEDA-ROJAS, O.A. **Modelo de simulação para análise econômica do uso de biotecnologias reprodutivas em rebanhos leiteiros**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

As biotecnologias reprodutivas têm uma importante relação com os resultados econômicos dos rebanhos leiteiros. Sua adoção implica o investimento de quantidades conhecidas de recursos, porém, há uma clara dificuldade por parte de produtores em avaliarem o retorno desses investimentos. O objetivo deste estudo foi desenvolver um modelo de simulação que permita analisar os impactos do uso de biotecnologias reprodutivas sobre o desempenho econômico de rebanhos leiteiros. Com o auxílio de uma planilha eletrônica do Microsoft® Office Excel®, foi desenvolvido um modelo determinístico, em função de parâmetros produtivos, reprodutivos e econômicos, com o fim de representar a conformação do rebanho em períodos de 21 dias ao longo de 25 anos. Foram realizadas simulações de quatro cenários de aplicação de biotecnologias: inseminação artificial com sêmen convencional (IAC) e com sêmen sexado (IAS), inseminação artificial em tempo fixo com sêmen convencional (IATFC) e com sêmen sexado (IATFS). Finalmente, foram calculados para cada cenário o *Payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR) como indicadores da viabilidade econômica. Sob as condições simuladas, observou-se que o cenário com melhor desempenho econômico foi IATFS (*Payback* 3 anos; VPL R\$ 2.558.490,80; e TIR 42,5% aa), seguido de IATFC (*Payback* 3 anos; VPL R\$ 2.357.639,40; e TIR 42,9% aa). O cenário IAC apresentou valores superiores (*Payback* 3 anos; VPL de R\$ 759.353,90; e TIR 29,3% aa), quando comparado com IAS (*Payback* 4 anos; VPL R\$ 676.870,90; e TIR 23,3% aa). O modelo desenvolvido neste estudo permite auxiliar o processo de tomada de decisão na seleção da estratégia reprodutiva mais adequada com base em parâmetros específicos.

Palavras-chave: IATF; sêmen sexado; *Payback*; VPL; TIR.

ABSTRACT

OJEDA-ROJAS, O.A. **Simulation model for the economic analysis of the use of reproductive biotechnologies in dairy herds**. 2015. 97 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

Reproductive biotechnologies have an economic impact on dairy herds. Its implementation requires the investment of known amounts of resources; however, the producers still have a clear difficulty in assessing the profitability of these investments. The aim of this study was to develop a simulation model to analyze how the use of reproductive biotechnologies impact on the economic performance of dairy herds. Using a Microsoft® Office Excel® spreadsheet, a deterministic model was created considering productive, reproductive and economic parameters, in order to represent the herd conformation in 21-day periods over 25 years. Then, four reproductive programs were simulated: artificial insemination using conventional semen (AIC) or sex-sorted semen (AIS) and fixed-time artificial insemination using conventional semen (FTAIC) or sex-sorted semen (FTAIS). Finally, indicators of economic viability: Payback, net present value (NPV) and internal rate of return (IRR) were calculated for each reproductive program. Under the simulated conditions, it was observed that the program with the best economic performance was FTAIS (Payback 3 years; NPV R\$ 2,558,490.80; and IRR 42.5% per annum), followed by FTAIC (Payback 3 years; NPV R\$ 2,357,639.40; and IRR 42.9% per annum). The AIC program presented higher economic returns (Payback 3 years, NPV R\$ 759,353.90, and IRR 29.3% per annum) when compared with AIS (Payback 4 years; NPV R\$ 676,870.90, and IRR 23.3% per annum). The mathematical model developed in this study can assist the decision-making process to select the most appropriate reproductive strategy based on specific parameters.

Keywords: FTAI; sex-sorted semen; payback; NPV; IRR.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Distribuição do rebanho bovino mundial por continente.....	20
Figura 2 – Produção mundial de leite 1992-2012.....	23
Figura 3 – Maiores produtores de leite no ano 2012.....	24
Figura 4 – Distribuição do rebanho bovino no Brasil	30
Figura 5 – Produção de leite e quantidade de vacas ordenhadas no Brasil (1982-2012).....	31
Figura 6 – Curva de produto total (a), produto médio e produto marginal (b) ..	39
Figura 7 – Custo Total; Custo Fixo e Custo Variável.....	43
Figura 8 – Curvas Custo Fixo Médio; Custo Variável Médio; Custo Médio e Custo Marginal	45
Figura 9 – Fluxo de caixa convencional	47
Figura 10 – Fluxo de caixa não convencional	47
Figura 11 – Evolução do VPL em relação à taxa de desconto	50
Figura 12 – Diagrama de ciclo produtivo considerado no modelo matemático	64
Figura 13 Inventário de diferentes categorias de animais ao longo de 25 anos: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS	96
Figura 14 – Taxa de descarte do rebanho dependendo da estratégia reprodutiva	97
Figura 15 – Participação média de cada uma das categorias animais, no ingresso total por venda de animais no intervalo estudado para cada cenário: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS	99
Figura 16 – Participação média de cada uma das categorias animais, nas despesas por sanidade e nutrição no intervalo estudado para cada cenário: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo per capita de leite por região e país, 1987 e 2007	26
Tabela 2 – Principais países exportadores de leite (milhares de toneladas) 2012 – 2014	27
Tabela 3 – Principais países importadores de leite (milhares de toneladas) 2012 – 2014	27
Tabela 4 – Parâmetros produtivos zootécnicos usados no modelo matemático (Continua).....	67
Tabela 5 – Variáveis usadas no modelo matemático (Continua)	68
Tabela 6 – Valores dos parâmetros reprodutivos considerados no modelo para as novilhas.	91
Tabela 7 – Valores dos parâmetros reprodutivos considerados no modelo para as vacas.	92
Tabela 8 – Valores dos parâmetros produtivos considerados no modelo.	93
Tabela 9 – Valores dos produtos considerados no modelo.....	93
Tabela 10 – Valores dos equipamentos usados no programa reprodutivo e considerados no modelo	94
Tabela 11 – Preços dos insumos usados no programa reprodutivo.....	94
Tabela 12 – Preços dos produtos usados no protocolo de IATF.....	94
Tabela 13 – Quantidade média de fêmeas tratadas, custo por serviço e custo médio anual do manejo reprodutivo do rebanho para cada cenário no intervalo de tempo analisado	100
Tabela 14 – Discriminação do custo por serviço para cada cenário analisado	101
Tabela 15 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IAC.....	102
Tabela 16 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IAS.....	103
Tabela 17 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IATFC .	104
Tabela 18 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IATFS .	105
Tabela 19 – Resultados do VPL e TIR como técnicas de análises da viabilidade econômica para os diferentes cenários propostos	106

SUMARIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL.....	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3	REVISÃO DE LITERATURA.....	20
3.1	SISTEMA AGROINDUSTRIAL DO LEITE NO MUNDO	20
3.1.1	Sistemas de produção.....	21
3.1.2	Produção	22
3.1.3	Consumo	24
3.1.4	Tendências de mercado.....	26
3.1.5	Importância social.....	27
3.1.6	Custos de produção	28
3.2	SISTEMA AGROINDUSTRIAL DE LEITE NO BRASIL.....	29
3.3	PRINCÍPIOS DE ECONOMIA.....	32
3.3.1	Teoria da produção	35
3.3.1.1	Função de produção.....	35
3.3.1.2	Análise de curto prazo.....	37
3.3.1.3	Produto total, médio e marginal	37
3.3.1.4	Lei dos rendimentos decrescentes.....	39
3.3.2	Teoria dos custos	41
3.3.2.1	Classificação dos custos	42
3.3.2.2	Custo fixo médio, custo variável médio, custo médio e custo marginal.....	43
3.3.3	Método do fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica	46
3.3.3.1	Técnicas de análise de fluxo de caixa.....	47
3.3.3.2	Payback.....	48
3.3.3.3	Valor presente líquido (VPL)	48
3.3.3.4	Taxa interna de retorno (TIR)	49
3.3.4	Modelos matemáticos como auxílio na tomada de decisão.....	51
3.4	INFLUÊNCIA DA REPRODUÇÃO NA ECONOMIA DO REBANHO LEITEIRO.....	52
3.4.1	Inseminação Artificial (IA).....	52
3.4.2	Sincronização deaios e inseminação em tempo fixo	53
3.4.3	Sêmen sexado.....	55
3.4.4	Interação da reprodução com a economia do rebanho	55
3.4.5	Análises econômicas relacionadas à reprodução	58
4	MATERIAIS E MÉTODOS.....	60
4.1	MODELO DE SIMULAÇÃO	60
4.1.1	Entradas do modelo	60

4.1.1.1	Parâmetros zootécnicos	60
4.1.1.2	Custos por categoria	61
4.1.1.3	Preços dos produtos.....	61
4.1.1.4	Investimentos	61
4.1.2	Saídas do modelo.....	61
4.1.2.1	Fluxo de inventario	61
4.1.2.2	Descrição do ciclo produtivo considerado no modelo	62
4.1.2.3	Receitas.....	63
4.1.2.4	Despesas.....	63
4.1.2.5	Análise de fluxo de caixa.....	64
4.2	SIMULAÇÃO E CENÁRIOS CONSIDERADOS.....	65
4.3	MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO.....	65
4.3.1	Equações matemáticas	70
5	RESULTADOS	91
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS DO MODELO DE SIMULAÇÃO.....	91
5.2	EFEITOS DA ESTRATÉGIA REPRODUTIVA SOBRE A DINÂMICA DO REBANHO.	95
5.2.1	Evolução do rebanho.....	95
5.2.2	Descartes	95
5.3	EFEITO DA ESTRATÉGIA REPRODUTIVA SOBRE AS RECEITAS E DESPESAS DO REBANHO	97
5.3.1	Receitas.....	97
5.3.1.1	Venda de animais.....	98
5.3.2	Despesas.....	98
5.3.2.1	Despesas dos programas reprodutivos.....	100
5.4	VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS EMPREGADAS	101
6	DISCUSSÃO	107
7	CONCLUSÕES	110

1 INTRODUÇÃO

A domesticação dos animais foi um dos fatos mais significativos na história da humanidade, com efeitos econômicos e sociais de grande relevância sobre a civilização e a distribuição demográfica no mundo (DIAMOND, 2002). As fortes mudanças do clima sobre a oferta de alimentos e, principalmente, a diminuição de alguns animais preferidos para a sua alimentação, fez com que o homem do período final do Pleistoceno mudasse seus costumes de caça e começasse o processo de domesticação dos animais para produzir de forma controlada sua comida (FAO, 2010a).

Na atualidade, a criação de gado é uma importante atividade econômica, principalmente nos países em vias de desenvolvimento e representa em torno de 40% da produção mundial agrícola (FAO, 2009). Em relação à pecuária leiteira e conforme aos dados da Food and Agriculture Organization (FAO) (2010a) estima-se que a quantidade de vacas no mundo está em torno de 254 milhões de cabeças. Essas são responsáveis por mais de 83% do total de leite produzido no mundo, o equivalente a 626 milhões de toneladas, aproximadamente, para o ano 2012.

O rebanho mundial leiteiro está distribuído em 149 milhões de fazendas. Na maioria dos países, especialmente naqueles em vias de desenvolvimento, essas propriedades possuem menos de 10 vacas. Em contraste, em uma fazenda dos Estados Unidos ou da Nova Zelândia este valor está acima dos 100 animais (FAO, 2010b).

Segundo essas informações, mais de 750 milhões de pessoas no mundo, aproximadamente 12% da população mundial, estão relacionadas com a produção de leite, a qual contribui diretamente na geração de renda e como parte importante do suprimento de alimentos (FAO, 2010b).

Em quase todas as regiões do mundo é produzido o leite, porém poucos países são autossuficientes. Isto em parte é consequência das condições de mercado e da disponibilidade ou não de recursos naturais, insumos e tecnologias de cada país. Desta forma, o aproveitamento das oportunidades locais através dos diferentes sistemas de produção delimita a competitividade do país. Os principais países com superávit de leite

são: Argentina, Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos e Uruguai. Por outro lado, países como Argélia, China, Japão, México, Filipinas e Rússia apresentam o maior déficit em produção de leite (FAO, 2010b).

O Brasil, em parte como consequência das suas condições climáticas e disponibilidade de terras férteis, mantém o segundo maior inventário bovino do mundo (211 milhões de cabeças, aproximadamente). Segundo o United States Department of Agriculture (USDA) (2014b), para o ano 2012 o país produzia em torno de 32 milhões de toneladas de leite, conquistando assim a quarta colocação no ranking mundial, sendo superado somente pelos Estados Unidos, Índia e China. A produção nacional brasileira é obtida da ordenha de 22,8 milhões de vacas, aproximadamente. A produtividade média é de 1.427 litros/vaca/ano, com uma variação de 308 a 2.670 litros/vaca/ano nas diferentes regiões, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2014).

O valor bruto da produção de leite no Brasil no ano 2013 foi de R\$ 25,2 bilhões, isto corresponde a 16,2% da produção pecuária e a quase 6% do total da produção agropecuária. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) (2014), esses valores colocam a produção de leite acima de importantes produtos como o café, a laranja e a produção suína, evidenciando a importância desta atividade para a economia e o desenvolvimento do agronegócio brasileiro.

O sucesso econômico e a sustentabilidade da indústria leiteira, de modo igual como acontece com outros sistemas produtivos, são a consequência da interação de inúmeras variáveis que se afetam mutuamente dentro de um ciclo produtivo longo (CABRERA, 2014). Entre essas variáveis estão algumas nas quais o produtor tem pouco ou nenhum controle, como, por exemplo, as condições do meio ambiente, o valor dos insumos utilizados ou o preço final de venda do leite. Portanto, aqueles procedimentos e características que resultam em aumentos da produtividade ou diminuição dos custos, e que podem ser controlados pelo produtor (condições nutricionais, sanitárias, reprodutivas e de gestão), precisam atenção especial e uma administração minuciosa (GAMEIRO, 2009). Contudo, não é uma tarefa simples, em princípio devido à grande heterogeneidade das propriedades e à falta de informações

confiáveis. Este panorama contribui para que o processo de tomada de decisão seja ainda mais difícil e na grande maioria dos casos baseado na intuição.

Neste contexto, pode-se entender a importância de ferramentas que, considerando uma grande quantidade de variáveis (técnicas e econômicas), permitam avaliar de forma objetiva a tomada de decisões, como por exemplo, o emprego de novas tecnologias dentro do processo produtivo.

Os modelos de simulação são técnicas poderosas que permitem a abstração física ou matemática da realidade de um sistema. Adicionalmente têm a capacidade de suportar as principais interações e refletir o comportamento do sistema estudado. Além disso, é possível fazer alterações nas variáveis e parâmetros, e avaliar seus resultados, com o fim de prever as consequências (LOVATTO; SAUVANT, 2001). Assim, o processo de tomada de decisão pode ser apoiado pela técnica de modelagem, uma vez que permite considerar vários cenários e avaliar objetivamente suas consequências.

Sob a ótica do empresário ou consultor a possibilidade de ter uma avaliação objetiva antecipada do comportamento técnico e econômico do seu sistema após a inclusão de um novo procedimento ou uma nova tecnologia, representa uma vantagem competitiva evidente. Por outro lado, a simulação apresenta-se como uma alternativa viável, no caminho de diminuir a distância entre a pesquisa científica e a produção comercial, uma vez que permite valorar o benefício que os novos avanços e inovações científicas repercutem na sociedade e desta forma redirecionar os esforços, se for necessário.

Uma das características de maior relevância econômica e plausível de ser simulada é o desempenho reprodutivo do rebanho. O desempenho reprodutivo e seus resultados podem ser indicadores da situação geral do sistema produtivo. A partir desses resultados, é possível estabelecer algumas conclusões, principalmente do *status* nutricional e sanitário da fazenda. Em outras palavras, só após as exigências nutricionais e de saúde mínimas serem satisfeitas, a reprodução poderá ser eficiente.

Desta forma, o impacto da reprodução e suas diferentes estratégias sobre os resultados econômicos das propriedades leiteiras têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores no intuito de atestar como os fatores relacionados com a eficiência reprodutiva - sejam suas causas ou suas consequências - influenciam o desempenho

econômico da criação de animais (DE VRIES, 2006; DE VRIES, 2007; LIMA *et al.*, 2010; DE VRIES; VAN LEEUWEN; THATCHER, 2011; GALVÃO *et al* 2013).

No ano de (1977) Trenkle e Willham, no trabalho acerca da eficiência na produção de carne, descreveram que em termos econômicos a reprodução é cinco vezes mais importante que o ganho de peso e a produção de leite. Anos depois, Vishwanath (2003) explicou que os principais fatores que afetam a eficiência econômica dos rebanhos produtivos eram os parâmetros reprodutivos como, por exemplo, a taxa de parição. Os trabalhos em gado de corte de Burns, Fordyce e Holroyd (2010), Menegassi *et al.* (2011), Hayes, Lewin e Goddard (2013) e Pravia *et al.* (2014) reforçam a importância do desempenho reprodutivo na produção e na sustentabilidade financeira no longo prazo dos empreendimentos de gado de corte. De modo semelhante, na produção de leite, Britt (1985), Meadows, Rajala-Schultz e Frazer (2005), De Vries (2006a) e Galvão *et al.* (2013) concordam que a reprodução impacta a rentabilidade das fazendas leiteiras, já que afeta diretamente a produção de leite (vaca/dia), a produção de animais de reposição e as taxas de descarte.

As análises e avaliações das estratégias reprodutivas vão além dos investimentos para cada uma delas, os quais na maioria dos casos são de fácil comparação, como o sêmen, hormônios e mão de obra. Como descrito por LeBlanc (2007), a estratégia reprodutiva, seja ela bem sucedida ou não, modifica a dinâmica do rebanho, alterando as taxas de descarte e a oferta de animais de reposição, entre muitas outras características, gerando prejuízos ou benefícios, que por sua vez podem ser maiores que os custos de implementação da técnica.

Há uma clara dificuldade por parte de produtores e consultores em avaliarem o retorno dos investimentos feitos em biotecnologias reprodutivas, já que esses ingressos, no melhor dos cenários, chegarão vários meses após do uso da técnica, e ainda provenientes de diversas fontes. Assim, não são claros os benefícios econômicos no longo prazo que o uso dessas técnicas representa para uma produção leiteira. Cabe ao pecuarista e a sua equipe técnica, analisarem de forma objetiva a viabilidade das estratégias reprodutivas a serem adotadas e seu impacto sobre a eficiência técnica e econômica da empresa pecuária.

Isto demonstra a importância de trabalhos que permitam avaliar diferentes estratégias reprodutivas e de manejo, com a possibilidade de medir o impacto econômico e produtivo dos procedimentos a estabelecer, contribuindo assim com ferramentas que auxiliem a tomada de decisão. Por conseguinte, o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo de simulação para analisar econômica e financeiramente os impactos do uso de estratégias de manejo reprodutivo sobre o desempenho de sistema de produção pecuário de bovinos de leite.

O presente trabalho foi organizado em sete itens. Após as seções introdutórias, é abordado o cenário da produção de leite no mundo e no Brasil, com o propósito de mostrar a sua importância, assim como as fortalezas e debilidades da atividade. Em seguida são revisados os princípios da ciência econômica em relação aos custos de produção e se aborda o tema da viabilidade econômica de projetos. Finaliza-se a revisão de literatura relacionando o desempenho reprodutivo com os resultados econômicos das propriedades leiteiras.

A seção número quatro descreve os procedimentos realizados para a elaboração do modelo assim como as equações matemáticas.

Os valores usados como parâmetros no modelo, além dos resultados da simulação são apresentados na seção número cinco. Finalmente a discussão e as principais conclusões são apresentadas nas seções seis e sete.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente estudo tem como objetivo desenvolver um modelo matemático de simulação que permita analisar econômica e financeiramente os impactos do uso de estratégias de manejo reprodutivo e a utilização de sêmen sexado, sobre o desempenho de sistema de produção pecuário de bovinos de leite.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Elaborar o perfil de um sistema especializado de bovinos para a produção de leite, considerando seus parâmetros zootécnicos e econômicos em função da estratégia reprodutiva adotada;
- b) Determinar os custos de produção e as receitas de acordo com a estratégia reprodutiva usada;
- c) Realizar a análise de investimento em base nos fluxos de caixa gerados usando os métodos de valor presente líquido (VPL), taxa interna de retorno (TIR) e *Payback*;
- d) De acordo com as ferramentas mencionadas, determinar qual é a estratégia de biotecnologia reprodutiva que apresenta melhor desempenho econômico.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 SISTEMA AGROINDUSTRIAL DO LEITE NO MUNDO

Para a maioria dos países, o gado traz importante contribuição para as suas economias, principalmente nos países em vias de desenvolvimento, onde esta parcela é ainda mais destacada. No ano 2013, o inventário bovino mundial situava-se em torno dos 1.494 milhões de animais, distribuídos em todos os continentes, porém, com participação destacada de Ásia e da América (Figura 1) (FAO, 2014a).

Figura 1 – Distribuição do rebanho bovino mundial por continente

Fonte: FAO (2014a). Própria autoria.

Segundo a FAO (2010a), estima-se que na atualidade a quantidade de vacas leiteiras no mundo está em torno de 254 milhões de cabeças. Quanto à sua distribuição, conforme as projeções de USDA (2014a), os cinco principais países em relação ao inventário de vacas de leite no mundo são: a Índia, com 50 milhões de cabeças, seguida pelo Brasil com 20 milhões, depois se encontram Estados Unidos, China e Rússia, cada um com 9,2, 8,7 e 8,2 milhões de cabeças, respectivamente.

3.1.1 Sistemas de produção

Os sistemas de produção de leite são estritamente dependentes dos recursos naturais como: disponibilidade da terra, fertilidade do solo e as condições climáticas em geral. Estes recursos têm significativos impactos nos sistemas produtivos e, em grande parte, definem as estratégias a serem tomadas.

Assim, em regiões onde se tem disponibilidade constante de pastagens durante o ano todo, como é o caso da Nova Zelândia, os sistemas de produção caracterizam-se pelos baixos dispêndios em decorrência de um baixo uso de insumos; grandes rebanhos e produção por vaca relativamente baixa (3.700 kg/vaca/ano). Por outro lado, em condições climáticas adversas e/ou escassez de terra, o sistema é intensificado e o plano nutricional baseado em cereais, com elevados custos de produção e atingindo altas produções de leite por vaca (8.500 kg/vaca/ano), um exemplo importante é o caso dos Estados Unidos (KNIPS, 2005).

Embora uma parcela importante dos sistemas produtivos esteja naquela faixa de produtividade, a maior quantidade de leite produzida no mundo não se encaixa neste contexto. Em regiões do mundo que carecem de áreas para pastagens e a produção baseada em cereais não é viável, a alternativa disponível é empregar os resíduos das colheitas, mantendo um sistema de mínima utilização de insumos, portanto, mínimos custos de produção. Os rebanhos são pequenos e constituídos de vacas de baixa produção, sendo este o caso da Índia (1.000 kg/vaca/ano) (KNIPS, 2005).

