



OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE COMPRA DE INSUMOS PARA FABRICAÇÃO DE RAÇÃO: UMA ABORDAGEM DE PROGRAMAÇÃO LINEAR PARA MINIMIZAÇÃO DE CUSTOS

ANA PAULA GATTO DA CONCEIÇÃO – pg405627@uem.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM – MARINGÁ - PR

RITA DE CÁSSIA MORESCHI DÓRIA- pg405636@uem.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM – MARINGÁ - PR

SHEINIFFER ARIANA MIRANDA ROLIM – sheiniffer.miranda@gmail.com
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM – MARINGÁ - PR

GISLAINE CAMILA LAPISANI LEAL – gclleal@uem.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM – MARINGÁ - PR

RAFAEL HENRIQUE PALMA LIMA- rhplima.ct@uem.br
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ - UEM – MARINGÁ - PR

ÁREA: 3.PESQUISA OPERACIONAL

SUBÁREA: 3.1. MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

RESUMO: ESTE ARTIGO APRESENTA UM MODELO DE PROGRAMAÇÃO LINEAR DESENVOLVIDO PARA OTIMIZAR O PLANEJAMENTO DE COMPRA DE INSUMOS PARA FABRICAÇÃO DE RAÇÃO DESTINADA A SUÍNOS E AVES. O OBJETIVO PRINCIPAL É MINIMIZAR OS CUSTOS TOTAIS, QUE INCLUEM CUSTOS DE AQUISIÇÃO DE INSUMOS, FRETE E MANUTENÇÃO DE ESTOQUE. UTILIZANDO A BIBLIOTECA OR-TOOLS, O MODELO CONSIDERA VÁRIAS RESTRIÇÕES PRÁTICAS, COMO ATENDIMENTO DA DEMANDA MENSAL, CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO E FREQUÊNCIA DE COMPRAS. A PESQUISA FOI APLICADA NA FAZENDA EXPERIMENTAL DE IGUATEMI (FEI) DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ (UEM), ONDE A COLETA DE DADOS DETALHADA E A ANÁLISE DOS RESULTADOS MOSTRARAM A VIABILIDADE E EFICIÊNCIA DO MODELO. A COMPARAÇÃO ENTRE DIFERENTES ESTRATÉGIAS DE COMPRA M0065NSAL E TRIMESTRAL, DESTACOU A IMPORTÂNCIA DA ESCOLHA CORRETA PARA A GESTÃO EFICIENTE DE RECURSOS E A REDUÇÃO DE CUSTOS OPERACIONAIS. O ESTUDO CONTRIBUI SIGNIFICATIVAMENTE PARA A LITERATURA DE GESTÃO DE OPERAÇÕES E OFERECE INSIGHTS PRÁTICOS PARA A IMPLEMENTAÇÃO EM OUTRAS UNIDADES DE PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA.

PALAVRAS-CHAVES: CUSTOS TOTAIS; RAÇÃO; INSUMOS; SUÍNOS; AVES; CONTROLE DE ESTOQUE.

1. INTRODUÇÃO

O dimensionamento de lotes (*lot sizing*) e a programação de produção são desafios constantes na gestão de operações. Decidir o que e quanto produzir, ajustando a capacidade produtiva às variações de demanda, é fundamental para manter a eficiência operacional. Por outro lado, o sequenciamento e a programação de lotes envolvem determinar a ordem mais eficiente otimizando a capacidade produtiva. Johnson & Montgomery (1974) mencionaram esses tipos de problema na década de 70, e a partir daí a busca por melhores soluções vem aumentando cada vez mais.

Neste estudo, o foco foi a Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), uma unidade da Universidade Estadual de Maringá (UEM) voltada para atividades acadêmicas e experimentais. A gestão dos animais e a produção de rações são realizadas internamente, com uma compra anual de insumos para a produção das rações. A FEI possui uma grande variedade de animais, mas a pesquisa se limitou aos suínos e aves de postura, que consomem em média 70% de toda a produção de insumos.

