



Universidade Federal do Espírito Santo
Centro Universitário Norte do Espírito Santo
Curso de Bacharelado em Matemática Industrial

Kely Cristina da Silva Pereira

**OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE
COMPRAS E VENDAS EM UMA EMPRESA DE
RECICLAGEM UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO
LINEAR INTEIRA MISTA**

São Mateus

2026

Kely Cristina da Silva Pereira

**OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE
COMPRAS E VENDAS EM UMA EMPRESA DE
RECICLAGEM UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO
LINEAR INTEIRA MISTA**

Trabalho submetido ao Colegiado do Curso de
Bacharelado em Matemática Industrial da UFES
(Campus São Mateus), como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em Matemática.

São Mateus

2026

Kely Cristina da Silva Pereira

OTIMIZAÇÃO DO PLANEJAMENTO DE COMPRAS E VENDAS EM UMA EMPRESA DE RECICLAGEM UTILIZANDO PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA MISTA

Trabalho submetido ao Colegiado do Curso de Bacharelado em Matemática Industrial da UFES (Campus São Mateus), como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Matemática.

Aprovada em 15 de Julho de 2026.

Comissão Examinadora

Prof. Leonardo Delarmelina Secchin
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. Isaac Pinheiro dos Santos
Universidade Federal do Espírito Santo

Prof. Riedson Baptista
Universidade Federal do Espírito Santo

Agradecimentos

Grata a Deus, por estar comigo em todos os momentos, por ter me permitido vivenciar esta experiência e por ter me dado forças para continuar. Que esta conquista seja também um testemunho da Sua fidelidade, como está escrito em Isaías 41:20: "Para que todos vejam e saibam, e considerem, e juntamente entendam que a mão do Senhor fez isto."

Aos meus pais, Ivan e Marlete, que sempre foram os meus maiores exemplos e apoiadores, minha eterna gratidão por acreditarem em meus sonhos e fazerem de tudo para que eles se tornassem realidade.

À minha irmã, Héllen, que, sem dúvidas, é a minha maior força. Você sempre acreditou em mim e me impulsionou a ir mais longe. Também agradeço à minha sobrinha Isabel, e ao meu cunhado Igor, que são muito especiais.

À minha família, meu muito obrigada. São tantos nomes que não caberiam aqui, por isso agradeço, de forma especial, às famílias Pinheiro e Pereira, que sempre zelaram por mim, oraram pela minha vida e me deram coragem para seguir em busca dos meus sonhos.

Aos meus amigos, que tornaram essa trajetória mais leve e significativa. Em especial, às minhas três amigas: Geovana, que permaneceu ao meu lado em todos os momentos; Joiciane, minha irmã de alma, que sempre me incentivou; e Carolina, por seu apoio e amizade, que foram essenciais ao longo dessa caminhada.

Aos professores que fizeram parte da minha formação, agradeço pelas experiências compartilhadas e por terem me ensinado muito mais do que apenas os conteúdos acadêmicos. Em especial, ao meu orientador, Leonardo Delarmelina Secchin, por ter aceitado embarcar neste desafio ao meu lado, pelo apoio e por toda a orientação durante o desenvolvimento deste trabalho e à professora Ana Fernanda, minha sincera gratidão por ser uma inspiração de vida.

Sou grata à Monitoria de Acessibilidade, da qual tive a honra de fazer parte como monitora. Agradeço aos professores, aos meus companheiros monitores e, especialmente, aos alunos que tive o privilégio de acompanhar.

Agradeço à empresa, ao seu proprietário e a todos os funcionários que contribuíram

para o desenvolvimento dessa pesquisa. Sou profundamente grata pelo apoio, pela confiança e pela colaboração para que este trabalho fosse realizado.

Por fim, dedico uma lembrança carinhosa àqueles que partiram durante minha trajetória na faculdade e não puderam presenciar a realização deste sonho. Em memória do meu querido avô, Miguel Pinheiro, e do meu grande amigo, Vanderson Santos, que permanecerão para sempre em meu coração.

“Em Deus nós confiamos. Todos os outros devem trazer dados.”

W. Edwards Deming

Resumo

As empresas de reciclagem enfrentam desafios relacionados às oscilações de preços, às limitações de espaço e aos custos de frete. Dessa forma, a ausência de um planejamento pode resultar em compras excessivas e acúmulo de estoque, afetando a lucratividade. Este trabalho propõe um modelo de programação linear inteira mista para auxiliar o planejamento de compras, vendas e estoques de uma empresa de reciclagem localizada em um município no norte do estado do Espírito Santo. O modelo considera restrições de oferta, demanda, capacidade de armazenamento e transporte, tendo como objetivo maximizar o resultado econômico da empresa. A implementação foi realizada na linguagem Julia, e o modelo resolvido com o *solver* IBM CPLEX. Os resultados obtidos mostraram que o modelo proporcionou um aumento de aproximadamente 33,7% no valor da função objetivo em comparação ao planejamento praticado pela empresa. Além disso, foi realizada uma análise de sensibilidade da solução em relação à variações nos custos de armazenamento, evidenciando sua importância nas decisões de compra dos materiais.

Palavras-chave: Planejamento de compras e vendas, Reciclagem, Aplicações da programação linear inteira mista.