De acordo com FAO (2010b), no ano 2005 o número estimado de explorações leiteiras no mundo era de 149 milhões. Esta quantidade é maior na Índia e no Paquistão (com 75 e 14 milhões, respectivamente), seguidos do Brasil, da China, da Rússia e Irã, entre outros. Nos países da União Europeia a quantidade de explorações leiteiras era de, aproximadamente, 533.851, e nos Estados Unidos, de 78.300 fazendas.

Em média, no ano de 2005, um rebanho leiteiro constituía-se por 2,4 vacas. Na maioria dos países, especialmente os países em vias de desenvolvimento, os rebanhos possuem menos de 10 vacas. Os seis países com rebanhos maiores de 100 vacas são: Argentina, Austrália, República Checa, Nova Zelândia, África do Sul e os Estados Unidos (FAO, 2010b).

3.1.2 Produção

Em termos globais, mais de 83% do total de leite produzido no mundo, o equivalente a 626 milhões de toneladas, aproximadamente para o ano 2012, deriva da ordenha de vacas. Além do leite de origem bovino, as búfalas têm uma participação de quase 13%, a qual é mais acentuada no sul da Ásia. Naquela região, mais da metade do leite produzido vem precisamente desta espécie. A parcela restante da produção mundial tem suas origens nas cabras, ovelhas e camelos fêmeas, com 2,4; 1,4 e 0,3%, respectivamente (FAO, 2013).

Nas últimas duas décadas analisadas (1992 a 2012), a quantidade de leite produzida no planeta cresceu 35,5%, a uma taxa média anual de 1,6%, isto é 8,2 milhões de toneladas de leite por ano, totalizando um aumento de 164 milhões de toneladas (Figura 2) (FAO, 2013).

Apenas cinco países (China, Índia, Estados Unidos, Brasil e Nova Zelândia) são responsáveis por cerca de 70% deste incremento na produção mundial de leite, destacando-se a região de Ásia, principalmente com a China e a Índia, as quais contribuíram significativamente com 32 e 29 milhões de toneladas cada uma de elas. O Brasil ocupa o quarto lugar em crescimento, com 16 milhões de toneladas, aproximadamente (FAO, 2014a).

O leite é produzido praticamente em todos os países do mundo. Não obstante, os padrões de produção variam marcadamente entre regiões e mais de 55% da produção do mundo esteja concentrada em apenas 10 países (Figura 3) (FAO, 2014a).

Figura 2 – Produção mundial de leite 1992-2012

Fonte: FAO (2014a). Própria autoria.

Em relação à produção de leite de vaca, exclusivamente, os Estados Unidos são líderes absolutos, com uma produção aproximada para o ano 2012 de 91 milhões de toneladas, quase o dobro do segundo colocado, a Índia, com 54 milhões¹. No terceiro lugar encontrava-se a China, com 37,7 milhões de toneladas, país que teve o maior crescimento em relação ao leite produzido no ano 1992. Sua produção aumentou pouco mais de seis vezes, a uma taxa média anual de 10,8%. A quantidade total de leite acrescentado pela China nesses últimos 20 anos equivale à produção do Brasil para o ano 2012. O Brasil localizou-se no quarto lugar totalizando 32,3 milhões de toneladas. Na quinta posição e com uma produção próxima da brasileira encontrava-se a Rússia, com 31,5 milhões de toneladas. Apesar de estar dentro dos cinco maiores produtores do mundo, a Rússia apresentou uma queda da produção de quase um terço em relação ao ano 1992, isto é, aproximadamente, 15 milhões de toneladas a menos.

¹ Valor que faz referência estritamente à produção de leite de vaca, a qual representa, aproximadamente, 45% do total da produção deste país (FAO, 2013).

Figura 3 – Maiores produtores de leite no ano 2012

Fonte: FAO (2014a). Própria autoria.

Segundo a publicação *Food Outlook (2014b)* da FAO, previa-se que para o ano 2014 a produção mundial de leite alcançaria 783 milhões de toneladas, com relevante participação da Ásia nesse aumento, mas com um prognóstico de aumento uniforme em todas as regiões.

3.1.3 Consumo

O crescimento demográfico mundial médio está projetado para ser de 0,55% ao ano até o 2050. Sem embargo, este crescimento será mais acelerado em algumas regiões onde a projeção é de 1,9% anual. A maioria de países que apresentam estas elevadas taxas de crescimento são precisamente os mesmos que mostram inadequado acesso aos alimentos (ALEXANDRATOS E BRUINSMA, 2012).

Entre os anos 2005 e 2007 o mundo tinha a capacidade de fornecer alimentos correspondentes, em média, a 2.770 kcal/pessoa/dia. Assim, poder-se-ia dizer que não tinha espaço para a fome no mundo. No entanto, inúmeras causas, entre elas principalmente a baixa renda, fazem com que a disponibilidade de alimentos não seja distribuída uniformemente e mais de 0,5 milhões de pessoas continuem vivendo com menos de 2.000 Kcal/pessoa/dia (ALEXANDRATOS E BRUINSMA, 2012).

Porém, as perspectivas econômicas usadas por Alexandratos e Bruinsma (2012), apontam para um mundo 80% mais rico, em termos de renda per capita média e com países em desenvolvimento crescendo economicamente mais rápido que os desenvolvidos. Segundo Knips (2005) e FAO (2013), os consumidores de baixa renda dos países em desenvolvimento, tendem a ter uma alta elasticidade da renda em relação à demanda de produtos derivados do leite. Somado a isto, a cultura e os hábitos alimentícios também têm uma forte influência, o que em parte explicaria as divergências no consumo entre países com igual padrão de renda.

Essas variações na renda e no comportamento demográfico do mundo delimitam um panorama de mudanças nos padrões alimentícios, aumentando a procura por alimentos de origem animal, com seus respectivos impactos sobre os preços e consequentemente sobre a disponibilidade para os mais pobres (KNIPS, 2005; FAO, 2013).

As tendências de consumo de produtos lácteos estão fortemente influenciadas pelos fatos acima mencionados. A publicação *Milk and Dairy Products in Human Nutrition* da FAO (2013) descreve o comportamento no consumo entre o ano 1987 e 2007 de alguns países representativos (Tabela 1). Pode-se observar que o Brasil possui um consumo maior que a média dos países em desenvolvimento.

Por outro lado, é importante mencionar que mesmo a Índia sendo um importante produtor, tem baixo consumo, apesar de os produtos lácteos serem a principal fonte de proteína animal para aquele e para os demais países do sul da Ásia (FAO, 2013).

Embora no período analisado a China tenha aumentado mais de seis vezes seu consumo, esse ainda é pequeno, quando considerado per capita, de menos de um terço do consumo médio da América Latina, já que começou seu crescimento a partir de uma base muito baixa. Porém, a pressão desse país sob o mercado mundial merece destaque especial. Em razão do tamanho da sua população, suas mudanças impactam os padrões de mercado do mundo todo (USDA, 2014a).

Tabela 1 – Consumo per capita de leite por região e país, 1987 e 2007

Região ou País	Consumo per capita de leite (kg/ano)	
	1987	2007
Países Desenvolvidos	208,7	213,7
Este e Sudeste de Ásia	6,4	24,9
China	4,5	28,7
América latina e o Caribe	96,1	113,3
Brasil	88,7	124,6
Ásia do Sul	52,3	72,4
Índia	51,0	68,7

Fonte: FAO (2013).

Hemme e Otte na sua publicação *Status and Prospects for Smallholder Milk Production* (FAO, 2010b), explicam que no passado, o aumento mundial na demanda de leite deveu-se ao aumento na população, entretanto, atualmente é consequência do aumento do consumo per capita, principalmente nos países em desenvolvimento.

Na atualidade o consumo global médio per capita de leite está em torno de 100 kg por ano. Entretanto, apresentam importantes variações entre regiões do mundo, sendo de até 300 kg por ano no oeste da Europa e de menos de 30 kg em algumas partes da Ásia e África (FAO, 2010b).

3.1.4 Tendências de mercado

Graças a uma perspectiva favorável de produção na maioria de países que possuem excedentes de leite (Argentina, Austrália, Nova Zelândia, Estados Unidos e a União Europeia), prognosticava-se que para o ano 2014 o mercado internacional de leite cresceria 1,8% até atingir as 69 milhões de toneladas (FAO, 2014b). Dentre os principais países com déficit de leite, encontram-se Argélia, China, Japão, México, Filipinas e Rússia (FAO, 2010b).

Como descrito pela FAO (2014c), listam-se a seguir os principais países importadores e exportadores de leite no mundo (Tabela 2 e 3).

Tabela 2 – Principais países exportadores de leite (milhares de toneladas) 2012 – 2014

País	2012	2013	2014 Previsão
Nova Zelândia	17.648	17.734	18.375
União Europeia	16.414	15.822	16.235
Estados Unidos	8.670	10.412	10.727
Austrália	3.906	3.282	3.277

Fonte: FAO (2014c).

Tabela 3 – Principais países importadores de leite (milhares de toneladas) 2012 – 2014

País	2012	2013	2014 Previsão
China	9.592	12.363	13.345
Rússia	4.457	5.005	5.158
México	3.062	2.910	2.962
Indonésia	2.480	2.581	2.630
Argélia	2.517	2.231	2.480

Fonte: FAO (2014c).

Os avanços tecnológicos no processamento e embalagem dos produtos lácteos têm contribuído à expansão de seu mercado internacional. Entretanto, a quantidade comercializada continua sendo baixa, devido principalmente à sua perecibilidade, fazendo com que a maioria dos produtos seja consumida no país de produção (FAO, 2013).

3.1.5 Importância social

Estima-se que aproximadamente 750 milhões de pessoas (12% da população mundial) estejam relacionados com a produção de leite (FAO, 2010b).

Para a produção de um milhão de litros de leite provenientes de pequenos produtores, são necessários, aproximadamente, 200 empregos. Portanto, a indústria leiteira torna-se uma estratégia importante na luta contra a pobreza (FAO, 2010b).

Somente nos Estados Unidos, a indústria leiteira gera em torno de 138.000 empregos de tempo completo, com uma alta participação de mão de obra estrangeira (VON KEYSERLINGK *et al.*, 2013).

O sucesso econômico da pecuária leiteira está fortemente ligado à gestão do equilíbrio entre a rentabilidade do negócio e às responsabilidades que este tem frente à saúde humana, o bem-estar animal e o impacto ambiental.

3.1.6 Custos de produção

O leite é uma *commodity* com poucas possibilidades de se diferenciar entre produtores. Portanto, os produtores têm mínima influência na determinação do preço, o que torna os custos de produção a primeira estratégia em busca do aumento de rentabilidade (VON KEYSERLINGK *et al.*, 2013).

O comércio internacional de leite tem crescido graças aos avanços na tecnologia da refrigeração, transporte e comunicação. Estes aumentos de mercado resultam em preços do produto similares nos diferentes países, os quais para poderem competir devem ter níveis de custos similares, no entanto uma estrutura diferente (VON KEYSERLINGK *et al.*, 2013).

Sistemas baseados em pastagens como Nova Zelândia, Argentina ou Austrália têm relativamente altos custos fixos, relacionados principalmente aos crescentes custos da terra, entretanto, custos variáveis relativamente baixos graças ao uso limitado de suplementos e instalações. Por sua vez, produtores dos Estados Unidos e Japão, têm altos custos variáveis devido ao alto uso de insumos e instalações (VON KEYSERLINGK *et al.*, 2013).

Do mesmo modo, as características macroeconômicas de cada país, tendo como exemplo as condições salariais, são relevantes para a determinação dos custos de produção e a produtividade na produção de leite. Como descrito pela FAO (2010b), países com altos custos em mão de obra, têm também altos níveis de produtividade expressos em litros de leite por trabalhador. Portanto, relevantes diferenças são observadas na estrutura de custos quando países de condições socioeconômicas diferentes são comparados. É o caso da comparação dos custos laborais entre uma propriedade da Índia e uma nos Estados Unidos. Os custos expressos por litro de leite para uma propriedade de 9 vacas na Índia, são similares aos de uma propriedade de

350 vacas nos Estados Unidos. Isto devido principalmente ao elevado nível tecnológico deste último (FAO, 2010b).

Portanto, a vantagem em redução de custos nos países em desenvolvimento está no uso de subprodutos alimentícios de baixo custo somado a um sistema pouco intensivo em capital tecnológico.

3.2 SISTEMA AGROINDUSTRIAL DE LEITE NO BRASIL

Segundo o USDA (2014b), em nível internacional o rebanho bovino brasileiro posiciona-se no segundo lugar, só depois da Índia. Os dados IBGE (2012) consideram um inventário aproximado de 211 milhões de cabeças. Esses dados, no entanto, não captam todas as transações do sistema agroindustrial bovino, pois só consideram o produto inspecionado. Azevedo e Bankuti (2001) estimaram o mercado informal variando de 32% a 51% do total no período de 1989 a 2000.

Do ponto de vista regional, destaca-se com o maior rebanho a região Centro-Oeste com aproximadamente 34,3% (72 milhões de cabeças). Por outro lado, a menor participação é da região Sul, com 13,1% (27,6 milhões de cabeças) conforme apresentado na figura 4. Mais de 50% do efetivo nacional encontrava-se distribuído em apenas cinco estados: Mato Grosso, Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul e Pará com 13,6%, 11,3%, 10,4%, 10,2% e 8,8% respectivamente (IBGE, 2012).

Em relação à produção de leite especificamente, para o ano 2012 no Brasil foram ordenhadas em torno de 22 milhões de vacas, principalmente concentradas em os estados de Santa Catarina, Rio Grande do Norte e Minas Gerais, participando com 26,5%, 25,3% e 23,7% do total de vacas ordenhadas respectivamente (IBGE, 2012).

Figura 4 – Distribuição do rebanho bovino no Brasil

Fonte: IBGE (2012). Própria autoria.

O número de vacas ordenhadas teve queda drástica após o ano 1995. Naquela época o país atravessava por diversas mudanças políticas e econômicas, como a liberação do preço do leite e a abertura da economia aos mercados internacionais, fatos que impactaram a cadeia láctea em sua totalidade, com diferentes consequências que conduziram à diminuição do lucro dos produtores. Isto pode ser parte da explicação à diminuição do número dos animais ordenhados naquele período.

A produtividade média por vaca foi de 1.417 litros/vaca/ano. O melhor resultado foi obtido por Rio Grande do Sul, com 2.670 litros/vaca/ano. O dado mais baixo foi de Roraima com 308 litros/vaca/ano (IBGE, 2012).

A produtividade de mão de obra (litros/homem/dia), item que tem importante relevância na estrutura de custos, segundo o Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada (Cepea/Esalq-USP) (2014) é ainda baixa, sendo na maioria dos casos inferior a 300 litros/homem/dia. As melhores observações foram feitas no Sul do país, especificamente no município de Castro (PR) onde a produtividade chegou a 750 litros/homem/dia.

Em relação à produção, segundo o relatório de Produção da Pecuária Municipal – IBGE (2012), o Brasil produziu um total de 32,3 milhões de toneladas de leite durante o ano 2012. No contexto mundial, este valor coloca o país dentro dos cinco primeiros

lugares da lista dos maiores produtores de leite, como já mencionado (USDA, 2014a). A região Sudeste do país concentra a maior produção, com 35,9% do total produzido, seguida da região Sul e Centro-Oeste com 33,4% e 14,9% respectivamente. Dentre os estados, Minas Gerais foi o principal produtor de leite com uma participação de 27,6% (IBGE, 2012).

A Figura 5 ilustra a produção brasileira de leite, bem como o número de vacas ordenhadas desde 1982 até 2012. Nas últimas três décadas, a produção brasileira de leite de vaca cresceu de forma positiva a uma taxa média de 3,4% ao ano. Porém, evidencia-se uma redução no ritmo de crescimento especialmente no ano 2011.

Figura 5 – Produção de leite e quantidade de vacas ordenhadas no Brasil (1982-2012)

Fonte: IBGE (2014). Própria autoria.

Nos últimos trinta anos, o Brasil quase triplicou sua produção, passando de 11,4 a 32,3 milhões de toneladas de leite. Da mesma forma a produtividade (litros/vaca/ano) aumentou consideravelmente passando de 699 litros/vaca/ano no ano 1982 para 1.416 litros/vaca/ano (IBGE, 2012).

O Valor Bruto da Produção Agropecuária - VBP² para o ano 2013 no Brasil foi de R\$ 447,1 bilhões. No que se refere à produção pecuária, o VBP foi de R\$ 155,4 bilhões, 34,7% do total. O leite contribuiu com R\$ 25,2 bilhões colocando-se acima da produção de suínos e de ovos, cada uma com R\$ 11,6 bilhões e R\$ 9,3 bilhões, respectivamente. O VBP do leite também foi superior a produtos agrícolas como o café e a laranja (MAPA, 2014).

A produção de leite no Brasil tem importantes vantagens para se tornar competitiva a baixo custo. Entre estas vantagens estão: as condições climáticas, a disponibilidade de terra fértil e a disponibilidade de matérias primas destinadas à nutrição dos animais. Porém, existem grandes desafios de produtividade a serem atingidos e é responsabilidade dos gestores tomar as medidas apropriadas em benefício do produtor e da qualidade do produto.

3.3 PRINCÍPIOS DE ECONOMIA

As múltiplas relações que acontecem de forma cotidiana entre o homem, os animais e a natureza em busca da sobrevivência e do bem-estar são frequentemente geridas por um denominador comum: a escassez dos recursos produtivos. Estes recursos, embora limitados, visam à satisfação das infinitas e ilimitadas necessidades humanas (GARÓFALO E PEREIRA DE CARVALHO, 1992).

Cada vez mais estas necessidades e desejos vão além das exigências fisiológicas, abordando as necessidades sociais, em busca da qualidade de vida, a satisfação dos gostos e vaidades, forçando mudanças constantes e demandando novos recursos para atender as crescentes expectativas dos seres humanos (PINHO, 1988). Como dito por Samuelson (1972) as necessidades atuais de vida, pouco têm a ver com as necessidades fisiológicas mínimas de alimentos e vestuário.

Alguns destes recursos como o ar que se respira e a luz solar, entre outros, são denominados bens livres, já que em princípio são ilimitados; mas a maioria dos recursos tem uma oferta restrita e o fato de fazer uso deles incorre de alguma maneira,

² Valor Bruto da Produção Agropecuária: Mostra a evolução das lavouras e da pecuária ao longo do ano. Calculado com base na produção da safra agrícola e da pecuária, e nos preços recebidos pelos produtores nas principais praças do país (Ministério de Agricultura, 2014)

em um custo; assim, estes recursos produtivos são denominados bens econômicos³ (SAMUELSON, 1972).

Do mesmo modo que os bens, as necessidades podem ou não ser econômicas; isto em razão de que não se pode, ou por outro lado, não é necessário, produzir bens para atender necessidades determinadas, como por exemplo, respirar. Assim, aquelas necessidades que se pode suprir com bens econômicos são denominadas, portanto, necessidades econômicas (MARTINS E NOGAMI, 2008).

Para cobrir necessidades infinitas, seriam necessárias quantidades de bens igualmente infinitas, que consigam preencher estes vazios. Isto, por conseguinte requer o uso de uma quantidade ilimitada de recursos produtivos, plausíveis de serem transformados em tais bens. Estes recursos produtivos são também chamados fatores de produção. Com base na informação de vários autores como Samuelson (1972), Garófalo e Pereira de Carvalho (1992), Rossetti (1997), Pinho (1988), Holanda (2003), Martins e Nogami (2008) podem-se definir os fatores de produção como: qualquer bem ou serviço, constituído por recursos naturais, a força de trabalho da população economicamente útil e pelas diferentes categorias do capital, os quais por meio de algum processo são transformáveis em produtos e visam à satisfação das necessidades.

Os fatores de produção são normalmente divididos em *terra, capital e trabalho* (SAMUELSON, 1972; GARÓFALO; PEREIRA DE CARVALHO, 1992; HOLANDA, 2003; PINDYCK; RUBINFELD, 2010); mas há autores que além dos três primeiros, incluem também a *capacidade empresarial* e a *tecnologia* (ROSSETTI, 1997; MARTINS; NOGAMI, 2008).

Para Samuelson (1972), tradicionalmente o fator *terra* e *trabalho* são denominados fatores primários de produção, já que são determinados fora do sistema econômico. Por seu lado o *Capital* é denominado intermediário (produzido pelo próprio sistema econômico).

³ De acordo com a classificação de Holanda (2003), os Bens econômicos podem ser ***bens de consumo*** (satisfazem diretamente as necessidades) ou ***bens de produção*** (usados para produzir bens de consumo).

O grande desafio a enfrentar é coordenar a ampla e infinita procura pelos fatores de produção em um contexto caracterizado pela sua escassez, que será fundamental na determinação do valor dos fatores de produção.

Além da escassez, outra característica importante dos bens é a sua utilidade, definida por Jeremy Bentham⁴ como a propriedade de qualquer objeto que tenda a produzir algum benefício, vantagem, prazer, bem ou felicidade; ou a impedir danos, dor, mal ou infelicidade à parte cujo interesse esteja sendo considerado (HOLANDA, 2003). Por outro lado, de acordo com Pinho (1988), a utilidade é simplesmente a capacidade que têm determinados bens ou serviços de suprir desejos, vontades, gostos ou necessidades que envolvam bens econômicos. A utilidade é outra determinante do valor dos bens. Porém, como dito acima, existem outros fatores que afetam o valor dos bens. Este fato foi claramente descrito por Adam Smith em seu livro *A riqueza das nações*. Na citada obra, Smith faz referência ao valor, em particular da utilidade de um bem, em contraste com a aptidão que tem este para ser trocado com outros bens, chamando-os de valor de utilidade e valor de troca. Assim, descreveu a seguinte relação:

Não tem uma coisa mais útil que a água, mas não tem coisa que possa dar-se por ela em troca; em sentido contrário, os diamantes têm pouca utilidade e comumente podem permutar-se por eles muitos bens de grande valor (SMITH, 1981, p. 17).

Portanto, como dito, definir o valor das coisas simplesmente por sua utilidade tem pouco sentido; para que estas possuam valor, além da utilidade, deverão serem escassas (HOLANDA, 2003). Assim, enfrenta-se ao cenário de uma disponibilidade de bens limitada pela sua escassez, com diferentes utilidades e diferentes valores atribuídos em relação a estas (PINHO, 1988). É este o objetivo das Ciências Econômicas: estudar as relações sociais que permitam de forma racional, tomar decisões ou fazer escolhas na alocação de recursos para atingir determinados objetivos (RUSHTON, 2009).

