

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

SILMAR ANTONIO LUNKES

**FORMULAÇÃO DE DIETA DE MÍNIMO CUSTO PARA GADO
LEITEIRO UTILIZANDO A PROGRAMAÇÃO LINEAR: ESTUDO DE
CASO EM UMA PROPRIEDADE DO OESTE DO PARANÁ**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2018

SILMAR ANTONIO LUNKES

**FORMULAÇÃO DE DIETA DE MÍNIMO CUSTO PARA GADO
LEITEIRO UTILIZANDO A PROGRAMAÇÃO LINEAR: ESTUDO DE
CASO EM UMA PROPRIEDADE DO OESTE DO PARANÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia de Produção, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito à disciplina de TCC2.

Orientador: Prof. Dr. Levi Lopes Teixeira
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Carla Adriana Pizarro Schmidt

MEDIANEIRA

2018



TERMO DE APROVAÇÃO

FORMULAÇÃO DE DIETA DE MÍNIMO CUSTO PARA GADO LEITEIRO UTILIZANDO A PROGRAMAÇÃO LINEAR: ESTUDO DE CASO EM UMA PROPRIEDADE DO OESTE DO PARANÁ

Por

SILMAR ANTONIO LUNKES

Este trabalho de conclusão de curso foi apresentado às 10 h e 20 min do dia 20 de novembro de 2018, como requisito parcial para aprovação na disciplina de TCC2, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o projeto para realização de trabalho de diplomação aprovado.

Prof. Dr. Levi Lopes Teixeira
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Carla Adriana Pizarro Schmidt
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Carlos Aparecido Fernandes
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. José Airton Azevedo dos Santos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

Dedico este trabalho a todas as pessoas
que de uma forma ou de outra me
apoiaram durante essa trajetória.

AGRADECIMENTOS

Aos professores orientadores, pela ajuda que enriqueceu este trabalho.

À minha esposa, pela confiança e motivação.

Ao meu pai, à minha mãe e meu irmão, que colaboraram nas medições e aplicação do trabalho.

Aos meus amigos, pelo apoio e auxílio nos momentos de dúvidas.

Aos demais professores do curso, que colaboraram para o entendimento dos conceitos relativos à Engenharia de Produção.

*"Faça o teu melhor, na condição que você tem,
enquanto você não tem condições melhores,
para fazer melhor ainda!"*

(Mario Sergio Cortella)

RESUMO

LUNKES, Silmar Antonio. **Formulação de dietas de mínimo custo para gado leiteiro utilizando a programação linear: estudo de caso em uma propriedade do oeste do Paraná.** 2018. Monografia (Bacharel em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Por meio da presente pesquisa, foi formulada uma dieta para algumas vacas leiteiras de uma propriedade situada no oeste do Paraná, a fim de alcançar as metas de produção de leite ao menor custo. Para isso, utilizou-se o Problema da Mistura, uma técnica de Pesquisa Operacional que, neste caso, procura otimizar um mix de alimentos a ser fornecido diariamente às vacas leiteiras a um menor custo possível, atendendo, concomitantemente, às exigências nutricionais dos animais. Primeiramente foram observadas as características gerais da produção naquela propriedade, tais como o ambiente, o rebanho, o ciclo reprodutivo, a alimentação habitualmente fornecida às vacas e alguns custos envolvidos. Posteriormente, três vacas leiteiras foram selecionadas do rebanho a fim de se observar os respectivos históricos de produção e as respostas em relação a uma dieta proposta por meio do presente estudo. Para formular a dieta, verificaram-se as necessidades nutritivas diárias desses animais ao confrontar as suas características físicas com informações contidas em tabelas disponíveis na literatura. Da mesma maneira, quantificou-se os nutrientes contidos em cada alimento disponível para compor a mistura otimizada utilizando-se de tabelas disponíveis. De posse desses dados, lançou-se mão das técnicas de Pesquisa Operacional (PO) com base no clássico “Problema da Mistura”, com o qual foi possível determinar a quantidade ideal de cada alimento que iria compor uma dieta que atendesse a todas as exigências nutricionais diárias dos animais ao menor custo. A dieta foi fornecida aos animais nas proporções apontadas pelos cálculos e nos mesmos métodos de manejo e fornecimento de alimentos já praticados na propriedade. Realizaram-se as medições necessárias da produção de leite alcançada no período de fornecimento da dieta, o qual durou noventa dias, com o intuito de comparar o volume de leite produzido pelos animais antes e depois de receberem a alimentação balanceada, bem como os custos envolvidos com a alimentação. Os resultados mostraram-se satisfatórios e dentro do esperado, uma vez que, embora os custos houvessem aumentado, a produção leiteira aumentou a uma proporção maior, gerando lucros mais significativos do que os lucros já obtidos pelo produtor antes do presente estudo. Sendo assim, a Engenharia de Produção mostra-se eficiente, comprovando a sua capacidade de oferecer ferramentas e suporte consistentes para realizar melhorias nos mais diversos ramos produtivos.

Palavras-chave: Alimentação de vacas leiteiras. Engenharia de Produção. Otimização. Pesquisa Operacional.

ABSTRACT

LUNKES, Silmar Antonio. **Formulation of minimum cost diets for dairy cattle using linear programming: a case study in a property in western Paraná.** 2018. Monography (Bachelor in Production Engineering) - Federal Technological University of Paraná.

Through this research, a diet was formulated for some dairy vaccines from a property located in the western part of Paraná, in order to achieve milk production goals at the lowest cost. In order to do this, we used the Mixing Problem, a research technique that, in this case, seeks a mixture of foods for dairy vaccines, a simpler case, attending concurrently to the nutritional purchases of the animals. First, they were observed the characteristics of the production in the property, such as the environment, the herd, the cycle reproductive, feeding to top of cows and some custards involved. Subsequently, three dairy cows were selected to rejuvenate the results of their production studies and the responses in relation to a version proposed by the present study. Parameters for diet, it was verified as nutritional, relaxing and animal needs to confront their sources with information existing in the tables available in the literature. In the same way, the nutrients contained in each food available to compose an optimized layer were quantified using available dimensions. The capacity of these data was published to the Operational Research (PO) techniques based on the classic "Mix Problem", with the power to determine the ideal quantity of each food that would comprise a diet that met all the requirements the evaluations of animals at the lowest cost. The diet was accompanied by the proportions indicated by the calculations and the best methods of handling and containment of foods already practiced on the property. It was performed as the milk production compared to the period of the diet, which lasted ninety days, with time to compare the bed volume of the animal and from there to receive a balanced feed, such as the costs involved with feeding. The results obtained increase and increase hope, while times have increased, increasing the expectation of a larger message, generating higher profits than the profits already verified before the present. Thus, the Production Engineering proved to be efficient, proving the capacity of its tools and consistent supports to carry out efforts in the same productive branches.

Keywords: Dairy cows feeding. Production Engineering. Optimization. Operational Research.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Lactação de vacas holandesas do oeste do Paraná, de acordo com a quantidade de leite (kg) entre segundo e terceiro partos	19
Figura 2 - Estrutura geral de problemas de PL.....	25
Figura 3 - Free stall onde as vacas leiteiras ficam confinadas durante o dia	28
Figura 4 - Área de pastoreio no período da noite	29
Figura 5 - Classificação da presente pesquisa científica.....	30
Figura 6 - Etapas do desenvolvimento da presente pesquisa	32
Figura 7 - Animais em que o presente estudo foi aplicado.....	33
Figura 8 - Função Objetivo e restrições para o Problema da Mistura aplicado ao presente estudo.....	44
Figura 9 - Solução ótima obtida por meio da ferramenta computacional LINGO®	46

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Produção leiteira da Vaca 1 antes da dieta	40
Gráfico 2 - Produção leiteira da Vaca 2 antes da dieta	40
Gráfico 3 - Produção leiteira da Vaca 3 antes da dieta	40
Gráfico 4 - Produção leiteira da Vaca 1 com o fornecimento da dieta.....	48
Gráfico 5 - Produção leiteira da Vaca 2 com o fornecimento da dieta.....	48
Gráfico 6 - Produção leiteira da Vaca 3 com o fornecimento da dieta.....	49
Gráfico 7 - Cenários (pontos) que poderão ser alcançados após a aplicação	52

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Possíveis cenários de serem atingidos após o fornecimento da dieta53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Níveis recomendados de FDN na MS de acordo com a produção.....	22
Tabela 2 - Composição da alimentação dos animais em estudo	39
Tabela 3 - Exigência alimentar diária mínima (kg) das vacas em estudo.....	42
Tabela 4 - Composição dos alimentos em relação aos nutrientes presentes nos mesmos.....	43
Tabela 5 - Solução ótima para a dieta das vacas em estudo	46
Tabela 6 - Quantidade de leite medida antes e após o fornecimento da dieta.....	49
Tabela 7 - Produção de leite antes e após o fornecimento da dieta com as referidas receitas.....	50
Tabela 8 - Relação de custos, receitas e lucros.....	51

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS.....	15
1.1.1. Objetivo geral.....	15
1.1.2. Objetivos específicos.....	15
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO PARA VACAS DE ALTA PRODUÇÃO.....	16
2.2. LACTAÇÃO DAS VACAS.....	17
2.3. NUTRIÇÃO ANIMAL.....	20
2.4. PESQUISA OPERACIONAL E A PROGRAMAÇÃO LINEAR.....	23
2.5. O PROBLEMA DA MISTURA.....	25
3. MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE.....	28
3.2. METODOLOGIAS DA PESQUISA.....	29
3.3. ETAPAS DA PESQUISA.....	31
3.4. O GRUPO DE VACAS LEITEIRAS E PERÍODO DO ESTUDO.....	32
3.5. O CÁLCULO DAS DIETAS.....	34
3.6. MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA PROPOSTO.....	34
4. RESULTADOS	38
4.1. ALIMENTAÇÃO E PRODUÇÃO LEITEIRA DAS VACAS ANTES DO FORNECIMENTO DA DIETA.....	39
4.2. CÁLCULO DA DIETA PARA OS ANIMAIS.....	41
4.3. FORNECIMENTO DA DIETA AOS ANIMAIS E ANÁLISE DA PRODUÇÃO.....	47
4.4. ANÁLISE DO CENÁRIO ATINGIDO.....	52
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES	54
5.1. DIFICULDADES ENCONTRADAS E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS.....	55
REFERÊNCIAS	57

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro conta com aproximadamente cinco milhões de produtores rurais, representando 21,5% do produto interno, e destes, 80% são propriedades agropecuárias pertencentes a pequenos grupos familiares (CEPEA, 2017).

De acordo com o IBGE, em seu Censo Agropecuário (2006), a agricultura familiar tem grande participação na produção de produtos agropecuários, sendo responsável por 60% de toda a produção de leite do Brasil.

A Agência de Notícias do Paraná (2017), baseando-se em dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2015, divulgou que o Paraná é o segundo maior estado em produção de leite no Brasil, atrás apenas de Minas Gerais.

A propriedade agropecuária analisada é familiar, situa-se no oeste do Paraná e está presente há vinte anos no ramo de produção leiteira. Nos últimos anos, ampliou a produção através do melhoramento de vários fatores, como os relativos ao ambiente (confinamento e pastoreio), aos animais (genética mais específica), e principalmente nos fatores relacionados com a alimentação do gado leiteiro.

Nas propriedades produtoras de leite, um dos desafios é a alimentação dos bovinos, pois muitas vezes não se conhece as necessidades nutritivas desses animais e nem a quantidade de nutrientes disponível em cada alimento para uma alimentação balanceada (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009).

Kirchof ([199-], p. 5) nos traz uma abordagem sobre a alimentação adequada para o gado leiteiro. De acordo com o referido autor, o cálculo da alimentação do rebanho leiteiro tem por finalidade combinar adequadamente os alimentos que atendam às necessidades dos animais da maneira mais econômica e de modo a alcançar as maiores produções. Este cálculo deve ser prioritário para o produtor de leite, pois dependendo de seu acerto ou não, aumentará ou diminuirá os lucros de seu trabalho. Uma produção eficiente de leite não é somente consequência da nutrição correta, mas também de um potencial genético adequado das vacas.

Assim, conforme afirma Kirchof ([199-], p. 5), uma maneira de calcular a alimentação é utilizando modelos de otimização linear, como o Problema de Mistura,

que, segundo Arenales et al. (2007, p.15), “problemas deste tipo consistem em combinar materiais obtidos na natureza (ou restos de outros já combinados anteriormente) para gerar novos materiais ou produtos com características convenientes”.

Neste sentido, encontram-se disponíveis, na literatura e internet, várias produções científicas relacionadas à formulação de dietas para animais utilizando a Pesquisa Operacional, por meio de técnicas de Programação Linear.

Dentre as publicações, destacam-se alguns trabalhos, como os desenvolvidos por: Batistus et al. (2015) intitulado por “Formulação de dieta de mínimo custo para a bovinocultura de leite: animais nos dois últimos meses de gestação”; Petry e Pagliarini (2009) com o título “Modelo de programação linear aplicado na melhoria da produtividade leiteira”; Santos e Perina (1999) com o título “Programação linear aplicada à formulação de ração de custo mínimo para bovinos na região de Araçatuba”; Santos e Rodrigues (2007) intitulado por “Ferramenta para formulação de dietas de mínimo custo para pequenos ruminantes utilizando programação linear em passos iterativos” e; Santos e Quintal (2016), com o título “Problema de programação linear da dieta aplicado à nutrição de suínos”.

A agricultura familiar tem uma enorme participação no agronegócio de leite no Brasil (CENSO AGROPECUÁRIO, 2006), porém, na maioria das propriedades familiares, o planejamento das atividades é precário ou ainda inexistente, havendo pouco conhecimento técnico a respeito da atividade (CLEMENTE et. al., 2010).

A otimização da alimentação de vacas leiteiras por meio de dietas balanceadas, que procuram atender às exigências nutricionais dos animais ao menor custo, pode ser considerada uma forma de apoiar os produtores rurais em suas atividades (AGÊNCIA DE INFORMAÇÕES EMBRAPA, 2017).