Sumário

1	Introdução	9
1.1	Organização do trabalho	11
2	Gestão de compras, vendas e estoque	12
2.1	Gestão de compras	12
2.1.1	Objetivos da gestão de compras	13
2.1.2	Planejamento de compras e vendas	13
2.2	Gestão de estoque	14
2.2.1	Custos associados ao estoque	15
2.3	Logística e transporte	17
2.4	Uso da programação linear no presente contexto	18
3	Estudo de caso	20
3.1	Funcionamento da empresa	20
3.2	Coleta dos dados	21
3.3	Justificativa	22
4	Modelagem matemática e tratamento dos dados	23
4.1	Modelo matemático	23
4.2	Tratamento dos dados	25
4.3	Definição dos parâmetros do modelo	26
4.3.1	Oferta e demanda (o_{it} e d_{it})	26
4.3.2	Estoque inicial (e_i) e estoque máximo de cada produto ($C_{\text{estoque},i}$)	27

4.3.3	Custo do frete (f_i) e capacidades mínima ($C_{\min}$) e máxima ($C_{\max}$) de transporte	28
4.3.4	Custos de armazenamento (a_i)	28
4.4	Considerações gerais	28
5	Testes numéricos e análise dos resultados	29
5.1	Simulação numérica com custos de armazenamento nulos	30
5.2	Análise de sensibilidade à variações nos custos de armazenamento	36
	Conclusões	41
	Referências	43
	Apêndice A – Formulário das entrevistas	45
	Apêndice B – Materiais comercializados	47

1 Introdução

As empresas de reciclagem enfrentam diversos desafios operacionais, como as oscilações dos preços de compra e venda, as limitações de espaço para armazenamento e os elevados custos de transporte. Esses fatores tornam o planejamento de compras, vendas e estoques em uma atividade complexa, na qual decisões podem resultar em acúmulo de estoque e o aumento dos custos operacionais. Dessa forma, é essencial que as empresas estejam preparadas e adotem modelos de planejamentos estratégicos que permitam manter as operações de forma eficiente e lucrativa. Entretanto, “algumas empresas ainda são dependentes da experiência e da percepção de seus gestores para as tomadas de decisão organizacionais” [1] (*apud* [2]), sem análises quantitativas e métodos científicos.

Com os avanços tecnológicos e a crescente quantidade de dados disponíveis, o processo de tomada de decisão tem se tornado cada vez mais complexo. A tomada de decisão envolve a análise dos possíveis impactos que uma ação pode gerar, sejam eles positivos ou negativos. Esse processo consiste na análise de diferentes cenários, com o objetivo de escolher a melhor alternativa para a situação. No entanto, quando não há um planejamento estruturado, as decisões tendem a ser tomadas de forma empírica, o que pode trazer prejuízo à empresa.

Por outro lado, com um bom planejamento é possível identificar problemas a fim de saná-los, como falhas na gestão de estoque, nas rotas de entregas, na alocação de equipes, no planejamento de produção e em vários outros setores. No setor de reciclagem, essa realidade não é diferente. A falta de um planejamento nas decisões de compra e venda de materiais, aliada às oscilações de preços, às limitações de espaço e aos altos custos de frete, impacta diretamente a empresa, podendo comprometer sua lucratividade. Dessa forma, o uso de modelos de otimização pode fornecer suporte à tomada de decisão, contribuindo para uma melhor utilização dos recursos disponíveis e redução de custos operacionais.

Nesse contexto, a aplicação de técnicas de Pesquisa Operacional desempenha um papel fundamental. Segundo Hillier, “a Pesquisa Operacional é aplicada a problemas envolvendo como conduzir e coordenar as operações em uma organização” [3]. Embora a

experiência do gestor seja muito importante na tomada de decisão, ela pode apresentar limitações quando o problema envolve a análise simultânea de diversos fatores, como capacidades de armazenamento, custos de frete, diferentes produtos, oscilações nos preços de compra e venda, oferta e demanda dos materiais. Portanto, a Pesquisa Operacional fornece ferramentas quantitativas capazes de apoiar o gestor no processo de tomada de decisão, permitindo identificar soluções que utilizem melhor os recursos disponíveis.

Assim, modelos matemáticos são adotados na área empresarial para auxiliar tomada de decisão em atividades como planejamento da produção, gerenciamento de estoques, otimização de rotas de entrega, previsão de riscos, escalas de funcionários, entre outras, com o objetivo de otimizar o uso dos recursos e minimizar os custos. Nesse contexto, destaca-se a Programação Linear como uma das técnicas mais utilizadas para a resolução de problemas de otimização. Segundo Hillier, “a palavra ‘programação’ não está relacionada à programação de computadores, mas sim ao conceito de planejamento”[3]. Dessa forma, a Programação Linear consiste no planejamento de atividades com o objetivo de encontrar a melhor solução possível entre várias alternativas.

Neste trabalho propomos um modelo de programação linear para auxílio na tomada de decisão sobre compras e vendas de uma empresa de reciclagem, considerando dados históricos, capacidade de estoque, demanda e logística. Busca-se maximizar o lucro com as vendas, ao mesmo tempo em que considera-se custos de frete e armazenamento do estoque. Dados reais do ano de 2024 foram coletados dessa empresa e utilizados para alimentar o modelo. Comparamos o lucro total aferido na prática com o obtido via otimização. Ainda, simulamos cenários em que custos de armazenamento dos produtos são considerados.

Este trabalho também busca contribuir para a aplicação da programação linear em um setor de grande relevância ambiental. Embora esta técnica seja bastante utilizada em diversas áreas industriais e logísticas, uma busca na literatura revelou poucos estudos voltados ao planejamento de compras, vendas e armazenamento em empresas de reciclagem. Assim, os objetivos deste trabalho são os seguintes:

Objetivo Geral: Desenvolver e validar um modelo de otimização para apoiar a tomada de decisão no planejamento de compras e vendas de uma empresa de reciclagem de um município localizado no norte do estado do Espírito Santo.

Objetivos específicos:

- Analisar o funcionamento da empresa, identificando os principais gargalos e pontos de ineficiência;
- Criar um modelo que integre a capacidade de estoque, demanda do mercado e custos de frete, com base em dados históricos;
- Realizar testes com o modelo proposto para avaliar o desempenho;
- Comparar os resultados obtidos pelo modelo com o cenário atual, avaliar o impacto da utilização do modelo para o aumento da lucratividade e eficiência operacional.

1.1 Organização do trabalho

Este trabalho está estruturado em cinco capítulos: o primeiro apresenta a introdução ao tema e o problema de pesquisa. O segundo apresenta conceitos de gestão de compras, gestão de estoques, logística e transporte, além da utilização da Programação Linear no contexto da pesquisa. O terceiro capítulo descreve o funcionamento da empresa estudada, bem como o processo de coleta dos dados e a justificativa da seleção da empresa. O quarto capítulo apresenta o modelo matemático proposto, o tratamento dos dados e as hipóteses para que o modelo se torne viável. O quinto capítulo apresenta os testes numéricos realizados e a análise dos resultados obtidos. Por fim, apresentamos as considerações finais e possíveis melhorias para trabalhos futuros.