Por conseguinte, em uma economia de mercado, os interesses dos consumidores e dos produtores, por exemplo, do produtor de leite, interagem em um

⁴ Jeremy Bentham (1748-1832) foi um famoso pensador inglês nos campos da filosofia, economia e política. Associa-se a ele à escola do utilitarismo (Holanda, 2003).

ciclo que determina a atividade econômica. As teorias econômicas que tentam explicar o comportamento de consumo e produção são a Teoria do Consumidor e a Teoria da Firma, respectivamente (PINHO, 1988).

3.3.1 Teoria da produção

O processo produtivo é uma contínua interação entre as necessidades dos consumidores e a capacidade das firmas de satisfazê-las. A satisfação de um consumidor obtida pela aquisição de um produto ajuda a firma a determinar o valor de venda e a quantidade que poderá vender de determinado produto. Em consequência, a procura de fatores de produção por parte da firma para a realização de seu processo é indiretamente derivada da procura do produto final por parte do consumidor (SAMUELSON, 1972).

A título de exemplo, para a produção de leite, uma fazenda usa vários fatores de produção: i) Trabalho (inclui o trabalho dos veterinários e operários etc.); ii) Capital (inclui os equipamentos e o prédios como o local de ordenha) e iii) Terra (a fazenda como tal). Além disso, foram usadas matérias primas produzidas por outras firmas como medicamentos, silagem, sal mineral etc. Por meio de determinada tecnologia, esses fatores são combinados de tal forma que seja possível produzir o leite (MARTINS E NOGAMI, 2008).

Desta forma a firma atua em dois mercados: i) o mercado dos produtos terminados, no qual a firma aparece como fornecedora; e ii) o mercado dos fatores de produção, no qual a firma atua como compradora, com a finalidade de alcançar um determinado nível de produção, considerando maximizar o lucro. Esta oferta e procura interage e determina o valor dos fatores de produção (SAMUELSON, 1972).

A teoria da produção busca explicar a interação e o comportamento da firma em relação aos fatores de produção envolvidos no processo produtivo e como esta relação resulta na formação do preço dos fatores (SAMUELSON, 1972).

3.3.1.1 Função de produção

Tendo em conta que geralmente existem diversas possibilidades pelas quais as combinações de fatores de produção resultam em um ou vários bens ou serviços, o

empresário, determinará a tecnologia⁵ a ser usada de acordo com suas possibilidades e com uma conduta racional de maximização dos lucros em busca da eficiência.

Assim, a relação que mostra qual é a quantidade máxima de produto ou de produtos que podem ser obtidos por unidade de tempo a partir de uma dada quantidade de fatores de produção, mediante a escolha de um processo de produção adequado, se expressa por meio da *função de produção* (PINHO, 1988; MARTINS; NOGAMI, 2008).

Esta função de produção pode ser simples ou conjunta, dependendo da quantidade de produtos resultantes. No primeiro caso, o processo produtivo gera um único produto. Já na função de produção conjunta, vários produtos de igual relevância são produzidos. Sendo o caso das empresas produtoras de leite, que adicionalmente vendem novilhas de reposição.

A função de produção simples pode-se representar como (Equação 1):

$$Q = f(L, K, T) \quad (1)$$

Em que:

Q = Quantidade total produzida por unidade de tempo, para cada combinação específica de fatores;

L = Quantidade de mão de obra utilizada por unidade de tempo;

K = Quantidade do fator capital por unidade de tempo; e

T = Quantidade de fator terra utilizado por unidade de tempo.

A função de produção conjunta pode ser representada por:

$$Q_1, Q_2, Q_3 \dots = f(L, K, T) \quad (2)$$

Em que:

Q_1 = Quantidade total do produto 1, produzida por unidade de tempo, para cada combinação específica de fatores;

Q_2 = Quantidade total do produto 2, produzida por unidade de tempo, para cada combinação específica de fatores;

⁵ Segundo Holanda (2003), tecnologia é o estoque de conhecimento científico somado às experiências e habilidades humanas que caracterizam a forma pela qual os fatores de produção são combinados para produzir um bem ou serviço.

Q_3 = Quantidade total do produto 3, produzida por unidade de tempo, para cada combinação específica de fatores;

L = Quantidade de mão de obra utilizada por unidade de tempo;

K = Quantidade do fator capital por unidade de tempo; e

T = Quantidade de fator terra utilizado por unidade de tempo.

Assim, essas equações mostram a relação técnica que resulta na quantidade máxima de produto ou de produtos que podem ser produzidos, com qualquer conjunto de fatores de produção sob um determinado nível de conhecimento técnico (SAMUELSON, 1972).

3.3.1.2 Análise de curto prazo

Conforme com Pindyck e Rubinfeld (2010), ao configurar as quantidades de fatores de produção de acordo ao processo produtivo selecionado, deve-se ter em conta o tempo em que estes eventos acontecem e que terão lugar à substituição ou alteração de alguns destes fatores e reconhecer a perspectiva sob a qual a análise é realizada, seja no curto ou no longo prazo.

Portanto, refere-se ao curto prazo quando se tem uma função de produção em que pelo menos um dos fatores usados é fixo, enquanto os outros poderão ser variáveis, de maneira que só serão possíveis planos de produção (tecnologia) compatíveis com estes fatores fixos. Por outro lado, no longo prazo todos os fatores de produção são variáveis, desta forma podem-se alterar além das combinações dos fatores, a escala ou o tamanho (VARIAN; NORTON, 1992; HOLANDA, 2003).

3.3.1.3 Produto total, médio e marginal

No dia a dia as empresas se deparam com inúmeros desafios no constante esforço por manter ou melhorar sua eficiência. Decisões como comprar mais animais, aumentar a quantidade ou a qualidade da ração, ou simplesmente contratar um funcionário a mais, estão dentro das escolhas que cotidianamente são feitas e estas devem ser avaliadas e comparadas de acordo com os benefícios que se obterá após a sua inclusão na função de produção.

A fim de descrever da forma mais clara possível os conceitos de produto total, médio e marginal sob a ótica do curto prazo, se assumirá, a título de exemplo, uma

função de produção com dois fatores, trabalho e capital, admitindo que este último seja fixo e que os aumentos na produção dependerão da quantidade do fator trabalho, neste caso, o fator variável.

Desta maneira, de acordo com Holanda (2003), dado um estoque fixo de capital e conservando a mesma tecnologia, o produto total vai aumentando conforme unidades do fator trabalho são acrescentadas (Figura 6a).

Apoiando-se na mesma figura, pode-se constatar que os aumentos no produto total acontecem pelo menos inicialmente, já que ao fazer uso da oitava unidade do fator de produção trabalho, o produto total atinge o ponto máximo (ponto C). Deste ponto em diante, a produção total diminuirá à medida que unidades adicionais de trabalho são empregadas (MARTINS; NOGAMI, 2008).

O produto médio do fator variável trabalho é igual ao quociente da quantidade do produto total pela quantidade usada deste fator de produção para atingir tal produção (Equação 3).

$$PMe = \frac{Q}{L} \quad (3)$$

O produto marginal obtém-se da relação entre as variações do produto total em consequência com as variações de uma unidade do fator de produção trabalho (Equação 4) (GARÓFALO; PEREIRA DE CARVALHO, 1992; MARTINS E NOGAMI, 2008). Em outras palavras, é a produção extra, consequência do acréscimo de uma unidade daquele fator enquanto os outros permanecem constantes (SAMUELSON, 1972).

$$PMa = \frac{\Delta Q}{\Delta L} \quad (4)$$

Figura 6 – Curva de produto total (a), produto médio e produto marginal (b)

Fonte: Adaptado de: Garófalo e Pereira de Carvaho (1992), Holanda (2003) e Pindyck e Rubinfeld (2010). Própria autoria.

3.3.1.4 Lei dos rendimentos decrescentes

Considerando a função de produção que contemple fatores de produção fixos e variáveis pode-se aplicar a Lei dos Rendimentos Decrescentes. Com esta lei é possível explicar o comportamento da produção naquelas situações em que somente um dos fatores é variável e os demais são fixos.

A lei diz que à medida que se aumenta a quantidade do fator variável, enquanto os demais fatores permanecem fixos, a produção derivada de determinado processo,

inicialmente se incrementará a taxas crescentes; depois de acréscimo de certas unidades deste mesmo fator variável, a produção continuará a crescer, mas a taxas decrescentes; seguindo com o aumento da quantidade usada do fator variável, a produção decrescerá (GARÓFALO; PEREIRA DE CARVALHO, 1992).

Com base nesses conceitos, podem-se fazer algumas análises do produto total, produto médio e do produto marginal, a partir do efeito da Lei dos Rendimentos Decrescentes.

Observando-se a Figura 6a, verifica-se o comportamento da curva do produto total, a qual evidencia aumentos a taxas crescentes até encontrar o ponto de inflexão identificado como o ponto A. Este ponto coincide com o máximo valor do produto marginal do fator trabalho (Figura 6b ponto D) e também marca o fim da participação da taxa crescente na curva do produto total. Portanto, é importante ressaltar que nesta fase da curva, o produto total aumentará em proporções maiores das que foram empregadas do fator variável, em nosso caso trabalho (GARÓFALO; PEREIRA DE CARVALHO, 1992).

Seguindo a fração descendente da curva do produto marginal, encontra-se com o ponto E (Figura 6b), no qual a curva do produto marginal, corta a curva do produto médio, e é nesse nível que este último alcança seu máximo valor (HOLANDA, 2003). Além disso, de acordo com Garófalo e Pereira de Carvalho (1992), é esse ponto em que o fator variável consegue sua máxima eficiência na combinação com os outros fatores.

Após o ponto B, a curva do produto total continua seu crescimento, mas com contribuições decrescentes, até alcançar o ponto C, no qual, o produto total tem seu máximo valor. Ao mesmo tempo, a produtividade marginal do fator variável é zero, como sinalado pelo ponto F. A partir daí o produto total declina e o produto marginal será negativo à medida que novas unidades de fator variável trabalho sejam incluídas (HOLANDA, 2003). Por sua vez, Garófalo e Pereira de Carvalho (1992) concluem que a partir deste ponto, o fator de produção variável passa a ser ineficiente na função de produção.

Em que ponto da curva de produção total se deve atuar a fim de ter melhores resultados? É a pergunta que fica depois dessas explicações; mas a resposta está

condicionada ao preço dos fatores envolvidos na função de produção. Porém, pode-se afirmar que a empresa deverá atuar dentro de seu processo de escolha racional entre o ponto B e o ponto C da curva de produto total. Portanto, se o preço do fator fixo (capital) for menor em relação ao preço do fator variável, neste caso o trabalho, mais próximo do ponto B deveria se estar. Por sua vez, se o preço do fator variável (trabalho) for menor em relação ao fator fixo (capital) mais próximo do ponto C, deveria situar-se a combinação de fatores utilizada (GARÓFALO; PEREIRA DE CARVALHO, 1992).

Em outras palavras, tomando-se o segmento que tem entre o ponto B e o ponto C, a eficiência de usar o fator de produção variável será maior no início de determinado segmento, ou seja, quanto mais próximo ao ponto B. Consequentemente a maior eficiência do uso dos fatores fixos se dará próximo ao ponto C, no final do segmento B - C (RUSHTON, 2009).

Sob o ponto de vista de longo prazo, todos os fatores de produção são variáveis, portanto, a firma tem plena capacidade de alterar a quantidade de qualquer fator, de acordo com o volume, escala ou nível desejado (HOLANDA, 2003).

3.3.2 Teoria dos custos

O propósito que norteia as ações do empresário é a maximização dos lucros e todos seus esforços estão focados para isto. Assim, procurará obter a máxima produção possível por meio da combinação certa de fatores de produção com o fim de atingir este objetivo (PINHO, 1988; MARTINS; NOGAMI, 2008).

Estes fatores de produção - ou bens econômicos - têm um preço, o qual tem que ser pago pelo empresário para ter o direito de usá-los. Este preço multiplicado pela quantidade usada dos determinados fatores empregados no processo é denominado custo de produção (PINHO, 1988).

Com o pressuposto de maximizar seus lucros o empresário tem duas alternativas para alcançar este objetivo. Maximizar a produção para um dado custo total ou minimizar o custo total para um determinado nível de produção.

Além disso, os custos são importantes determinadores da quantidade de produto oferecida. Se estes foram superiores ao preço de venda, a empresa não ofereceria produto nenhum. Pelo contrário, se os custos estivessem bem abaixo do preço de

venda, seria atrativo para a empresa produzir quantidades maiores (MARTINS; NOGAMI, 2008)

Em consequência disso, os custos de produção têm uma especial relevância no mundo empresarial. Para o caso dos produtores de leite, os quais são estritamente tomadores do preço de mercado, a análise de custos de produção torna-se ainda mais importante, sendo a principal opção na procura da maximização dos lucros.

Para SAMUELSON (1972), os custos são os dispêndios necessários para a produção de determinada quantidade de produto, dados o estado de conhecimento técnico e os preços dos fatores de produção.

3.3.2.1 Classificação dos custos

Neste item é apresentada a classificação dos custos.

Custo Total: É o mínimo gasto necessário para a produção de determinada quantidade de produto, aumentando seu valor à medida que tal quantidade de produto aumenta (SAMUELSON, 1972). O custo total (CT) é dado pela soma de Custos Fixos (CF) e Custos Variáveis (CV) (Equação 5) (SAMUELSON, 1972; PINHO, 1988; MARTINS; NOGAMI, 2008; PINDYCK; RUBINFELD, 2010):

$$CT = CF + CV \quad (5)$$

Custo fixo: É o gasto que a firma tem que fazer no curto prazo tendo ou não produção. Entre estes estão: aluguéis, manutenção, depreciação etc. O CF será sempre igual, independentemente do nível de produção (MARTINS; NOGAMI, 2008).

Custo variável: É o custo que varia com o nível de produção da firma e é zero quando o nível de produção também o é. Entre estes pode-se encontrar: combustíveis, matérias primas etc. (SAMUELSON, 1972).

A figura 7 descreve o comportamento do CT o qual eleva-se enquanto as unidades produzidas aumentam. Assim mesmo observam-se a subdivisão do CT em CV e CF, esse último permanecendo constante através de todos os níveis de produção, inclusive quando a quantidade produzida é zero (SAMUELSON, 1972).

Observe-se que a curva do CV tem relação direta com a lei dos rendimentos decrescentes. Enquanto a fração de aumentos crescentes da curva do produto total domina, o CV aumenta, mas a uma taxa decrescente. Após o início da faixa de

rendimentos decrescentes o CV inicia seu crescimento com aumentos crescentes (MARTINS; NOGAMI, 2008).

Figura 7 – Custo Total; Custo Fixo e Custo Variável

Fonte: Samuelson (1972). Própria autoria.

3.3.2.2 Custo fixo médio, custo variável médio, custo médio e custo marginal

Apesar da grande importância do CT e suas divisões para a empresa, a análise de custos requer um estudo mais detalhado. Desta forma, a seguir são apresentadas algumas definições.

Custo fixo médio (CFMe): Como descrito acima, o CF é um valor constante que não é influenciado pela quantidade produzida. Em consequência o valor do CFMe (Equação 6) será sempre decrescente. Em outras palavras, cada nova unidade de produto responde por uma parcela menor do CF (SAMUELSON, 1972; MARTINS; NOGAMI, 2008).

$$CFMe = \frac{CF}{Q} \quad (6)$$

Custo variável médio (CVMe): Em razão a que o CV inicia de zero e varia conforme aumenta a produção, o CVMe (Equação 7) decrescerá inicialmente até um ponto mínimo, onde iniciará o aumento (SAMUELSON, 1972).

$$CVMe = \frac{CV}{Q} \quad (7)$$

Custo médio (CMe): É custo por unidade de produto. O CMe (Equação 8) será igual ao CT quando seja produzida a primeira unidade. Após isso, o CMe cairá, à medida que o CF vai sendo diluído pela adição de novos produtos até atingir um valor mínimo, e sobe lentamente em consequência do aumento do CV (SAMUELSON, 1972; MARTINS; NOGAMI, 2008).

$$CMe = \frac{CT}{Q} \quad (8)$$

Custo marginal (Cmg): Refere-se ao custo adicional que o empresário tem que pagar para produzir uma unidade extra de produto. Inicialmente o valor cai e após sobe, tomando forma de “U” (Equação 9) (SAMUELSON, 1972).

$$Cmg = \frac{\Delta CT}{\Delta Q} \quad (9)$$

Sendo ΔCT a variação no custo total e ΔQ a variação da quantidade produzida.

Para um melhor entendimento dos conceitos acima apresentados, a Figura 8 ilustra o comportamento dos diferentes itens do custo.

Samuelson (1972) afirma que os custos e os rendimentos de produtividade, sendo estes crescentes ou decrescentes, constituem lados opostos da mesma relação.

Em um cenário de curto prazo, em que o valor de determinados fatores são constantes, a única razão pela qual teriam que variar os custos, seria pela queda do produto marginal em relação à adição extra de um fator de produção. Em outras palavras, quando esta se observando a lei dos rendimentos decrescentes (SAMUELSON, 1972).

Por outro lado, no longo prazo, onde não há fatores fixos e todos podem ser aumentados proporcionalmente, a produção final crescerá na mesma proporção em que os fatores de produção sejam aumentados; demonstrando assim a existência de rendimentos constantes de escala (SAMUELSON, 1972).

Desta forma observa-se como a curva do Cmg, CMe e CVMe evolui em forma U, inicialmente declinando até chegar a um ponto mínimo para depois se elevar. Além disso, é importante mencionar que o Cmg corta as curvas de CMe e de CVMe em seus mínimos valores, isto acontece nos pontos A e B da figura 8. Portanto, no ponto em que

estas curvas sejam cortadas pelo Cmg, seus valores serão iguais ao de Cmg. Por outro lado, a curva do CFMe tem um comportamento sempre decrescente (MARTINS; NOGAMI, 2008).

Figura 8 – Curvas Custo Fixo Médio; Custo Variável Médio; Custo Médio e Custo Marginal

Fonte: Samuelson (1972). Própria autoria.

No caso da produção de leite, enquadrada em um modelo de concorrência perfeita, o fato de conhecer o custo de produzir uma unidade extra de produto - ou seja, conhecer o Cmg - tem uma relevante importância para o empresário rural, já que com base em esta informação pode decidir a quantidade a oferecer a cada diferente preço do mercado (SAMUELSON, 1972).

Assim, tendo em conta que o objetivo do empresário é maximizar seu lucro e que este lucro é a diferença entre a receita total - pela venda de seus produtos - e o custo de produção; a condição de maximização de lucro será confirmada quando a receita extra do produto marginal seja igual que o custo extra do produto marginal (SAMUELSON, 1972).

A receita extra é o preço por unidade e o custo extra é o custo marginal. Portanto, o lucro será maximizado, quando o Cmg seja igual ao preço por unidade (SAMUELSON, 1972).

3.3.3 Método do fluxo de caixa para análise de viabilidade econômica

A dinâmica de mercado traz inúmeros desafios de competição que exigem das empresas constantes inovações. Estas inovações, traduzidas como novos processos, tecnologias, equipamentos etc., requerem decisões que incluem mobilização de recursos. O objetivo dos responsáveis pela administração das empresas é a avaliação destas decisões de investimento, sempre em procura de lucro para o empresário (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

A comparação de resultados com as metas previamente estabelecidas é possível através de projeções, simulando diferentes cenários e avaliando impacto destes sobre os resultados do projeto. Estas comparações permitem, a um baixo custo, perceber as consequências das decisões de investimento (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

Segundo Bordeaux-Rêgo *et al.* (2008), o fluxo de caixa é o método mais utilizado para a análise de investimento, sendo dependente da projeção de fluxos, da estimativa do valor residual e da determinação da taxa de desconto.

O fluxo de caixa de um investimento consiste na relação entre as entradas e saídas de dinheiro do caixa para períodos determinados, relativo a um eixo que representa a duração do projeto (NUNES, 2012). Segundo Nunes (2012), os fluxos de caixa são uma ferramenta para avaliar projetos com base em valores estimados de acordo a informações atuais.

Os fluxos de caixa são geralmente representados como uma linha horizontal com setas para cima e para baixo. As setas para cima significam um valor positivo correspondente a uma entrada ou recebimento. Por outro lado, a setas para baixo indicam valores negativos, uma saída ou aplicação de caixa (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

Esses fluxos de caixa são classificados segundo a distribuição das entradas e saídas, sendo fluxo de caixa convencional, aquele fluxo que representa uma saída inicial, seguida de uma série de entradas (Figura 9). Por sua vez, o fluxo não convencional caracteriza-se por uma saída inicial, seguida de uma série de entradas e saídas não uniformes (Figura 10) (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

Figura 9 – Fluxo de caixa convencional

Fonte: Bordeaux-Rêgo *et al.*(2008). Própria autoria.

Figura 10 – Fluxo de caixa não convencional

Fonte: Bordeaux-Rêgo *et al.*(2008). Própria autoria.

O fluxo de caixa é composto por: investimento inicial (saída no período 0); os fluxos de caixa operacionais, que são o resultado operacional da empresa (receitas menos custos) e o fluxo de caixa não operacional que acontece ao final do projeto (valor não depreciado dos ativos e o capital de giro) (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008). Além disso, também compõem o fluxo de caixa, a taxa de juros (que representa o valor do dinheiro no tempo); os períodos de tempo em que será executada a análise (semanas, meses anos, etc.), e por último a escala de tempo ou duração do projeto (GUIDUCCI, FILHO E MOTA, 2012).

3.3.3.1 Técnicas de análise de fluxo de caixa

Quando o produtor se depara com diferentes alternativas de investimento, cada uma delas com suas respectivas vantagens e desvantagens, a tomada de decisão torna-

se mais dispendiosa e complexa. Portanto, se faz necessário estabelecer critérios objetivos, que possam segregar os fluxos de caixa e desta forma tomar a melhor decisão (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008; NUNES, 2012).

Esses critérios são denominados indicadores de viabilidade econômica, técnicas de análise de projetos ou métodos de análises e seleção de projetos. Seu objetivo é confrontar os fluxos de caixa dos projetos, com o fim de obter uma estimativa dos resultados gerados frente ao investimento realizado e assim escolher a melhor opção. Apresenta-se a seguir a definição conceitual de alguns deles.

3.3.3.2 *Payback*

O tempo necessário para a recuperação de um investimento é usado como um indicador na análise de projetos. Além disso, associa-se que quanto maior o tempo de recuperação do capital investido, via de regra maior é o risco do investimento (GUIDUCCI, FILHO E MOTA, 2012).

Assim, o *Payback* é um indicador que considera o tempo que leva recuperar o capital investido (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008). Os fluxos de caixa líquidos gerados são adicionados ao valor aplicado até atingir o ponto de equilíbrio. Isto acontece quando os fluxos de caixa positivos (ingressos) anulam os fluxos de caixa negativos (investimentos) (GUIDUCCI; FILHO; MOTA, 2012).