A alimentação das vacas leiteiras representa uma parcela significativa dos custos totais de uma propriedade, atingindo em torno de 50 a 75% destes custos (SANTOS; RODRIGUES; LISBOA FILHO, 2006), de maneira que dietas bem calculadas melhoram o fornecimento dos alimentos e impactam significativamente a rentabilidade dos produtores agropecuários (KIRCHOF, [199-]).

Neste contexto, é importante destacar que a universidade tem um papel fundamental no desenvolvimento da região onde está inserida, por meio da aplicação de seus conhecimentos para fora do ambiente universitário, promovendo melhores condições de trabalho, diminuindo disparidades econômicas e sociais

existentes (FROTA JR., 2004).

Nessa perspectiva, a aplicação de conceitos atinentes à Engenharia de Produção em uma propriedade agropecuária, como o objetivo de promover melhorias na produção leiteira e colaborar no desenvolvimento da mesma, vai ao encontro dos anseios da proposta do Trabalho de Conclusão de Curso e de um dos papéis da Universidade em relação à sociedade.

1.1 OBJETIVOS

A seguir encontram-se listados os objetivos gerais e específicos do presente estudo relacionado à formulação de dietas de mínimo custo para gado leiteiro.

1.1.1. Objetivo geral

Formular e propor dietas para algumas vacas leiteiras de uma propriedade agropecuária situada no oeste do Paraná, a fim de atender às exigências nutricionais diárias dos animais e, por consequência, aumentar a produção de leite.

1.1.2. Objetivos específicos

- a) Levantar dados relacionados à alimentação das vacas em estudo;
- b) Observar as características dos animais, tais como genética, peso vivo, produção, entre outras e, com base nisso, verificar as exigências nutricionais diárias contidas na literatura.
- c) Formular dietas baseando-se em técnicas de Programação Linear;
- d) Aplicar a dieta calculada e medir os resultados na produção leiteira.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. SISTEMAS DE ALIMENTAÇÃO PARA VACAS DE ALTA PRODUÇÃO

O objetivo de um sistema de alimentação é proporcionar ao pecuarista o retorno do investimento, e neste contexto discutem-se assuntos relacionados à formulação de ração ou dietas de custo mínimo, à compra ou produção de alimentos e ingredientes de boa qualidade, à realização de análises das quantidades de nutrientes presentes em cada alimento e às formas de fornecimento da alimentação. A integração de cada uma destas partes é fundamental para atingir as metas produtivas (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009).

Petry e Pagliarini (2009) afirmam que nos sistemas de produção em que os fazendeiros usam grandes quantidades de alimentos concentrados, existe a necessidade de se trabalhar com animais de alto potencial para a produção, de maneira que haja possibilidade de se obter rentabilidade no setor.

Dentre os fatores que determinam a produtividade e a lucratividade de vacas de leite, a alimentação é o fator mais representativo, pois em um mesmo rebanho, aproximadamente 75% das diferenças de produção entre as vacas são explicadas por fatores ambientais e de alimentação, e os outros 25%, são devidos a fatores hereditários (ENSMINGER; OLENTINE, 1978).

Segundo Weiss (1998), vacas de alta produção são muito exigentes no que diz respeito a uma estimativa precisa das quantidades de nutrientes das dietas, pois quando a alimentação não fornece as adequadas quantidades nutricionais, os animais perdem excessivamente o peso corporal, têm sua reprodução prejudicada, reduzem a resistência às doenças e diminuem a produção leiteira. O mesmo autor já citado, afirma, por outro lado, que dietas com excesso de energia e nutrientes podem causar obesidade nos animais, com consequências negativas à saúde destes, além de aumentar os custos com a alimentação, sem o retorno do investimento.

Gonçalves, Borges e Ferreira (2009) consideram que o sistema de alimentação de vacas leiteiras pode ser dividido em cinco áreas específicas, sendo elas: Inventário de Alimentos, que inclui a produção ou aquisição, estocagem e

controle de qualidade de forragens, alimentos concentrados e suplementos vitamínicos e minerais; Agrupamento de Animais, em que se faz o agrupamento dos animais com características semelhantes em estágio e volume produtivo, para que possam receber tratamento em lotes, sempre que não for possível o tratamento individualizado; Formulação de Dietas, que abrange os cálculos sobre quais alimentos devem ser fornecidos aos animais, a fim de se obter a máxima eficiência produtiva ao menor custo; Manejo da Alimentação, em que se verifica a forma de se alimentar os animais, horários, períodos de tempo, e características dos alimentos, e Manejo do Esterco, em que se podem fazer análises para verificar a quantidade de nutrientes que sai do sistema digestivo do animal, além da correta destinação destes resíduos.

Em relação à alimentação de vacas em lactação, Gonçalves, Borges e Ferreira (2009, p. 130), apontam que:

De modo geral, os alimentos podem ser fornecidos de duas maneiras: 1) fornecimento separado de volumoso e concentrado; 2) dieta ou ração total (forragem e concentrados misturados juntos). Ainda, após formulação, a dieta (total ou separada) é ofertada sob duas formas: 1) individualmente: quando da utilização de canzins, baias individuais, sistema de confinamento tipo "tie stall", entre outros; 2) em grupos: quando da utilização de cochos ou pistas de alimentação coletivas, alimentação a pasto, sistemas de confinamento tipo "free stall", entre outros.

Os autores acima citados destacam também que quando a dieta é fornecida em grupos, é bastante difícil fornecer quantidades iguais de concentrado a cada vaca, quando comparado aos sistemas individuais, em que há maior controle sobre a ingestão de alimentos de cada animal.

2.2. LACTAÇÃO DAS VACAS

A Agência de Informações Embrapa (2017) afirma que o leite é um alimento formado pela combinação de diversos elementos, constituindo-se de aproximadamente 13% de sólidos, formados por lipídios (gordura), proteínas, carboidratos, vitaminas e sais e o restante, aproximadamente 87%, é água.

A composição do leite pode variar com a presença de alguns

condicionantes, tais como a alimentação, a raça das vacas, a temperatura ambiente, eventuais doenças ou infecções contraídas pelos animais. Vale ressaltar que não apenas a composição, mas inclusive a produção de leite pode variar devido a esses e também a outros fatores (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009).

Por óbvio que, na atividade leiteira, a produção de leite é a característica de maior importância econômica, sendo imprescindível pesquisadores fornecer aos produtores de leite as principais informações úteis ao aprimoramento da alimentação de seus rebanhos, uma vez que ela influencia sensivelmente a produção. Destarte, por meio de estudos de curvas de lactação, esse aprimoramento pode ser obtido de forma prática e consistente.

A curva de lactação de bovinos nada mais é que uma representação gráfica da variação da produção de leite diária de uma vaca leiteira em função da duração da lactação. Essa curva pode ser utilizada para estimar a produção de leite em qualquer período ou mesmo no transcorrer da lactação (Gonçalves, 1994).

Conhecer o comportamento das curvas de lactação do rebanho de uma propriedade auxilia o produtor na adequação de técnicas de alimentação e também de manejo, no descarte e na seleção dos melhores animais, de acordo com um padrão desejável, pré-estabelecido de acordo com a capacidade de produção (Gonçalves, 1994). Assim, a comparação da forma da curva entre diferentes grupos de animais, com distintas raças, idades ao parto e outros tratamentos de interesse é de suma importância, pois por meio dessas comparações, podem ser obtidas informações acerca da eficiência desses grupos propiciando dessa maneira um melhor controle da produção (GROENEWALD; VILJOEN, 2003).

As curvas de lactação média de vacas holandesas do oeste do Paraná, após o segundo parto, estão representadas na Figura 1. Nota-se que a produção de leite aumenta após o parto, atinge um pico produtivo e, depois de alguns meses, a produção de leite tende a diminuir. Sendo assim, é importante que as vacas sejam estimuladas para partos mais frequentes, geralmente a cada onze meses, para se obter maiores quantidades de picos produtivos ao longo da vida do animal (MOLETO et al., 2004).

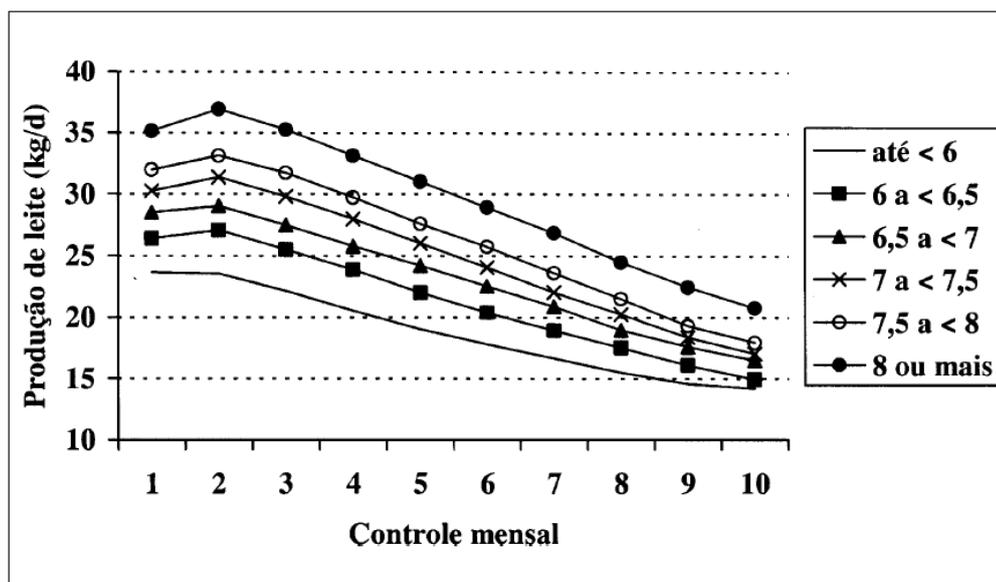


Figura 1 - Lactação de vacas holandesas do oeste do Paraná, de acordo com a quantidade de leite (kg) entre segundo e terceiro partos

Fonte: Moletto (2004).

Geralmente, os bovinos leiteiros, no espaço temporal de 1 (um) ano, permanecem em lactação por um período de 305 dias e, nos 60 dias restantes, permanecem no chamado período seco ou pré-parto. Nesse período, as vacas leiteiras não produzem leite para que, durante esses 60 dias, possam ser preparadas para o dia do parto, ingerindo, dessa forma, nutrientes destinados a atender às suas necessidades corporais, à sua manutenção e à do feto (ANDRIGUETTO et al., 2005).

Ainda, de acordo com o autor anteriormente citado, a produção máxima de leite acontece nos dois primeiros meses de lactação, sendo que neste tempo, as necessidades nutricionais para manutenção corporal e para produção leiteira são maiores do que aquelas que o animal consegue consumir, utilizando-se então da reserva energética adquirida no período seco antes do parto, sendo que a sua perda de peso é praticamente inevitável.

De acordo com a Carvalho et al. (2003), nas duas primeiras lactações da vida de uma vaca leiteira, as quantidades de alimentos fornecidos devem ser superiores em relação àquelas que deveriam receber em função da produção de leite e peso corporal, pois as necessidades nutricionais são bastante elevadas. Porém, se o animal for alimentado em excesso, haverá perdas, pois sua produção não aumentará mais do que o limite de sua capacidade produtiva. Por outro lado, se a alimentação for carente de nutrientes, a produção será abaixo do nível normal e/ou

acarretará no enfraquecimento do animal.

2.3. NUTRIÇÃO ANIMAL

Segundo Kirchof ([199-], p. 6) “A nutrição animal envolve o estudo e utilização dos alimentos necessários ao crescimento, produção e reprodução dos animais domésticos”.

Em cada alimento estão contidas substâncias semelhantes, os chamados nutrientes, porém, em proporções diferentes, a fim de suprir as exigências dos animais para seu crescimento, manutenção corporal, reprodução e produção, também sendo necessária energia para realizar tais funções, obtida por meio da queima dos nutrientes (KIRCHOF, [199-]).

O mesmo autor acrescenta que os alimentos ingeridos pelos animais precisam, primeiramente, ser decompostos no aparelho digestivo para que assim seus nutrientes possam ser utilizados. Ressalta também que o desempenho do animal segue a lei do mínimo, ou seja, todo o balanceamento nutricional no corpo do animal baseia-se no nutriente que estiver em menor quantidade em relação a sua exigência.

Petry e Pagliarini (2009) apontam que as principais exigências alimentares das vacas leiteiras, que engloba nutrientes para a sua manutenção corporal e produção de leite, são os Nutrientes Digestivos Totais – NTD, Proteína Bruta (PB), Minerais e Vitaminas, todos contidos na Matéria Seca (MS) ingerida pelo animal.

A composição dos alimentos é subdividida, de acordo com Kirchof ([199-]), em dois grandes grupos: água e matéria seca. A falta de água é sentida pela vaca mais rapidamente do que qualquer nutriente, restringindo o consumo de alimentos e a produção de leite. A Matéria Seca (MS) é o que sobra de um alimento quando se tira dele toda a água, sendo composta por nutrientes como proteínas, carboidratos, fibras, vitaminas e minerais.

A previsão da Ingestão de Matéria Seca (IMS) é parâmetro determinante para o desempenho das vacas leiteiras e no caso dos sistemas de pastoreio, determinar a quantidade e composição da pastagem ingerida voluntariamente torna-se mais difícil, sendo fundamental a correção nutricional por meio da suplementação

concentrada (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009).

A avaliação da quantidade e qualidade da matéria seca fornecida diariamente é necessária para verificar se a quantidade de alimentos é suficiente ou se ultrapassa a quantidade máxima que o animal consegue ingerir, bem como, a quantidade de nutrientes presentes na mistura. (KIRCHOF, [199-]).

O conhecimento dos fatores que influenciam na ingestão diária de alimentos de um animal é o passo inicial para a formulação de dietas, pois a ingestão voluntária é uma condicionante para o sucesso ou não da dieta formulada (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009).

A ingestão de alimentos pelas vacas leiteiras é influenciada por fatores relativos ao alimento, ao manejo e/ou ambiente e aos fatores ligados ao animal. Estes fatores podem ser manejados para que haja a maximização da IMS, pois desta forma, haverá ingestão voluntária pelos bovinos até atingir o limite de enchimento ruminal ou até atingir suas necessidades energéticas (ROSELER, 1998).