O Brasil é um grande produtor de suínos e aves. Segundo a Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2018), o Brasil foi o quarto maior produtor de suínos em 2023, com 5.156 milhões de toneladas produzidas, um aumento de 3,5% em relação ao ano anterior, no mesmo ano exportou 1.230 milhões de toneladas, para mais de 80 mercados. Em relação à avicultura, a produção de ovos foi de 52,4 bilhões de unidades, em 2023, colocando o país na quinta posição mundial. Juntos, esses setores geram milhões de empregos, mais de R\$150,3 bilhões em valor bruto de produção e um arrecadamento de mais de US\$13 bilhões em receitas cambiais.

A produção agropecuária enfrenta desafios constantes na otimização de processos, gestão de recursos e redução de custos. Neste contexto, o presente trabalho se destaca pela sua relevância e contribuição para a área de gestão de operações na produção de ração para suínos e aves.

Sendo assim, o objetivo desta pesquisa é determinar um plano ideal de compra de insumos para minimizar os custos. Foi desenvolvido um modelo com a função objetiva de minimizar o custo de compra, considerando variáveis e restrições como estoque, valor nutricional dos animais, frete, entre outros.

Diversos modelos na literatura, como os desenvolvidos por Zhou et al. (2018) e Badri et al. (2020), abordaram o dimensionamento de lotes de produção e aquisição de insumos, Ertogral et al, 2007 usou um modelo para calcular o tamanho ótimo de lote de aquisição utilizando uma política de remessa com tamanhos uniformes, visando minimizar os custos de transporte.

O propósito deste trabalho é contribuir de maneira prática para uma tomada de decisão eficaz e embasada, auxiliando a gestão da FEI e outras instituições similares a otimizar seus processos produtivos.

Este estudo está estruturado em seis seções: seção 2: revisão de literatura preliminar; seção 3: descrição detalhada do problema em questão; seção 4: apresentação do modelo desenvolvido; seção 5: análise dos resultados obtidos; seção 6: conclusão.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

O problema de dimensionamento de lotes, é muito explorado dentro da literatura atual, um dos primeiros trabalhos desenvolvidos na área foi o de Wagner & Whitin (1958), que introduziu o problema de *lot sizing*, que ficou conhecido como o modelo Wagner-Whitin. No final da década de 80, o trabalho de Chung & Lin (1988) introduziu um algoritmo eficiente para esse tipo de problema, considerando custos variáveis no tempo. No trabalho de Eli, Toso e Morabito (2005), foi proposto um modelo de programação linear inteira mista e aplicados métodos heurísticos baseados em programação matemática inteira. Jans & Degraeve (2008) propuseram a revisão e comparação de meta-heurísticas desse tipo de problema. Outro estudo foi o de De Smet (2020) que fez o uso da linearização por partes, que envolve o uso de abordagens comerciais de programação linear inteira mista (MILP). Um trabalho recente nessa área foi o de Mohamed et al. (2024) que utilizaram de aprendizagem por reforço profundo, que tem o intuito de resolver questões complexas de otimização combinatória.

O objetivo deste trabalho foi a minimização dos custos totais, que incluem custos de compra de insumos, frete e manutenção de estoque necessários para produzir e armazenar a ração, e alguns autores desenvolveram estudos parecidos, Teunter & Flapper (2003) aborda o dimensionamento de lotes em sistemas de produção com retrabalho de produtos perecíveis, além disso Tempelmeier (2007) propôs em seu estudo, heurísticas para o dimensionamento de lotes em sistemas múltiplos itens e níveis, por fim Ben-Daya, Darwish & Ertogral (2008) que verificaram o conjunto de dimensionamento de lotes econômicos, incluindo extensões e métodos para minimizar os custos totais em sistemas de produção e inventário.