O *Payback* é comparado com o tempo máximo de recuperação do capital desejado pelo investidor, quando for inferior ao período estabelecido, há um indicativo da viabilidade do projeto (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008; GUIDUCCI; FILHO; MOTA, 2012).

3.3.3.3 Valor presente líquido (VPL)

O VPL permite trazer ao valor presente, a somatória de todos os fluxos de caixa estimados para cada período, usando para isto, a melhor taxa disponível no mercado (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008; GUIDUCCI; FILHO; MOTA, 2012). É dado pela equação 10:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+r)^t} \quad (10)$$

Onde:

I = Investimento inicial;

FC_t = Fluxo de caixa líquido no tempo t ; e

r = Custo do capital definido pela empresa.

O VPL leva em conta quatro variáveis importantes no cálculo: i) o valor investido; ii) quanto gera no fluxo de caixa; iii) quando o fluxo de caixa deve ocorrer; e iv) o risco (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

O resultado pode ser interpretado da seguinte forma: $VPL > 0$, o projeto é aceito; $VPL = 0$, é indiferente aceitar ou não; e $VPL < 0$, o projeto deve ser rejeitado (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

3.3.3.4 Taxa interna de retorno (TIR)

Como descrito por Guiducci, Filho e Mota (2012), a TIR é a taxa que iguala a somatória dos fluxos de caixa ao valor do investimento. Em outras palavras a TIR, é a taxa de desconto que torna o VPL nulo (BORDEUX-RÊGO *et al.*, 2008).

Esta taxa irá ser comparada com a taxa que apresentas a melhor oportunidade de investimento no mercado. O projeto será atrativo enquanto que a TIR for maior ou igual que a taxa de juros considerada (GUIDUCCI; FILHO; MOTA, 2012). A TIR é representada pela equação 11.

$$VPL = \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + p^*)^t} = 0 \quad (11)$$

Onde:

FC_t = Fluxo de caixa líquido no tempo t ;

p^* = É a TIR

A figura 11 descreve o VPL em função de uma taxa de desconto. A medida que a taxa aumenta o VPL diminui até tornar-se nulo. Este ponto em que o VPL é 0, corresponde à TIR.

Figura 11 – Evolução do VPL em relação à taxa de desconto

Fonte: Bordeaux-Rêgo et al. (2008). Própria autoria.

A interpretação dos resultados da análise por meio da TIR pode ser resumida da seguinte forma: i) Se o custo de capital ou a taxa de juros considerada é menor que a TIR, o projeto deve ser aceito ($VPL > 0$); ii) Se o custo de capital ou a taxa de juros considerada é igual que a TIR, a aceitação ou não do projeto é indiferente ($VPL = 0$); iii) Se o custo de capital ou a taxa de juros considerada é maior que a TIR, o projeto deve ser rejeitado ($VPL < 0$) (BORDEUX-RÊGO et al., 2008).

O sucesso das empresas encontra-se em sua capacidade para se acomodar às condições variáveis do mercado e aproveitar os recursos disponíveis, assim obtendo o máximo lucro possível. Isto implica a constante avaliação de opções, como a compra de novos animais, novos equipamentos, procedimentos, tecnologias entre muitas outras, cada uma com suas vantagens e desvantagens.

As técnicas acima descritas são suporte ao processo de tomada de decisão, auxiliando ao gestor a fazer a melhor escolha sob critérios objetivos. Na prática, estas técnicas são muito usadas, devido à sua relativa simplicidade e ao importante valor de seu diagnóstico. Segundo o estudo de Graham e Harvey (2001), o 75% dos CFOs (do inglês: *Chief Financial Officer*, diretores financeiros) de 392 das maiores empresas norte-americanas, usam o VPL e a TIR ao decidir que projetos ou aquisições fazer.

Assim, pode-se observar a aplicabilidade dessas técnicas tanto em firmas pequenas como nas de grande porte.

3.3.4 Modelos matemáticos como auxílio na tomada de decisão

A produção bovina de leite está inserida em um complexo sistema em que interagem diversos fatores dentro de ciclos produtivos longos. Essas características contribuem para que o processo de tomada de decisão seja mais difícil e na grande maioria dos casos baseada na intuição.

Um modelo de simulação é uma abstração física ou matemática da realidade de um sistema, o qual tem a capacidade de suportar as principais interações e refletir o comportamento do sistema estudado. Além disso, é possível fazer alterações nas variáveis e parâmetros, e avaliar seus resultados, com o fim de prever as consequências (LOVATTO; SAUVANT, 2001).

Os modelos podem ser classificados em físicos, conceituais e matemáticos (DE MEDEIROS, 2003). Espitia (2012), classificou os modelos matemáticos da seguinte maneira:

- Modelos dinâmicos: que têm como referência o tempo, e predizem como as quantidades mudam com respeito a ele;
- Modelos estáticos: o tempo não é levado em conta e as considerações são feitas em um intervalo de tempo específico;
- Modelos estocásticos: incorporam o risco e associam distribuições de probabilidade, incluindo elementos aleatórios no modelo; e
- Modelos determinísticos: os valores das variáveis são constantes e expressam o valor médio da população. Mantendo os dados de entrada constantes, os valores de saída serão também constantes, sem importar as vezes que o modelo seja processado (DE MEDEIROS, 2003).

A decisão sobre o tipo de modelo utilizar e sua complexidade está condicionada ao objetivo para o qual é construído e à disponibilidade de informações necessárias para fazê-lo (CEZAR, 1982).

3.4 INFLUÊNCIA DA REPRODUÇÃO NA ECONOMIA DO REBANHO LEITEIRO

O sucesso econômico dos empreendimentos leiteiros, de modo como acontece com outros sistemas produtivos, é consequência da interação de uma série de variáveis que se afetam mutuamente (CABRERA, 2014). As condições do meio ambiente, nutricionais, sanitárias, reprodutivas e de gestão estão dentro das mais estudadas.

O desempenho reprodutivo e seus resultados podem ser indicador da situação geral do sistema produtivo. A partir desses resultados, é possível estabelecer algumas conclusões, principalmente do status nutricional e sanitário da fazenda. Em outras palavras, só após as exigências nutricionais e de saúde mínimas serem satisfeitas, a reprodução poderá ser eficiente. Desta forma, o impacto da reprodução e suas diferentes estratégias sobre os resultados econômicos das propriedades leiteiras têm sido objeto de estudo de vários pesquisadores no intuito de encontrar a técnica, ou combinação de técnicas mais eficiente, que permitam melhorar a situação econômica das empresas pecuárias (DE VRIES, 2006; DE VRIES, 2007; LIMA *et al.*, 2010; DE VRIES; VAN LEEUWEN; THATCHER, 2011).

As biotecnologias reprodutivas têm surgido como ferramentas importantes para melhorar a reprodução do rebanho leiteiro. Porém, sua aplicação comercial dependerá das características próprias de cada fazenda. Nos rebanhos comerciais, as biotecnologias que são mais empregadas comumente são a inseminação artificial, a sincronização do ciclo estral, a inseminação artificial a tempo fixo (IATF) e o emprego de sêmen sexado. A seguir serão descritas cada uma delas e seus possíveis impactos sobre o rebanho leiteiro.

3.4.1 Inseminação Artificial (IA)

Consiste no depósito de espermatozoides viáveis no interior do trato reprodutivo da fêmea, por meio de instrumentos especializados, substituindo a cópula. No gado, esta técnica é realizada empregando espermatozoides crio-preservados em palhetas, o que permite o emprego de sêmen de touros que não se encontram dentro do rebanho. O emprego da IA resultou em relevantes avanços na pecuária bovina de corte e leite, principalmente no controle de doenças de transmissão sexual, melhoramento genético

e conseqüentemente, aumento da produção (OVERTON, 2005; PENTEADO *et al.*, 2005). Além disso, particularmente em gado de corte, esta técnica permitiu que em países tropicais se obtivessem maiores ganhos na produção pelo uso de touros de raças (por exemplo, Aberdeen angus) que em condições normais não poderiam ter sido usados, em razão das características climáticas e sanitárias principalmente (BARUSELLI *et al.*, 2006).

Não obstante o uso desta técnica trouxe desafios importantes no que concerne à eficiência reprodutiva. Em gado de corte, fatores como os erros na detecção de cio, o anestro pós-parto, o tamanho da fazenda e a quantidade de animais por lote, influenciam os resultados da prenhez por IA das fêmeas (SÁ FILHO *et al.*, 2013). Por sua vez na pecuária leiteira, o aumento da produção de leite está associado à diminuição da duração do cio e, por conseguinte, à diminuição da taxa de prenhez ao primeiro serviço. Além disso, as doenças de produção como mastite, laminite e endometrite associam-se à diminuição da fertilidade (DOBSON *et al.*, 2008).

O uso da IA em gado de corte é limitado, devido em parte às características descritas anteriormente. Em estudo feito entre os anos 2007 e 2008 nos Estados Unidos, evidenciou-se que a IA foi usada como método de reprodução em somente 3,9% das novilhas e em 1,1% das vacas de corte (NAHMS, 2009). Enquanto que no gado de leite, a IA foi utilizada em 57,1% das novilhas e em 54,7 das vacas (NAHMS, 2009).

Importantes avanços no entendimento da fisiologia reprodutiva da vaca têm desenvolvido alternativas, como a sincronização do ciclo estral e a inseminação artificial em tempo fixo (IATF), que permitem o uso da IA com resultados satisfatórios e, desta forma, aproveitar as vantagens econômicas, produtivas e sanitárias que esta biotecnologia possibilita (BÓ; BARUSELLI; MAPLETOFT, 2013).

3.4.2 Sincronização de cios e inseminação em tempo fixo

O uso da IA sob o sistema de detecção de cio diminui a eficiência reprodutiva desestimulando a adoção de uma das técnicas de maior impacto na produção pecuária. A taxa de detecção de cios (DC) é um fator muito importante, já que a taxa de prenhez

(TP) é o resultado da DC, multiplicada pela taxa de concepção (TC). Assim, $TP = DC \times TC$ (CHEBEL *et al.*, 2004; GALVÃO *et al.*, 2013).

Desde 1930, com o descobrimento dos hormônios e sua função, o homem tem tentado intervir na atividade reprodutiva das vacas, visando reunir osaios em curtos períodos de tempo e assim inseminar as vacas de forma mais fácil, ainda em rebanhos manejados extensivamente, como ocorre na maioria dos sistemas produtivos de América do Sul (BÓ; BARUSELLI; MAPLETOFT, 2013).

A IATF consiste em manipular farmacologicamente o ciclo reprodutivo de um grupo de vacas fazendo com que estas apresentem o cio e, ainda mais importante, ovulem em um tempo predeterminado (BÓ; BARUSELLI; MAPLETOFT, 2013). Desde 1990, uma grande variedade de protocolos hormonais vem sendo disponibilizada no mercado, todos com a finalidade de sincronizar o momento da ovulação e, conseqüentemente, o momento da inseminação (BARUSELLI *et al.*, 2006).

Através da IATF a produção pecuária pode aproveitar os benefícios da IA, gerando resultados que incluem: temporada mais curta de partos, maior uniformidade na produção de bezerros, a antecipação de partos durante a estação de parição (RODGERS *et al.*, 2012). Além disso, o uso de IATF fornece datas conhecidas de serviço, o que pode facilitar a gestão da vaca seca devido a datas mais precisas dos nascimentos esperados (VISHWANATH, 2003; OVERTON, 2005). Esta técnica pode ser vantajosa pela redução de custos, em parte devido à aquisição, manutenção e manejo de menos touros e à diminuição dos riscos para os funcionários da fazenda, derivados do manejo destes animais (VISHWANATH, 2003). No entanto, a principal vantagem da técnica está relacionada ao melhoramento genético e produção de animais mais eficientes (BARUSELLI *et al.*, 2012).

Em estudo desenvolvido por PENTEADO (2005), usando vacas de corte da raça Nelore no Brasil, foram obtidas taxas de prenhez ao final dos 90 dias de estação de monta de 92,7% e 83,2%, respectivamente para IATF e a monta natural (MN). Além dos oito pontos percentuais a mais do incremento na TP, as vacas que foram submetidas à IATF anteciparam-se 22 dias à concepção, o que de fato é importante, já que essas vacas pariram antes e, por conseguinte, os bezerros foram desmamados mais pesados em razão à diferença de idade com os bezerros provenientes das outras estratégias

reprodutivas. Por sua vez, Cartmill *et al.* (2001), compararam o desempenho reprodutivo de vacas leiteiras submetidas a IA ou IATF. A TP obtida foi, respectivamente, de 17,9% e 33,3% para IA e IATF. Dessa forma, evidenciou-se a importância da IATF como ferramenta para melhorar os parâmetros reprodutivos em fazendas leiteiras.

3.4.3 Sêmen sexado

Empregando a tecnologia de separação de células, é possível a separação dos espermatozoides com conteúdo de cromossomos X e Y, que darão como resultado crias fêmeas e machos, respectivamente. Com o avanço comercial desta tecnologia, o produtor de leite tem a possibilidade de alterar a proporção de machos ou fêmeas conforme seus objetivos comerciais com, por exemplo, produzir uma oferta maior de novilhas de reposição com uma qualidade superior, ou obter uma proporção maior de machos e assim aumentar a produção de carne (CHEBEL *et al.*, 2010).

Apesar dos recentes avanços tecnológicos a favor da fertilidade do sêmen sexado, esta ainda é baixa, quando comparada com a fertilidade do sêmen convencional (SÁ FILHO *et al.*, 2012). Em geral, a prenhez obtida pela IA com sêmen sexado é aproximadamente 70% da obtida pelo sêmen convencional (CHEBEL *et al.*, 2010). Esse valor pode ser condicionado às características individuais de cada fazenda (CHEBEL *et al.*, 2010), razão pela qual é importante levar tal fator em consideração na hora da tomada de decisão de implementar seu uso em rebanhos comerciais.

3.4.4 Interação da reprodução com a economia do rebanho

As análises e avaliações das estratégias reprodutivas vão além dos investimentos para cada uma delas, os quais na maioria dos casos são de fácil comparação, como o sêmen, hormônios e mão de obra. Como descrito por LeBlanc (2007), a estratégia reprodutiva, seja ela bem sucedida ou não, modifica a dinâmica do rebanho, alterando as taxas de descarte e a oferta de animais de reposição, entre muitas outras características, gerando prejuízos ou benefícios, que por sua vez podem ser maiores que os simples custos de implementação da técnica.

As vantagens econômicas mais expressivas, decorrentes da melhora na eficiência reprodutiva são: o aumento da proporção de vacas na parte mais rentável da curva de lactação; a diminuição dos descartes por falhas reprodutivas; e o aumento da oferta de animais de reposição (LEBLANC, 2007).

Overton (2006) afirma que o programa reprodutivo empregado exerce maior impacto sobre os lucros das fazendas, por meio do aumento ou diminuição da produção de leite. A estratégia reprodutiva tem a capacidade de condicionar a localização dos animais, pelo menos a maior parte deles, em determinada região da curva de lactação.

Na medida em que o intervalo parto-concepção diminui, maior proporção do total do rebanho vai se localizar no início da curva de lactação, tendo uma produção individual média maior e, por conseguinte, um incremento na produção total do rebanho. Essa produção adicional, conseguida a partir de mudanças no esquema reprodutivo e não como resultado de novos investimentos, como a compra de animais adicionais, é também chamada de produção marginal de leite, e de acordo com LeBlanc (2007) é a forma mais eficiente de aumentar a rentabilidade por meio do manejo.

Já o descarte é definido como a saída de animais do sistema produtivo, seja esta por venda, abate ou morte. Esse fluxo de animais é chamado também de reposição, uma vez que, na maioria dos casos, cada vaca que é eliminada, é substituída por uma nova (FETROW; NORDLUND; NORMAN, 2006). Para Bascom e Young (1998) a taxa de descarte ótima, desde o ponto de vista da rentabilidade da fazenda, deve se situar entre 25% e 30%, sendo esse valor direcionado pela interação entre: os custos de criação das novilhas, os valores de descarte das matrizes e o potencial genético dos animais ingressantes, em relação com os que estão deixando o rebanho (SHALLOO; CROMIE; MCHUGH, 2014). Contudo, a tendência dos últimos anos mostra um aumento das taxas de descarte, principalmente para rebanhos de alta produção (PINEDO; DE VRIES; WEBB, 2010).

São diversas as causas pelas quais as vacas deixam as fazendas, entre elas pode-se citar a mastite, as mortes e a baixa produção de leite. Entretanto, diversos estudos concordam que a reprodução é uma das razões principais (BACOM; YOUNG, 1998; FETROW; NORDLUND; NORMAN, 2006; PINEDO; DE VRIES; WEBB, 2010).

Em estudo desenvolvido na região Nordeste nos Estados Unidos no ano 1995, falhas na reprodução foram a causa de 20% do descarte total de vacas (BASCOM; YOUNG, 1998). Já na pesquisa feita por Pinedo (2010) com vacas holandesas, as falhas reprodutivas foram a segunda causa de saída com, 17,7%. A reprodução, como a causa de saída das matrizes das fazendas leiteiras, torna-se ainda mais importante ao se levar em consideração que nos últimos 50 anos as vacas diminuíram sua fertilidade enquanto a produção de leite aumentou (SARTORI; BASTOS; WILTBANK, 2009), incrementando assim as taxas de descarte.

Segundo LeBlanc (2007), parte importante do impacto econômico da reprodução em rebanhos leiteiros, está no custo de oportunidade associado à decisão de descartar uma matriz. Quando esta decisão é tomada antes de aproveitar todo o potencial da vida útil dessa vaca, pela incapacidade de torná-la prenha, os prejuízos econômicos aumentam.

Finalmente, o ingresso de maior quantidade de animais ao sistema, como resultado de programas reprodutivos exitosos é outro ponto relevante. O aumento dos nascimentos de machos, geralmente vendidos dias após do nascimento, representa uma clara fonte do incremento da renda mensal. Por outro lado, as bezerras em sua maioria retidas, em princípio, não representam um ingresso líquido de recursos, porém são de grande valor para a fazenda. A maior oferta de bezerras em um rebanho estável permitirá no futuro maior pressão de seleção, possibilitando a eliminação dos indivíduos menos produtivos e elevando as médias de produção do rebanho (OVERTON, 2006).

Um dos principais inconvenientes na implementação bem sucedida dos programas reprodutivos é a falta de clareza por parte dos pecuaristas e consultores em relação ao tempo de retorno dos investimentos. Os benefícios só estarão disponíveis, no mínimo 12 meses após de ter realizado com sucesso o programa reprodutivo, quando as vacas nas quais se investiu atingirem o pico de produção na lactação seguinte. Além das despesas em sêmen, hormônios etc., a quantidade de vacas descartadas por motivos reprodutivos diminuirá e, por conseguinte o fluxo de dinheiro proveniente da sua venda também. Adicional a isto, é possível que uma melhora nas instalações e maior quantidade de alimento sejam necessárias para atender um grupo maior de animais durante o parto (LEBLANC, 2007). Todos esses

efeitos devem ser de total conhecimento dos envolvidos na gestão dos programas, para que as análises sejam realizadas de forma objetiva, usando as ferramentas corretas e levando em consideração as variáveis envolvidas, tanto nos investimentos como nos resultados futuros.

3.4.5 Análises econômicas relacionadas à reprodução

No ano 1992, Pankowsk *et al.* (1995) desenvolveram estudo em vacas holandesas com o objetivo de testar diferentes esquemas de administração de prostaglandinas. Os cientistas concluíram que, comparado com o programa tradicional, o uso de prostaglandinas no pós-parto não alterou o desempenho reprodutivo, mas diminuiu os custos de produção.

Na revisão feita por Cabrera (2014), são sinalizados importantes pontos de relevância no desempenho econômico das propriedades leiteiras. O autor salienta que os ganhos econômicos das fazendas leiteiras seguem a lei dos rendimentos decrescentes, sendo esses ganhos maiores enquanto os resultados reprodutivos são baixos. Em cenários com resultados reprodutivos altos, os ganhos continuam seu crescimento, mas a taxas menores. Assim, incrementar um ponto porcentual na TP em um intervalo de 10% a 15% em 21 dias, aumentará o retorno econômico líquido em \$14,40/vaca por ano. Já este valor será de US\$ 3,20, quando o aumento na TP ocorrer de 35% a 40%.

Outros assuntos interessantes são os fatores que dão origem ao aumento dos retornos econômicos. Estes dependerão do nível de desempenho reprodutivo e da fazenda. Desta forma, em fazendas com desempenhos reprodutivos deficientes (entre 10% e 15% de prenhez em 21 dias), os incrementos poderiam ser resultado da diminuição das taxas de descarte por motivos reprodutivos. Já em rebanhos mais eficientes (entre 25% a 30% de prenhez em 21 dias), as causas do aumento do ingresso seriam principalmente o incremento na produção de leite e a oferta de bezerros (CABRERA, 2014).

Shalloo, Cromie e McHugh (2014), apoiados em um modelo de simulação estocástica, observaram o efeito econômico de diferentes variáveis associadas à

ineficiência reprodutiva. Entre várias observações, foi possível observar que ao aumentar a taxa de descarte de 18% para 28%, a rentabilidade da fazenda diminuiu aproximadamente 23%. Quando o número médio de serviços (IA) por concepção, aumentou de 1,77 para 2,27, a rentabilidade da fazenda caiu 3,6%.

Hinde *et al.*, (2014), após de analisarem 2,39 milhões de lactações de 1,49 milhões de vacas leiteiras, concluíram que lactações seguidas de gestação de fêmea produziam maior quantidade de leite, quando comparado com as lactações seguidas de gestações de macho. Usando esses resultados e apoiados em um modelo de simulação, Ettema e Østergaard (2015) encontraram que a implicação econômica de usar o sêmen sexado em 100% das novilhas e 50% das vacas de primeiro parto, geraria aumento nos ingressos de € 9,90 por vaca/ano.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido em duas etapas. Primeiro, com o auxílio de uma planilha eletrônica do Microsoft® Office Excel® (Versão 2010), foi desenvolvido um modelo determinístico, estruturado em períodos de 21 dias, em 25 anos, para calcular a conformação do rebanho. Dados produtivos, reprodutivos e econômicos provenientes da literatura foram usados a fim de criar o perfil definitivo sobre o qual foram realizadas as análises e simulações. Posteriormente foram feitas as simulações e realizadas as avaliações econômicas de acordo com os cenários usados e a estratégia reprodutiva empregada.

4.1 MODELO DE SIMULAÇÃO

Para facilitar a compreensão, a planilha foi dividida em dois grupos principais, contendo basicamente dois tipos de informações: entradas e saídas. Nas entradas encontram-se: os parâmetros zootécnicos, os custos por categoria, custos reprodutivos, mão de obra e os investimentos. Essas são informações fornecidas pelo usuário e necessárias pelo modelo para fazer os cálculos. Já nas saídas encontram-se: o fluxo de inventário, receitas, despesas e análise do fluxo de caixa. Os resultados gerados pelo modelo são produto da interação das equações com as entradas fornecidas pelo usuário.