Segundo Mertens (1992), o limite superior de consumo é atingido quando a alimentação fornecida tem a quantidade mínima de nutrientes e energia necessários para suprir as exigências fisiológicas do animal, sendo que neste caso, o fator que limita o consumo seria a capacidade do rúmen ou enchimento ruminal. Desta forma, o autor citado aponta a importância de se fornecer dietas equilibradas e que atendam as exigências mínimas nutricionais para que haja uma ingestão voluntária satisfatória dos alimentos fornecidos em uma dieta.

Para animais em pastoreio ou pastejo, a Ingestão de Matéria Seca (IMS) é dada pelo potencial de ingestão de forragem, (GONÇALVES; BORGES; FERREIRA, 2009), podendo ser calculada usando-se a equação (1). A equação do IMS estima a quantidade de determinado alimento possível de ser ingerida, correspondendo a um percentual do seu Peso Vivo (PV), indicando ainda que quanto maior o percentual de FDN (Fibra em Detergente Neutro) do alimento, menor será a capacidade de uma vaca ingeri-lo (KIRCHOF, [199-]):

$$\text{IMS (\% do PV do animal)} = \frac{120}{\% \text{ FDN do alimento volumoso}} \quad (1)$$

A Tabela 1 contém os níveis recomendados de FDN na MS para vacas em

lactação em relação à produção de leite com 3,5% de Gordura Bruta (GB).

Tabela 1 - Níveis recomendados de FDN na MS de acordo com a produção

Produção de Leite (kg) com 3,5% de (GB)	(%) de FDN na MS total
Até 16	38
16 a 23	36 a 38
23 a 32	32 a 36
32 ou mais	28 a 32

Fonte: Adaptado de Kirchof, [199-].

Kirchof, ([199-]) salienta que durante o período de pico de lactação, o que geralmente ocorre após a terceira semana depois do parto, a porcentagem de FDN da dieta pode ser reduzida para 25%, para que assim possa ser consumida uma quantidade de alimentos a fim de atender às necessidades das vacas. Dessa maneira, o percentual de FDN presente na dieta pode variar de 25 a 38%.

Outra maneira de calcular dietas é baseando-se na Fibra Bruta (FB), devendo ser no mínimo 17% e no máximo de 21% na dieta. Valores maiores do que os indicados poderão reduzir o consumo de alimentos devido ao maior esforço para a digestão dos mesmos e, valores menores, poderão causar diminuição da produção de saliva, que acarreta em redução do PH (acidose) e diminuição das bactérias no rúmen, problemas que poderão ser igualmente causados se as forragens forem picadas em partículas menores do que 1 (um) centímetro (KIRCHOF, [199-]).

Em relação à forma de apresentação dos alimentos, Gonçalves, Borges e Ferreira (2009) apontam que o fornecimento do concentrado na forma granulada ou moída, geralmente acarreta um aumento no consumo de alimentos, assim como as dietas oferecidas como mistura total, que aumentam o consumo e garantem uma alimentação que evita ao máximo a seleção dos alimentos por parte do animal, fazendo com que haja uma ingestão mais constante de todos os componentes da mistura.

2.4. PESQUISA OPERACIONAL E A PROGRAMAÇÃO LINEAR

A origem da Pesquisa Operacional (PO) ocorreu há décadas, quando se buscou a gestão das organizações por meio de uma abordagem científica. Entretanto, o início das atividades é atribuída às ações militares da Segunda Guerra Mundial (ARENALES et al., 2007), em que, segundo Hillier e Liebermann (2013, p1.), “havia a necessidade premente de alocar de forma eficiente os escassos recursos para as diversas operações militares. [...] Quando a guerra acabou, o sucesso da PO no empreendimento bélico despertou interesse [...] fora do ambiente militar.”

O rápido crescimento da Pesquisa Operacional deu-se por dois fatores fundamentais: o progresso das técnicas da PO, formuladas por cientistas (principalmente britânicos) que haviam participado das equipes de PO na guerra e a Revolução Computacional, na qual computadores com capacidade de realizar milhões de cálculos matemáticos em um curto espaço de tempo viabilizaram a resolução de problemas complexos tratados pela PO (HILLIER; LIEBERMANN, 2013; MOREIRA, 2010).

Na prática, algoritmos são construídos para resolverem problemas específicos por meio da modelagem matemática, normalmente executados por softwares comerciais, como o Excel Solver da Microsoft Excel[®], usado para formular pequenos modelos de PO, o software LINDO[®] (com sua linguagem de programação LINDO), e o CPLEX[®], um pacote de software de última geração utilizado para resolução de problemas desafiadores e abrangentes (HILLIER; LIEBERMANN, 2013).

O desenvolvimento da Programação Linear (PL) encontra-se entre os mais relevantes avanços científicos do século XX (HILLER; LIEBERMAN, 2013). Criada com o propósito de reduzir custos militares e maximizar os resultados no decorrer da Segunda Guerra Mundial, devido à sua eficiência, passou a ser utilizada no contexto empresarial (MERLO et al., 2012; ARENALES et al., 2007). Entretanto, em virtude da complexidade dos cálculos matemáticos inerentes a ela, a Programação Linear só foi difundida após o surgimento do computador (MIRANDA et al., 2007).

Taha (2008) afirma que Programação Linear tem sido empregada nas mais diversas áreas e tem auxiliado os gestores a empregar seus recursos, geralmente

escassos, da melhor forma possível, aumentando a competitividade das empresas no mercado em que atuam. Para Hillier e Lieberman (2013), a aplicabilidade da PL tem sido admirável uma vez que se expande em um universo de problemas muito variados, partindo da alocação de recursos de produção em uma grande indústria até necessidades domésticas.

A Programação Linear descreve o problema a ser tratado por meio de modelos matemáticos, cujas funções são, necessariamente, lineares (TAHA, 2008). Nelas, variáveis não negativas são definidas e relações matemáticas entre essas variáveis são estabelecidas de forma a descrever o comportamento do sistema no qual o problema encontra-se inserido, por meio de uma função para minimizar ou maximizar o resultado (solução ótima), sujeito às restrições impostas (ARENALES et al., 2007).

Dentre as muitas ferramentas de Pesquisa Operacional, Taha (2008) ressalta que a mais utilizada é a Programação linear, aplicada quando a função objetivo e as restrições são lineares. O mesmo autor aponta que muitas soluções são determinadas por algoritmos, que ao aplicar regras fixas de cálculo repetidas vezes (iterações), a resposta vai se aproximando da ótima.

Loesch e Hein (2009, p.11) afirmam que “todo problema de PL pode ser descrito por meio de uma função objetivo e de um conjunto de restrições, todas lineares”.

Para a modelagem de problemas de PO que envolvem os vários tipos de programação (linear, não linear, inteira e mista), devem ser definidas as variáveis do problema (aquilo que se deseja saber o quanto vale, controláveis cujos valores serão a solução do problema), a Função Objetivo (expressa em função das variáveis, em que se procura minimizá-la ou maximizá-la, conforme o objetivo do problema) e as restrições (também em função das variáveis, limitam as combinações e o espaço de solução) (LOESCH; HEIN, 2009).

O modelo geral de PL pode ser organizado da maneira disposta na Figura 2.

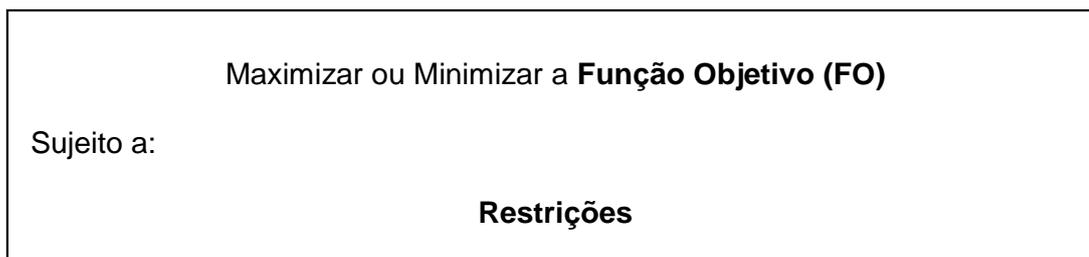


Figura 2 - Estrutura geral de problemas de PL
Fonte: Adaptado de Taha (2008).

A Função Objetivo (FO), segundo Moreira (2010, p. 15), “é uma expressão formada por uma combinação linear das variáveis de decisão”. As restrições determinam os limites a serem respeitados na busca da solução ótima, dentre as compatíveis para o problema de PL (LOESCH; HEIN, 2009).

Taha (2008, p. 2) descreve que alguns modelos matemáticos “podem ser tão complexos que é impossível resolvê-los por quaisquer dos algoritmos de otimização disponíveis”, usando-se neste caso, heurísticas (ou regras práticas) para procurar uma boa solução, que pode não ser a ótima, mas, aceitável (TAHA, 2008).

A solução do modelo é viável se todas as restrições forem satisfeitas simultaneamente e, pode ser ótima se, além de viável, resultar no melhor valor (mínimo ou máximo) da função objetivo, e se o modelo matemático representar bem o sistema pode ser também o valor ótimo da situação real (TAHA, 2008).

2.5. O PROBLEMA DA MISTURA

Problemas da Mistura compreendem a combinação de materiais para gerar produtos com características de interesse, sendo um dos primeiros problemas de otimização linear implantados com sucesso na prática (ARENALES et al., 2007).

Muitas aplicações de Programação Linear (PL) tratam da mistura de diferentes materiais, como óleos crus, cereais e minérios, para produzir produtos com certas especificações e que, simultaneamente, maximizam o lucro ou minimizam o custo da mistura, determinando-se o mix ótimo de produtos de entrada ou matérias primas (TAHA, 2008).

Um dos primeiros problemas a ser solucionado por meio da PL foi o da dieta,

formulado primeiramente por Jerome Cornfield, em 1940, sendo encontrada a sua solução ótima somente no ano de 1947, por Dantzig e Laderman (LOESCH; HEIN, 2009).

Loesch e Hein (2009) salientam que o problema da dieta (generalizado para Problema da Mistura), tornou-se de grande importância para a solução de questões em muitas situações práticas, como na indústria farmacêutica, rações de animais, tintas, combustíveis e adubos.

Loesch e Hein (2009, p 19) acrescentam que:

Essa classe de problemas caracteriza-se essencialmente por pretender obter, com custo mínimo ou lucro máximo, um ou vários produtos que atendam a determinados requisitos técnicos por meio de vários ingredientes que possuem, em diferentes graus, essas características técnicas.

De acordo com Arenales et al. (2007) e Estellita Lins e Calôba (2006), o Problema da Mistura pode ser assim descrito:

Variável de decisão:

$x_j \rightarrow$ quantidade x do alimento j para compor a dieta, $j=1, \dots, n$.

Dados conhecidos:

n alimentos a seus custos unitários c_1, \dots, c_n ;

m nutrientes necessários e quantidades mínimas b_1, \dots, b_m ;

a_{ij} quantidade do i -ésimo nutriente do j -ésimo alimento;

A quantidade total M da mistura.

Objetivo: Obter a dieta adequada ao menor custo.

Função objetivo:

Minimizar $F(x_1, x_2, \dots, x_n) = c_1 x_1 + c_2 x_2 + \dots + c_n x_n$.

Sujeito às seguintes restrições:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1;$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2;$$

...

$$a_{m1}x_1 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m;$$

$$x_1 + x_2 + \dots + x_n = k$$

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0.$$

Adicionalmente a essa formulação, que é a clássica, podem ser incorporadas diversas restrições, como as de níveis mínimos e máximos de nutrientes, insumos disponíveis ou em estoque, preferência do pecuarista, entre outras, a fim de descrever de maneira mais detalhada a situação do problema real (ESTELLITA LINS; CALÔBA, 2006).

De acordo com Arenales et al. (2007, p. 17), “supõe-se que não há alterações na composição dos ingredientes quando estes se misturam. Por exemplo, no caso da ração, a quantidade total de cálcio na mistura é a soma das quantidades de cálcio dos ingredientes.”

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. CARACTERIZAÇÃO DA PROPRIEDADE

A propriedade em estudo é de médio porte, familiar, situada no Oeste do Paraná, voltada a produção de leite *in natura*. Iniciou suas atividades no ramo leiteiro por volta do ano 2000, com cinco animais, e, ao longo dos anos, expandiram suas instalações, contando com aproximadamente 50 (cinquenta) vacas leiteiras no ano de 2018. Com o intuito de diminuir os custos e elevar a qualidade na produção de leite, a propriedade agropecuária busca realizar melhorias relacionadas ao ambiente produtivo, genética dos animais, sistema de manejo, bem como, a alimentação, através de dietas otimizadas que diminuem os desperdícios, promovem saúde animal e buscam atingir maiores produções leiteiras ao menor custo.

O sistema de manejo é o de semiconfinamento, em que as vacas ficam confinadas durante o dia e pastoreiam à noite. Durante o dia, elas permanecem confinadas em uma cobertura ventilada e ao abrigo do sol, conforme ilustra a Figura 3, recebendo ração, concentrado, suplementos e silagem de milho.



Figura 3 - Free stall onde as vacas leiteiras ficam confinadas durante o dia
Fonte: Acervo do Autor (2018).

Durante a noite, devido às temperaturas mais amenas, os animais vão para os piquetes, conforme traz a Figura 4, onde pastam gramíneas, complementando a quantidade de alimentos volumosos.



Figura 4 - Área de pastoreio no período da noite
Fonte: Acervo do Autor (2018).

3.2. METODOLOGIAS DA PESQUISA

Este estudo fundamenta-se em conhecimentos científicos, que segundo Kauark, Manhães e Medeiros (2010), são conhecimentos objetivos e independem dos desejos particulares de uma pessoa, são replicáveis quando trabalhados os mesmos métodos e com realidades similares, além de gerais, ao buscar estabelecer leis que regem os fenômenos.

O conhecimento científico lida com fatos, é contingente, sistemático, verificável, falível e aproximadamente exato. Trata de problemas da realidade, em que a veracidade dos fatos é comprovada por meio da experiência sistemática, permitindo-se verificação ou demonstração dos resultados (sempre que for adotada a mesma metodologia) e admitindo-se que estes não são absolutos ou definitivos, pois novas técnicas podem remodelar as conclusões (LAKATOS; MARCONI, 2010).