2 Gestão de compras, vendas e estoque

2.1 Gestão de compras

A gestão de compras tem a responsabilidade de garantir o abastecimento dos materiais e recursos necessários para a continuidade das operações organizacionais. Segundo Pozo, essa área tem a função de apoiar os processos produtivos, garantindo que os materiais estejam disponíveis no momento certo, na quantidade correta e no menor custo possível [4].

Além de atender às necessidades operacionais, a função de compras passou a assumir um papel estratégico dentro das organizações. Conforme Dias, essa atividade movimenta um volume significativo de recursos financeiros, deixando de ser vista apenas como um processo burocrático para ser uma importante ferramenta de redução de custos e aumento da competitividade empresarial [5].

No mercado atual, movido por constantes transformações e altamente competitivo, é fundamental que as empresas tenham práticas eficientes de aquisição de materiais e serviços. Segundo Martins *et al* [6, p. 93]

O valor total gasto nas compras de insumos para a produção, seja do produto ou do serviço final, varia de 50% a 80% do total das receitas brutas. No setor industrial, esse número alcança a casa dos 57%. É fácil perceber que mesmo pequenos ganhos decorrentes de melhor produtividade na função têm grande repercussão no lucro.

Logo, a atividade de compras influencia diretamente os resultados financeiros das empresas. Dessa forma, o setor deixou de ser apenas garantia para o abastecimento das operações, passando a contribuir para a redução de custos, melhoria das negociações com fornecedores e aumento da lucratividade. Assim, decisões relacionadas à quantidade comprada tornaram-se um importante fator estratégico para o desempenho empresarial.

2.1.1 Objetivos da gestão de compras

Segundo Martins *et al* [6, p. 98] “os objetivos de compras devem estar alinhados aos objetivos estratégicos da empresa como um todo, visando o melhor atendimento ao cliente interno e externo”. Dessa forma, o setor de compras é fundamental para a coordenação do fluxo de materiais e o equilíbrio entre disponibilidade e quantidade de produtos no estoque.

De acordo com Pozo, os principais objetivos da gestão de compras são garantir a continuidade do abastecimento de materiais, assegurando o fluxo das operações da empresa, e evitar altos investimentos em estoques [4]. O autor também destaca a importância da compra de materiais de qualidade, buscando sempre os melhores preços e prazos, além da redução de desperdícios e perdas de materiais.

Além dos aspectos operacionais e financeiros, Pozo ressalta que a gestão de compras deve contribuir para a competitividade da empresa por meio de negociações justas e criar parcerias com fornecedores, uma vez que relações de confiança podem favorecer o crescimento em conjunto [4].

Conforme Dias [5, p. 260], “comprar bem é um dos meios que a empresa deve usar para reduzir custos”. Dessa forma, a gestão de compras auxilia na redução dos custos operacionais, evitando problemas que podem ser ocasionados tanto pela falta quanto pelo excesso de materiais armazenados, bem como o fortalecimento da empresa frente às transformações do mercado.

2.1.2 Planejamento de compras e vendas

Segundo Chiavenato [7, p. 18], “o planejamento é a função administrativa que determina antecipadamente quais os objetivos a serem atingidos e o que deve ser feito para atingi-los da melhor maneira possível”. Assim, o planejamento é fundamental para que a empresa consiga atingir seus objetivos de forma eficiente.

A importância dessa função é evidenciada pelo fato de que as atividades empresariais não devem ser executadas de forma improvisada. Ainda conforme Chiavenato [7, p. 40], “nenhuma empresa funciona na base da improvisação. Nada é feito aleatoriamente. Tudo precisa ser planejado antecipadamente para evitar desperdícios, perdas de tempo, atrasos ou antecipações desnecessárias”. Nesse sentido, o planejamento auxilia a organização das atividades de compras e vendas, permitindo melhor utilização dos recursos disponíveis.

O planejamento de compras possui impacto direto sobre os resultados financeiros da empresa. Grazziotin afirma que “compramos para vender, mas precisamos estar atentos, porque no ato da compra já se inicia a venda. Comprar bem já é a metade da venda. Quando assinamos o pedido já estamos definindo a metade do lucro” [8] (*apud* [9]). Assim, as decisões de compra influenciam diretamente os resultados da empresa, pois afetam os custos, a disponibilidade dos produtos e a capacidade de atender à demanda.

De acordo com Dias, para manter um volume de vendas adequado, competitividade no mercado e obter lucros satisfatórios, é necessário buscar a redução dos custos, principalmente aqueles relacionados aos materiais utilizados nas operações [5]. Como esses materiais representam uma parcela significativa dos custos totais da empresa, o planejamento das compras acaba sendo uma importante ferramenta de controle.

Além da redução de custos, o planejamento também contribui para o controle dos estoques. Conforme Pozo [4, p. 127],

o setor de compras busca, incansavelmente, evitar duplicações, estoques elevados, atos de urgência e compras apressadas, que normalmente são desnecessárias e causam conflitos e custos elevados de planejamento, estoques e transportes.

Dessa maneira, o planejamento adequado permite reduzir desperdícios e evitar problemas causados pelo excesso ou falta de materiais.

2.2 Gestão de estoque

A gestão de estoque planeja, controla e organiza os materiais armazenados em uma empresa. Segundo Ballou [10, p. 271], “os estoques são acumulações de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processo e produtos acabados que surgem em numerosos pontos do canal de produção e logística das empresas”. Dessa forma, os estoques estão presentes em diferentes etapas da cadeia de suprimentos e contribuem para o funcionamento das atividades empresariais.