4.1.1 Entradas do modelo

4.1.1.1 Parâmetros zootécnicos

Parâmetros produtivos e reprodutivos obtidos junto à literatura especializada foram levados em conta para fazer os cálculos. Os parâmetros produtivos usados foram: i) % de mortalidade dos bezerros; ii) % de mortalidade das bezerras (< 1 ano); iii) % de novilhas prenhes para a venda; iv) % de descarte de matrizes; v) % de mortalidade de animais adultos; vii) % de mortalidade de vacas em lactação; viii) produção de leite/dia; e ix) % de bezerros para a venda.

Os parâmetros reprodutivos usados foram: i) % de detecção de cio em novilhas; ii) % de concepção em novilhas; iii) % de detecção de cio em vacas; iv) % de concepção em vacas; v) % da relação macho – fêmea após do uso de sêmen sexado ou convencional; vi) % de perdas de gestação em novilhas < 90 dias; vii) % de perdas

de gestação em novilhas > 90 dias; viii) % de perdas de gestação em vacas < 90 dias; e ix) % de perdas de gestação em vacas > 90 dias.

4.1.1.2 Custos por categoria

Para cada categoria de animais foram calculados custos médios anuais para os itens de alimentação, sanidade, manejo e reprodução. Com o fim de obter os valores por período (21 dias), o custo anual foi dividido por 17. No momento de fazer o cálculo do custo dos animais em um período, por exemplo, das vacas em lactação para o período 1, a quantidade de vacas em lactação será multiplicada vezes 1/17 do custo anual para vacas em lactação (alimentação, sanidade, manejo e reprodução).

Uma planilha adicional para os custos reprodutivos foi elaborada, levando em consideração preços de equipamentos, acessórios, sêmen e protocolos de sincronização.

Adicionalmente, as necessidades de mão de obra foram calculadas de acordo com a produção de leite e a produtividade em litros de leite/homem/dia.

4.1.1.3 Preços dos produtos

Preços comerciais para os seguintes produtos foram usados no cálculo de entradas do modelo: i) valor do litro de leite; ii) valor das vacas de descarte; iii) valor dos bezerros (<10 dias de idade); iv) valor de novilhas prenhes; e v) valor de fêmeas de engorda.

4.1.1.4 Investimentos

Foram considerados como investimentos os animais, as instalações e os equipamentos no período 0 do fluxo de caixa. Assim os animais já existentes foram valorados e considerados como investimento inicial.

4.1.2 Saídas do modelo

4.1.2.1 Fluxo de inventario

Com base na interação de equações matemáticas, foram descritos os processos que integram a dinâmica de composição de um rebanho para produção de leite, e desta forma, estabelecido o inventário de animais por categoria e por período. As categorias consideradas foram: i) vacas em lactação (VL); ii) vacas em lactação prenhes (VLP); iii) vaca em lactação descarte (VLD); iv) cria macho (CM); v) cria fêmea (CF); vi) novilha

(N); vii) novilha prenha (NP); viii) fêmea jovem (FJ); e ix) fêmea de engorda (FE). Nas categorias VL, VLP, N e NP são consideradas subgrupos dentro de cada categoria (por exemplo: VL_1 , VL_2 , VL_n), especificamente 7 subgrupos para as vacas e 5 para as novilhas, isto devido ao número (n) de inseminações permitido para cada categoria.

O estudo analisou períodos com um intervalo de 21 dias, visando retratar o ciclo reprodutivo da fêmea bovina. Foram calculados 425 períodos, o correspondente a 25 anos aproximadamente (o modelo assume que 1 ano = 17 períodos, de modo que 17 vezes 21 dias resulta em 357 dias; assim 425 períodos = 25 anos). Cada período tem uma existência inicial, entradas e saídas durante os 21 dias, e finalmente uma existência final. Para todos os casos, a existência final de um período será a existência inicial do próximo e assim sucessivamente.

Nesse fluxo de inventário são descritos os processos do ciclo produtivo de uma fêmea bovina (partos, reprodução, lactação, período seco, mortes) por meio de equações matemáticas, com o fim de estabelecer a quantidade de animais dentro desse período para cada categoria.

4.1.2.2 Descrição do ciclo produtivo considerado no modelo

O presente modelo pretende representar a realidade de um sistema de produção bovina de leite, com vacas da raça Holandesa, com o objetivo de manter aproximadamente 100 vacas em lactação permanentemente.

O ciclo biológico considerado para o modelo matemático começa após do nascimento dos bezerros (CM) e bezerras (CF). Nesse ponto todos os CM são vendidos, portanto não são mais considerados. Por outro lado, CF ficam durante 3 períodos (63 dias) em esta categoria e posteriormente passam para a categoria de fêmeas jovens (FJ), na qual ficam 14 períodos (294 dias) (Figura 12a). Ao finalizar essas duas categorias, as fêmeas já têm quase um ano de idade (17 períodos) e passam para a próxima categoria, denominada de novilhas (N). Nessa categoria os animais entram no programa reprodutivo. Assume-se que as novilhas têm 5 oportunidades (inseminações) para ficarem gestantes. Após de 5 tentativas sem sucesso, as fêmeas passam a fazer parte dos animais de descarte, denominados de fêmeas de engorda (FE). Já as N gestantes, indiferentemente do momento em que conseguiram a gestação (1, 2, 3, 4 ou 5 tentativas), passam para a categoria de

novilhas prenhas (NP). Nessa categoria ficam por 14 períodos (294 dias) até o momento do parto (Figura 12b). Então entram na categoria de vaca em lactação (VL), quando inicialmente permanecem por 3 períodos (63 dias), considerados como o período de espera voluntário. Após, inicia o programa reprodutivo nas VL, as quais têm 7 oportunidades para ficarem gestantes. Após de 7 tentativas (inseminações), a fêmea que não ficou prenhe, passa a fazer parte dos animais de descarte, denominados de FE. As VL que conseguiram a gestação, independentemente do momento em que aconteceu, passam para a categoria de vacas em lactação prenhas (VLP) e ficam nesta categoria por 14 períodos (294 dias), contados desde o momento em que ficaram gestantes. Logo após, essas fêmeas entram na categoria de vacas secas (VS), na qual permanecem 3 períodos (63 dias). Finalizado este tempo, e após de novo parto, as VS ingressam novamente à categoria de VL começando o ciclo mais uma vez (Figura 12c).

Esta projeção, a cada 21 dias, está modulada por parâmetros diferentes como: i) mortalidades; ii) perdas de gestações precoces (< 90 dias); iii) perdas de gestações tardias (> 90 dias); iv) descartes voluntários e involuntários; e v) vendas. Isto será descrito com mais detalhe nas equações que serão apresentadas posteriormente.

Desta forma, foi possível determinar a dinâmica do rebanho; definida como o fluxo dos animais e sua quantidade pelas diferentes categorias através de períodos consecutivos.

4.1.2.3 Receitas

Consideram-se unicamente aquelas provenientes da produção de leite e venda de animais. As receitas da venda do leite foram obtidas, multiplicando o número de VL no período, vezes a média de produção por animal, vezes os 21 dias do período. Além disso, consideraram-se os ingressos provenientes pelas vendas dos animais de cada categoria em cada período, basicamente CM, VLD, NP e FE.

4.1.2.4 Despesas

Foram calculadas multiplicando a quantidade de animais por categoria, vezes o custo por categoria. Além disso, os custos reprodutivos serão atribuídos ao número de animais que ingressa no programa, dependendo da estratégia reprodutiva adotada e do desempenho estabelecido para cada uma.

Figura 12 – Diagrama de ciclo produtivo considerado no modelo matemático

Fonte: Própria autoria.

4.1.2.5 Análise de fluxo de caixa

Finalmente após de ter disponíveis as informações das entradas e as saídas do modelo, estas são organizadas de maneira que sejam analisadas objetivamente.

Para facilitar o entendimento, o fluxo de caixa foi desenvolvido em períodos anuais durante 25 anos. Tendo em conta que as saídas do modelo estão em períodos de 21 dias, seus resultados foram somados para cada item (receitas e despesas) por 17 períodos (17 períodos x 21 dias = 357 dias) para obter um ano de informações e assim ser usado na análise. Informações a partir de ano 1 (que inicia no período 1), e até o ano 25 (que finaliza no período 425), foram levadas em conta na análise de fluxo de caixa. Isto para garantir a estabilização do rebanho em 100 vacas em lactação.

Consideraram-se como investimentos (despesas no ano 0), o valor total do inventário de animais no primeiro período levado em consideração, o período 1, somado às instalações e equipamentos no mesmo período. Finalmente, a taxa de desconto usada foi 10% para todos os cenários.

4.2 SIMULAÇÃO E CENÁRIOS CONSIDERADOS

Com o modelo completo, foram considerados 4 cenários: i) IA após da detecção de cio, usando sêmen convencional (IAC); ii) IA após da detecção de cio, usando sêmen sexado (IAS); iii) IATF, usando sêmen convencional (IATFC); e iv) IATF, usando sêmen sexado (IATFS).

Nos cenários com IA, a inseminação foi feita após da observação de cio. Nos cenários que incluíam a IATF como parte da estratégia reprodutiva, foi usado um protocolo com base em progesterona e estradiol. O protocolo consistiu na inserção de um dispositivo de progesterona (CIDR; Pfizer Saúde Animal, São Paulo, Brasil), acompanhado de uma injeção intramuscular de 2.0 mg de Benzoato de Estradiol, (2.0 ml de Estrogen; Farmavet, São Paulo, Brasil). Após de 7 dias uma injeção de 25 mg intramuscular de PGF_{2α} (5.0 ml Lutalyse; Pfizer Saúde Animal, São Paulo, Brasil); 24 horas depois o dispositivo foi retirado e as vacas receberam via intramuscular, 1.0 mg de Cipionato de estradiol (0.5 ml of ECP; Pfizer Saúde Animal, São Paulo, Brasil). 48 horas após da retirada do dispositivo, a IATF foi feita (PEREIRA *et al.*, 2013).

De acordo aos resultados, para cada cenário foi montado o fluxo de caixa, considerando como investimentos (compra de animais, instalações e equipamentos), as receitas (venda de animais e venda de leite) e as despesas (alimentação, sanidade, manejo, reprodução e mão de obra). Com base no fluxo de caixa obtido, foram calculados o *Payback*, o VPL e a TIR, como técnicas de análise econômica.

4.3 MODELO MATEMÁTICO PROPOSTO

No presente estudo se representou a interação entre parâmetros (Tabela 4) e variáveis (Tabela 5), com o objeto de descrever de forma acurada o desempenho técnico e econômico de uma propriedade leiteira. O modelo permite observar as

variações que acontecem quando alguns de seus parâmetros sejam alterados pela estratégia ou combinação de estratégias reprodutivas adotadas.

Assume-se que a tecnologia empregada é de coeficientes fixos. Esse tipo de relação implica a inexistência de substituição entre os fatores de produção. Em outras palavras, para dada quantidade de um fator de produção só será possível produzir uma determinada quantidade de produto, embora se tenham quantidades adicionais de outro fator (Jones, 1979).

O modelo está constituído por equações compostas por parâmetros e variáveis. Os parâmetros representam o resultado da gestão da fazenda, como por exemplo, porcentagem de mortalidade das bezerras, e também são derivados do emprego de determinada estratégia reprodutiva (tecnologia), como por exemplo, porcentagem de detecção de cio em vacas. O modelo conta com 43 parâmetros, os quais são descritos por meio de letras gregas. Já as variáveis são as categorias de animais (como por exemplo, as VS), as quais representam o aumento ou a diminuição no número de animais em categoria, por período em função de determinado parâmetro. O modelo conta com 34 variáveis.

A título de exemplo toma-se o caso da variável VL (vacas em lactação). O número de animais nessa categoria mudará a cada período (t) de acordo com a interação entre as variáveis NPPr (somatória das novilhas prenhes próximas ao parto) e VSP (vacas secas próximas), como será descrito adiante. Assume-se que no modelo cada período (t) corresponde a 21 dias.

Um fato importante que deve ser ressaltado é que as taxas de mortalidade usadas nas equações matemáticas correspondem à taxa anual dividida por 17. Como foi descrito anteriormente, o modelo considera 17 períodos como um ano.

Tabela 4 – Parâmetros produtivos zootécnicos usados no modelo matemático (Continua)

Símbolo	Parâmetro
α	% Perdas de gestação em novilhas < 90 dias
A	% Perdas de gestação em novilhas > 90 dias
κ	% Detecção de cio em novilhas na primeira IA
ρ	% Concepção em novilhas na primeira IA
ϱ	% Detecção de cio em novilhas na segunda IA
σ	% Concepção em novilhas na segunda IA
ς	% Detecção de cio em novilhas na terceira IA
τ	% Concepção em novilhas na terceira IA
Γ	% Detecção de cio em novilhas na quarta IA
Θ	% Concepção em novilhas na quarta IA
X	% Detecção de cio em novilhas na quinta IA
Φ	% Concepção em novilhas na quinta IA
Δ	% Novilhas prenhes para a venda
β	% Perdas de gestação em vacas < 90 dias
B	% Perdas de gestação em vacas > 90 dias
θ	% Detecção de cio em vacas na primeira IA
Λ	% Concepção em vacas na primeira IA
ι	% Detecção de cio em vacas na segunda IA
K	% Concepção em vacas na segunda IA
λ	% Detecção de cio em vacas na terceira IA
μ	% Concepção em vacas na terceira IA
E	% Detecção de cio em vacas na quarta IA
Z	% Concepção em vacas na quarta IA
Ψ	% Detecção de cio em vacas na quinta IA
Ω	% Concepção em vacas na quinta IA
T	% Detecção de cio em vacas na sexta IA
O	% Concepção em vacas na sexta IA

Tabela 4 – Parâmetros produtivos zootécnicos usados no modelo matemático (Conclusão)

Símbolo	Parâmetro
H	% Detecção de cio em vacas na sétima IA
I	% Concepção em vacas na sétima IA
Π	% Mortalidade das vacas em lactação
ω	% Descarte de matrizes por ano t
ξ	% Gestações com produto macho na primeira IA
$\omicron$	% Gestações com produto macho na segunda IA
π	% Gestações com produto macho na terceira IA
Υ	% Gestações com produto macho na quarta IA
φ	% Gestações com produto macho na quinta IA
χ	% Gestações com produto macho na sexta IA
P	% Gestações com produto macho na sétima IA
γ	% Gestações com produto macho/fêmea por MN
ψ	% Mortalidade dos bezerros
δ	% Mortalidade das bezerras (< 1 ano)
ϵ	% Mortalidade de animais adultos
Ξ	% Bezerros para a venda (antes Θ)

Tabela 5 – Variáveis usadas no modelo matemático (Continua)

Sigla	Variável
VL	Vacas em lactação
VSP	Vacas secas próximas
NPPr	Novilhas prenhes próximas
VLD1	Vacas em lactação disponíveis para primeiro serviço
VLD2	Vacas em lactação disponíveis para segundo serviço
VLD3	Vacas em lactação disponíveis para terceiro serviço
VLD4	Vacas em lactação disponíveis para quarto serviço
VLD5	Vacas em lactação disponíveis para quinto serviço

Tabela 5 – Variáveis usadas no modelo matemático (Conclusão)

Sigla	Variável
VLD6	Vacas em lactação disponíveis para sexto serviço
VLD7	Vacas em lactação disponíveis para sétimo serviço
VLP1	Vacas em lactação prenhes após da primeira IA
VLP2	Vacas em lactação prenhes após da segunda IA
VLP3	Vacas em lactação prenhes após da terceira IA
VLP4	Vacas em lactação prenhes após da quarta IA
VLP5	Vacas em lactação prenhes após da quinta IA
VLP6	Vacas em lactação prenhes após da sexta IA
VLP7	Vacas em lactação prenhes após da sétima IA
VS	Vacas secas
VSP	Vacas secas próximas
CF	Bezerras (< 3 meses)
CM	Bezerros
FJ	Fêmeas jovens de (3 a 12 meses)
N	Novilhas
ND1	Novilhas disponíveis para primeiro serviço
ND2	Novilhas disponíveis para segundo serviço
ND3	Novilhas disponíveis para terceiro serviço
ND4	Novilhas disponíveis para quarto serviço
ND5	Novilhas disponíveis para quinto serviço
NP1	Novilhas prenhes na primeira IA
NP2	Novilhas prenhes na segunda IA
NP3	Novilhas prenhes na terceira IA
NP4	Novilhas prenhes na quarta IA
NP5	Novilhas prenhes na quinta IA
NPPr	Novilhas prenhes próximas

Considera-se como ponto de partida as NPs. Essa decisão foi tomada devido à alta subjetividade relacionada à quantidade de animais ao início da simulação. Desta

forma, a simulação começa com novilhas prenhes e ao longo do tempo o rebanho vai se constituindo de acordo com os parâmetros específicos do cenário simulado.

4.3.1 Equações matemáticas

O período 0 do presente modelo considerou 140 NP para o início. Portanto, assumiu-se que as demais categorias tiveram valor 0.

$$NP1_0 = 140 \quad \forall t=0 \quad (12)$$

O número de fêmeas que tiveram um parto e, por conseguinte começaram uma lactação, foi denominado “Vacas em lactação” e obtido pela seguinte equação:

$$VL_t = VSP_t + NPPr_t \quad \forall t \quad (13)$$

Em que:

VL_t : vacas em lactação no período t;

VSP_t : vacas secas próximas no período t; e

$NPPr_t$: novilhas prenhes próximas no período t.

Após do período de espera voluntario, as vacas começaram seu programa reprodutivo e foram denominadas “vacas em lactação disponíveis”, que basicamente são as vacas em lactação, subtraindo a mortalidade e o descarte. Essa categoria foi dividida em 7 subgrupos, em relação ao número de serviços permitido. É muito importante ter em conta que o descarte das vacas só será feito a partir do período 50. Esta medida justifica-se pelo fato de que no período 50, os primeiros animais da simulação atingiram 5 anos, e deve começar o descarte devido à idade. Antes deste período só será considerada a mortalidade. Para isto foi usada a seguinte equação:

$$VLD1_t = VL_t(1 - \epsilon)(1 - \omega_t) \quad \forall t \quad (14)$$

Onde:

$VLD1_t$: vacas em lactação disponíveis para primeiro serviço no período t ;

VL_t : vacas em lactação no período t ;

ϵ : % mortalidade em adultos; e

ω_t : % descarte de vacas, sendo igual a zero para $t < 50$ ($\omega_t = 0$ para $t = [1,2,3,4...49]$).

$$VLD2_t = \left(\left((VD1_{t-1}(1 - \theta\Lambda)) + \left(((VD1_{t-1} \theta\Lambda)(1 - \Pi))\beta \right) \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (15)$$

Onde:

$VLD2_t$: vacas em lactação disponíveis para segundo serviço no período t ;

$VLD1_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para primeiro serviço no período $t-1$;

θ : % detecção de cio em vacas na primeira IA;

Λ : % concepção em vacas na primeira IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLD3_t = \left(\left((VD2_{t-1}(1 - \iota K)) + \left(((VD2_{t-1} \iota K)(1 - \Pi))\beta \right) \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (16)$$

Onde:

$VLD3_t$: vacas em lactação disponíveis para terceiro serviço no período t ;

$VLD2_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para segundo serviço no período $t-1$;

ι : % detecção de cio em vacas na segunda IA;

K : % concepção em vacas na segunda IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLD4_t = \left(\left((VD3_{t-1}(1 - \lambda\pi)) + ((VD3_{t-1} \lambda\pi)(1 - \Pi))\beta \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (17)$$

Onde:

$VLD4_t$: vacas em lactação disponíveis para quarto serviço no período t;

$VD3_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para terceiro serviço no período t-1;

λ : % detecção de cio em vacas na terceira IA;

π : % concepção em vacas na terceira IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLD5_t = \left(\left((VD4_{t-1}(1 - EZ)) + ((VD4_{t-1} EZ)(1 - \Pi))\beta \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (18)$$

Onde:

$VLD5_t$: vacas em lactação disponíveis para quinto serviço no período t;

$VD4_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para quarto serviço no período t-1;

E: % detecção de cio em vacas na terceira IA;

Z: % concepção em vacas na terceira IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLD6_t = \left(\left((VD5_{t-1}(1 - \Psi\Omega)) + \left((VD5_{t-1} \Psi\Omega)(1 - \Pi) \right) \beta \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (19)$$

Onde:

$VLD6_t$: vacas em lactação disponíveis para sexto serviço no período t;

$VLD5_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para quinto serviço no período t-1;

Ψ : % detecção de cio em vacas na terceira IA;

Ω : % concepção em vacas na terceira IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLD7_t = \left(\left((VD6_{t-1}(1 - T\Omega)) + \left((VD6_{t-1} T\Omega)(1 - \Pi) \right) \beta \right) (1 - \Pi) \right) \forall t \quad (20)$$

Onde:

$VLD7_t$: vacas em lactação disponíveis para sétimo serviço no período t;

$VLD6_{t-1}$: vacas em lactação disponíveis para sexto serviço no período t-1;

T : % detecção de cio em vacas na terceira IA;

Ω : % concepção em vacas na terceira IA;

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

As vacas em lactação prenhes após das IAs são obtidas por meio de:

$$VLP1_t = (VLD1_t \theta \Lambda (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (21)$$

Sendo:

$VLP1_t$: vacas em lactação prenhes após da primeira IA no período t;

$VLD1_t$: vacas em lactação disponíveis para primeiro serviço no período t;

θ : % de detecção de cio nas vacas na primeira IA; e

Λ : % de concepção nas vacas na primeira IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP2_t = (VLD2_t \iota K (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (22)$$

Sendo:

$VLP2_t$: vacas em lactação prenhes após da segunda IA no período t;

$VLD1_t$: vacas em lactação disponíveis para segundo serviço no período t;

ι : % de detecção de cio nas vacas na segunda IA; e

K : % de concepção nas vacas na segunda IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP3_t = (VLD3_t \lambda \pi (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (23)$$

Sendo:

$VLP3_t$: vacas em lactação prenhes após da terceira IA no período t ;

$VLD3_t$: vacas em lactação disponíveis para terceiro serviço no período t ;

λ : % de detecção de cio nas vacas na terceira IA; e

π : % de concepção nas vacas na terceira IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP4_t = (VLD4_t \lambda \pi (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (24)$$

Sendo:

$VLP4_t$: vacas em lactação prenhes após da quarta IA no período t ;

$VLD4_t$: vacas em lactação disponíveis para quarto serviço no período t ;

λ : % de detecção de cio nas vacas na quarta IA; e

π : % de concepção nas vacas na quarta IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP5_t = (VLD5_t \lambda \pi \Omega (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (25)$$

Sendo:

$VLP5_t$: vacas em lactação prenhes após da quinta IA no período t ;

$VLD5_t$: vacas em lactação disponíveis para quinto serviço no período t ;

λ : % de detecção de cio nas vacas na quinta IA; e

Z: % de concepção nas vacas na quinta IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP6_t = (VLD6_t TO (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (26)$$

Sendo:

$VLP6_t$: vacas em lactação prenhes após da sexta IA no período t;

$VLD6_t$: vacas em lactação disponíveis para sexto serviço no período t;

T: % de detecção de cio nas vacas na sexta IA; e

O: % de concepção nas vacas na sexta IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

$$VLP7_t = (VLD7_t HI (1 - \Pi))(1 - \beta) \quad \forall t \quad (27)$$

Sendo:

$VLP7_t$: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período t;

$VLD7_t$: vacas em lactação disponíveis para sétimo serviço no período t;

H: % de detecção de cio nas vacas na sétima IA; e

I: % de concepção nas vacas na sétima IA.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

Após de 11 períodos de gestação as VLP foram secas. Desta forma se conformou o grupo das “vacas secas”, o qual foi obtido da seguinte forma:

$$VS = \left(\left((VLP1_{t-11} + VLP2_{t-11} + VLP3_{t-11} + VLP4_{t-11} + VLP5_{t-11} + VLP6_{t-11} + VLP7_{t-11})(1 - \Pi)^{11})(1 - \epsilon) \right) (1 - B) \right) \forall t \quad (28)$$

Sendo:

VS : vacas secas no período t ;

$VLP1_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da primeira IA no período $t-11$;

$VLP2_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da segunda IA no período $t-11$;

$VLP3_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da terceira IA no período $t-11$;

$VLP4_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da quarta IA no período $t-11$;

$VLP5_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da quinta IA no período $t-11$;

$VLP6_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da sexta IA no período $t-11$;

$VLP7_{t-11}$: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período $t-11$;

Π : % mortalidade em vacas em lactação;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

B : % perdas de gestação em vacas > 90 dias.