Os mesmos autores apontam que a pesquisa deve basear-se em uma teoria, que pode ser considerada como o ponto de partida para um estudo investigativo bem-sucedido de um problema.

A classificação geral desta pesquisa é entendida como prática, pois de acordo com Demo (2000), é aquela voltada a intervir na realidade social por meio do conhecimento científico baseado no rigor metodológico, o que se evidencia neste estudo através da aplicação de conhecimentos científicos a campo, para a melhoria da produção de leite.

A presente pesquisa científica pode ser classificada de acordo com a Figura 5, baseada na classificação de Kauark, Manhães e Medeiros (2010).

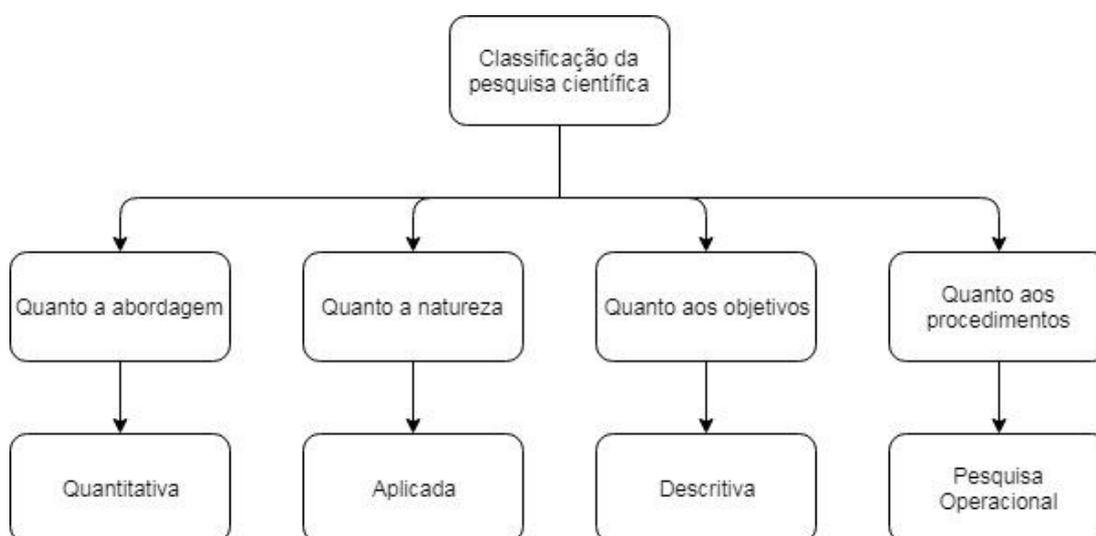


Figura 5 - Classificação da presente pesquisa científica

Fonte: Autoria própria (2018).

A pesquisa científica é subclassificada em relação à abordagem, à natureza, ao objetivo e aos procedimentos. Referente à abordagem é dada como quantitativa, relativo à natureza é aplicada, quanto ao objetivo é considerada descritiva e em relação aos procedimentos é de pesquisa operacional.

A abordagem é considerada quantitativa, pois neste estudo, serão utilizadas técnicas baseadas em dados quantificáveis, como o volume de leite produzido, peso dos animais e dos alimentos por eles ingeridos, indo ao encontro de Gressler (2003), que destaca que a abordagem quantitativa faz o uso de hipóteses, definições, análises operacionais e uso de tratamentos estatísticos dos dados, garantindo a precisão dos resultados por meio da lógica matemática.

A natureza deste trabalho é dada como aplicada, pois Gil (2010) salienta que as pesquisas aplicadas são direcionadas na busca de conhecimentos com vistas na aplicação destes em uma situação real específica, buscando resolver problemas da

realidade dos pesquisadores. Kauark, Manhães e Medeiros (2010) mencionam que a pesquisa aplicada objetiva gerar informações aplicáveis à prática e que propiciem a resolução de problemas específicos. Neste projeto, os conceitos abordados objetivam a ampliação do conhecimento a respeito da produção leiteira, a fim de realizar uma pesquisa aplicada capaz de trazer melhorias à atividade pecuária leiteira.

Quanto aos objetivos, classifica-se esta pesquisa como descritiva, pois Gil (2010) afirma que as descritivas procuram descrever características de uma população, podendo assinalar relações associações entre as variáveis. O objetivo é descrever as propriedades da população e identificar relações entre as variáveis do problema, geralmente utilizando-se de técnicas padronizadas para a coleta dos dados (KAUARK, MAGALHÃES; MEDEIROS, 2010). Consoante às definições trazidas pelos autores citados, este trabalho pretende descrever as características do ambiente, alimentação e do gado leiteiro, a fim de identificar fatores que interferem na produção de leite, para que estes possam ser minimizados e considerados quando se analisar os resultados.

Por fim, a classificação quanto aos procedimentos é de pesquisa operacional, pois consoante Arenales et al. (2007), trata-se de um procedimento científico para a tomada de decisão, que dá suporte para operar e planejar o sistema, com foco em soluções otimizadas. Neste estudo, serão buscadas soluções por meio de técnicas de programação linear da pesquisa operacional, para se obter dietas custo para gado leiteiro, otimizadas ao mínimo custo.

3.3. ETAPAS DA PESQUISA

Moreira (2007) indica que estudos voltados a encontrar soluções para problemas reais podem seguir alguns passos fundamentais, que se iniciam com a identificação do problema e coleta dos dados, passam para a construção de um modelo quantitativo, perpassam à resolução do referido modelo, até a sugestão, implementação e análise dos resultados obtidos.

Hillier e Liebermann (2013) descrevem as principais fases de um estudo de Pesquisa Operacional, em que a análise matemática geralmente representa uma

pequena parcela do esforço total. As fases são: definir o problema e coletar dados; formular um modelo matemático para representar o problema; derivar soluções para o problema por meio de procedimentos computacionais baseados no modelo; testar e aprimorar o modelo conforme necessidade; planejar a aplicação da solução à realidade e implementar.

A pesquisa operacional tem suas bases nos métodos científicos para abordar os problemas, em que a observação inicial e a formulação do problema estão entre os passos mais importantes (MOREIRA, 2010).

Baseando-se nos passos descritos por Moreira (2007), Hillier e Liebermann (2013) e Moreira (2010), as etapas adotadas para o desenvolvimento da presente pesquisa estão representadas na Figura 6.

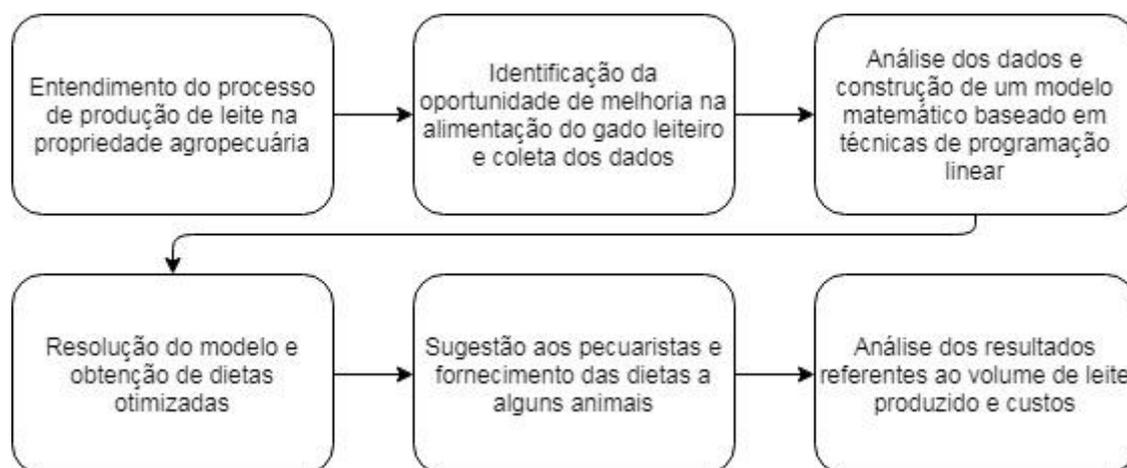


Figura 6 - Etapas do desenvolvimento da presente pesquisa
Fonte: Autoria própria (2018).

3.4. O GRUPO DE VACAS LEITEIRAS E PERÍODO DO ESTUDO

A lactação de uma vaca de leite é maior no período pós-parto e esta vai diminuindo com o passar do tempo. A máxima produção de leite ocorre nos primeiros dois meses de lactação depois do parto, fase com baixa capacidade de ingestão de alimentos, mas, que requer alimentação rica em nutrientes para propiciar alta produção de leite por um período de dois meses ou mais (ANDRIGUETTO et al., 2005).

Para a presente pesquisa, coletaram-se dados da produção leiteira de três

animais, representados na Figura 7, em duas lactações distintas, ou seja, em dois partos diferentes. Na primeira lactação analisada não havia o fornecimento dos alimentos por meio de uma dieta balanceada, já no segundo, havia. Cada um dos períodos de lactação analisados foi de aproximadamente três meses após o parto, realizando-se medições a cada três dias, totalizando trinta medições. Estas iniciaram sete dias após o parto, momento a partir do qual o leite passa a ser comercializado.



Figura 7 - Animais em que o presente estudo foi aplicado
Fonte: Acervo do Autor (2018).

Vale ressaltar que a primeira lactação em análise, refere-se à lactação após a segunda gestação de cada uma das vacas. Da mesma forma, o segundo período de lactação analisado, refere-se à lactação após a terceira gestação das vacas, época em que foi fornecida a dieta.

O primeiro período analisado foi de janeiro a abril de 2017, e posteriormente, o segundo período foi de dezembro de 2017 até março de 2018.

3.5. O CÁLCULO DAS DIETAS

O processo de formulação de dietas foi baseado nos passos descritos por Andriquetto et al.(2005) e por Santos, Rodrigues e Lisboa Filho (2006). Assim, a formulação das dietas seguiu a seguinte ordem: estudar as necessidades nutricionais dos animais; relacionar os alimentos e as quantidades disponíveis para compor a dieta, suas contribuições nutricionais e seus custos; modelar o problema e solucioná-lo com técnicas de programação linear a fim de minimizar o custo.

Foram utilizadas as tabelas contidas no livro Nutrient Requirements of Dairy Cattle, publicado em 2001 (sétima edição), pelo Instituto Norte-Americano National Research Council (NRC), para servir de base para obtenção dos dados referentes às quantidades de nutrientes de cada alimento disponível para a dieta e às exigências nutricionais conforme as características dos animais da propriedade. De acordo com Kirchof ([199-], p. 36) o ideal seria mandarmos analisar os alimentos, mas como esta análise é cara e demorada, isto se torna inviável. Na prática usamos tabelas que nos dão os valores médios dos alimentos.

3.6. MODELAGEM MATEMÁTICA DO PROBLEMA PROPOSTO

O modelo matemático específico para o problema proposto de mistura de alimentos para bovinos de leite foi composto por uma Função Objetivo (FO), em que seus custos foram minimizados, e por algumas restrições que limitaram o espaço de busca das soluções ou região viável.

Moreira (2010, p.34) ressalta que “a impossibilidade de solução em um problema de programação linear ocorre quando não há solução que satisfaça ao mesmo tempo todas as restrições colocadas”. Taha (2008) considera, no entanto, que o problema ressaltado por Moreira (2010) pode ser contornado através de ajustes no modelo, para que as restrições delimitem uma região viável diferente, para que seja possível encontrar uma solução viável.

Baseando-se nos autores mais renomados na área de Programação Linear, tais como Arenales et al. (2007) e Hillier e Liebermann (2013), estruturou-se a base

de dados, conforme o Problema da Mistura da seguinte maneira:

Z = Função Objetivo (FO);

n = número de alimentos que podem ser utilizados na composição da dieta;

j = cada um dos alimentos disponíveis para compor a dieta, que vai até n ;

x_j = quantidade do alimento j que deve ser utilizada na mistura;

c_j = custo unitário do alimento j que deve ser utilizada na mistura;

a_{fdnj} = quantidade de FDN presente no alimento j ;

a_{ndtj} = quantidade de NDT presente no alimento j ;

a_{pbj} = quantidade de PB presente no alimento j ;

a_{caj} = quantidade de Ca presente no alimento j ;

a_{pj} = quantidade de P presente no alimento j ;

O objetivo do problema em questão é minimizar o custo da mistura de alimentos. Sendo assim a Função Objetivo é dada genericamente pela equação (2) abaixo, qual seja:

$$\min Z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j \quad (2)$$

O espaço de busca de soluções viáveis está sujeito às restrições dadas pelas seguintes inequações:

A inequação (1) representa a quantidade mínima (M) de matéria seca (MS) que deve ser ingerida por um animal diariamente.

$$\sum_{j=1}^n x_j \geq M \quad (1)$$

As inequações (2) e (3) representam, respectivamente, as restrições relacionadas às quantidades mínima ($F1$) e máxima ($F2$) de Fibra em Detergente Neutro (FDN) a serem ingeridas diariamente pelas vacas leiteiras.

$$\sum_{j=1}^n a_{fdnj} \cdot x_j \geq F_1 \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{fdnj} \cdot x_j \leq F_2 \quad (3)$$

As inequações (4), (5), (6) e (7) representam as restrições relacionadas às quantidades mínimas (N), (PB), (C), (P) exigida de cada nutriente NDT, PB, Ca e P, respectivamente, na mistura.

$$\sum_{j=1}^n a_{ndtj} \cdot x_j \geq N \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{pbj} \cdot x_j \geq PB \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{caj} \cdot x_j \geq C \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n a_{pj} \cdot x_j \geq P \quad (7)$$

A inequação (8) representa a restrição relacionada à quantidade máxima (T) disponível de cada alimento j para compor a dieta.

$$x_j \leq T_j; j = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

A inequação (9) indica o percentual máximo (% p) de alimentos volumosos (v) que deve estar presente na dieta.

$$\sum_{j=1}^{n_v} x_j \leq \%p \cdot \sum_{j=1}^n x_j \quad (9)$$

A inequação (10) representa a restrição relacionada a não negatividade das variáveis de decisão;

$$x_j \geq 0; j = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

Com a modelagem do problema completa, a base de dados foi organizada na ferramenta computacional LINGO[®], a qual compila algoritmos e possibilita determinar, através de sucessivas iterações, uma solução para o problema proposto (LINDO SYSTEMS, 2017).