3. METODOLOGIA

3.1 Cenário de Estudo

A Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI), uma unidade pertencente à Universidade Estadual de Maringá (UEM), é voltada para atividades acadêmicas e experimentais, destacando-se nos cursos de zootecnia e agronomia. A fazenda possui uma média de 2000 animais, incluindo suínos, vacas, aves de postura (galinhas e codornas), coelhos, carneiros, entre outros.

A gestão dos animais e a produção de rações são realizadas internamente pelos servidores da fazenda. Dada a natureza governamental da instituição, os insumos necessários para a produção das rações são adquiridos por meio de processos licitatórios. Atualmente, o plano de aquisição é anual, com um valor médio predefinido, resultando em uma única compra de insumos. As entregas são programadas quatro vezes ao ano, espaçadas entre dois e três meses, devido à capacidade limitada de armazenamento da FEI, que atualmente suporta cerca de 73.000 kg de insumos, com destaque para farelo de soja, farelo de milho e farelo de trigo, os quais constituem o maior volume.

O objetivo deste estudo é otimizar o processo de aquisição de insumos, visando à minimização dos custos e à definição do melhor plano de compra para a instituição. Consideramos que a disponibilidade de grãos no mercado varia conforme a época do ano. Os períodos de colheita são distintos para cada tipo de grão, e os preços tendem a subir durante épocas de baixa oferta. Por isso a importância em realizar um plano de compra.

Para tal, foram identificados a hierarquia de consumo de ração com os suínos categorizados como principais consumidores, com uma média mensal de 400 porcos e um consumo médio mensal de 21 mil kg de ração. Em seguida, as aves de postura foram identificadas como outro grupo significativo, com 1500 aves e um consumo médio mensal de 4.900 kg.

A coleta de dados precisa e abrangente é essencial para a formulação eficaz da ração. Dados sobre a demanda mensal de insumos, o custo de cada insumo, a capacidade de armazenamento, e os tempos de fabricação são cruciais para construir um modelo de otimização confiável. No contexto deste estudo, a coleta de dados detalhada na Fazenda Experimental de Iguatemi permitiu a análise precisa das necessidades nutricionais dos suínos e a formulação de estratégias de compra e fabricação de ração que minimizam os custos operacionais.

Neste estudo sobre a otimização do planejamento de compra para fabricação de ração para suínos e aves, utilizou-se *Pywrap* e o solver CBC (*Coin-or branch and cut*) no Jupyter Notebook para criar e resolver um modelo de programação linear.

3.2 Suínos

Ao considerar os suínos, observou-se durante o levantamento de dados que existem variações e restrições em relação ao consumo de ração, as quais estão diretamente associadas às diferentes fases de vida desses animais. Essa variabilidade demanda uma abordagem cuidadosa na formulação do problema, de modo a incorporar as características específicas de consumo de ração. Essas fases são determinadas por dias e divididas em 7 categorias, conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Fases de vida dos suínos

Fases	Dias
Pré 1	21 a 45
Pré 2	46 a 62
Inicial	63 a 75
Crescimento	76 a 115
Terminação	116 a 150
Gestação	Matriz
Lactação	Matriz

Fonte: Autores (2024).

Cada fase do ciclo de vida dos suínos demanda uma quantidade específica de ração por quilograma, juntamente com composições distintas de rações, as quais variam tanto em termos de tipo quanto de quantidade de insumos utilizados, como demonstrado no quadro 1:

Quadro 1: Insumos para produção de ração por fase

Fases	Insumos para ração
Pré 1	Farelo de soja, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Pré 2	Farelo de soja, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Inicial	Farelo de soja, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Crescimento	Farelo de soja, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Terminação	Farelo de soja, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Gestação	Farelo de soja, farelo de trigo, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.
Lactação	Farelo de soja, farelo de trigo, núcleo suíno, L- lisina, treonina, calcário, metionina, fosfato bicálcico.