Além da disponibilidade de materiais, os estoques exercem uma função estratégica dentro das empresas. De acordo com Alt e Martins [6, p. 179], “os estoques têm a função de funcionar como reguladores do fluxo de negócios”. Isso significa que eles auxiliam no equilíbrio entre o fornecimento de materiais e a demanda dos clientes, reduzindo os impactos causados por oscilações de preços ou atrasos de fornecedores.

Dias [5, p. 16] afirma que “sem estoque é impossível uma empresa trabalhar, pois

ele é o amortecedor entre os vários estágios da produção até a venda final do produto”. Entretanto, a gestão de estoques encontra-se em constante conflito entre a necessidade de manter produtos disponíveis e a redução do capital investido em materiais armazenados. Conforme destaca o autor, sob o olhar comercial é desejável manter níveis elevados de estoque para garantir o atendimento da demanda, enquanto sob a área financeira é preferível reduzir esses níveis para minimizar os recursos imobilizados. De fato, Pozo [4, p. 38] afirma que “o planejamento de estoque é essencial para o resultado financeiro de uma empresa, com alto impacto no custo do produto”. Dessa forma, a gestão de estoques tem como objetivo encontrar um equilíbrio entre a disponibilidade de materiais e os custos envolvidos com os estoques.

Para Pozo, uma das principais atividades da gestão de materiais consiste em planejar e controlar os estoques de modo a atender às necessidades da demanda, buscando reduzir custos e garantir a satisfação dos clientes [4]. Complementando essa ideia, Dias [5, p. 16] afirma que “o objetivo, portanto, é otimizar esse investimento, aumentando o uso eficiente dos recursos financeiros, reduzindo as necessidades de capital investido”.

2.2.1 Custos associados ao estoque

Os custos associados aos estoques representam um fator relevante para o financeiro das empresas. De acordo com Dias, quando os níveis de estoque não estão alinhados à demanda do mercado, os gastos com sua manutenção podem tornar-se excessivos, comprometendo a liquidez da organização em razão do capital imobilizado [5]. Nessa situação, a redução dos níveis estocados contribui para a redução dos custos operacionais.

Pozo destaca que estoques elevados exigem maior capital de giro e, conseqüentemente, aumentam os custos da empresa [4]. Além disso, o autor afirma que os custos de manutenção tendem a crescer à medida que a quantidade armazenada aumenta. De acordo com Ballou, os custos de manutenção dos estoques podem representar entre 20% e 40% do valor total armazenado ao ano, evidenciando a importância do controle eficiente dos níveis de estoque para evitar gastos desnecessários [10].

Segundo Dias, existem duas variáveis que influenciam diretamente os custos de estoque: a quantidade de materiais estocados e o tempo de permanência no estoque [5]. Assim, quanto maior for o volume armazenado e o período de estocagem, maiores serão os custos envolvidos. Na literatura, os custos de estoque são geralmente classificados em custos de armazenamento, custos de pedido e custos por falta de estoque:

Custo de pedido Segundo Pozo, o custo de pedido corresponde às despesas geradas sempre que um pedido de compra é realizado [4]. Esses custos incluem custos fixos como salários dos funcionários envolvidos no processo e custos variáveis relacionados à emissão, processamento e envio dos pedidos aos fornecedores.

Custo por falta de estoque De acordo com Pozo, a redução excessiva dos estoques pode ocasionar custos pela falta de materiais, como atrasos nas entregas, perda de vendas, multas contratuais e danos à imagem da empresa [4]. Dessa forma, a definição adequada dos níveis de estoque é fundamental para evitar prejuízos operacionais e financeiros.

Custo de armazenamento De acordo com Dias, todo material armazenado gera custos para a empresa [5]. Esses custos podem ser agrupados em quatro categorias:

- *custos de capital*: relacionados aos recursos financeiros investidos nos estoques, incluindo juros e depreciação;
- *custos com pessoal*: envolve salários e encargos sociais dos funcionários responsáveis pelas atividades de armazenamento;
- *custos com edificações*: despesas com aluguel, impostos, energia, água e conservação das instalações;
- *custos de manutenção*: relacionados à deterioração, obsolescência e utilização de equipamentos.

Para Dias, entre esses tipos de custos, o custo de armazenamento merece destaque por sua influência direta na rentabilidade das empresas [5]. Pozo [4, p. 57] afirma que

o custo de armazenamento traduz-se no custo financeiro de todas as despesas para manter todos os materiais na empresa e nos custos e recursos necessários para administrá-los. Em suma, é o custo do dinheiro envolvido nesse sistema.

Considerando a relevância desse custo para empresas que trabalham com grandes volumes de materiais, o custo de armazenamento será utilizado neste trabalho como um dos parâmetros de análise do modelo matemático proposto.

2.3 Logística e transporte

Bertaglia [11, p. 277] define que “a logística corresponde à movimentação de bens e serviços de seus pontos de origem aos pontos de uso ou consumo”. Dessa forma, a logística está presente em todas as etapas da movimentação de produtos, desde a compra de insumos até a entrega ao consumidor final.

De forma complementar, Ballou [10, p. 27] afirma que

a logística é o processo de planejamento, implantação e controle do fluxo eficiente e eficaz de mercadorias, serviços e das informações relativas desde o ponto de origem até o ponto de consumo com o propósito de atender às exigências dos clientes.

Nesse contexto, a logística envolve o planejamento de compra, armazenamento, transporte e distribuição, buscando garantir às necessidades dos clientes de forma eficiente. O autor ainda destaca que uma estratégia logística eficiente deve estar voltada para três objetivos principais: reduzir os custos, diminuir a necessidade de capital investido e melhorar o serviço oferecido aos clientes. Dessa forma, as decisões logísticas influenciam diretamente a competitividade e a lucratividade das empresas.

Segundo Bowersox *et al*, o trabalho logístico é composto por cinco áreas inter-relacionadas: processamento de pedidos, estoques, transportes, armazenamento e rede de instalações [12]. Considerando que os temas relacionados à gestão de compras e de estoques são abordados em seções específicas deste trabalho, esta seção aborda o estudo do transporte, por ser um dos fatores que impactam as vendas realizadas pela empresa analisada.