O tempo do período seco considerado no modelo foi de 3 períodos (63 dias). Transcorrido esse tempo, as vacas estão próximas a um novo parto. Assim, elas foram denominadas “vacas secas próximas”, obtidas pela seguinte equação:

$$VSP_t = VS_{t-3}(1 - \epsilon)^3 \quad \forall t \quad (29)$$

Onde:

VSP_t : vacas secas próximas no período t ;

VS : vacas secas no período t ; e

ϵ : % de mortalidade em adultos.

As fêmeas que se encontram entre 4 e 12 meses, tempo transcorrido após do desaleitamento, denominam-se “fêmeas jovens” e sua quantidade é definida pela seguinte formula:

$$FJ_t = CF_{t-3}(1 - \delta)^4 \quad \forall t \quad (30)$$

Sendo:

FJ_t : Fêmeas jovens de 3 a 12 meses aproximadamente;

CF_{t-3} : Bezerras nascidas no período $t-3$;

δ : % mortalidade das bezerras (< 1 ano) por período (Mortalidade anual /17 períodos); e

As novilhas são as fêmeas que atingiram os 12 meses de idade e que estão aptas para a reprodução. Foram calculadas com base na seguinte equação:

$$N_t = CF_{t-17}(1 - \delta)^{18} \quad \forall t \quad (31)$$

Sendo:

N_t : novilhas no período t ;

CF_{t-17} : fêmeas nascidas no período $t-17$; e

δ : % mortalidade das bezerras (< 1 ano) por período.

As novilhas submeteram-se a um programa reprodutivo que foi constituído de cinco inseminações artificiais. Para fins práticos, as novilhas prenhes produto dessas inseminações se mantiveram separadas em 5 grupos (NP1, NP2, etc.).

As novilhas que ingressam no programa reprodutivo são denominadas “novilhas disponíveis para reprodução” e para isto foi usada a equação:

$$ND1_t = N_t(1 - \epsilon) \quad \forall t \quad (32)$$

Onde:

$ND1_t$: novilhas disponíveis para primeiro serviço no período t

N_t : quantidade de novilhas no período t

ϵ : % de mortalidade em animais adultos;

$$ND2_t = \left(\left((ND1_{t-1} (1 - \kappa \rho)) + ((ND1_{t-1} \kappa \rho (1 - \epsilon)) \alpha) \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - \epsilon) \quad \forall t \quad (33)$$

Onde:

$ND2_t$: novilhas disponíveis para segundo serviço no período t

$ND1_{t-1}$: novilhas disponíveis para primeiro serviço no período t-1 (período anterior)

κ : % detecção de cio nas novilhas na primeira IA;

ρ : % de concepção nas novilhas na primeira IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias).

$$ND3_t = \left(\left((ND2_{t-1} (1 - \varrho \sigma)) + ((ND2_{t-1} \varrho \sigma (1 - \epsilon)) \alpha) \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - \epsilon) \quad \forall t \quad (34)$$

Onde:

$ND3_t$: novilhas disponíveis para terceiro serviço no período t

$ND2_{t-1}$: novilhas disponíveis para segundo serviço no período t-1 (período anterior)

ϱ : % detecção de cio nas novilhas na segunda IA;

σ : % de concepção nas novilhas na segunda IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias).

$$ND4_t = \left(\left((ND3_{t-1} (1 - \varsigma \tau)) + ((ND3_{t-1} \varsigma \tau (1 - \epsilon)) \alpha) \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - \epsilon) \quad \forall t \quad (35)$$

Onde:

$ND4_t$: novilhas disponíveis para quarto serviço no período t

$ND3_{t-1}$: novilhas disponíveis para terceiro serviço no período t-1 (período anterior)

ς : % detecção de cio nas novilhas na terceira IA;

τ : % de concepção nas novilhas na terceira IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias).

$$ND5_t = \left(\left((ND4_{t-1} (1 - \Gamma \Theta)) + ((ND4_{t-1} \Gamma \Theta (1 - \epsilon)) \alpha) \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - \epsilon) \quad \forall t \quad (36)$$

Onde:

$ND5_t$: novilhas disponíveis para quinto serviço no período t

$ND4_{t-1}$: novilhas disponíveis para quarto serviço no período t-1 (período anterior)

Γ : % detecção de cio nas novilhas na terceira IA;

Θ : % de concepção nas novilhas na terceira IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias).

As novilhas prenhes após das IAs são obtidas por meio de:

$$NP1_t = \left((ND1_t \kappa \rho (1 - \epsilon))(1 - \alpha) \right) (1 - \Delta_t) \quad \forall t \quad (37)$$

Sendo:

$NP1_t$: novilhas prenhes na primeira IA no período t;

$ND1_t$: novilhas disponíveis para primeiro serviço no período t;

κ : % detecção de cio nas novilhas na primeira IA;

ρ : % de concepção nas novilhas na primeira IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos;

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

Δ_t : % novilhas prenhes para venda, sendo igual a zero para $t < 35$ ($\Delta_t = 0$ para $t = [1, 2, 3... 34]$).

$$NP2_t = \left((ND2_t \varrho \sigma (1 - \epsilon))(1 - \alpha) \right) (1 - \Delta_t) \quad \forall t \quad (38)$$

Sendo:

$NP2_t$: novilhas prenhes na segunda IA no período t;

$ND2_t$: novilhas disponíveis para segundo serviço no período t;

ϱ : % detecção de cio nas novilhas na segunda IA;

σ : % de concepção nas novilhas na segunda IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos;

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

Δ_t : % novilhas prenhes para venda, sendo igual a zero para $t < 35$ ($\Delta_t = 0$ para $t = [1, 2, 3 \dots 34]$).

$$NP3_t = \left((ND3_t \varsigma \tau (1 - \epsilon)) (1 - \alpha) \right) (1 - \Delta_t) \quad \forall t \quad (39)$$

Sendo:

$NP3_t$: novilhas prenhes na terceira IA no período t;

$ND3_t$: novilhas disponíveis para terceiro serviço no período t;

ς : % detecção de cio nas novilhas na terceira IA;

τ : % de concepção nas novilhas na terceira IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos;

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

Δ_t : % novilhas prenhes para venda, sendo igual a zero para $t < 35$ ($\Delta_t = 0$ para $t = [1, 2, 3 \dots 34]$).

$$NP4_t = \left((ND4_t \Gamma \Theta (1 - \epsilon)) (1 - \alpha) \right) (1 - \Delta_t) \quad \forall t \quad (40)$$

Sendo:

$NP4_t$: novilhas prenhes na quarta IA no período t;

$ND4_t$: novilhas disponíveis para quarto serviço no período t;

Γ : % detecção de cio nas novilhas na quarta IA;

Θ : % de concepção nas novilhas na quarta IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos;

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

Δ_t : % novilhas prenhes para venda, sendo igual a zero para $t < 35$ ($\Delta_t = 0$ para $t = [1, 2, 3 \dots 34]$).

$$NP5_t = \left((ND5_t X \Phi (1 - \epsilon)) (1 - \alpha) \right) (1 - \Delta_t) \quad \forall t \quad (41)$$

Sendo:

$NP5_t$: novilhas prenhes na quinta IA no período t;

$ND5_t$: novilhas disponíveis para quinto serviço no período t;

X : % detecção de cio nas novilhas na quinta IA;

Φ : % de concepção nas novilhas na quinta IA;

ϵ : % de mortalidade em adultos;

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

Δ_t : % novilhas prenhes para venda, sendo igual a zero para $t < 35$ ($\Delta_t = 0$ para $t = [1, 2, 3 \dots 34]$).

Após o tempo de gestação (14 períodos) as novilhas se encontram próximas ao parto, desta forma são denominadas “novilhas prenhes próximas”. Sua quantidade é definida pela equação a seguir:

$$NPPr_t = ((NP1_{t-14} + NP2_{t-14} + NP3_{t-14} + NP4_{t-14} + NP5_{t-14})(1 - \epsilon)^{14})(1 - A) \quad \forall t \quad (42)$$

Sendo:

$NPPr_t$: novilhas prenhes próximas no período t;

$NP1_{t-14}$: novilhas prenhes na primeira IA no período t-14;

$NP2_{t-14}$: novilhas prenhes na segunda IA no período t-14;

$NP3_{t-14}$: novilhas prenhes na terceira IA no período t-14;

$NP4_{t-14}$: novilhas prenhes na quarta IA no período t-14;

$NP5_{t-14}$: novilhas prenhes na quinta IA no período t-14;

ϵ : % de mortalidade em adultos; e

A: % de perdas de gestação em novilhas (> 90 dias).

A quantidade de bezerros nascidos no ano $t=1$, tendo em conta que estes são produto das novilhas que foram compradas prenhes, portanto assume-se que foi obtida pela seguinte equação:

$$CM_1 = \gamma VL_1 \quad \forall t=1 \quad (43)$$

Sendo:

CM_1 : bezerros nascidos no ano $t=1$

γ : % gestações com produto macho/fêmea por MN; e

Apos do primeiro ano, o manejo reprodutivo das vacas é um procedimento coordenado pela fazenda, em consequência, a porcentagem de fêmeas e machos está de acordo com a tecnologia de sêmen usada. A quantidade de machos nascidos após do manejo reprodutivo interno foi calculada de acordo com a formula:

$$CM_t = \left(\left(\left(\left(\left(\xi VLP1_{t-14} + o VLP2_{t-14} + \pi VLP3_{t-14} + \gamma VLP4_{t-14} + \varphi VLP5_{t-14} + \chi VLP6_{t-14} + P VLP7_{t-14} \right) (1 - \Pi)^{11} \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - B) \right) (1 - \epsilon)^3 \right) + \left(\left(\left(\xi NP1_{t-14} + o NP2_{t-14} + \pi NP3_{t-14} + \gamma NP4_{t-14} + \varphi NP5_{t-14} \right) (1 - \epsilon)^{14} \right) (1 - A) \right) \forall t > 1 \quad (44)$$

Onde:

CM_t : quantidade de bezerros nascidos, produto do programa reprodutivo da fazenda, tendo em conta a tecnologia de sêmen usada no período $t > 1$;

ξ : % gestações com produto macho na primeira IA;

o : % gestações com produto macho na segunda IA;

π : % gestações com produto macho na terceira IA;

γ : % gestações com produto macho na quarta IA;

φ : % gestações com produto macho na quinta IA;

χ : % gestações com produto macho na sexta IA;

P : % gestações com produto macho na sétima IA;

$VLP1_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da primeira IA no período $t-14$;

$VLP2_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da segunda IA no período $t-14$;

$VLP3_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da terceira IA no período $t-14$;

$VLP4_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da quarta IA no período t-14;

$VLP5_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da quinta IA no período t-14;

$VLP6_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da sexta IA no período t-14;

$VLP7_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período t-14;

$NP1_{t-14}$: novilhas prenhes na primeira IA no período t-14;

$NP2_{t-14}$: novilhas prenhes na segunda IA no período t-14;

$NP3_{t-14}$: novilhas prenhes na terceira IA no período t-14;

$NP4_{t-14}$: novilhas prenhes na quarta IA no período t-14;

$NP5_{t-14}$: novilhas prenhes na quinta IA no período t-14;

Π : % mortalidade em vacas em lactação;

B: % perdas de gestação em vacas > 90 dias;

A: % de perdas de gestação em novilhas (> 90 dias); e

ϵ : % de mortalidade em adultos.

A quantidade de bezerros que serão vendidos por ano, foi obtida pela seguinte formula:

$$CMV_t = CM_t(1 - \psi) \quad \forall t \quad (45)$$

Onde:

CMV_t : bezerros a ser vendidos no ano t;

CM_t : bezerros no ano t;

ψ : % mortalidade dos bezerros; e

Ξ : % bezerras para a venda.

A quantidade de bezerras nascidas no ano $t=1$ foi obtida segundo a equação:

$$CF_1 = \gamma VL_1 \quad \forall t=1 \quad (46)$$

Sendo:

CF_1 : bezerras nascidos no ano $t=1$;

γ : % gestações com produto macho/fêmea por MN; e

VL_1 : vacas em lactação no ano $t=1$.

A quantidade das bezerras depois do ano 1 é o resultado do programa reprodutivo da fazenda levando em conta a tecnologia de sêmen usada e se obteve por meio da equação:

$$CF_t = \left(\left(\left(\left((1 - \xi)VLP1_{t-14} + (1 - o)VLP2_{t-14} + (1 - \pi)VLP3_{t-14} + (1 - Y)VLP4_{t-14} + (1 - \varphi)VLP5_{t-14} + (1 - \chi)VLP6_{t-14} + (1 - P)VLP7_{t-14} \right) (1 - \Pi)^{11} \right) (1 - \epsilon) \right) (1 - B) \right) (1 - \epsilon)^3 \right) + \left(\left(\left((1 - \xi)NP1_{t-14} + (1 - o)NP2_{t-14} + (1 - \pi)NP3_{t-14} + (1 - Y)NP4_{t-14} + (1 - \varphi)NP5_{t-14} \right) (1 - \epsilon)^{14} \right) (1 - A) \right) \quad \forall t > 1 \quad (47)$$

Onde:

CF_t : quantidade de bezerras nascidas, produto do programa reprodutivo da fazenda, tendo em conta a tecnologia de sêmen usada no período $t > 1$;

$1 - \xi$: % gestações com produto fêmea na primeira IA;

$1 - o$: % gestações com produto fêmea na segunda IA ;

$1 - \pi$: % gestações com produto fêmea na terceira IA ;

$1 - \Upsilon$: % gestações com produto fêmea na quarta IA ;

$1 - \varphi$: % gestações com produto fêmea na quinta IA ;

$1 - \chi$: % gestações com produto fêmea na sexta IA ;

$1 - P$: % gestações com produto fêmea na sétima IA ;

$VLP1_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da primeira IA no período t-14;

$VLP2_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da segunda IA no período t-14;

$VLP3_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da terceira IA no período t-14;

$VLP4_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da quarta IA no período t-14;

$VLP5_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da quinta IA no período t-14;

$VLP6_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da sexta IA no período t-14;

$VLP7_{t-14}$: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período t-14;

$NP1_{t-14}$: novilhas prenhes na primeira IA no período t-14;

$NP2_{t-14}$: novilhas prenhes na segunda IA no período t-14;

$NP3_{t-14}$: novilhas prenhes na terceira IA no período t-14;

$NP4_{t-14}$: novilhas prenhes na quarta IA no período t-14;

$NP5_{t-14}$: novilhas prenhes na quinta IA no período t-14;

Π : % mortalidade em vacas em lactação;

B: % perdas de gestação em vacas > 90 dias;

A: % de perdas de gestação em novilhas (> 90 dias); e

ϵ : % de mortalidade em adultos.

As fêmeas que perderam a gestação e aquelas que não conseguiram ficar prenhes foram definidas como “fêmeas de engorda” e obtidas pela seguinte equação:

$$FE = \left((VLD7_t - VLP7_t) + (VLD7_t HI (1 - \Pi)) \beta + \left(\left((VLP1_{t-14} + VLP2_{t-14} + VLP3_{t-14} + VLP4_{t-14} + VLP5_{t-14} + VLP6_{t-14} + VLP7_{t-14})(1 - \Pi)^{11} \right) (1 - \epsilon) \right) B (1 - \epsilon)^3 \right) + \left(\left((ND5_t - NP5_t) + \left((ND5_{t-1} X \Phi (1 - \epsilon)) \alpha \right) \right) + \left((NP1_{t-14} + NP2_{t-14} + NP3_{t-14} + NP4_{t-14} + NP5_{t-14})(1 - \epsilon)^{14} \right) A \right) \right) \forall t > 1 \quad (48)$$

Sendo:

FE: fêmeas de engorda no ano *t*;

VLD7_t: vacas em lactação disponíveis para sétimo serviço no período *t*;

VLP7_t: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período *t*;

VLP1_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da primeira IA no período *t-14*;

VLP2_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da segunda IA no período *t-14*;

VLP3_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da terceira IA no período *t-14*;

VLP4_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da quarta IA no período *t-14*;

VLP5_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da quinta IA no período *t-14*;

VLP6_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da sexta IA no período *t-14*;

VLP7_{t-14}: vacas em lactação prenhes após da sétima IA no período *t-14*;

ND5_t: novilhas disponíveis para quinto serviço no período *t*

NP5_{t-14}: novilhas prenhes na quinta IA no período *t-14*;

ND5_t: novilhas disponíveis para quinto serviço no período *t*;

$NP5_t$: novilhas prenhes na quinta IA no período t ;

$NP1_{t-14}$: novilhas prenhes na primeira IA no período $t-14$;

$NP2_{t-14}$: novilhas prenhes na segunda IA no período $t-14$;

$NP3_{t-14}$: novilhas prenhes na terceira IA no período $t-14$;

$NP4_{t-14}$: novilhas prenhes na quarta IA no período $t-14$;

$NP5_{t-14}$: novilhas prenhes na quinta IA no período $t-14$;

H: % de detecção de cio nas vacas na sétima IA; e

I: % de concepção nas vacas na sétima IA.

Π : % mortalidade em vacas em lactação.

β : % perdas de gestação em vacas < 90 dias; e

B: % perdas de gestação em vacas > 90 dias;

ϵ : % de mortalidade em adultos.

X: % detecção de cio nas novilhas na quinta IA;

Φ : % de concepção nas novilhas na quinta IA;

A: % de perdas de gestação em novilhas (> 90 dias); e

α : % de perdas de gestação em novilhas (< 90 dias); e

5 RESULTADOS

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS DO MODELO DE SIMULAÇÃO

Usou-se um modelo determinístico para simular os efeitos do uso de IA e IATF, considerando, ou não, o uso de sêmen sexado sobre o desempenho técnico e econômico de um rebanho leiteiro. Os parâmetros usados foram as médias de valores esperados. Todos os resultados apresentados são produto da simulação de um rebanho com capacidade (instalações e terra) para manter aproximadamente 100 vacas em lactação. Não foi possível caracterizá-lo como rebanho plenamente estável, já que os resultados de alguns cenários evidenciaram incapacidade de manter o inventário e compras adicionais de animais não foram consideradas. Adicionalmente aos resultados de viabilidade econômica, o modelo permitiu a observação do comportamento de algumas variáveis como a composição do rebanho através dos diferentes períodos. Também foi possível inferir a respeito dos efeitos das técnicas sobre a dinâmica de descarte do rebanho.

Para a simulação considerou-se que os nascimentos, provenientes da inseminação com sêmen sexado, têm uma proporção de 85,7% fêmeas e 14,3% machos (CHEBEL *et al.*, 2010). No caso do sêmen convencional, esta proporção foi de 46,7% fêmeas e 53,3% machos (DEL RÍO *et al.*, 2007). O uso de IATF considerou uma taxa de serviços de 100% para vacas e novilhas, ou seja, o total as fêmeas que ingressaram neste programa receberam uma inseminação. A presente simulação não considerou uma taxa de concepção diferencial para o uso de IA ou IATF. Os parâmetros reprodutivos usados para novilhas e para vacas são apresentados nas tabelas 4 e 5, respectivamente.

Tabela 6 – Valores dos parâmetros reprodutivos considerados no modelo para as novilhas.

Parâmetro	Valor	Fonte
Perdas de gestação < 90 dias	8,0%	SEIDEL; SCHENK, 2008
Perdas de gestação > 90 dias	1,7%	GALVÃO <i>et al.</i> , 2013
Taxa de detecção de cio	65,0%	GIORDANO <i>et al.</i> , 2012
Taxa de concepção (sêmen convencional)	56,3%	KUHN; HUTCHISON; WIGGANS, 2006
Taxa de concepção (sêmen sexado)	39,0%	NORMAN; HUTCHISON; MILLER, 2010

Tabela 7 – Valores dos parâmetros reprodutivos considerados no modelo para as vacas.

Parâmetro	Valor	Fonte
Perdas de gestação < 90 dias	9,6%	GALVÃO <i>et al.</i> , 2013
Perdas de gestação > 90 dias	1,7%	GALVÃO <i>et al.</i> , 2013
Taxa de detecção de cio	40,0%	DE VRIES, 2006
Taxa de concepção (sêmen convencional)	31,5%	DEJARNETTE <i>et al.</i> , 2008
Taxa de concepção (sêmen sexado)	23,0%	DEJARNETTE <i>et al.</i> , 2008

A propriedade simulada compõe-se de vacas da raça Holandesa, 100% confinadas com produção média de 28 litros por dia. Para o manejo reprodutivo, considerou-se um período de espera voluntário de 63 dias (3 períodos) após do parto, as VL foram submetidas a inseminações sucessivas até alcançar uma gestação. Aquelas que após 7 inseminações não conseguiram ficar prenhes, foram descartadas e passaram à categoria de FE. As vacas prenhes foram classificadas como VLP. Taxas de perdas de gestação precoce e tardia foram aplicadas a esta categoria. As vacas com perdas de gestação precoce voltaram à categoria de VL e tiveram uma nova chance de iniciar o manejo reprodutivo. Enquanto que as vacas que com perdas de gestação tardias foram descartadas e passaram à categoria de FE. O modelo considera a secagem das vacas acontecendo 231 dias (11 períodos) após do início da gestação. A gestação foi fixada em 294 dias (14 períodos) e após isso, a relação de crias machos e fêmeas depende do sêmen usado na inseminação dessas vacas, seja este convencional ou sexado. Desta forma as vacas fecham o ciclo produtivo e passam novamente à categoria de vacas em lactação começando um novo ciclo.