4. RESULTADOS

Na propriedade em estudo, o planejamento da alimentação das vacas leiteiras ocorre de maneira empírica, ou seja, baseado nas experiências dos proprietários e nas informações obtidas em cursos oferecidos esporadicamente por associações, sindicato rurais e cooperativas da região.

Em conversa com o pecuarista produtor de leite, este reconheceu que não há um planejamento do tipo de alimentação a ser fornecida com base em exigências nutricionais dos animais. Este apontou que seus animais recebem uma alimentação composta por alimentos volumosos, ração, concentrado e suplemento vitamínico mineral. Somente os alimentos volumosos são produzidos na própria propriedade rural, em áreas destinadas a cultura de milho para silagem e gramíneas para o pastoreio, e os demais alimentos fornecidos (ração, concentrados e suplementos) são adquiridos no comércio da região.

Cada um dos alimentos mencionados é fornecido ao longo do dia. A soma de todos os alimentos ingeridos por um animal em um dia pode ser entendido como uma mistura de vários alimentos ingeridos por ele, a fim de suprir as necessidades metabólicas corporais e de produção de leite, o que compõe a dieta diária. Fica claro que quanto mais otimizada for essa mistura, conforme as características dos animais, melhores resultados serão obtidos, tanto em termos de saúde animal quanto em volume de leite produzido.

Com esse raciocínio, os próprios pecuaristas entenderam a importância de haver um planejamento de otimização dos alimentos a serem fornecidos aos animais, o que até então era deficiente ou inexistente.

A partir dessas considerações, buscou-se realizar um estudo voltado a aperfeiçoar o fornecimento diário de alimentos para alguns dos animais da propriedade e avaliar, durante um determinado período de tempo, os resultados com base em dois parâmetros: o volume de leite produzido no período e os custos envolvidos com a alimentação proposta.

Esses resultados foram confrontados com os obtidos pelos pecuaristas, referente aos mesmos animais, em um período de tempo anterior ao da presente pesquisa, a fim de constatar a eficácia da dieta proposta neste estudo.

4.1. ALIMENTAÇÃO E PRODUÇÃO LEITEIRA DAS VACAS ANTES DO FORNECIMENTO DA DIETA

De acordo com o proprietário dos animais em que a presente pesquisa foi realizada, a alimentação das 3 (três) vacas era constituída basicamente pelos alimentos descritos abaixo, no Tabela 2.

Tabela 2 - Composição da alimentação dos animais em estudo

Alimentação de cada uma das vacas	Quantidade consumida/dia (kg)	Valor (R\$/kg)	Total/dia (R\$)
Silagem de Milho	15	0,0887	1,3305
Gramínea <i>Cynodon Tifton 85</i>	20	0,1000	2
Suplemento Vitamínico mineral	0,025	4,2500	0,1062
Farelo de soja	0,5	1,0000	0,5
Ração Comercial	6	1,20	7,2

Fonte: Aatoria própria (2018).

Com base nas informações repassadas pelo proprietário, dispostas na Tabela 2, calculou-se o custo diário com a alimentação de cada um dos animais, sendo aproximadamente R\$ 11,14. Esse valor foi obtido por meio da soma do custo de cada um dos alimentos fornecidos.

Todas as vacas no período pós-parto recebiam a mesma quantidade de cada um dos alimentos discriminados na Tabela 2, não se levando em consideração as suas individualidades, como o peso vivo e potencial produtivo.

Assim, para uma melhor interpretação dos dados e análise, a produção leiteira pós-parto antes da aplicação da dieta, mediada a cada três dias durante um período de três meses, dos três animais em estudo, ou seja, da Vaca 1, da Vaca 2 e da Vaca 3, foi disposta nos Gráficos 1,2 e 3, respectivamente.

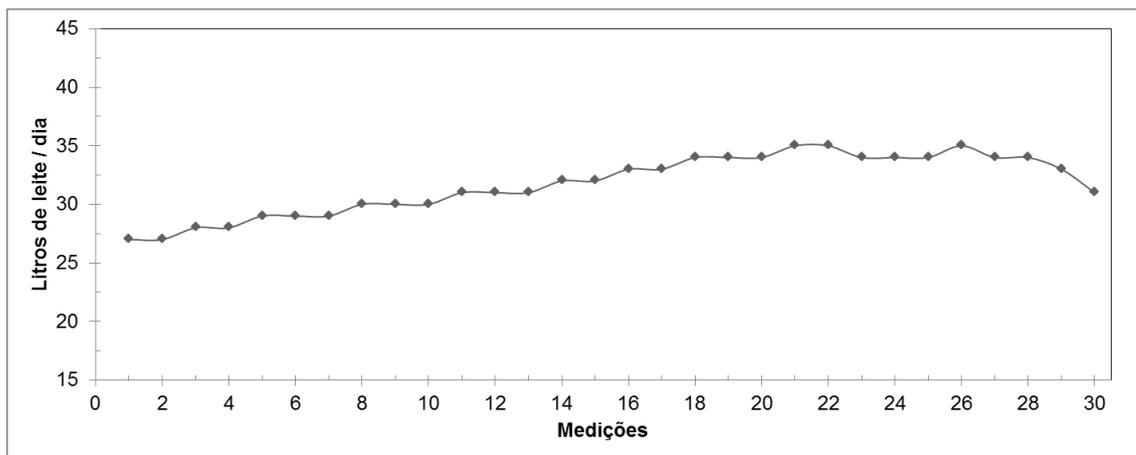


Gráfico 1 - Produção leiteira da Vaca 1 antes da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

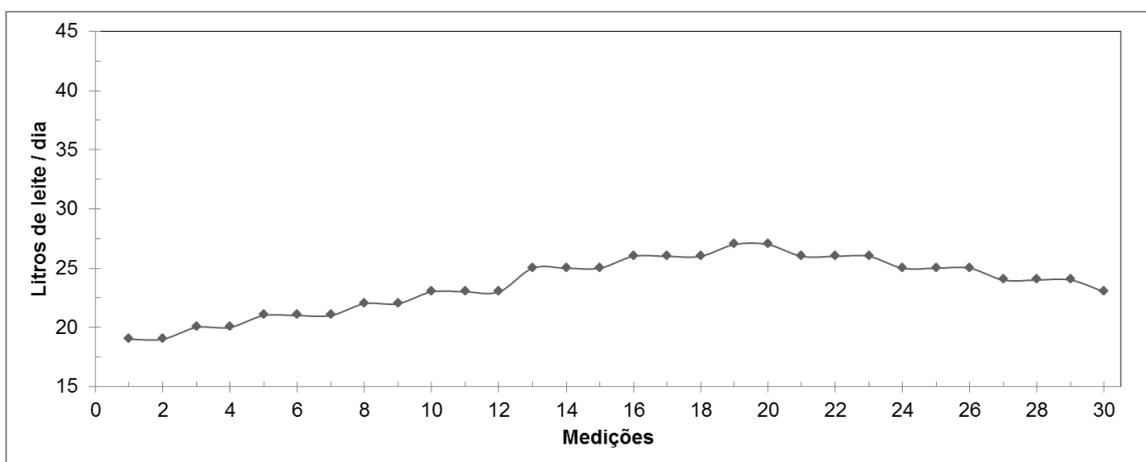


Gráfico 2 - Produção leiteira da Vaca 2 antes da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

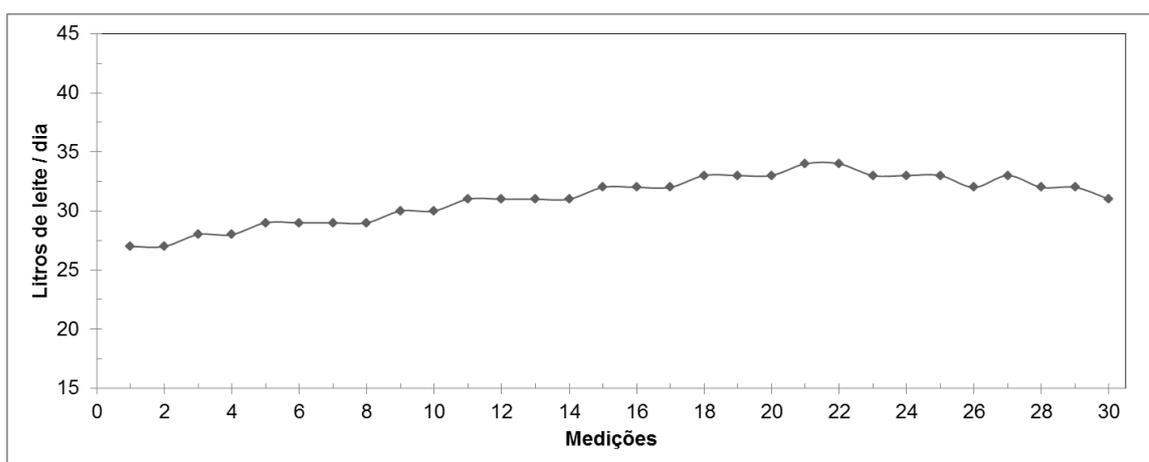


Gráfico 3 - Produção leiteira da Vaca 3 antes da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

A partir dos Gráficos 1, 2 e 3, depreende-se que a produção total de leite, antes da definição da melhor dieta, no período de 90 dias, correspondente ao

primeiro período do estudo da presente pesquisa, ou seja, de Janeiro de 2017 a Abril de 2017, para a Vaca 1 foi de 951 litros, para a Vaca 2 foi de 709 litros e para a Vaca 3 foi de 932 litros.

4.2. CÁLCULO DA DIETA PARA OS ANIMAIS

Os três animais em estudo possuem características semelhantes. Todos são da raça holandesa, que segundo Moletto (2004) pode ser considerada uma das melhores raças para atingir altas produções de leite. O cálculo de uma dieta otimizada para os três animais iniciou-se com a definição de três parâmetros, sendo eles: a produção diária máxima a ser atingida; a quantidade de gordura bruta presente no leite e; o peso aproximado dos animais.

O valor do primeiro parâmetro foi fixado em quarenta litros de leite ao dia por vaca, que vai ao encontro do valor que o produtor deseja atingir com a produção de cada um dos respectivos animais. O valor do segundo parâmetro foi determinado com base no padrão exigido pela empresa compradora do leite produzido na propriedade, a laticínio, que é de 3,5% de gordura bruta no leite. Por fim, o terceiro parâmetro (peso vivo de cada animal) foi determinado por meio de registro já contido na propriedade, o qual era de 500 kg por vaca.

Esses parâmetros foram essenciais para a determinação das exigências alimentares diárias mínimas de cada animal para atingir a produção de leite estimada, baseando-se no livro *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*, do NRC (2001). Sendo assim, primeiramente determinou-se a quantidade total de alimentos, com base em matéria seca (MS), que cada vaca ingeriria por dia para atingir a produção estimada. O NRC (2001) indica que a ingestão de matéria seca para suprir as exigências nutricionais de manutenção, produção e ganho de peso para uma vaca de 500 kg é de 4,2% do seu peso vivo, ou seja, 21 kg de MS/dia/vaca.

Posteriormente, definiu-se a quantidade de fibra que deveria estar presente na MS ingerida diariamente. Baseando-se na fibra em detergente neutro (FDN) e no que Kirchof [199-] citou em seu livro, identificou-se que, para a produção de 40 litros de leite por dia no início de lactação, a quantidade de FDN presente na MS deve ser de 25 a 38%, ou seja, entre 5,25 e 7,98 kg, respectivamente.

A próxima etapa foi determinar a quantidade de Nutrientes Digestivos Totais (NTD), Proteína Bruta (PB), Cálcio (Ca) e Fósforo (P) que deveriam estar presentes na MS. Extraiu-se do NRC (2001) que, para o caso das vacas em estudo no presente trabalho, a quantidade de Nutrientes Digestivos Totais deveria ser de, no mínimo, 15,74 kg, a quantidade mínima de Proteína Bruta deveria ser de 3,72 kg, o quantitativo do mineral cálcio de 0,14 kg e, por fim, o valor mínimo para o fósforo seria de 0,086 kg.

A Tabela 3 abaixo apresenta as exigências alimentares de cada um dos nutrientes supracitados.

Tabela 3 - Exigência alimentar diária mínima (kg) das vacas em estudo

	MS	FDN	NTD	PB	Ca	P
Kg/dia/vaca	21	5,25	15,74	3,72	0,14	0,086

Fonte: NRC (2001).

Definidas as exigências nutritivas mínimas, passou-se à definição e caracterização de cada um dos alimentos que poderiam compor a alimentação diária das vacas. Os alimentos usados para compor a dieta foram os mesmos que já haviam sido utilizados na alimentação do primeiro período de análise do presente trabalho (de janeiro a abril de 2017), período esse que não houve o cálculo de uma dieta para auxiliar no fornecimento dos alimentos para as vacas.

Dessa forma, os alimentos que iriam compor a dieta seriam: silagem de milho, gramínea *cynodon tifton 85*, suplemento vitamínico mineral, farelo de soja e ração comercial. A composição de cada um desses alimentos em relação aos nutrientes supracitados presentes na MS encontra-se disposta na Tabela 4 abaixo, bem como, o custo unitário (kg) de cada um dos alimentos, em que se tomaram como base os custos percebidos pelo pecuarista no final do ano de 2017.