O transporte é responsável pela movimentação física dos produtos ao longo da cadeia de suprimentos. Conforme Bertaglia, essa atividade gera os fluxos físicos de bens e serviços nos canais de distribuição, ligando as unidades de produção e armazenamento aos locais de compra ou consumo [11]. Além disso, Pêgo diz que o setor de transporte é responsável pela movimentação dos estoques entre diferentes locais, permitindo que materiais, produtos em processo e produtos acabados sejam disponibilizados [13]. Com isso, o estudo considera transporte utilizado dentro da própria empresa ou para atendimento aos clientes.

As decisões relacionadas ao transporte também afetam diretamente os níveis de estoque das organizações. Segundo Ballou, os níveis de estoque dependem das decisões de transporte e podem variar de acordo com o volume de cada remessa [10]. Assim, estratégias de transporte inadequadas podem resultar tanto em estoques excessivos quanto em falta de materiais, comprometendo a eficiência operacional.

A importância do transporte para a logística também está relacionada ao seu impacto nos custos empresariais. Ballou destaca que o transporte normalmente representa o elemento mais importante em termos de custos logísticos, absorvendo entre um e dois terços dos custos totais da logística [10]. De forma semelhante, Pêgo aponta que essa atividade representa o custo mais visível das operações logísticas [13].

Outro ponto importante refere-se aos custos de frete. Conforme destacado por Rezende, “em uma empresa que faz uso de transporte, seja ele de terceiros ou próprio, é ciente que este custo de frete representa um gasto significativo em sua realização” [14]. Complementando essa ideia, Dias afirma que o frete está incorporado ao custo final dos produtos, desde sua origem até o local de armazenamento ou consumo [5].

Diante desse cenário, é fundamental que as empresas integrem as atividades de armazenamento, estocagem e transporte, para maior eficiência operacional e redução de custos. Conforme destacado por Pêgo [13],

as empresas devem administrar de forma integrada as atividades de estocagem, acondicionamento e transportes para obter o máximo de eficiência de cada um dos elos da cadeia e do conjunto de atividades envolvidas, ao mesmo tempo que minimiza os custos de transporte.

2.4 **Uso da programação linear no presente contexto**

A programação linear é uma técnica essencial para a Pesquisa Operacional, sendo muito utilizada na resolução de problemas relacionados à alocação de recursos, planejamento e otimização. Conforme Hillier, é uma ferramenta padrão utilizada por empresas de diferentes portes, contribuindo para a redução de custos e melhoria dos resultados operacionais [3].

Modelos de programação linear são utilizados para representar problemas reais e auxiliar na busca por soluções viáveis. Segundo Araújo e Rangel [15],

um modelo matemático de otimização envolve a representação de um problema ou situação por um conjunto de relações matemáticas tais como: equações, inequações, dependências lógicas e uma ou mais funções a serem otimizadas.

Dessa forma, o modelo busca representar a realidade de maneira simplificada, permitindo a análise de diferentes cenários e a identificação da melhor solução para o problema.

Conforme os autores, os principais componentes de um modelo de otimização são as variáveis de decisão, a função objetivo e as restrições. As variáveis de decisão representam as escolhas que devem ser realizadas para solucionar o problema, a função objetivo estabelece o critério a ser maximizado ou minimizado e as restrições representam as limitações existentes no problema.

Neste trabalho, propomos no Capítulo 4 um modelo de programação linear *inteira mista*, isto é, há variáveis contínuas (volumes de compra, venda e estoque), e variáveis binárias (relacionadas ao transporte) que auxiliam na descrição correta da solução.

3 Estudo de caso

Neste capítulo, é apresentado o estudo de caso da empresa que atua na compra e venda de materiais recicláveis no município do Norte do estado do Espírito Santo desde 2005. Descrevemos sucintamente o funcionamento da empresa, os dados coletados e por fim os motivos que justificaram a escolha da empresa.

3.1 Funcionamento da empresa

Neste trabalho, o nome da empresa será preservado, portanto, a chamaremos apenas de “empresa”. Atualmente a empresa conta com 12 funcionários e conforme apresentado na Figura 1, realiza as seguintes atividades:

Figura 1: Atividades realizadas pela empresa.



Fonte: a autora.

A empresa compra diversos tipos de materiais recicláveis. As compras são realizadas quando clientes entram em contato informando que tem o material disponível, então a empresa disponibiliza um caminhão para realizar a coleta. A empresa não possui contratos formais e nem fornecedores fixos.

Após a coleta, os materiais são pesados e, dependendo do tipo, passam por um processo de separação em bancadas. Em seguida, são enfardados e armazenados no galpão da empresa prontos para comercialização. A maior parte da comercialização é feita para empresas de maior porte. Assim como na compra, não existem contratos de venda, ou seja, a demanda não é fixa. Porém, segundo o proprietário, a demanda pelos materiais é constante.

Após fechar a venda, a empresa freta as carretas para o transporte dos materiais até o destino. Devido o aumento do custo do diesel, o proprietário opta por usar carretas de retorno, isto é, veículos que já se encontram circulando na região e entram em contato para saber se tem carga disponível. Dessa forma, o pagamento do frete passa a ser por tonelada e não por quilometragem. No entanto, de acordo com o proprietário mesmo utilizando essa estratégia, em muitos casos a venda não é realizada, pois o valor não compensa.

3.2 Coleta dos dados

Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos por meio de entrevistas realizadas com a secretária e o proprietário da empresa, guiada pelo formulário contido no Apêndice A. Durante as entrevistas foi possível compreender o funcionamento da empresa, os critérios utilizados nas decisões de compra e venda e os principais desafios enfrentados.

Para uma análise mais eficiente, foram fornecidos pela empresa tabelas de compras e vendas, relatórios mensais de gastos, tabelas atualizadas com os valores de compra e venda dos materiais e a tabela da quantidade de fardos produzidos diariamente. As tabelas de compra e venda são registradas diariamente e contém informações como data, nome do cliente, tipo de material, quantidade em quilogramas, valor unitário e valor total. Foram analisadas as operações realizadas pela empresa ao longo do ano de 2024. A Tabela 1 apresenta um resumo das principais informações fornecidas pela empresa.