Fonte: Autores (2024)

A formulação da ração para suínos é uma tarefa complexa que envolve a consideração de vários fatores, incluindo a disponibilidade e custo dos insumos, as necessidades nutricionais dos animais em diferentes fases de vida, e as restrições práticas relacionadas à produção e armazenamento. Um dos principais desafios é garantir que a ração formulada atenda às necessidades nutricionais dos suínos em todas as fases, enquanto se mantém dentro do orçamento e das capacidades de armazenamento da fazenda.

A Tabela 2 apresenta os insumos recomendados para cada fase do desenvolvimento dos suínos, refletindo as necessidades nutricionais e metabólicas desses animais ao longo das diferentes etapas de crescimento.

Tabela 2: Quantidade do consumo para cada fase

Fases	Quantidade de consumo por dia/kg
Pré 1	0,250
Pré 2	0,400
Inicial	1,500
Crescimento	3,500
Terminação	3,500
Gestação	2,500
Lactação	4,000

Fonte: Autores (2024).

Os tratos são realizados três vezes ao dia, fracionando as quantidades necessárias para cada fase.

3.3 Aves de postura

A Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) mantém em média 1500 aves de postura, incluindo galinhas e codornas. Essa média é mantida constante ao longo do ano, sendo que qualquer redução decorrente de mortalidade ou declínio na produção é compensada pela aquisição de novos pintinhos. É importante ressaltar que todas as aves recebem a mesma dieta alimentar ao longo de seu ciclo de vida.

A composição da ração utilizada para alimentar as aves é padronizada e consiste nos mesmos ingredientes para todas as fases de desenvolvimento. Os componentes na formulação da ração são: farelo de milho, farelo de soja, L-lisina, metionina, calcário, óleo de soja, sal fino comum, premix vitamina e fosfato de bicálcico.

A ingestão diária estimada por ave é de aproximadamente 0,110 quilogramas. Portanto, considerando o total de aves, o consumo diário total de ração é aproximadamente 165 kg.

3.4 Parâmetros do Modelo

Na Tabela 3, encontram-se os parâmetros utilizados para o modelo proposto:

Tabela 3: Parâmetros do modelo

Parâmetros	Descrição
$num_insumos = 12$	Número de diferentes tipos de insumos
$num_meses = 12$	Número de meses no horizonte de planejamento
$taxa_juros_estoque = 0.05$	Taxa de juros para custo de manutenção de estoque
$custo_frete = 2600$	Custo fixo de frete por mês
$custo_insumo [i]$	Custo por kg do insumo i
$demanda_insumo [t][i]$	Demanda mensal do insumo i no mês t
$capacidade_estoque_insumo = 50000$	Capacidade máxima de armazenamento de cada insumo
$estoque_inicial [i]$	Estoque inicial de cada insumo i

Fonte: Autores (2024).

Os parâmetros do modelo incluem o $num_insumos$, como sendo 12, e refere-se ao número de diferentes tipos de insumos considerados no modelo. O parâmetro de num_meses indica que o horizonte de planejamento do modelo abrange 12 meses, ou seja, um ano. A $taxa_juros_estoque$ foi considerada como 5%, e foi levado em consideração os custos de manutenção geral dos estoques, custos de limpeza e custos de oportunidade. O $custo_frete$ por mês foi considerado fixo, sendo R\$2600,00, já o $custo_insumo [i]$, indica o custo por quilograma para cada insumo, conforme Tabela 4. A $demanda_insumo [t][i]$ refere-se à demanda mensal do insumo i no mês t e pode ser vista na Tabela 5. A $capacidade_estoque_insumo$ foi definida com o valor de 50.000, que é a capacidade máxima de armazenamento de cada insumo. Por fim o $estoque_inicial [i]$, que está relacionado a quantidade inicial de estoque de cada insumo i .

Tabela 4: Custo dos Insumos

Insumo	Custo
Farelo de Milho	R\$1,30
Farelo de Soja	R\$2,88
Farelo de Trigo	R\$1,60
Núcleo	R\$5,46
Lisina	R\$15,87
Treonina	R\$19,02

Calcário	R\$0,64
Metionina	R\$26,47
F. Bicalcico	R\$8,51
Premix	R\$21,90
Sal Comum	R\$1,90
Óleo de Soja	R\$5,00

Fonte: Autores (2024).