Tabela 4 - Composição dos alimentos em relação aos nutrientes presentes nos mesmos

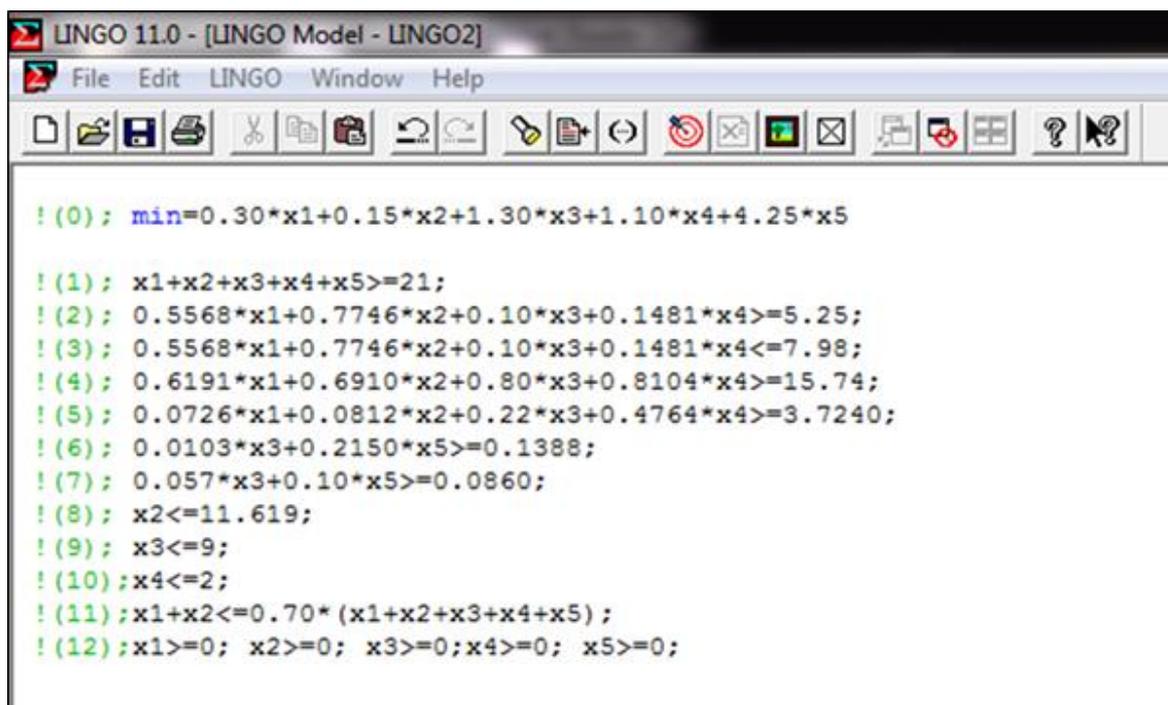
Custo/kg (R\$)	Alimento	%MS	FDN%MS	NDT%MS	PB%MS	Ca%MS	P%MS
0,30	Silagem de milho	30	0,5568	0,6191	0,0726	0	0
0,15	Gramínea <i>c. tifton 85</i>	43,12	0,7746	0,6910	0,0812	0	0
1,30	Suplemento vit. mineral	98	0	0	0	0,2150	0,1000
1,10	Farelo soja	88,56	0,1481	0,8104	0,4764	0	0
4,25	Ração comercial	87,5	0,1000	0,8000	0,2200	0,103	0,0570

Fonte: NRC (2001).

Em relação aos alimentos que faziam parte da dieta, foi imprescindível verificar se estes teriam alguma restrição quanto às quantidades seguras a serem fornecidas aos animais. Neste aspecto, são escassas as fontes na literatura sobre os níveis máximos a serem fornecidos. Em conversa com o pecuarista, considerou-se prudente não fornecer mais que 3 kg/dia de farelo de soja, devido ao risco de uma possível intoxicação alimentar dos animais, que, segundo ele, já vivenciou na sua vasta experiência com as vacas leiteiras quando esse limite foi extrapolado.

As outras restrições são relativas à disponibilidade dos alimentos, em que o máximo disponível de ração comercial é de 14 kg/dia e de gramínea *cynodon tifton 85* é de 15 kg/dia. Essas restrições se devem ao fato de não ser possível estocar e conservar nas instalações da propriedade uma quantidade/volume maior de tais alimentos, limitando-se aos valores apresentados.

De posse de todas as informações necessárias, procedeu-se ao cálculo da dieta, utilizando-se a Programação Linear no que tange ao Problema da Mistura, por meio da ferramenta computacional LINGO[®]. A Figura 8 apresenta a função objetivo e as respectivas restrições aplicáveis ao presente estudo.



```

! (0); min=0.30*x1+0.15*x2+1.30*x3+1.10*x4+4.25*x5
! (1); x1+x2+x3+x4+x5>=21;
! (2); 0.5568*x1+0.7746*x2+0.10*x3+0.1481*x4>=5.25;
! (3); 0.5568*x1+0.7746*x2+0.10*x3+0.1481*x4<=7.98;
! (4); 0.6191*x1+0.6910*x2+0.80*x3+0.8104*x4>=15.74;
! (5); 0.0726*x1+0.0812*x2+0.22*x3+0.4764*x4>=3.7240;
! (6); 0.0103*x3+0.2150*x5>=0.1388;
! (7); 0.057*x3+0.10*x5>=0.0860;
! (8); x2<=11.619;
! (9); x3<=9;
! (10); x4<=2;
! (11); x1+x2<=0.70*(x1+x2+x3+x4+x5);
! (12); x1>=0; x2>=0; x3>=0; x4>=0; x5>=0;

```

Figura 8 - Função Objetivo e restrições para o Problema da Mistura aplicado ao presente estudo

Fonte: Autoria própria (2018).

A Figura 8 apresenta o modelo já editado no software. Em uma análise do modelo exposto, temos na linha (0) a Função Objetivo. Essa função busca minimizar a soma dos produtos das multiplicações das quantidades de cada um dos alimentos pelos seus respectivos custos por quilograma. Vale ressaltar que cada uma das variáveis corresponde à quantidade de matéria seca (MS) de cada alimento, e não a quantidade integral do alimento. Entretanto, o custo por quilograma dessa matéria seca de cada um dos alimentos corresponde ao custo do alimento integral, uma vez que não se pode obter comercialmente somente a matéria seca do alimento (o que realmente é útil nesse caso, pois os nutrientes estão contidos na matéria seca), mas sim, o alimento integral, que é a soma da matéria seca com a umidade presente (água).

Continuando na análise da Figura 8, parte-se para as restrições às quais a função obtida está sujeita, ou seja, linha (1) até linha (12).

A linha (1) refere-se à quantidade total, em quilogramas, da mistura, a qual deve ser maior ou igual a 21 kg, ou seja, conforme anteriormente explicado, indica a quantidade de ingestão de matéria seca dos alimentos que a vaca irá ingerir por dia, considerando a capacidade física média do rúmen, de acordo com a literatura consultada. Assim este constitui de pronto um dos desafios do problema: fazer com

que a soma das matérias secas dos alimentos que serão ingeridos pelo animal supram suas exigências nutricionais diárias e que girem em torno de 21 kg.

A linha (2) e linha (3) referem-se às quantidades mínimas e máximas de matéria fibrosa, no caso a Fibra em Detergente Neutro (FDN), que devem estar presentes na mistura. Para isso, aferiu-se a quantidade de FDN presente em cada um dos alimentos que iriam compor a dieta, de modo que a soma das contribuições de cada alimento em relação ao elemento fibroso em questão, ficasse dentro do intervalo desejado (mínimo de 5,25 e máximo de 7,98 kg).

A linha seguinte, linha (4), diz respeito à quantidade mínima de energia, representada pelos Nutrientes Digestivos Totais (NDT) que devem compor a mistura. De maneira análoga às linhas anteriores, realizou-se a soma das contribuições de cada um dos alimentos em relação aos NDT, de modo que a dieta tenha, pelo menos, 15,74 kg de NDT, o que representa a mínima quantidade de energia exigida na mistura.

Na linha (5) encontra-se a inequação referente à Proteína Bruta (PB) mínima diária exigida no problema. A PB requerida na dieta virá por meio da soma das contribuições desse nutriente em cada um dos alimentos, a qual não poderá ser inferior a 3,72 kg.

A linha (6) e linha (7) tratam dos minerais cálcio (Ca) e fósforo (P) respectivamente. Nota-se que somente dois alimentos são fontes desses minerais: o suplemento vitamínico mineral e a ração comercial. Portanto, a quantidade de cálcio e fósforo presente em cada unidade de cada um dos alimentos foi identificada e inserida nas respectivas inequações, linhas (6) e (7), de maneira que atendam às exigências mínimas diárias de 0,11388 kg de Ca e 0,0860 kg de P.

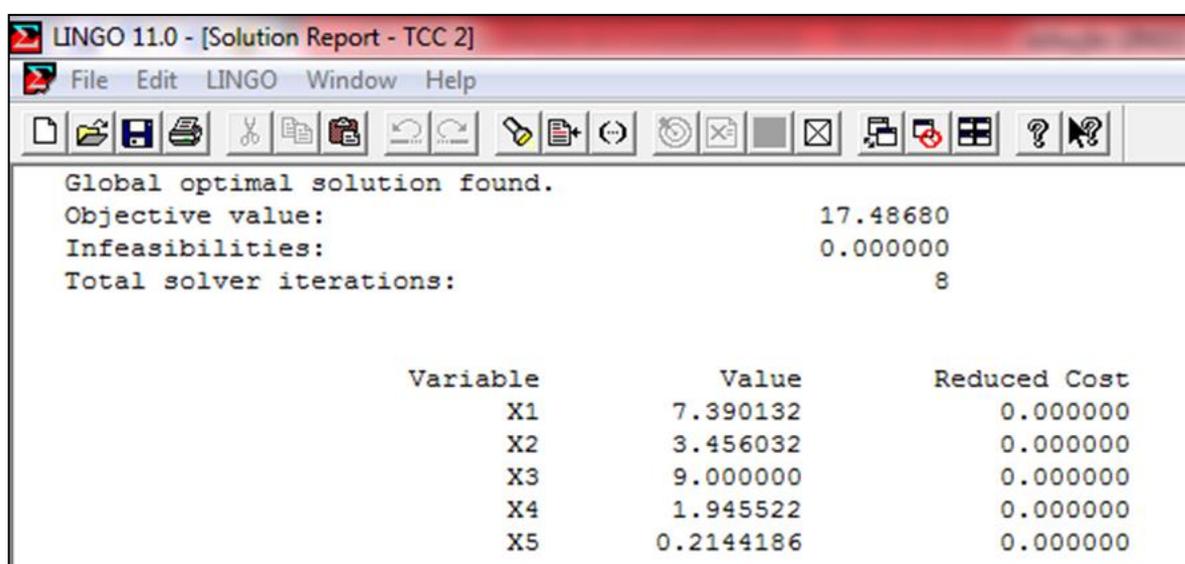
Nas linhas seguintes, (8), (9) e (10) do modelo, encontram-se as restrições em relação à disponibilidade e segurança alimentar da dieta referente a alguns alimentos. Ou seja, para os alimentos gramínea *cynodon tifton 85* (x_2), ração comercial (x_3) e farelo de soja (x_4), o máximo de alimento que poderá ser tratado aos animais será de 11, 619 kg, 9 kg e 2 kg, respectivamente.

A linha (11) tem uma característica especial, pois é nela que é possível especificar o percentual de determinados alimentos que devem estar presentes na dieta. Por questões que englobam a melhor digestão da dieta para ruminantes, determinou-se que a quantidade mínima de alimentos volumosos presentes na dieta deve ser 70%, ou seja, esse percentual deve representar a soma das matérias

secas dos alimentos volumosos (silagem de milho e gramínea *cynodon tifton 85*).

Por fim, a linha (12) contempla a exigência de que a solução viável não pode conter valores negativos para nenhuma das variáveis.

A fim de se obter a solução ótima do Problema da Mistura apresentado na Figura 8, utilizou-se o software LINGO® para otimizar a função objetivo de acordo com as restrições apresentadas na figura anterior. Dessa forma, pôde-se chegar à solução que minimiza o custo da dieta das vacas, tendo em vista os alimentos disponíveis na propriedade. A figura 9 apresenta a solução ótima obtida.



```

LINGO 11.0 - [Solution Report - TCC 2]
File Edit LINGO Window Help
Global optimal solution found.
Objective value:                17.48680
Infeasibilities:                0.000000
Total solver iterations:        8

Variable      Value      Reduced Cost
X1            7.390132    0.000000
X2            3.456032    0.000000
X3            9.000000    0.000000
X4            1.945522    0.000000
X5            0.2144186   0.000000
  
```

Figura 9 - Solução ótima obtida por meio da ferramenta computacional LINGO®
Fonte: Autoria própria (2018).

Assim, finalizada a etapa de entrada dos dados no modelo, obteve-se a resposta da otimização do problema por meio do software LINGO®, o qual retornou como solução viável o conteúdo contido na Figura 9, discriminado detalhadamente na Tabela 5.

Tabela 5 - Solução ótima para a dieta das vacas em estudo

Variável	Alimento	Quantidade ótima (kg)
x_1	Silagem de milho	7,39
x_2	Gramínea <i>cynodon Tifton 85</i>	3,46
x_3	Ração comercial	9

Tabela 5 - Solução ótima para a dieta das vacas em estudo (continuação)

Variável	Alimento	Quantidade ótima (kg)
x_4	Farelo de Soja	1,94
x_5	Suplemento vitamínico mineral	0,21
TOTAL		22

Fonte: A autoria própria (2018).

Assim, a quantidade total de matéria seca da dieta, obtida por meio da soma de cada elemento (x_1 , x_2 , x_3 , x_4 e x_5), foi de 22 kg, valor este que vai ao encontro daquele baseado na metodologia do NRC (2001), o qual diz que a ingestão de matéria seca para suprir as exigências nutricionais de manutenção, produção e ganho de peso para uma vaca de 500 kg é de aproximadamente 4,2% do seu peso vivo, logo, 21 kg de MS/dia/vaca. Ressalta-se que o custo para essa dieta foi de R\$ 17,49/dia.

As demais restrições apresentadas na Figura 8, linha (2) à linha (12), também foram perfeitamente atendidas, conforme pode ser verificado nas soluções.

4.3. FORNECIMENTO DA DIETA AOS ANIMAIS E ANÁLISE DA PRODUÇÃO

A mistura obtida na solução para a dieta, conforme valores apresentados na Tabela 5, foi fornecida aos animais selecionados (Vaca 1, 2 e 3) conforme as técnicas de fornecimento de alimentos já praticados na propriedade, no período de dezembro de 2017 a março de 2018.