Tabela 1: Resumo dos dados.

Informação	Valor
Período analisado	jan-dez/2024
Número de produtos	99
Quantidade comprada (Kg)	3.139.652,53
Quantidade vendida (Kg)	3.015.991,75
Funcionários	12

Fonte: a autora.

A empresa comercializa uma grande variedade de materiais, muitos deles com divisões e subdivisões, conforme apresentado no Apêndice B. Devido a essa variedade, foi necessário realizar uma seleção dos materiais a serem considerados no modelo, detalhado na Seção 4.2.

3.3 Justificativa

A escolha da empresa se deu pela falta de um planejamento de compras e vendas, onde as decisões tomadas são baseadas na experiência do proprietário. Atualmente, a única forma de organização consiste em uma tabela de controle de entrada e saída diárias. Como consequência, observa-se vários problemas tais como a compra excessiva de materiais, acúmulo de estoque e reproprocessamento de materiais.

No entanto, o ponto mais crítico tem sido o alto custo do frete que impossibilita a venda dos materiais. Mesmo quando há grande quantidade de materiais, a venda não é realizada, pois o custo do frete se torna inviável financeiramente. Dessa forma, a empresa opta por manter os materiais estocados por longos períodos, resultando na necessidade de reproprocessamento dos materiais. Esse custo de armazenamento não é contabilizado no balanço financeiro da empresa.

Nas entrevistas, foi relatado, por um lado, que o lucro da empresa depende fundamentalmente da venda de latinhas de alumínio, colocando em dúvida a saúde financeira da empresa a longo prazo. Entretanto, uma outra visão também foi apresentada: a que o estoque é “capital parado”, uma vez que o material comprado se encontra armazenado no galpão da empresa.

Além disso, as quantidades exatas de materiais armazenados são desconhecidas. Outro ponto de atenção são os custos de armazenamento. Conforme relatado em uma das entrevistas, não há tais custos, pois o espaço físico utilizado para armazenamento pertence a empresa. Porém, segundo Dias, “todo e qualquer armazenamento de materiais gera custos” [5]. Curiosamente, no próprio planejamento da empresa é previsto o reproprocessamento dos fardos de certos tipos de materiais em períodos de tempo específicos, gerando custos com mão de obra, energia etc. Além disso, mesmo que não tão visíveis, o acúmulo de materiais armazenados pode gerar outros custos indiretos, como a conservação e utilização do espaço físico. De qualquer forma, o material não comercializado por longos períodos é um ponto de atenção, que pode afetar o fluxo de caixa e a saúde financeira da empresa.

Dessa forma, foi possível perceber a necessidade da utilização de uma ferramenta de apoio à tomada de decisão capaz de auxiliar no planejamento das compras, vendas e armazenamento dos materiais recicláveis. Com isso, este trabalho propõe um modelo de programação linear com o objetivo de auxiliar na tomada de decisão com base no histórico analisado, buscando otimizar o planejamento da empresa.

4 Modelagem matemática e tratamento dos dados

Neste capítulo, é apresentado o modelo de programação linear inteira mista para o estudo de caso e como foi feito o tratamento dos dados utilizados neste trabalho. A partir da coleta dos dados, foi possível construir o modelo capaz de auxiliar nas decisões de compra, venda e armazenamento dos materiais. Além disso, são apresentadas as hipóteses que nortearam a confecção do modelo.

4.1 Modelo matemático

A fim de representar o planejamento completo da empresa, devemos identificar a quantidade de compra e venda, além do estoque de cada produto, em cada instante do horizonte de planejamento. Baseado nas oscilações de preços de compra e venda obtidas a partir dos dados reais, consideramos o horizonte dividido em **semanas**. Preços são dados em **reais**. Apesar da empresa trabalhar frequentemente com grandes quantidades (toneladas), não raro as vendas, especialmente de produtos com alto valor por unidade de peso, são comercializados em quantidades consideravelmente menores. Assim, a unidade de peso adotada é **quilogramas**. Passamos a descrever o modelo em detalhes.

O parâmetro $T \in \mathbb{N}$ será o horizonte de planejamento, isto é, a quantidade de semanas no período. O conjunto dos produtos será denotado por P . Como de costume na literatura, chamamos a semana t de **instante** t .

Variáveis:

- x_{it} : quantidade comprada (em Kg) do produto i no instante t ;
- y_{it} : quantidade vendida (em Kg) do produto i no instante t ;
- z_{it} : quantidade armazenada (em Kg) do produto i no instante t ;
- b_t : 1 se há venda no instante t e 0 caso contrário.

Parâmetros:

- p_{it} : preço de venda do produto i no instante t (R\$/Kg);
- c_{it} : custo de compra do produto i no instante t (R\$/Kg);
- d_{it} : demanda do produto i no instante t (Kg);
- o_{it} : oferta do produto i no instante t (Kg);
- e_i : estoque inicial do produto i (Kg);
- a_i : custo de armazenamento do produto i por Kg durante uma unidade de tempo (R\$/Kg);
- f_i : custo do frete do produto i (R\$/Kg);
- $C_{\text{estoque},i}$: capacidade máxima de estoque do produto i (Kg);
- $C_{\min}$: capacidade mínima total de transporte por viagem (Kg);
- $C_{\max}$: capacidade máxima total de transporte por viagem (Kg).