A tabela de custos dos insumos é fundamental para a formulação de um modelo de otimização eficiente. Ela permite calcular com precisão o custo total de produção, considerando as diferentes composições de ração necessárias para cada fase da vida dos suínos e aves. Além disso, a tabela ajuda a identificar os insumos que mais impactam o orçamento, possibilitando a análise de alternativas e ajustes na formulação para minimizar os custos sem comprometer a qualidade nutricional.

Tabela 5: Quantidade de insumos utilizados

	Farelo Milho	Farelo soja	Farelo trigo	Núcleo	Lisina	Treonina	Calcário	Metionina	F. Bicalcico	Premix	Sal Comum	Óleo de soja
Jan	24721,0	7538,48	1056,0	1651,40	2,490	0,007	507,415	14,855	94,094	9,90	18,959	95,387
Fev	19915,0	5960,40	456,0	1203,20	2,491	0,005	507,407	14,854	94,085	9,90	18,959	95,387
Mar	22696,0	6739,43	535,2	1399,95	2,494	0,006	507,412	14,855	94,091	9,90	18,959	95,387
Abr	23311,1	7200,90	398,4	1257,30	2,493	0,006	507,41	14,854	94,088	9,90	18,959	95,387
Mai	33209,4	10130,62	912,0	1839,00	2,498	0,008	507,42	14,856	94,099	9,90	18,959	95,387
Jun	29713,9	8923,80	892,8	1800,45	2,497	0,007	507,418	14,855	94,096	9,90	18,959	95,387
Jul	30743,8	8697,90	816,0	1871,85	2,499	0,008	507,422	14,856	94,102	9,90	18,959	95,387
Ago	25116,4	7506,90	624,0	1577,25	2,496	0,007	507,417	14,855	94,095	9,90	18,959	95,387
Set	31375,4	9597,30	816,00	1945,80	2,500	0,008	507,424	14,856	94,104	9,90	18,959	95,387
Out	28618,6	8960,10	816,00	1844,85	2,498	0,008	507,420	14,856	94,099	9,90	18,959	95,387
Nov	33183,4	9839,70	816,00	2040,45	2,501	0,009	507,426	14,857	94,106	9,90	18,959	95,387
Dez	29187,2	8906,40	816,00	1884,90	2,499	0,008	507,423	14,856	94,102	9,90	18,959	95,387

Fonte: Autores (2024).

A Tabela 5 retrata as quantidades de insumos por quilograma utilizado em cada mês para produção de ração, considerando a média de animal por período.

3.5 Modelo Proposto

Nessa seção serão apresentadas as variáveis de decisão a função objetivo e as restrições do modelo. Na Tabela 4, encontram-se as variáveis de decisão utilizadas no modelo.

Tabela 6: Variáveis de Decisão

Variáveis de Decisão	Descrição
$compra[i, t]$	Quantidade comprada de insumo i no mês t
$estoque[i, t]$	Quantidade em estoque do insumo i no final do mês t
$compra_binaria[i, t]$	Variável binária que indica se houve compra do insumo i no mês t
$comprou_mes[t]$	Variável binária que indica se houve compra de qualquer insumo no mês t

Fonte: Autores (2024).