As três vacas pariram no mês de dezembro de 2017, sendo que o parto da Vaca 1 foi no dia 02, o da vaca 2 foi no dia 05 e o parto da Vaca 3 foi no dia 08. Cada uma das vacas, após o parto, recebeu a dieta, entretanto, as medições do leite iniciaram-se na semana seguinte ao parto, dia em que se iniciou a comercialização do mesmo com a empresa compradora do leite produzido na propriedade.

As medições ocorreram a cada três dias, com o intuito de seguir o mesmo padrão das medições que foram realizadas antes da aplicação das dietas. O período de medição do leite produzido em resposta ao fornecimento da dieta calculada foi de

três meses, totalizando 90 medições. Nesse período, não se constatou anormalidades (como, por exemplo, doenças nos animais) que pudessem comprometer a produção.

Assim, para uma melhor interpretação dos dados e análise, a produção leiteira pós-parto após aplicação da dieta, dos três animais em estudo, ou seja, da Vaca 1, da Vaca 2 e da Vaca 3, foi disposta nos Gráficos 5, 6 e 7, respectivamente.

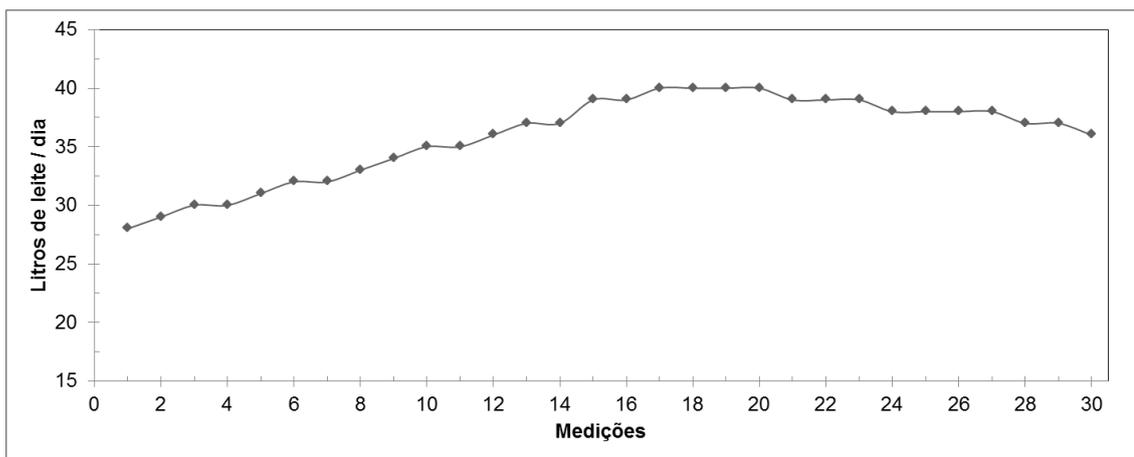


Gráfico 4 - Produção leiteira da Vaca 1 com o fornecimento da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

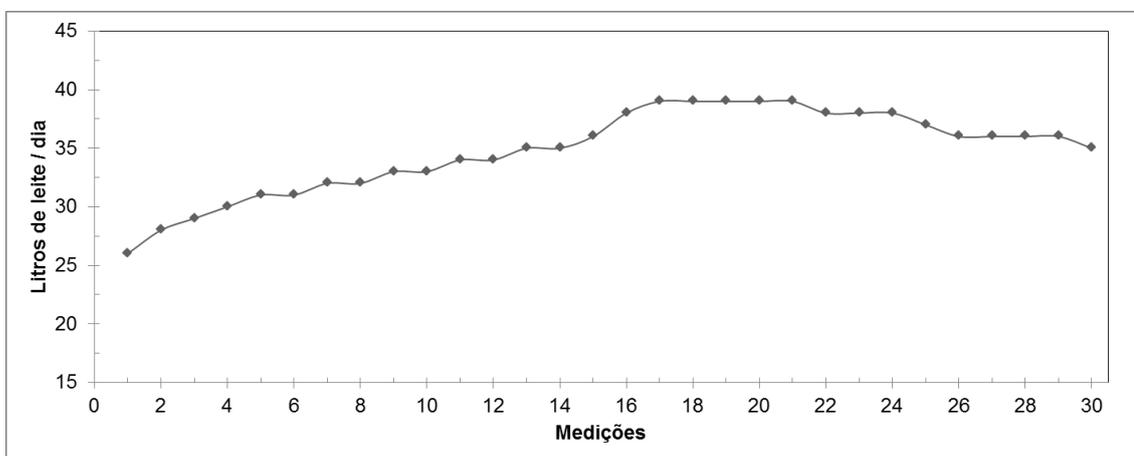


Gráfico 5 - Produção leiteira da Vaca 2 com o fornecimento da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

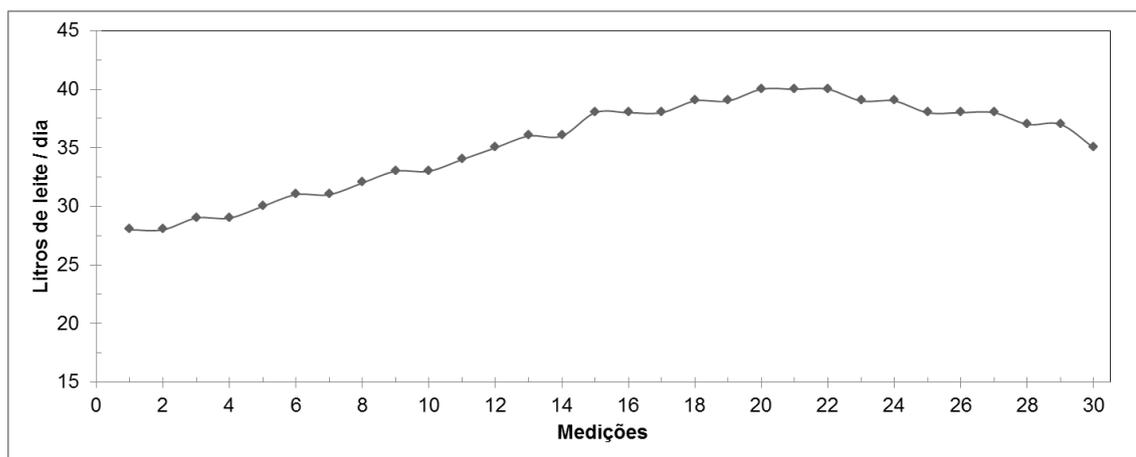


Gráfico 6 - Produção leiteira da Vaca 3 com o fornecimento da dieta
Fonte: Autoria própria (2018).

A partir dos Gráficos 5, 6 e 7, depreende-se que a produção total de leite medido, no período de 90 dias, para a Vaca 1 foi de 1076 Litros, para a Vaca 2 foi de 1042 Litros e para a Vaca 3 foi de 1058 litros. É importante ressaltar que a quantidade de leite medido não representa a quantidade total de leite produzido pelo animal no período de três meses, pois as medições ocorreram a cada 3 (três) dias, e não diariamente. Dessa forma, pode-se estimar que a produção real de cada vaca no período, foi de aproximadamente três vezes a quantidade total medida.

A Tabela 6 contempla a quantidade de leite medida em cada um dos períodos, ou seja, antes (Período 1) e depois da dieta (Período 2).

Tabela 6 - Quantidade de leite medida antes e após o fornecimento da dieta

Animal	Medidas do Período 1 (em Litros de leite)	Medidas do Período 2 (em Litros de leite)	Saldo (em Litros de leite)
Vaca 1	951	1.076	125
Vaca 2	709	1.042	333
Vaca 3	932	1.058	126
Total	2.592	3.176	584

Fonte: Autoria própria (2018).

Interpretando a Tabela 6, é nítido o aumento da produção de leite em apenas três meses, indicando que a dieta influenciou de maneira positiva a produção de leite. Nota-se ainda que no Período 2 (período de fornecimento da

dieta) as três vacas produziram uma quantidade de leite muito semelhante, sendo de aproximadamente 1.050 litros de leite cada uma. Tal semelhança não ocorreu no Período 1, uma vez que a Vaca 2 produziu em torno de 230 litros de leite a menos que as outras duas vacas. Essa produção não uniforme verificada no Período 1, embora se tratasse de vacas com características físicas semelhantes, deveu-se à falta de controle rígido sobre a alimentação fornecida. Com isso, nota-se a importância do controle sobre a alimentação das vacas para proporcionar uniformidade e aumento da produção de leite, verificando-se assim, no presente estudo, um aumento total da produção de leite de 584 litros do período 2 em relação ao período 1.

Outra análise importante é em relação aos custos com a dieta ao longo dos três meses em que ocorreram as medições. O custo com a alimentação das vacas, no Período 1, considerando apenas os custos envolvidos em cada dia de medição do volume do leite, foi de R\$ 342,00 para cada animal. Esse valor foi obtido pela multiplicação do custo diário da alimentação sem a dieta (R\$ 11,40) por 30 (trinta) dias, que correspondem ao total de medições realizadas. Assim, o custo total para alimentar as 3 (três) vacas foi de R\$ 1.026,00. Procedendo da mesma maneira, o custo com a alimentação de cada vaca no Período 2 foi de R\$ 524,70, considerando o custo diário da dieta (R\$ 17,49). Dessa maneira, o custo total para alimentar os 3 (três) animais foi de R\$ 1.574,10.

Tão importante quanto a análise dos custos é a análise relacionada à receita obtida por meio da venda desse leite. Para chegar ao valor da receita, tomou-se como base um preço médio pago pelo laticínio de R\$ 1,40 o litro de leite. Assim, a Tabela 7 apresenta as informações pertinentes para essa análise.

Tabela 7 - Produção de leite antes e após o fornecimento da dieta com as referidas receitas

Animal	Período 1		Período 2	
	Medida (Litros)	Receita (R\$)	Medida (Litros)	Receita (R\$)
Vaca 1	951	1.331,40	1.076	1.506,4
Vaca 2	709	992,60	1.042	1.458,8
Vaca 3	932	1.304,8	1.058	1.481,2
Total	2.592	3.628,8	3.176	4.446,4

Fonte: Autoria própria (2018).

Agrupando as informações pertinentes ao custo e receita totais, em cada período, podemos chegar aos lucros auferidos. Esses se encontram dispostos na Tabela 8.

Tabela 8 - Relação de custos, receitas e lucros

	Período 1 (jan-abr/2017)	Período 2 (dez/2017 - mar/2018)	Diferença entre os Períodos 1 e 2
Produção Total (Litros)	2.592	3.176	584
Custo (R\$)	1.026,00	1.574,10	548,10
Receita (R\$)	3.628,80	4.446,40	817,60
Lucro (R\$)	2.602,80	2.872,30	269,50

Fonte: Aatoria própria (2018).

Ao se interpretar a Tabela 8, verifica-se que no Período 1 (sem a dieta), o custo para produzir 2.592 litros de leite foi de R\$ 1.026,00 e a receita com a venda do leite a R\$ 1,40 por litro foi de R\$ 3.628,80, resultando assim em um lucro de R\$ 2.602,80. Já no Período 2 (com a dieta), o custo para produzir 3.176 litros de leite foi de R\$ 1.574,10 e a receita com a venda desse leite a R\$ 1,40 por litro foi de R\$ 4.446,40, resultando portanto em um lucro de R\$ 2.872,30.

Assim na análise global, que leva em conta o volume total de leite produzido e os custos totais com alimentação, atingiu-se um lucro maior no Período 2 quando comparado ao Período 1. Dessa maneira, a diferença de lucro entre os períodos foi de R\$ 269,50.

Dessa sorte, pode-se perceber que a otimização da alimentação por meio de dietas balanceadas é viável e gera maiores lucros ao produtor. Sendo assim, ao extrapolar que todo o rebanho (aproximadamente 50 vacas) possui características semelhantes, como raça, peso vivo, e que a mesma dieta seria ministrada a todos esses animais, a diferença de lucro atingido quando comparado ao período sem a dieta, nos primeiros 90 dias após o parto, seria de R\$ 4.491,70.

4.4. ANÁLISE DO CENÁRIO ATINGIDO

No início do presente estudo, era sabido que haveria um cenário inicial de custos e produção leiteira e, após o fornecimento da alimentação com base na dieta otimizada, seria atingido um novo cenário de custos e produção de leite na propriedade rural.

Destarte, estimou-se que poderiam ser alcançados oito cenários distintos do Cenário Inicial 0 (zero), que foi constatado na propriedade antes da aplicação da dieta, conforme podem ser identificados no Gráfico 7.

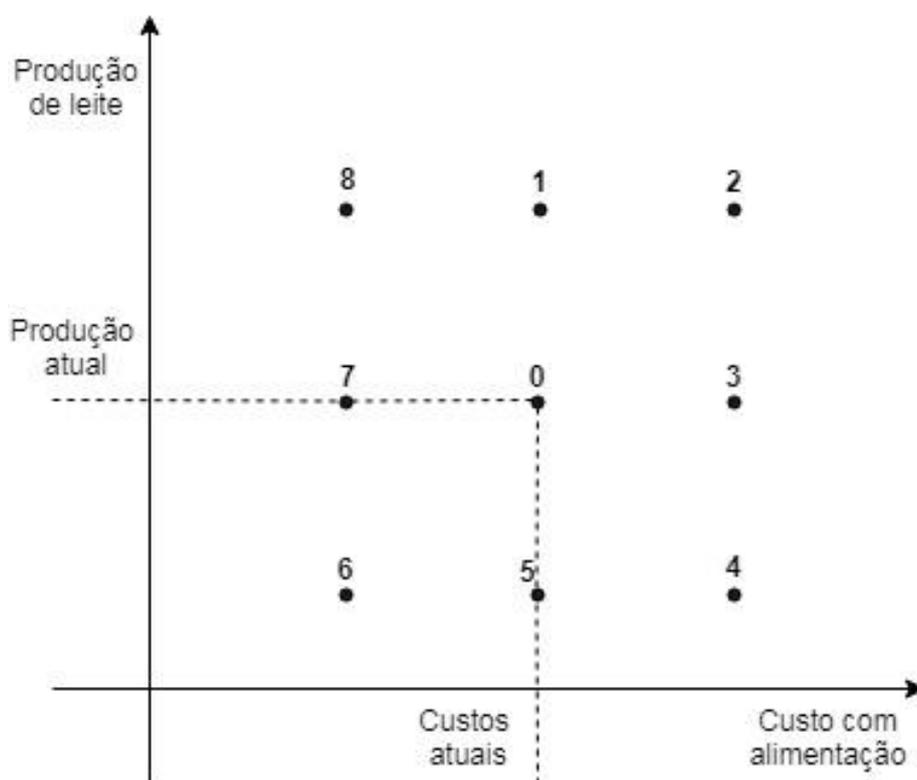


Gráfico 7 - Cenários (pontos) que poderão ser alcançados após a aplicação
Fonte: Autoria própria (2018.)