O manejo reprodutivo das N iniciou com 378 dias de idade (18 períodos) e consistiu em 5 tentativas de inseminação para se tornarem gestantes. Se logo após destas tentativas as N não ficarem gestantes, estas são descartadas e passarão para a categoria de FE. As perdas de gestação foram consideradas da mesma forma como já foi descrito em vacas, porém com valores dos parâmetros diferentes. A gestação das novilhas teve uma duração de 294 dias (14 períodos) e logo após do parto, elas passam para a categoria de vacas em lactação. Do mesmo modo que aconteceu com as vacas, a proporção de nascimentos, macho e fêmea, dependeram da tecnologia de sêmen

empregada. Para todas as categorias de animais do modelo são aplicadas taxas de mortalidade, porém com valores diferentes para cada categoria.

Junto aos parâmetros reprodutivos, os parâmetros produtivos interagem para modular o número de animais em cada categoria e seu fluxo de uma categoria a outra, período após período. Os valores dos parâmetros produtivos considerados no modelo encontram-se na tabela 6.

A quantidade de novilhas prenhes para a venda assim como a porcentagem de matrizes que serão descartadas, dependerá de cada cenário, de acordo com sua evolução do rebanho, como será abordado adiante.

Os valores dos produtos e os insumos considerados no modelo foram estabelecidos em reais. Os preços dos produtos como o leite e os animais dependendo da categoria são descritos na tabela 7. Os valores dos equipamentos empregados nos processos reprodutivos encontram-se na tabela 8. Esses valores foram depreciados a 5 anos, com um valor residual de 0%. Preços de insumos para reprodução, assim como os valores dos hormônios usados no protocolo são descritos nas tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 8 – Valores dos parâmetros produtivos considerados no modelo.

Parâmetro	Valor	Fonte
Mortalidade dos bezerros	6,5%	GIORDANO <i>et al.</i> , 2012
Mortalidade das bezerras < 1 ano	6,5%	GIORDANO <i>et al.</i> , 2012
Mortalidade de animais adultos	1,0%	OVERTON, 2005
Mortalidade de vacas em lactação	6,6%	PINEDO; DE VRIES; WEBB, 2010

Tabela 9 – Valores dos produtos considerados no modelo

Produto	Preço
Preço litro de leite	R\$ 0,90
Preço vacas de descarte	R\$ 1.200,00
Preço bezerros	R\$ 80,00
Preço novilhas prenhes	R\$ 2.800,00
Fêmeas de engorda	R\$ 1.300,00

Tabela 10 – Valores dos equipamentos usados no programa reprodutivo e considerados no modelo

Equipamento	Preço	
Botijão de Sêmen 20/20	R\$	2.057,40
Estojo plástico	R\$	41,10
Aplicador universal	R\$	101,80
Pinça inox	R\$	30,30
Cortador de palhetas	R\$	34,70
Termômetro	R\$	45,50
Descongelador	R\$	1.000,00
Régua p/ medir Nitrogênio	R\$	6,50

Tabela 11 – Preços dos insumos usados no programa reprodutivo

Item	Preço	
Recarga de nitrogênio/ano	R\$	187,70
Luvas	R\$	32,50
Bainha francesa	R\$	18,40
Sêmen convencional	R\$	30,00
Sêmen sexado	R\$	90,00
Outros	R\$	108,30

Tabela 12 – Preços dos produtos usados no protocolo de IATF

Item	Preço	
Dispositivo intravaginal	R\$	10,00
Benzoato de estradiol	R\$	1,20
eCG	R\$	8,00
Prostaglandina	R\$	2,00

5.2 EFEITOS DA ESTRATÉGIA REPRODUTIVA SOBRE A DINÂMICA DO REBANHO

5.2.1 Evolução do rebanho

A figura 13 descreve a evolução do rebanho ao longo dos 25 anos (425 períodos) de simulação de acordo com a estratégia reprodutiva empregada. Note-se que os quatro cenários iniciaram seu inventário com 140 NP. A partir desse valor, cada cenário foi evoluindo conforme seus parâmetros.

Foi possível observar o efeito que a estratégia reprodutiva tem sobre o inventário da fazenda ao longo de 25 anos. No cenário IAC, a elevada saída de animais, consequência do descarte por falhas reprodutivas, especificamente por não atingir uma gestação, resulta em uma queda constante do inventário, sem oportunidade de ser compensado pelos ingressos (nascimentos), consequentemente, com uma forte tendência ao zero (Figura 13a). A situação observada em IAS, mesmo sendo menos intensa, não é muito favorável. A maior oferta de fêmeas devida ao uso do sêmen sexado neste cenário reprimiu em parte o efeito negativo das falhas reprodutivas sobre o número de animais (Figura 13b). Para esses dois cenários especificamente, todas as novilhas deveram ser retidas sem possibilidades de venda.

Os cenários com uso de IATF evidenciaram a vantagem que tem o aumento na taxa de serviço sobre a estabilidade na quantidade de animais no rebanho. O cenário da IATFS (Figura 13d), além de manter constante a quantidade de animais, precisou menos NP para a reposição, quando comparado com IATFC (Figura 13c). Desta forma uma maior quantidade de NP foi disponível para venda no cenário IATFS.

5.2.2 Descartes

Foi marcante o efeito que a TP teve sobre a estrutura e o fluxo das categorias de animais do rebanho ao longo do tempo. Este efeito foi particularmente negativo nos cenários IAC e IAS. As TPs inferiores de 13%, somadas à política de descarte estabelecida (após de 7 inseminações em vacas e 5 em novilhas, a fêmea vazia será descartada) demarcaram um panorama de descarte de animais bastante elevado. Em média, para os 25 anos, taxas de descarte de 45,4% e 60,0% foram observadas respectivamente para IAC e IAS. Já para os cenários com IATF, estas taxas foram menores, sendo de 35,0% e 31,1%, respectivamente para IATFC e IATFS (Figura 14).

Figura 13 Inventário de diferentes categorias de animais ao longo de 25 anos: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS

Fonte: Própria autoria.

Além das diferenças observadas entre as taxas de descarte para cada cenário, é importante discriminar as saídas entre as mortes e a vendas. No cenário IAC, os 12,9% da taxa de descarte foram causados por mortes e o restante, 87,1%, devido à venda de FE. Por outro lado, no cenário da IAS, 8,7% correspondeu às mortes e 91,3% às vendas. Nos cenários IATFC e IATFS as mortes foram responsáveis por 21,8% e 18,4% respectivamente. Já as vendas contribuem com 78,2% e 81,6% das saídas de matrizes nos cenários IATFC e IATFS, respectivamente.

Figura 14 – Taxa de descarte do rebanho dependendo da estratégia reprodutiva

Fonte: Própria autoria.

5.3 EFEITO DA ESTRATÉGIA REPRODUTIVA SOBRE AS RECEITAS E DESPESAS DO REBANHO

5.3.1 Receitas

A simulação permitiu discriminar a fonte dos ingressos de acordo com cada programa reprodutivo no intervalo de tempo estudado. Assim, para o cenário IAC, os 90,6% do total dos ingressos, nos 25 anos estudados, tiveram como origem a venda do leite e o restante 9,4% foi resultado da venda de animais. Por parte do IAS, a proporção de ingressos foi de 86,2% e 13,8% para o leite e animais, respectivamente. O cenário IATFC apresentou valores de 91,9% e 8,1% para venda de animais. Já o cenário de IATFS teve 83,0% dos seus ingressos originados no leite e 17,0% por venda de animais.

5.3.1.1 Venda de animais

Como descrito anteriormente, os ingressos da fazenda derivam-se da venda do leite e de animais. Os animais considerados no modelo como fonte de ingressos correspondem às categorias CM, VLD, NP e FE. Através do modelo foi possível calcular o valor total dos ingressos derivados da venda de animais, assim, determinou-se a participação média, durante os vinte e cinco anos analisados, de cada uma das categorias no ingresso total por venda de animais. Desta forma foi possível fazer a comparação entre os diferentes cenários. Os resultados são descritos pela figura 15. Observa-se o efeito do desempenho reprodutivo sobre a disponibilidade de animais para venda. Por um lado, o cenário IATFS (Figura 15d) apresenta uma importante oferta de NP para venda, consequência de menores taxas de descarte por motivos reprodutivos, aumentando a eficiência da utilização das matrizes e disponibilizando os excedentes para venda. Além disso, nos cenários IATFC e IATFS se observa a venda de VLD. A diferença entre as VLD e as FE, basicamente é a causa do descarte. As VLD foram selecionadas para serem vendidas, pelo que se denominam causas voluntárias como, por exemplo, fenótipo ou baixa produção.

Por outro lado, os cenários com base na detecção de cio (IAC e IAS; Figura 15ab), se vem obrigados a usar toda sua produção de NP, na expectativa de sustentar a quantidade de matrizes, impedindo desta forma sua venda. Portanto, os ingressos derivados da venda de animais nesses cenários são limitados a FE e CM.

5.3.2 Despesas

A relação entre os custos por categoria e o fluxo do inventário, período após período, determinou as despesas correspondentes à manutenção dos animais do rebanho. Essas despesas mudam de acordo à estratégia reprodutiva empregada, devido à influência que esta exerce na estrutura do rebanho. Com o auxílio da figura 16 pode-se observar que os cenários com uso de sêmen sexado (IAS – IATFS), apresentam leves diferenças na distribuição das despesas, especificamente com aumentos nos custos das fêmeas menores de um ano, consequência do aumento de animais nestas categorias. Os custos decorrentes da estratégia reprodutiva não se encontram considerados neste ponto.

Figura 15 – Participação média de cada uma das categorias animais, no ingresso total por venda de animais no intervalo estudado para cada cenário: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS

Fonte: Própria autoria.

Figura 16 – Participação média de cada uma das categorias animais, nas despesas por sanidade e nutrição no intervalo estudado para cada cenário: a. IAC, b. IAS, c. IATFC, e d. IATFS

Fonte: Própria autoria.

5.3.2.1 Despesas dos programas reprodutivos

Os cenários considerados variam substancialmente no grau de investimento. Esse fato é na maioria das vezes o principal direcionador na tomada de decisão por parte de produtores e consultores, devido à relativa facilidade de seu cálculo. Já o entendimento dos futuros resultados pode não ser um processo trivial.

O modelo de simulação permitiu relacionar os custos de cada manejo reprodutivo com a quantidade média de fêmeas (vacas e novilhas) que entraram no programa reprodutivo. Assim, para os vinte e cinco anos de referência, foram calculados os custos médios em que se incorre, quando se decide por uma das estratégias reprodutivas estudadas. É válido apontar que essas variações são dependentes, tanto do custo por animal, como da quantidade de fêmeas sendo tratadas. Essa última característica foi relevante principalmente nos cenários com eficiência reprodutiva baixa, onde a disponibilidade de fêmeas diminuiu paulatinamente ano após ano, como consequência do descarte.

A tabela 13 sinaliza que uma maior adoção de tecnologia efetivamente envolve uma maior quantidade de recursos. O custo por serviço no cenário IATFS superou em 4,5 vezes o custo do IAC. Os cenários com sêmen sexado apresentam um aumento significativo quando comparado com os outros.

Tabela 13 – Quantidade média de fêmeas tratadas, custo por serviço e custo médio anual do manejo reprodutivo do rebanho para cada cenário no intervalo de tempo analisado

Cenário	Fêmeas tratadas	Custo/Serviço	Custo Total	
			Serviços/Rebanho	
IAC	115	R\$ 32,70	R\$	3.747,40
IAS	217	R\$ 92,70	R\$	20.023,20
IATFC	569	R\$ 56,20	R\$	31.960,90
IATFS	665	R\$ 116,20	R\$	77.296,20

A discriminação do custo por serviço para cada cenário é descrita na tabela 12. A participação do sêmen no custo total por serviço para os cenários que usaram sêmen sexado representou 97% e 77%, respectivamente, para IAS e IATFS.

Tabela 14 – Discriminação do custo por serviço para cada cenário analisado

Item	Cenário							
	IAC		IAS		IATFC		IATFS	
Equipamentos e acessórios*	R\$	2,70	R\$	2,70	R\$	2,70	R\$	2,70
Sêmen	R\$	30,00	R\$	90,00	R\$	30,00	R\$	90,00
Protocolo	R\$	-	R\$	-	R\$	23,50	R\$	23,50
Total	R\$	32,70	R\$	92,70	R\$	56,20	R\$	116,20

* Custos para a realização de 600 IA/ano

5.4 VIABILIDADE ECONÔMICA DAS ESTRATÉGIAS REPRODUTIVAS EMPREGADAS

Para a análise do investimento foi utilizado o sistema de fluxo de caixa descontado, que se baseia nas entradas e saídas de caixa por ano (somatória de 17 períodos). Foram considerados como investimentos (compra de animais, instalações e equipamentos), as receitas (venda de animais e venda de leite) e as despesas (alimentação, sanidade, manejo, reprodução e mão de obra). Baseado no fluxo de caixa obtido, foram calculados o *Payback*, VPL e a TIR como técnicas de análises da viabilidade econômica. O VPL foi calculado considerando um período de 25 anos e uma taxa de desconto de 10% ao ano.

As tabelas 13, 14, 15 e 16 apresentam os fluxos de caixa obtidos da análise de dados correspondentes aos cenários IAC, IAS, IATFC e IATFS. O período de análise foi de 25 anos e o valor dos investimentos no ano 0 é igual para os quatro cenários.

Tabela 15 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IAC

Ano	Entradas		Saídas		FCL *
0			R\$	-798.237,30	R\$ -798.237,30
1	R\$	936.623,40	R\$	-544.470,00	R\$ 392.153,40
2	R\$	535.562,70	R\$	-324.782,70	R\$ 210.780,00
3	R\$	591.866,60	R\$	-356.122,10	R\$ 235.744,40
4	R\$	527.269,60	R\$	-315.803,30	R\$ 211.466,20
5	R\$	479.138,70	R\$	-287.873,20	R\$ 191.265,50
6	R\$	446.222,30	R\$	-268.200,20	R\$ 178.022,10
7	R\$	407.807,10	R\$	-244.703,40	R\$ 163.103,80
8	R\$	375.321,90	R\$	-225.541,80	R\$ 149.780,10
9	R\$	345.246,60	R\$	-207.391,90	R\$ 137.854,70
10	R\$	317.375,40	R\$	-190.610,20	R\$ 126.765,20
11	R\$	291.824,00	R\$	-175.333,10	R\$ 116.490,80
12	R\$	268.427,80	R\$	-161.238,50	R\$ 107.189,20
13	R\$	246.800,50	R\$	-148.261,30	R\$ 98.539,20
14	R\$	226.982,90	R\$	-136.359,90	R\$ 90.623,00
15	R\$	208.742,70	R\$	-125.396,60	R\$ 83.346,10
16	R\$	191.960,30	R\$	-115.319,50	R\$ 76.640,80
17	R\$	176.540,40	R\$	-106.054,80	R\$ 70.485,50
18	R\$	162.351,50	R\$	-98.411,40	R\$ 63.940,20
19	R\$	149.305,60	R\$	-92.760,40	R\$ 56.545,30
20	R\$	137.308,60	R\$	-87.563,10	R\$ 49.745,50
21	R\$	126.274,50	R\$	-82.783,20	R\$ 43.491,30
22	R\$	116.127,80	R\$	-78.387,60	R\$ 37.740,20
23	R\$	106.796,20	R\$	-74.345,10	R\$ 32.451,10
24	R\$	98.214,40	R\$	-70.627,50	R\$ 27.587,00
25	R\$	90.322,40	R\$	-67.208,50	R\$ 23.113,80

*Fluxo de caixa líquido

Tabela 16 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IAS

Ano	Entradas		Saídas		FCL*
0			R\$	-798.237,30	R\$ -798.237,30
1	R\$	906.257,00	R\$	-536.128,50	R\$ 370.128,50
2	R\$	427.330,20	R\$	-281.852,00	R\$ 145.478,20
3	R\$	448.402,00	R\$	-300.362,90	R\$ 148.039,10
4	R\$	446.976,40	R\$	-291.744,80	R\$ 155.231,60
5	R\$	424.726,50	R\$	-282.950,70	R\$ 141.775,70
6	R\$	435.596,70	R\$	-286.737,00	R\$ 148.859,80
7	R\$	419.347,30	R\$	-276.937,10	R\$ 142.410,30
8	R\$	419.998,60	R\$	-277.669,50	R\$ 142.329,10
9	R\$	412.129,10	R\$	-271.836,20	R\$ 140.292,80
10	R\$	408.077,30	R\$	-269.611,10	R\$ 138.466,20
11	R\$	402.696,20	R\$	-265.862,70	R\$ 136.833,40
12	R\$	397.938,70	R\$	-262.688,60	R\$ 135.250,10
13	R\$	392.939,00	R\$	-259.498,20	R\$ 133.440,80
14	R\$	388.270,70	R\$	-256.287,80	R\$ 131.982,90
15	R\$	383.469,00	R\$	-253.195,30	R\$ 130.273,80
16	R\$	378.846,60	R\$	-250.103,80	R\$ 128.742,80
17	R\$	374.259,10	R\$	-247.074,00	R\$ 127.185,10
18	R\$	369.698,30	R\$	-244.075,10	R\$ 125.623,20
19	R\$	365.256,20	R\$	-241.123,40	R\$ 124.132,80
20	R\$	360.811,80	R\$	-238.200,70	R\$ 122.611,10
21	R\$	356.466,20	R\$	-235.324,10	R\$ 121.142,10
22	R\$	352.151,10	R\$	-232.476,20	R\$ 119.674,80
23	R\$	347.897,70	R\$	-229.668,70	R\$ 118.229,10
24	R\$	343.697,40	R\$	-226.893,40	R\$ 116.804,00
25	R\$	339.544,30	R\$	-224.152,90	R\$ 115.391,40

*Fluxo de caixa líquido

Tabela 17 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IATFC

Ano	Entradas	Saídas	FCL*
0		R\$ -798.237,30	R\$ - 798.237,30
1	R\$ 990.511,20	R\$ -614.306,40	R\$ 376.204,80
2	R\$ 760.103,60	R\$ -489.598,30	R\$ 270.505,30
3	R\$ 921.372,00	R\$ -567.796,00	R\$ 353.576,00
4	R\$ 910.722,50	R\$ -560.831,80	R\$ 349.890,70
5	R\$ 910.352,80	R\$ -558.828,10	R\$ 351.524,70
6	R\$ 910.890,30	R\$ -559.957,80	R\$ 350.932,50
7	R\$ 911.803,50	R\$ -560.318,90	R\$ 351.484,60
8	R\$ 912.359,40	R\$ -560.644,20	R\$ 351.715,10
9	R\$ 913.163,50	R\$ -561.245,30	R\$ 351.918,20
10	R\$ 914.177,90	R\$ -561.865,40	R\$ 352.312,50
11	R\$ 915.101,80	R\$ -562.451,20	R\$ 352.650,60
12	R\$ 916.077,20	R\$ -563.073,90	R\$ 353.003,40
13	R\$ 917.063,10	R\$ -563.688,00	R\$ 353.375,20
14	R\$ 918.034,00	R\$ -564.292,80	R\$ 353.741,20
15	R\$ 919.005,40	R\$ -564.896,00	R\$ 354.109,40
16	R\$ 919.972,40	R\$ -565.493,50	R\$ 354.478,90
17	R\$ 920.933,70	R\$ -566.086,60	R\$ 354.847,10
18	R\$ 921.892,30	R\$ -566.677,20	R\$ 355.215,10
19	R\$ 922.848,30	R\$ -567.265,50	R\$ 355.582,80
20	R\$ 923.802,70	R\$ -567.852,50	R\$ 355.950,20
21	R\$ 924.756,20	R\$ -568.438,80	R\$ 356.317,50
22	R\$ 925.709,50	R\$ -569.024,80	R\$ 356.684,80
23	R\$ 926.662,90	R\$ -569.610,80	R\$ 357.052,10
24	R\$ 927.616,80	R\$ -570.197,00	R\$ 357.419,70
25	R\$ 928.571,30	R\$ -570.783,70	R\$ 357.787,60

*Fluxo de caixa líquido

Tabela 18 – Fluxo de caixa da propriedade simulada com o cenário IATFS

Ano	Entradas	Saídas	FCL*
0		R\$ -798.237,30	R\$ -798.237,30
1	R\$ 990.511,20	R\$ -645.225,00	R\$ 345.286,10
2	R\$ 755.559,70	R\$ -540.366,20	R\$ 215.193,40
3	R\$ 1.035.203,80	R\$ -647.556,80	R\$ 387.647,10
4	R\$ 1.027.163,70	R\$ -643.424,80	R\$ 383.738,90
5	R\$ 1.034.501,70	R\$ -640.566,70	R\$ 393.935,10
6	R\$ 1.031.879,50	R\$ -641.580,10	R\$ 390.299,40
7	R\$ 1.031.515,20	R\$ -641.108,20	R\$ 390.407,00
8	R\$ 1.031.884,30	R\$ -641.213,80	R\$ 390.670,40
9	R\$ 1.031.792,10	R\$ -641.483,80	R\$ 390.308,30
10	R\$ 1.032.200,60	R\$ -641.793,40	R\$ 390.407,20
11	R\$ 1.032.642,30	R\$ -642.127,90	R\$ 390.514,40
12	R\$ 1.033.124,60	R\$ -642.512,80	R\$ 390.611,70
13	R\$ 1.033.683,30	R\$ -642.899,10	R\$ 390.784,20
14	R\$ 1.034.260,60	R\$ -643.289,90	R\$ 390.970,70
15	R\$ 1.034.854,50	R\$ -643.685,10	R\$ 391.169,40
16	R\$ 1.035.462,30	R\$ -644.077,90	R\$ 391.384,40
17	R\$ 1.036.074,70	R\$ -644.469,30	R\$ 391.605,40
18	R\$ 1.036.690,00	R\$ -644.859,10	R\$ 391.830,90
19	R\$ 1.037.307,00	R\$ -645.247,00	R\$ 392.059,90
20	R\$ 1.037.924,20	R\$ -645.633,60	R\$ 392.290,60
21	R\$ 1.038.541,50	R\$ -646.019,00	R\$ 392.522,40
22	R\$ 1.039.158,50	R\$ -646.403,60	R\$ 392.754,90
23	R\$ 1.039.775,40	R\$ -646.787,70	R\$ 392.987,70
24	R\$ 1.040.392,10	R\$ -647.171,50	R\$ 393.220,60
25	R\$ 1.041.008,80	R\$ -647.555,10	R\$ 393.453,70

*Fluxo de caixa líquido

Com base nos fluxos de caixa foram calculados os indicadores de viabilidade econômica para os quatro cenários. A tabela 17 apresenta a organização dos indicadores. Para tanto, definiu-se como base de comparação o cenário IAC, que é o cenário com tecnologia menos avançada. Assim, o *Payback* para o cenário IAC ocorreu no ano 3; o VPL do investimento foi de R\$ 759.353,90, e o resultado do cálculo da TIR foi de 29,3% ao ano. Para o cenário IAS, o *Payback* aconteceu no ano 4. O valor do VPL foi de R\$ 676.870,90 e a TIR de 23,3% aa. O *Payback* do cenário IATFC foi no ano 3 e os resultados para VPL e a TIR foram respectivamente R\$ 2.357.639,40 e 42,9% aa. Já o cenário da IATFS teve seu *Payback* no ano 3, o VPL resultou em R\$ \$2.558.490,79 e a TIR foi de 42,52% aa.