A função objetivo (1), teve como foco a minimização do custo total, que é composto por três componentes: custo dos insumos, custo de manutenção do estoque e custo de frete.

$$Custo\ total = \sum_{i=0}^{num\ insumo} \sum_{t=0}^{num\ meses} (custo\ insumos[i] \times compra[i, t] + taxa\ juros\ estoque \times estoque[i, t]) + \sum_{t=0}^{num\ meses} custo\ frete \times comprou_mes[t]$$

A seguir foram feitas as restrições, para capacidade máxima de estoque (2), variáveis binárias de compra (3) e (4), indicação de compras no mês (5) e (6), e o balanceamento de estoque (7), respectivamente:

$$estoque[i, t] \leq capacidade\ estoque\ insumo \quad (2)$$

$$compra\ binaria[i, t] \times capacidade\ estoque\ insumo \geq compra[i, t] \quad (3)$$

$$compra[i, t] \leq compra\ binaria[i, t] \times capacidade\ estoque\ insumos \quad (4)$$

$$comprou\ mes[t] \geq \sum_{i=0}^{num\ insumos} compra\ binaria[i, t] \quad (5)$$

$$comprou\ mes[t] \leq \sum_{i=0}^{num\ insumos-1} compra\ binaria[i, t] \quad (6)$$

$$estoque[i, t] = \begin{cases} compra[i, t] - demanda\ insumo[t][i] & se\ t = 0 \\ compra[i, t-1] + compra[i, t] - demanda\ insumo[t][i] & se\ t > 0 \end{cases} \quad (7)$$

Para Capacidade Máxima de Estoque (2), o estoque de qualquer insumo i no mês t não pode exceder a capacidade máxima de armazenamento definida. Para as Variáveis

Binárias de Compra (3), se houver uma compra do insumo i no mês t , a variável binária de compra deve ser 1, isso assegura que as compras não excedam a capacidade máxima de estoque, já para (4), significa que se a variável binária de compra for 1, isso indica que uma compra foi feita no mês t para o insumo i . A Indicação de Compras no Mês (5), mostra que o valor de "comprou mês" deve ser pelo menos o número de insumos para os quais foram feitas compras no mês t e para a (6), o valor de "comprou mês" não pode ser maior do que o número de insumos para os quais foram feitas compras no mês t . Para o Balanceamento de Estoque (7), o primeiro mês ($t=0$), o estoque do insumo i é igual à compra do insumo i menos a demanda do insumo i no mês t , e para os meses subsequentes ($t>0$), o estoque do insumo i é igual ao estoque do mês anterior mais a compra do mês atual menos a demanda do insumo i no mês t .

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na primeira solução para compras trimestrais com um custo total de R\$ 929.463,94, as compras são realizadas a cada três meses, nos meses 1, 4, 7 e 10, na Figura 1 pode-se observar as compras e estoque totais por mês, a linha azul representa as compras totais em quilogramas para cada mês e a linha vermelha os estoques totais em quilogramas para cada mês. Esse modelo resulta em um acúmulo significativo de insumos nos meses de compra, armazenando estoque suficiente para atender à demanda dos dois meses subsequentes. Essa abordagem minimiza a frequência de fretes, porém, implica na manutenção de estoques elevados, resultando em custos adicionais de armazenamento e manutenção. Essa estratégia demonstra seu diferencial ao manifestar maior resiliência a variações inesperadas de demanda ou problemas logísticos, devido aos estoques formados.

A segunda solução com compras sem frequência predeterminada com um custo total de R\$ 905.968,12, adota uma estratégia de compras mensais. Nesse modelo, as compras são realizadas todos os meses, atendendo exclusivamente à demanda específica do período, o que resulta em estoques menores ao final de cada mês, conforme a Figura 2. Essa abordagem diminui os custos de manutenção de estoques, refletindo em uma redução no custo total. No entanto, esta estratégia traz uma debilidade sendo essa a dependência de compras mensais que pode aumentar a vulnerabilidade a interrupções no fornecimento, exigindo a aplicação de uma logística mais eficiente e confiável.

As duas estratégias apresentam diferenças significativas em termos de custos totais e gestão de estoques. A primeira solução, com compras trimestrais, apresenta uma maior

resiliência a variações de demanda e problemas logísticos, entretanto implica em custos mais elevados de armazenamento e manutenção de estoques. A segunda solução, com compras mensais, oferece uma redução nos custos totais e na manutenção de estoques, tendo como contraponto exigir uma logística mais robusta e apresentar uma maior vulnerabilidade a interrupções no fornecimento.