Assim, os possíveis cenários que poderiam ser atingidos após a aplicação da dieta, quando comparados ao Cenário Inicial 0 (zero), estão descritos no Quadro 1 abaixo, de acordo com o que está destacado no Gráfico 7.

Cenários previstos	Produção Total	Custos com Alimentação
Cenário 1	Aumentaria	Permaneceriam Constantes
Cenário 2	Aumentaria	Aumentariam
Cenário 3	Permaneceria Constante	Aumentariam
Cenário 4	Diminuiria	Aumentariam
Cenário 5	Diminuiria	Permaneceriam Constantes
Cenário 6	Diminuiria	Diminuiriam
Cenário 7	Permaneceria Constante	Diminuiriam
Cenário 8	Aumentaria	Diminuiriam

Quadro 1 - Possíveis cenários de serem atingidos após o fornecimento da dieta

Fonte: Autoria própria (2018).

Inferese do Quadro 1 que o pior cenário possível de ser atingido seria o Cenário 4, pois a produção leiteira diminuiria e os custos com a alimentação aumentariam, o que possivelmente geraria prejuízos ao produtor quando comparado à situação inicial. Já o melhor cenário atingível seria quando a produção de leite aumentaria e os custos com a alimentação diminuiriam, ou seja, seria o Cenário 8.

Com o fornecimento da dieta apresentada no presente estudo, o cenário atingido foi o Cenário 2, já que tanto a produção total como os custos da alimentação aumentaram. Entretanto, verificou-se que de acordo com a dieta formulada, buscando sempre os alimentos mais nutritivos ao menor custo, obteve-se lucro, pois apesar dos custos terem aumentado, a produção leiteira aumentou substancialmente, gerando uma maior receita.

Dessa maneira, pode-se concluir que o cenário atingido - Cenário 2 - nem sempre pode gerar lucro ao produtor, uma vez que a produção pode aumentar, mas não o suficiente para cobrir os custos com a dieta fornecida.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SUGESTÕES

O presente estudo atingiu seus objetivos iniciais, uma vez que a dieta formulada atendeu às exigências nutricionais diárias dos animais e, por consequência, aumentou a produção de leite.

Esse aumento pôde ser verificado a partir do comparativo entre os gráficos que contém as curvas de produção das 3 (três) vacas estudadas, nos períodos antes e depois do fornecimento da dieta.

Cada uma das vacas atingiu a meta estipulada de produzir 40 (quarenta) litros de leite por dia, inclusive a Vaca 2 que, no período sem fornecimento da alimentação balanceada, havia produzido o menor volume de leite dentre os três animais. Esse resultado mostra a importância de fornecer alimentos que atendam às suas exigências nutricionais, pois eles têm potencial para atingir altas produções.

Dessa maneira, verifica-se a importância da Pesquisa Operacional (PO) nos ambientes produtivos, inclusive nos rurais, pois por meio dela é possível fazer uma avaliação criteriosa, após estabelecidas as restrições pertinentes a cada realidade, sobre qual seria a solução ótima para a situação encontrada, sendo que no presente estudo, a PO foi imprescindível para a estipulação das proporções ideais de alimentos a serem fornecidos diariamente às vacas leiteiras, de modo a atender às exigências nutricionais diárias dos animais com os alimentos disponíveis na propriedade e, por conseguinte, gerar uma maior produção de leite e um maior ganho financeiro ao produtor.

Vale ressaltar que as vacas estudadas nunca haviam recebido qualquer alimentação com base em dietas balanceadas antes da aplicação do presente estudo. Apesar disso, durante o período no qual foi fornecido a dieta - 90 (noventa) dias após o parto -, elas atingiram a meta de produção de 40 (quarenta) litros de leite ao dia durante alguns dias, mas não em todos. Esse resultado foi ao encontro do que está previsto na literatura: após o parto, as vacas vão aumentando a sua produção diária de leite até atingirem um valor máximo, e depois, vão diminuindo gradativamente.

Outra questão relevante é a de que, quanto melhor nutridas e saudáveis estiverem as vacas leiteiras, melhores serão os resultados de produção, e uma boa saúde animal é atingida com o fornecimento de dietas nutritivas ao longo de toda a

sua vida produtiva e não apenas em alguns períodos isolados. Isso evidencia que a produção deve ser vista e melhorada de modo sistemático e contínuo, realizando-se estudos durante todo o ciclo produtivo, que vai de um parto ao outro, com a formulação de várias dietas otimizadas específicas para cada fase de lactação das vacas. Isso faria com que o animal se mantivesse saudável durante todo o ciclo, propiciando uniformidade, longevidade e altas produções de leite.

5.1. DIFICULDADES ENCONTRADAS E SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Algumas das dificuldades enfrentadas para a realização do presente estudo foram: a carência de literatura específica que tratasse sobre formulação de dietas para gado leiteiro no Brasil; a distância de deslocamento até a propriedade rural e os métodos manuais de medição do leite.

Como sugestões para a evolução e aprimoramento desta pesquisa, têm-se:

- a) Estudo com acompanhamento da produção e formulação de dietas por períodos maiores do que três meses, para avaliar o atingimento de resultados relacionados à saúde animal, regularidade de cio, ganho de peso e longevidade da produção de leite.
- b) Formular dietas utilizando-se a composição nutricional de cada alimento obtida por meio de análises laboratoriais, e não por tabelas contidas na literatura. Isso traria informações mais específicas em relação aos tipos e quantidades de nutrientes que, de fato, estão presentes nos alimentos, diminuindo as chances de erro.
- c) Realizar a medição do leite por meio de medidores eletrônico, uma vez que são mais precisos que os métodos manuais de medição utilizados nas propriedades agropecuárias.

- d) Realizar análise de sensibilidade para as variáveis do modelo da dieta.

REFERÊNCIAS

ANDRIGUETTO, J.M.; PERLY, L.; MINARDI, I. et al. **Nutrição Animal: As bases e os fundamentos da nutrição animal e os alimentos**. 2. ed. São Paulo: Nobel. 2005.

AGÊNCIA de notícias do Paraná. **Paraná é o segundo maior produtor de leite do País**. Disponível em: <<http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=91046>>. Acesso em: 11 Set. 2017.

ARENALES, M.; ARMENTANO, V.; MORABITO, R.; YANASSE, H. **Pesquisa operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2007. 523p.

BATISTUS, D. R., ROSA, M., AIOLFI, R. B., SOARES, A. B., LIMA, J. D. de. Formulação de dieta de mínimo custo para a bovinocultura de leite: animais nos dois últimos meses de gestação. Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 35, Fortaleza, Ceará, **Anais...** 2015. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/TN_STO_211_253_27943.pdf>. Acesso em: 10 Set. 2017.

CENSO agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação. Rio de Janeiro: IBGE, 1974-v. Quinquenal. ISSN 0103-6157. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf>. Acesso em: 10 Out. 2017.

CENTRO de estudos avançados em economia aplicada (CEPEA). **PIB do Agronegócio Brasileiro**. Disponível em: <<https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>>. Acesso em: 10 Out. 2017.

CLEMENTE, A.; SOUZA, A.; TAFFAREL, M; GERIGK, W. Perfil das propriedades rurais familiares e controle de custos na Região Centro-Sul do Paraná. **Custos e @gronegócio on line**, v. 6, n. 3, p. 21-43, set./dez. 2010.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

CARVALHO, L. de A.; NOVAES, L. P.; GOMES, A. T.; MIRANDA, J. E. C. de; RIBEIRO, A. C. C. L. **Sistema de Produção de Leite (Zona da Mata Atlântica)**. Embrapa gado de leite: Sistema de Produção - Versão eletrônica, v.1, jan. 2003. Disponível em:

<<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteZonadaMataAtlantica/alimentacao3.html>>. Acesso em: 04 Set. 2017.

AGÊNCIA de informações Embrapa. **Agronegócio do leite**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Agencia8/AG01/arvore/AG01_128_21720039243.html>. Acesso em: 20 Out. 2017.

ENSMINGER, M.E.; OLENTINE, C.G. Nutritional Factors in Bovine Gastrointestinal Diseases. **Feeds & Nutrition**. Clovis, CA: Ensminger Publ. p.701-742. 1978

ESTELLITA LINS, M. P.; CALÔBA, G. M. **Programação Linear, com aplicações em teoria dos jogos e avaliação de desempenho**, 1 ed., Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

FROTA JR., J.P. **O papel das universidades no desenvolvimento regional, 2004**. Disponível em: <www.sfiec.org.br/educação/papel_universidades_desenvolvimento_regional_html>. Acesso em: 17/10/2017.

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

GONÇALVES, T. M. (1994) **Tese (Doutorado em Zootecnia)** - Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil.

GONÇALVES, L. C.; BORGES, I.; FERREIRA, P D. S. **Alimentação de gado de leite**. Belo Horizonte: FEPMVZ, 2009.

GRESSLER, L. A. **Introdução à pesquisa – projetos e relatórios**. São Paulo: Brasil, 2003.

GROENEWALD, P.C.N.; VILJOEN, C.S. A Bayesian model for analysis of lactation curves of dairy goats. **Journal of Agricultural, Biological and Environmental Statistics**, v.8, p.75-83, 2003.

HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. **Introdução à pesquisa operacional**. 9 ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. 1005p.

KAUARK, F. da S.; MANHÃES, F.C. ;MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa: guia prático**. Itabuna: Via Litterarum, 2010.

KIRCHOF, B. **Alimentação da Vaca Leiteira**. Porto Alegre: EMATER-RS. [199-]. 62p. Disponível em: <<http://atividaderural.com.br/artigos/4e9f4f5532163.pdf>>. Acesso em: 11 Set. 2017

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

LINDO SYSTEMS INC. software LINGO® 9.0. 2017, Disponível em: <<http://www.lindo.com/>> Acesso em: 10 Out. 2017.

LOESCH, C.; HEIN, N. **Pesquisa Operacional: Fundamentos e Modelos**. São Paulo: Saraiva, 2009. 248p.

MERTENS, D.R. Análise da fibra e sua utilização na avaliação de alimentos e formulação de rações. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE RUMINANTES, 1992, Lavras. **Anais**. Lavras: UFLA, 1992. p.188-219.

MOLENTO, Carla F. M. et al . **Curvas de lactação de vacas holandesas do Estado do Paraná, Brasil**. Cienc. Rural, Santa Maria , v. 34, n. 5, p. 1585-1591, Out. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782004000500040&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 06 set. 2017.

MOREIRA, D. A. **Pesquisa Operacional: curso introdutório**. 2 ed. São Paulo: Cengage Learning, 2013. 356p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL- NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7 ed. Washington, DC: National Academy Press, 2001. 381p.

PETRY, Vitor J.; PAGLIARINI, Marciano M. Modelo de programação linear aplicado na melhoria da produtividade leiteira. In. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL , 41,Porto Seguro, Bahia. **Anais...**Porto Seguro: Náutico Praia Hotel, 2009, p.2385 – 2392

ROSELER, D.K. Dry matter intake of dairy cattle: prediction, performance and profit. In: TRI-STATE DAIRY NUTRITION CONFERENCE, 1998, Fort Wayne, Indiana. **Anais...** Fort Wayne. T-SNC, 1998. p.97-121.

SALMAN, A. K. D.; OSMARI, E. K.; SANTOS, M. G. R. DOS. **Manual prático para formulação de ração para vacas leiteiras**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/rondonia/busca-de-publicacoes/-/publicacao/934384/manual-pratico-para-formulacao-de-racao-para-vacas-leiteiras>>. Acesso em: 06 set.2017.

SANTOS, A. L. dos; PERINA, R. de A. **Programação linear aplicada a formulação de ração de custo mínimo para bovinos na região de Araçatuba**. Econ. pesqui. Araçatuba, v. 1, n.1, p.79-97, mar. 1999. Disponível em: <http://www.feata.edu.br/downloads/revistas/economiaepesquisa/v1_artigo07_programacao.pdf>. Acesso em: 18 out. 2017.

SANTOS, M. dos; QUINTAL, R. S. **Problema de programação linear da dieta aplicado à nutrição de suínos**. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente, v.9, n.2, p. 251-271, abr./jun. 2016. Disponível em: <<http://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/viewFile/3687/2776>>. Acesso em: 16 ago. 2017.

SANTOS, F.A.; RODRIGUES M. T.; LISBOA FILHO, J. Modelo computacional para formulação de rações de mínimo custo para pequenos ruminantes utilizando programação linear. Simpósio de Engenharia de Produção, 13, Bauru-São Paulo, **Anais...** 2006. Disponível em: <http://www.simpep.feb.unesp.br/anais/anais_13/artigos/843.pdf>. Acesso em: 13 set. 2017.

SANTOS, F. A.; RODRIGUES, M. T. Ferramenta para formulação de dietas de mínimo Custo para pequenos ruminantes utilizando Programação linear em passos iterativos. Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, 39, Fortaleza-Ceará, **Anais...**2007. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2007/pdf/arq0052.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional: uma visão geral**. 8 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 359p.

WEISS, W.P. Estimating the available energy content of feeds for dairy cattle. **J. Dairy Sci.**, v.81, p.830-839, 1998. Disponível em: <[http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302\(98\)75641-3/fulltext](http://www.journalofdairyscience.org/article/S0022-0302(98)75641-3/fulltext)>. Acesso em 04 set. 2017.