Tabela 19 – Resultados do VPL e TIR como técnicas de análises da viabilidade econômica para os diferentes cenários propostos

Cenário	<i>Payback</i>	VPL*	Variação do VPL**	TIR	Variação da TIR***
IATFS	3	\$ 2.558.490,80	236,9%	42,5% aa	45,1%
IATFC	3	\$ 2.357.639,40	210,5%	42,9% aa	46,3%
IAS	4	\$ 676.870,90	-10,9%	23,3% aa	-20,5%
IAC	3	\$ 759.353,90	0,0%	29,3% aa	0,0%

* VPL considerando período de 25 anos e taxa de desconto de 10% ao ano

**Variação do VPL (Base: IAC)

***Variação da TIR (Base: IAC)

6 DISCUSSÃO

A simulação é uma ferramenta importante para auxiliar o processo de tomada de decisão. Esta técnica tem especial aplicação em sistemas complexos, de períodos longos, onde múltiplas variáveis interagem entre si, características comuns dos sistemas pecuários. A oportunidade que este tipo de técnica proporciona ao gestor, como alterar parâmetros e avaliar as consequências, torna-se uma vantagem competitiva bastante valiosa (LOVATTO; SAUVANT, 2001). O modelo de simulação desenvolvido neste estudo permitiu observar que, quando acompanhado de IATF, o sêmen sexado apresenta o melhor desempenho econômico. Além disso, foi possível observar que a baixa eficiência reprodutiva do cenário IA afetou drasticamente seu inventário, devido às elevadas taxas de descarte. Isto, somado ao elevado custo do sêmen sexado, prejudicou seu desempenho econômico.

O presente estudo foi consistente em mostrar a estreita relação entre a eficiência reprodutiva e a política de descarte de animais. Neste sentido, De Vries (2010) calculou que o risco de descarte de uma vaca prenhe é, aproximadamente, 25% do risco de descarte de uma vaca vazia. Esta interação entre baixa eficiência reprodutiva e taxas elevadas de descarte, resulta na venda antecipada de matrizes e maiores demandas por novilhas de reposição. Esses eventos são custosos dentro dos rebanhos leiteiros, tendo em conta que o valor de uma vaca de desacate é inferior ao de uma novilha de reposição (DE VRIES, 2006; GIORDANO *et al.*, 2012; GALVÃO *et al.*, 2013; CABRERA, 2014). Relacionando as taxas de descarte observadas para cada cenário (IAC = 45,4%; IAS = 60,0%; IATFC = 35,0%; IATFS = 31,1%) com os resultados da análise econômica, pode-se estabelecer que na medida em que a taxa de descarte aumenta, os benefícios econômicos diminuem. Isso está de acordo com o descrito por Bascom e Young (1998), os quais sugerem que uma ótima taxa de descarte, em termos de rentabilidade, deve ser inferior a 30%, nas condições de preços que embasaram o experimento.

O sêmen sexado oferece ao produtor de leite a possibilidade de alterar a proporção de machos ou fêmeas conforme a seus objetivos comerciais. Na atualidade,

a eficiência da técnica chega a quase 90%, porém sua integração aos sistemas produtivos ainda apresenta desafios. O cenário que mostrou o desempenho econômico mais baixo foi IAS, inclusive com resultados piores que os apresentados pelo cenário com menos tecnologia envolvida (IAC). O uso do sêmen sexado tem maior custo e apresenta menores TC. Isso, somado à baixa DC, resultou em desempenho econômico inferior do cenário IAS. Já no cenário em que o sêmen sexado é usado junto com IATF, as maiores taxas de serviço permitiram aumento na eficiência reprodutiva, o que compensou a baixa fertilidade e o custo elevado do sêmen sexado, levando o cenário da IATFS a ter o melhor desempenho econômico. Neste cenário, o excedente na produção de fêmeas significou aumento dos ingressos como consequência de uma maior participação de novilhas prenhas nas vendas de animais. Adicionalmente, outra vantagem que apresentaria o cenário de IATFS e que não foi considerada dentro deste modelo de simulação, é uma maior pressão de seleção devida ao aumento na oferta de animais de reposição.

Sob as condições simuladas, o modelo indicou que cenários que incluíam a IATF, embora precisando maiores investimentos em seu programa reprodutivo, tiveram melhor desempenho econômico, quando comparados com os que inseminaram as vacas após a detecção de cio, independente do uso de sêmen sexado. Resultados similares foram mostrados por Giordano (2011), que simulou três programas reprodutivos em vacas de leite, dois com base em IATF e um baseado em DC. Nesse estudo os programas com IATF tiveram desempenho superior ao programa com DC. Porém, o presente modelo não considerou variações na taxa de serviço da IATF. Em outras palavras, considerou-se que a taxa de serviço nesse programa foi de 100%. Modelos mais elaborados como o desenvolvido por Galvão (2013), além do uso de DC e IATF, considerou diferentes níveis de acurácia para cada uma das técnicas, e de acordo com isso, encontrou que para determinados casos uma associação das duas técnicas seria mais rentável.

O objetivo principal do presente estudo foi desenvolver um modelo que permita auxiliar o processo de tomada de decisão na seleção da estratégia reprodutiva mais adequada, com base em parâmetros específicos e em função de sua viabilidade técnica e econômica. O modelo desenvolvido permite a modificação de parâmetros produtivos,

reprodutivos e econômicos de acordo com as características próprias de diferentes cenários e realiza avaliações econômicas de acordo com cada situação. Assim, inúmeras simulações poderão ser realizadas empregando este modelo, onde diversos cenários podem ser avaliados economicamente. As conclusões derivadas das simulações futuras dependerão estritamente da confiabilidade dos dados fornecidos ao modelo. Assim, é importante aclarar que os resultados serão uma aproximação do que seria o desempenho a campo da situação avaliada. Porém, na realidade poderá existir outros fatores não considerados no modelo que influenciem o rendimento econômico. O modelo criado pode constituir-se em uma ferramenta útil, cuja principal contribuição está na diminuição do risco e incerteza das decisões, que junto com outras considerações, auxiliem na escolha de alternativas que aumentem a rentabilidade ao produtor.

7 CONCLUSÕES

O modelo de simulação desenvolvido permite avaliar a viabilidade econômica do uso de biotecnologias reprodutivas como IA, IATF e o sêmen sexado em rebanhos leiteiros. Adicionalmente o modelo acompanha a variação no comportamento de diferentes atividades de interesse econômico dentro do rebanho, permitindo assim discriminar as categorias de animais e sua participação no total das mortes, vendas e descartes.

A simulação realizada demonstrou que quando usado com IATF o sêmen sexado apresenta um desempenho econômico favorável, devido principalmente à maior oferta de novilhas para a venda.

REFERÊNCIAS

- ALEXANDRATOS, N.; BRUINSMA, J. **World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision**. Rome: FAO, 2012. (ESA Working paper, n. 12-03).
- AZEVEDO, P. F.; BANKUTI, F. I. Na clandestinidade: o mercado informal de carne bovina. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON AGRI-FOOD CHAIN/NETWORKS ECONOMICS AND MANAGEMENT, 3., 2001, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2012. p. 1-12.
- BARUSELLI, P. S. et al. Impacto da IATF na eficiência reprodutiva em bovinos de corte. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE REPRODUÇÃO ANIMAL APLICADA, 2., 2006, Londrina. **Anais...**São Paulo, 2006. p. 113-132.
- BARUSELLI, P. S. et al. History, evolution and perspectives of timed artificial insemination programs in Brazil. **Animal Reproduction**, Belo Horizonte, v. 9, n. 3, p. 139-152, 2012.
- BASCOM, S.; YOUNG, A. A summary of the reasons why farmers cull cows. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 81, n. 8, p. 2299-2305, 1998.
- BÓ, G.; BARUSELLI, P.; MAPLETOFT, R. Synchronization techniques to increase the utilization of artificial insemination in beef and dairy cattle. **Animal Reproduction**, Belo Horizonte, v. 10, n. 3, p. 137-142, 2013.
- BORDEUX-RÊGO, R. et al. **Viabilidade econômica-financeira de projetos**. 2 .ed. Rio de Janeiro: FGV, 2008. 158 p.
- BRITT, J. H. Enhanced reproduction and its economic implications. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 68, n. 6, p. 1585-1592, 1985.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Valor bruto da produção agropecuária**. 2014. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/ministerio/gestao-estrategica/valor-bruto-da-producao>. Acesso em: 1 dez. 2014.
- BURNS, B.; FORDYCE, G.; HOLROYD, R. A review of factors that impact on the capacity of beef cattle females to conceive, maintain a pregnancy and wean a calf- Implications for reproductive efficiency in northern Australia. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 122, n. 1, p. 1-22, 2010.
- CABRERA, V. Economics of fertility in high-yielding dairy cows on confined TMR systems. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. 1, p. 211-221, 2014.
- CARTMILL, J. A. et al. An alternative al breeding protocol for dairy cows exposed to elevated ambient temperatures before or after calving or both. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 84, n. 4, p. 799-806, 2001.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA ESALQ/USP.

Boletim do leite. 2014. Disponível em:

<<http://www.cepea.esalq.usp.br/leite/boletim/234.pdf>>. Acesso em: 30 out. 2014.

CEZAR, I. M. Modelo bioeconômico de produção de bovino de corte: I: descricao do modelo. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, Brasília, v. 17, p. 941-949, 1982

CHEBEL, R. et al. Sex-sorted semen for dairy heifers: effects on reproductive and lactational performances. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 6, p. 2496-2507, 2010.

CHEBEL, R. et al. Factors affecting conception rate after artificial insemination and pregnancy loss in lactating dairy cows. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 84, n. 3-4, p. 239-255, 2004.

DE MEDEIROS, H. R. **Avaliação de modelos matemáticos desenvolvidos para auxiliar a tomada de decisão em sistemas de produção de ruminantes em pastagens.** 2003. 98 f. Teses (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luis de Queiros, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11139/tde...100019/.../henrique.pdf>. Acesso em: 12 fev. 2015.

DE VRIES, A.; VAN LEEUWEN, J.; THATCHER, W. W. **Economics of improved reproductive performance in dairy cattle.** Gainesville: Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 2011. (Florida Cooperative Extension Service AN156).

DE VRIES, A.; OLSON, J.; PINEDO, P. Reproductive risk factors for culling and productive life in large dairy herds in the eastern United States between 2001 and 2006. **Journal of dairy science**, New York, v. 93, n. 2, p. 613-623, 2010.

DE VRIES, A. Economic value of a marginal increase in pregnancy rate in dairy cattle. **Journal of Animal Science**, New York, v. 85, p. 423-423, 2007.

DE VRIES, A. Economic value of pregnancy in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 89, n. 10, p. 3876-3885, 2006.

DEJARNETTE, J. M. et al. Effect of sex-sorted sperm dosage on conception rates in Holstein heifers and lactating cows. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 91, n. 5, p.1778-85, 2008.

DEL RÍO, N. et al. An observational analysis of twin births, calf sex ratio, and calf mortality in Holstein dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 90, n. 3, p. 1255-1264, 2007.

DIAMOND, J. Evolution, consequences and future of plant and animal domestication. **Nature**, London, v. 418, n. 6898, p. 700-707, 2002.

DOBSON, H. et al. Why is it getting more difficult to successfully artificially inseminate dairy cows? **Animal**, Cambridge, v. 2, n. 8, p. 1104-1111, 2008.

ESPITIA MANRIQUE, C. H. **Modelos não lineares, alometria e dinâmica de macromoléculas para analisar o crescimento do Acará Bandeira (Pterophyllum scalare)**. 2012. 98 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2012. Disponível em: http://www.caunesp.unesp.br/publicacoes/dissertacoes_teses/dissertacoes/Dissertacao%20Carmen%20Helena%20Espitia%20Manrique.pdf. Acesso em: 12 mar. 2015.

ETTEMA, J.; OSTERGAARD, S. Economics of sex-biased milk production. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 98, n. 2, p. 1078-1081, 2015.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. FAOSTAT – FAO STATISTICS DIVISION. Livestock primary. 2014a. Disponível em: <http://faostat3.fao.org/download/Q/QL/E>. Acesso em: 26 nov. 2014.

_____. **Food outlook**: biannual report on global food markets. Rome: FAO, 2014b. 135 p.

_____. **Milk and milk products**: price and trade update. 2014 c. Disponível em: http://www.fao.org/fileadmin/templates/est/COMM_MARKETS_MONITORING/Dairy/Documents/Milk_and_Milk_Products.pdf. Acesso em: 2 dez. 2014.

_____. **Milk and dairy products in human nutrition**. Rome: FAO, 2013. 376 p.

_____. **La situación de los recursos zoogenéticos mundiales para la alimentación y la agricultura**. Editado por Barbara Rischkowsky y Dafydd Pilling. Rome: FAO, 2010a. 555 p.

_____. **Status of and prospects for smallholder milk production**– a global perspective. Editado por T. Hemme and J. Otte. Rome: FAO, 2010b. 181 p.

_____. **El estado mundial de la agricultura y la alimentación**. Rome: FAO, 2009. 183 p.

FETROW, J.; NORDLUND, K.; NORMAN, H. Invited review: culling: nomenclature, definitions, and recommendations. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 89, n. 6, p. 1896-1905, 2006.

GALVÃO, K. N. et al. Economic comparison of reproductive programs for dairy herds using estrus detection, timed artificial insemination, or a combination. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 96, n. 4, p. 2681-2693, 2013.

GAMEIRO, A. H. Análise econômica aplicada à zootecnia: avanços e desafios. In: SANTOS, M. V. et al. (Org.). **Novos desafios da pesquisa em nutrição e produção animal**. Pirassununga: 5D, 2009. p. 9-32.

GARÓFALO, G. D. L.; PEREIRA DE CARVALHO, L. C. **Teoria microeconômica**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1992. 573 p.

GIORDANO, J. et al. A daily herd Markov-chain model to study the reproductive and economic impact of reproductive programs combining timed artificial insemination and estrus detection. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 95, n. 9, p. 5442-5460, 2012.

GIORDANO, J. et al. An economic decision-making support system for selection of reproductive management programs on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 94, n. 12, p. 6216-6232, 2011.

GRAHAM, J. R.; HARVEY, C. R. The theory and practice of corporate finance: evidence from the field. **Journal of Financial Economics**, Amsterdam, v. 60, n. 2-3, p. 187-243, 2001.

GUIDUCCI, R. D. C. N.; LIMA FILHO, J. R. D. ; MOTA, M. M. **Viabilidade econômica de sistemas de produção agropecuários**. Brasília: Embrapa, 2012. 535 p.

HAYES, B. J.; LEWIN, H. A.; GODDARD, M. E. The future of livestock breeding: genomic selection for efficiency, reduced emissions intensity, and adaptation. **Trends in Genetics**, Kidlington, v. 29, n. 4, p. 206-214, 2013.

HINDE, K. et al. Holsteins favor heifers, not bulls: biased milk production programmed during pregnancy as a function of fetal sex. **PloS one**, San Francisco, v. 9, n. 2, p. e86169, 2014.

HOLANDA, N. **Introdução à economia**: da teoria a prática e da visão micro à macroperspectiva. 8. ed. Recife: Voces, 2003. 847 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estatística da produção pecuária**. 2014. Disponível em:

<<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/ppm/2013/default.shtm>>. Acesso em: 11 nov. 2014.

JONES, H.; JONES, H. G. **Introducción a las teorías modernas del crecimiento económico**. Barcelona: Antoni Bosch, 313p, 1979.

KNIPS, V. **Developing countries and the global dairy sector, part i**: global overview. Rome: FAO, 2005. 49 p.

KUHN, M.; HUTCHISON, J.; WIGGANS, G. Characterization of Holstein heifer fertility in the United States. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 89, n. 12, p. 4907-4920, 2006.

LEBLANC, S. Economics of improving reproductive performance in dairy herds. In: WESTERN CANADIAN DAIRY SEMINAR, ADVANCES IN DAIRY TECHNOLOGY 2007, Alberta. **Proceedings...** Alberta, 2007. p. 201-214.

LIMA, F. S. et al. Economic comparison of natural service and timed artificial insemination breeding programs in dairy cattle. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 9, p. 4404-4413, 2010.

LOVATTO, P. A.; SAUVANT, D. Modelagem aplicada aos processos digestivos e metabólicos do suíno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 31, n. 4, p. 663-670, 2001.

MARTINS, C. R.; NOGAMI, O. **Princípios de economia**. 5. ed. São Paulo, 2008. 658 p.

MEADOWS, C.; RAJALA-SCHULTZ, P. J.; FRAZER, G. S. A spreadsheet-based model demonstrating the nonuniform economic effects of varying reproductive performance in Ohio dairy herds. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 88, n. 3, p. 1244-1254, 2005.

MENEGASSI, S. R. O. Bioeconomic impact of bull breeding soundness examination in cow-calf systems. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 40, n. 2, p. 441-447, 2011.

NATIONAL ANIMAL HEALTH MONITORING SYSTEM. **Bull management practices on U.S. beef cow-calf**. 2009a. Disponível em: http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/beefcowcalf/downloads/beef0708/Bee_f0708_is_BullMgmt.pdf. Acesso em: 8 dez. 2014.

NATIONAL ANIMAL HEALTH MONITORING SYSTEM. **Dairy 2007, Part IV: reference of dairy cattle health and management practices in the United States**, 2009b. Disponível em: http://www.aphis.usda.gov/animal_health/nahms/dairy/downloads/dairy07/Dairy07_dr_PartIV.pdf. Acesso em: 8 dez. 2014.

NORMAN, H.; HUTCHISON, J.; MILLER, R. Use of sexed semen and its effect on conception rate, calf sex, dystocia, and stillbirth of Holsteins in the United States. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 8, p. 3880-3890, 2010.

NUNES, R. **Economia básica para os cursos de graduação em zootecnia, engenharia de alimentos e engenharia de biossistemas**. Pirassununga: FZEA/USP – Departamento de Zootecnia, 2012.

OVERTON, M. Cost comparison of natural service sires and artificial insemination for dairy cattle reproductive management. **Theriogenology**, Philadelphia, v. 64, n. 3, p. 589-602, 2005.

PENTEADO, L. et al. Eficiência reprodutiva em vacas Nelore (*Bos indicus*) lactantes submetidas a diferentes manejos durante a estação de monta. In: REUNIÃO DO COLÉGIO BRASILEIRO DE REPRODUÇÃO ANIMAL, 16., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005.

PEREIRA, M. H. C. et al. Timed artificial insemination programs during the summer in lactating dairy cows: comparison of the 5-d Cosynch protocol with an estrogen/progesterone-based protocol. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 96, n. 11, p. 6904-6914, 2013.

PINDYCK, R. S.; RUBINFELD, D. L. **Microeconomia**. 7. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2010. 647p.

PINEDO, P.; DE VRIES, A.; WEBB, D. Dynamics of culling risk with disposal codes reported by dairy herd improvement dairy herds. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 93, n. 5, p. 2250-2261, 2010.

PINHO, D. B. **Manual de economia**. São Paulo: Saraiva, 1988. 443 p.

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

RODGERS, J. C. et al. An economic evaluation of estrous synchronization and timed artificial insemination in suckled beef cows. **Journal of Animal Science**, Chamapign, v. 90, n. 11, p. 4055-4062, 2012.

ROSSETTI, J. P. **Introdução à economia**. 17. ed. São Paulo: Atlas, 1997. 922p.

RUSHTON, J. **The economics of animal health and production**. Cambridge: International, 2009.

SÁ FILHO, M. et al. Optimizing the use of sex-sorted sperm in timed artificial insemination programs for suckled beef cows. **Journal of Animal Science**, Chamapign, v. 90, n. 6, p. 1816-1823, 2012.

SAMUELSON, P. A. **Introdução à análise econômica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Livraria Agir, 1972. 1215 p.

SARTORI, R.; BASTOS, M. R.; WILTBANK, M. C. Factors affecting fertilisation and early embryo quality in single-and superovulated dairy cattle. **Reproduction, Fertility and Development**, Clayton, v. 22, n. 1, p. 151-158, 2009.

SEIDEL, G.; SCHENK, J. Pregnancy rates in cattle with cryopreserved sexed sperm: effects of sperm numbers per inseminate and site of sperm deposition. **Animal Reproduction Science**, Amsterdam, v. 105, n. 1, p. 129-138, 2008.

SHALLOO, L.; CROMIE, A.; MCHUGH, N. Effect of fertility on the economics of pasture-based dairy systems. **Animal**, Cambridge, v. 8, n. s1, p. 222-231, 2014.

SMITH, A. **Uma investigação sobre a natureza e causa da riqueza das nações**. 2. ed. São Paulo: Hemus, 1981. 515 p.

TRENKLE, A.; WILLHAM, R. Beef production efficiency. **Science**, Washington, v. 198, n. 4321, p. 1009-1015, 1977.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE - USDA. **Dairy**: world markets and trend. 2014a. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/dairy.pdf>>. Acesso em: 19 dez. 2014.

_____. **PSD**: production, supply and distribution. 2014b. Disponível em: <<http://apps.fas.usda.gov/psdonline/psdReport.aspx?hidReportRetrievalName=Cattle+Summary+Selected+Countries+&hidReportRetrievalID=1648&hidReportRetrievalTemplateID=7>>. Acesso em: 12 dez. 2014.

VARIAN, H. R.; NORTON, W. **Microeconomic analysis**. New York: Norton, 1992.

VISHWANATH, R. Artificial insemination: the state of the art. **Theriogenology**, Philadelphia, v. 59, n. 2, p. 571-584, 2003.

VON KEYSERLINGK, M. et al. Sustainability of the US dairy industry. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 96, n. 9, p. 5405-5425, 2013.