Com isso, o modelo proposto é o seguinte:

$$\max \sum_{t \in T} \sum_{i \in P} (p_{it}y_{it} - c_{it}x_{it} - f_iy_{it} - a_iz_{it}) \quad (4.1)$$

$$z_{i1} = e_i + x_{i1} - y_{i1}, \quad i \in P, \quad (4.2)$$

$$z_{it} = z_{i,t-1} + x_{ik} - y_{ik}, \quad i \in P, \quad t = 2, \dots, T \quad (4.3)$$

$$z_{it} \leq C_{\text{estoque},i}, \quad i \in P, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.4)$$

$$b_t C_{\min} \leq \sum_{i \in P} y_{it} \leq b_t C_{\max}, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.5)$$

$$x_{it} \leq o_{it}, \quad i \in P, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.6)$$

$$y_{it} \leq d_{it}, \quad i \in P, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.7)$$

$$x_{it} \geq 0, \quad y_{it} \geq 0, \quad z_{it} \geq 0, \quad i \in P, \quad t = 1, \dots, T \quad (4.8)$$

$$b_t \in \{0, 1\} \quad t = 1, \dots, T \quad (4.9)$$

A função objetivo (4.1) busca maximizar a receita da empresa ao longo do período analisado. O primeiro somatório representa as receitas obtidas com a venda dos materiais, o segundo os custos de aquisição, o terceiro os custos de frete e o quarto os custos de armazenamento. Dessa forma, o modelo procura determinar as quantidades de compra

e venda que proporcionem maior lucro para a empresa balanceando custos operacionais. Cabe ressaltar a existência de solução para o modelo acima depende dos parâmetros. Porém, os parâmetros utilizados e a forma com que calculamos os estoques iniciais z_i (veja seção 4.3) garantem viabilidade.

A quantidade em estoque z_{it} do produto i no instante t é definida pela restrição (4.2)–(4.3), dada pela quantidade armazenada no instante anterior, somadas as compras realizadas e subtraídas as vendas no instante t . Essa restrição garante o fluxo de materiais e permite analisar a evolução do estoque ao longo do tempo. Por sua vez, (4.4) garante que o estoque de cada produto não ultrapasse a capacidade máxima de armazenamento. Note que as capacidades de armazenamento $C_{\text{estoque},i}$ são individualizadas por produto.

A restrição (4.5) estabelece as capacidades mínima e máxima de carregamento dos caminhões, e a variável binária b_t indica se há operação de venda no instante t . Com isso, caso ocorra venda, a quantidade total vendida deve respeitar a capacidade mínima necessária para utilizar o transporte, e simultaneamente, não ultrapassar a quantidade permitida de carga transportada. É importante comentar que $C_{\min}$ e $C_{\max}$ são as capacidades *agregadas* de todos os caminhões. Idealmente, as viagens deveriam ser individualizadas, com tais capacidades referentes a um único caminhão. Porém, as informações das viagens individualizadas não estão disponíveis a partir dos dados fornecidos pela empresa. Logo, optamos por agregar as capacidades, considerando toda a frota de caminhões disponíveis como “um único veículo”.

A restrição (4.6) garante que a quantidade de cada produto comprado não exceda a oferta disponível. Já a restrição (4.7) estabelece que a quantidade de cada produto vendido não ultrapasse a demanda. Essas restrições fazem com que o modelo represente de forma mais realista a disponibilidade de oferta e demanda dos materiais recicláveis.

4.2 Tratamento dos dados

Foram analisados os dados de janeiro a dezembro de 2024, incluindo todas as compras, vendas e despesas da empresa. Inicialmente, havia uma grande variedade de materiais e diferentes formas de registros, incluindo erros de digitação, subdivisões e nomes diferentes para um mesmo produto. Com isso, foi preciso fazer uma organização e padronização dos produtos, buscando reduzir as inconsistências.

Devido a grande diversidade de materiais, foi necessário fazer uma seleção para o estudo. O critério adotado foi a escolha dos produtos com maior retorno financeiro,

com base na quantidade de entrada e saída e nos valores de mercado. Essa seleção se justifica pelo fato de que a empresa prioriza a venda desses materiais, os tornando mais representativos para a tomada de decisão. A Tabela 2 contém os produtos selecionados¹ com suas respectivas participações no total comercializado. Os produtos selecionados representam 74,62% de todas as transações realizadas durante 2024.

Tabela 2: Produtos selecionados para o estudo.

Produto	participação (%)
ferro	11,84
filme branco	10,84
latinha	7,42
papel branco	3,92
papelão	27,45
PEAD	4,41
PET	8,73
TOTAL	74,62

Fonte: a autora.

Além disso, os dados originalmente registrados diariamente foram agregados em semanas, com o objetivo de reduzir as oscilações de preços e tornar o modelo mais estável.

4.3 Definição dos parâmetros do modelo

4.3.1 Oferta e demanda (o_{it} e d_{it})

Os parâmetros de oferta (o_{it}) e demanda (d_{it}) foram estimados com base no histórico de compras e vendas da empresa. Para a oferta, foram utilizadas as quantidades compradas, uma vez que a empresa tem como prática comprar todo o material disponível. Nas semanas em que não houve registros de compra, a oferta foi considerada nula.

Para a demanda, foram utilizadas as quantidades vendidas. Essa abordagem apresenta limitações, uma vez que as vendas observadas não necessariamente representam a demanda real do mercado. De fato, em determinadas situações, a empresa pode ter deixado de realizar vendas mesmo existindo demanda por considerar que a operação não tenha sido lucrativa, ou caso tenha ocorrido falta de transporte. Apesar disso, como não temos

¹PEAD – Polietileno de Alta Densidade – e PET – Politereftalato de Etileno – são polímeros amplamente utilizados em embalagens.

acesso à dados de demandas reais do mercado, essa é a abordagem possível com os dados fornecidos.

4.3.2 Estoque inicial (e_i) e estoque máximo de cada produto ($C_{\text{estoque},i}$)

A empresa não possui um controle de estoque que permita determinar com precisão a quantidade de materiais armazenada no início do período analisado, isto é, os parâmetros e_i 's. Dessa forma, foi necessário estimá-los para a aplicação do modelo. Isso foi feito da seguinte forma: *supondo que o estoque de um dado material i anulou-se em determinado momento do ano*, definimos o valor do estoque inicial e_i como aquele que, no planejamento real da empresa, leve em algum momento o estoque a zero.

Por sua vez, o estoque máximo de cada produto $C_{\text{estoque},i}$ foi definido como o maior valor obtido no cenário real para produto i . A Tabela 3 traz os parâmetros obtidos.