A diferença percentual entre os custos totais das duas estratégias é de aproximadamente 2,53%, com a estratégia de compras mensais sendo mais econômica. Esta diferença pode ser atribuída a vários fatores:

- **Custo de Armazenamento:** A compra trimestral exige maior capacidade de estocagem, levando a custos mais elevados de manutenção e preservação. A compra mensal, por outro lado, reduz a necessidade de espaço de armazenamento.
- **Custo de Oportunidade:** Na compra trimestral, há uma imobilização significativa de capital, resultando em maior custo de oportunidade devido ao capital parado. Esse custo está diretamente ligado ao retorno potencial que se deixa de obter ao alocar recursos em uma atividade específica em vez de outras oportunidades de investimento.
- **Custo de Transporte:** Embora a compra menos frequente possa reduzir a frequência de transporte, os impactos nos custos totais não trazem uma vantagem que expliquem os custos adicionais de armazenamento e oportunidade.
- **Risco de Deterioração:** A compra em grandes volumes aumenta o risco de deterioração dos insumos armazenados por longos períodos. A compra mensal reduz esse risco, facilitando a manutenção da qualidade dos insumos.
- **Flexibilidade:** A compra trimestral é menos flexível, limitando os ajustes às mudanças na demanda ou nas condições do mercado. A compra mensal permite um ajuste contínuo e dinâmico, adaptando-se melhor às variações de demanda.

Portanto, a escolha entre as duas estratégias de compras dependerá das prioridades e restrições da operação. Se a minimização dos custos totais for a principal prioridade e a operação conseguir lidar com fretes mensais, a estratégia de compras mensais é mais vantajosa. No entanto, se houver preocupações com riscos logísticos e necessidade de flexibilidade em termos de resposta à demanda, a estratégia de compras trimestrais pode ser mais adequada.

O modelo de programação linear desenvolvido para obter a solução de maneira a minimizar os custos oferece uma abordagem sistemática e quantitativa para otimizar o planejamento de compras e fabricação de ração. Ao minimizar os custos totais, que incluem a

compra de insumos, frete e manutenção de estoque, o modelo ajuda a melhorar a eficiência operacional das fazendas. Isso é crucial para manter a competitividade no mercado agropecuário.

5. CONCLUSÃO

O detalhamento das fases de vida dos suínos e suas necessidades nutricionais específicas, combinado com a análise cuidadosa da formulação da ração, insumos utilizados, e a coleta de dados, são essenciais para o sucesso na produção de ração eficiente e econômica.

Este estudo contribui para a compreensão das implicações das diferentes estratégias de compras na gestão de estoques e nos custos totais, oferecendo insights valiosos para a tomada de decisão no planejamento de compras de insumos para fabricação de ração.

Este estudo traz contribuições significativas ao campo da gestão de operações, especificamente no que diz respeito ao planejamento e otimização da compra e fabricação de ração para suínos e aves. A utilização de modelos de programação linear permite uma abordagem sistemática e quantitativa para resolver problemas complexos de logística e inventário.

A aplicação prática deste modelo na Fazenda Experimental de Iguatemi (FEI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) demonstra a relevância e a eficácia da metodologia proposta. Os resultados obtidos não apenas destacam a viabilidade do modelo, mas também sugerem potenciais melhorias na eficiência operacional e na redução de custos.

A otimização dos processos de compra e fabricação de ração também contribui para a sustentabilidade ambiental e econômica. Ao reduzir o desperdício de insumos e melhorar a gestão de estoques, o modelo promove uma utilização mais eficiente dos recursos. Além disso, a redução dos custos operacionais pode ajudar a tornar a produção de suínos e aves mais sustentável a longo prazo.

Além disso, este trabalho abre caminho para futuras pesquisas que podem explorar diferentes aspectos da gestão de insumos e ração. Por exemplo, a integração de técnicas de machine learning para prever a demanda de ração pode melhorar ainda mais a precisão do planejamento. Outras áreas de interesse incluem a análise do impacto de variações sazonais nos preços dos insumos e a otimização do transporte e distribuição da ração.

A estratégia de compra mensal apresenta uma redução drástica nos custos totais, principalmente devido à menor necessidade de armazenamento e custos associados, menor custo de oportunidade e menor risco de deterioração dos insumos. A flexibilidade adicional de

ajustar compras mensalmente permite uma gestão mais eficiente e adaptável às mudanças nas demandas e condições do mercado. Portanto, apesar de uma maior frequência de compras e transporte, os benefícios em termos de custos totais fazem da estratégia de compra mensal a escolha mais vantajosa

6. REFERENCIAS

ABPA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. **Relatório anual 2018**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/relatorio-anual-2018.pdf>. Acesso em: DATA

BADRI, HM, KHAMIS, NK, GHAZALI, MJ (2020). **Integração de dimensionamento de lote e modelos de programação para minimizar o custo e o tempo de produção na indústria automotiva**. *Jornal Internacional de Otimização Industrial*, 1(1), 1-14.

BEN-DAYA, M., DARWISH, M., & ERTOGRAL, K. (2008). **The joint economic lot sizing problem: Review and extensions**. *European Journal of Operational Research*, 185(2), 726-742.

CHUNG, C., & LIN, K. (1988). **An $O(T^2)$ algorithm for the NI/G/NI/ND capacitated lot size problem**. *Operations Research Letters*, 7(1), 29-34.

DE SMET, N., MINNER, S., AGHEZZAF, E. H., & DESMET, B. (2020). **A linearisation approach to the stochastic dynamic capacitated lotsizing problem with sequence-dependent changeovers**. *International Journal of Production Research*, 58(16), 4980-5005. <https://doi.org/10.1080/00207543.2020.1736722>.

ELI, ANGELA, VITOR TOSO, REINALDO MORABITO. (2005). **Otimização No Dimensionamento E Sequenciamento De Lotes De Produção: Estudo De Caso Numa Fábrica De Rações**. *Gestão e Produção*. v.12, n.2, p.203-217.

ERTOGRAL, K., DARWISH, M., BEN-DAYA, M. (2007). **Lote de produção e expedição dimensionamento em uma cadeia de suprimentos fornecedor-comprador com custo de transporte**. *European Journal of Research Operational*, 176(3).

JANS, R., & DEGRAEVE, Z. (2008). **Meta-heuristics for dynamic lot sizing: A review and comparison of solution approaches**. European Journal of Operational Research, 186(3), 837-865.

JOHNSON, L. A., & MONTGOMERY, D. C. (1974). **Operations-research in production planning, scheduling and inventory control**. New York: Wiley.

MOHAMED HABIB JABEUR, SONIA MAHJOUB, CYRIL TOUBLANC, VERONIQUE CARIOU. (2024). **Optimizing integrated lot sizing and production scheduling in flexible flow line systems with energy scheme: A two level approach based on reinforcement learning**. Computers & Industrial Engineering, 190, pp.110095. [ff10.1016/j.cie.2024.110095](https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110095). [ffhal-04534236](https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110095).

TEUNTER, R. H., & FLAPPER, S. D. P. (2003). **Lot-sizing for a single-stage single-product production system with rework of perishable production defects**. OR Spectrum, 25(1), 85-96.

TEMPELMEIER, H. (2007). **A heuristic for dynamic multi-item multi-level capacitated lot sizing for general product structures**. European Journal of Operational Research, 181(1), 148-162.

WAGNER, H. M., & WHITIN, T. M. (1958). **Dynamic version of the economic lot size model**. Management Science, 5(1), 89-96.

ZHOU, S., ZHOU, Y., ZUO, X., XIAO, Y. (2018). **Modelagem e solução do problema de dimensionamento de lote de vários itens restritos com custo de configuração variável no tempo**. Caos, Sólitos e Fractais, 116, 202-207.