Tabela 3: Valores estimados de estoque inicial e máximo para cada produto.

Produto	Estoque inicial (Kg)	Estoque máximo (Kg)
ferro	15.934,10	117.141,86
filme branco	47.374,25	56.664,34
latinha	25.795,56	30.603,38
papel branco	126.903,71	133.449,71
papelão	53.327,50	181.925,83
PEAD	30.033,11	30.033,11
PET	26.065,44	26.655,94

Fonte: a autora.

Com essas escolhas, garantimos que, ao fixar as variáveis x_{it} 's e y_{it} 's respectivamente nas quantidades de compra e venda praticadas pela empresa, tenhamos uma solução viável do modelo. Em particular, $z_{it} \geq 0$ para todos $i \in P$, $t = 2, \dots, T$. Isso implica que a “solução da empresa” é viável para o modelo (4.1)–(4.9), permitindo a comparação justa, por meio da função objetivo (4.1), entre as soluções real e aquelas computadas pelo modelo.

4.3.3 Custo do frete (f_i) e capacidades mínima ($C_{\min}$) e máxima ($C_{\max}$) de transporte

Os parâmetros relacionados ao frete e as capacidades mínima e máxima dos caminhões foram obtidos com base nas informações dadas pelo proprietário nas entrevistas. Segundo ele, os fretes são realizados por carretas terceirizadas, cujos valores variam de acordo com os carreteiros ou com o preço do diesel. Os custos de frete foram de R\$ 0,15 por kg para o papelão, R\$ 0,20 por Kg para o ferro e R\$ 0,22 por kg para os demais materiais. Em relação à capacidade de transporte, foi definido como limite mínimo $C_{\min} = 4.000$ Kg por carga, enquanto a capacidade máxima $C_{\max} = 14.000$ kg, que corresponde a quantidade máxima transportada por um tipo de carreta utilizada pela empresa.

4.3.4 Custos de armazenamento (a_i)

A empresa não leva em consideração custos de armazenamento em seu planejamento. Assim, estimamos os parâmetros a_i 's pela soma de estimativas com despesas de energia elétrica, água, manutenção e salários dos operadores envolvidos nas atividades de estoque, dividido pela quantidade total em Kg de materiais armazenados no galpão. Isso dá o custo estimado por quilograma.

4.4 Considerações gerais

Foram utilizados dados do ano de 2024 para definir parâmetros do modelo proposto. Logo, se queremos usar o modelo para fazer projeções para o futuro, a hipótese subjacente é que a configuração observada ao longo de 2024 se repetiria sem grandes alterações nos anos seguintes. Evidentemente, isso pode não ser verdadeiro. Uma projeção mais fiel deve levar em consideração dados históricos consideravelmente mais longos (o que não temos), ou mesmo considerar modelos estocásticos para descrever melhor incertezas de mercado. De qualquer forma, o modelo proposto pode indicar mudanças estratégicas úteis para o planejamento de compra e venda, na medida em que possibilita uma visão global do planejamento e permite análises de sensibilidade aos parâmetros. Por exemplo, podemos analisar qual o impacto dos custos de armazenamento a_i 's no planejamento e consequentemente no lucro da empresa. Esse é um dado atualmente negligenciado pela empresa. Na seção 5.2 apresentamos testes variando os parâmetros a_i 's.

5 Testes numéricos e análise dos resultados

Os códigos computacionais foram feitos na linguagem `Julia`. O modelo (4.1)–(4.9) foi escrito usando o pacote `JuMP.jl`¹, e resolvido utilizando o *solver* IBM ILOG CPLEX Optimization Studio versão 22.1.0 através da interface `CPLEX.jl`². CPLEX é um *solver* comercial, atualmente mantido pela IBM, extremamente robusto e amplamente utilizado pela comunidade científica e indústria, e que possui licença de uso integral para a academia. Implementa técnicas sofisticadas de pré-processamento, métodos enumerativos para problemas lineares inteiros mistos (*branch-and-cut*), geração de desigualdades válidas/cortes e heurísticas primais. Para mais detalhes, consulte a documentação do pacote³.

Utilizamos as configurações padrão do CPLEX. Neste caso, basicamente o CPLEX emprega um método *branch-and-cut* com relaxação linear nos nós da árvore de enumeração e geração de cortes via várias técnicas (por exemplo, as descritas nos capítulos 8 e 9 de [16]), a depender do tipo de restrição. Ainda, CPLEX implementa heurísticas primais para acelerar a obtenção de pontos viáveis. Em todas as instâncias, o *solver* encontrou solução ótima.

Inicialmente consideramos custos de armazenamentos (a_i) todos nulos, devido a falta de informações sobre os custos reais de estoque da empresa. Dessa forma, o modelo priorizou as decisões relacionadas às compras, vendas e custos logísticos, sem a penalização do estoque armazenado. Posteriormente, foi realizada uma análise de sensibilidade para avaliar os impactos do custo de armazenamento sobre os resultados obtidos pelo modelo. Essa análise se torna relevante porque o setor de reciclagem trabalha com grandes volumes de materiais, fazendo com que pequenos custos operacionais possam comprometer a lucratividade e as alterar as decisões de compra e venda.

¹<https://github.com/jump-dev/JuMP.jl>

²<https://github.com/jump-dev/CPLEX.jl>

³<https://www.ibm.com/docs/pt-br/icos/22.1.0?topic=optimizers-users-manual-cplex>

5.1 Simulação numérica com custos de armazenamento nulos

Nesta seção serão comparados os resultados obtidos pelo modelo com o cenário real da empresa. O objetivo é avaliar se o modelo foi capaz de melhorar o planejamento de compras, vendas e armazenamento, contribuindo para a redução de estoques excessivos e aumento da lucratividade da empresa.

No cenário real da empresa, a função objetivo (4.1) apresentou valor de aproximadamente R\$ 1.021.162,25 ao longo do ano de 2024. Já em relação à solução do modelo, esse valor foi de aproximadamente R\$ 1.365.325,79, representando um aumento de aproximadamente 33,7%. Cabe notar que esse valor não representa necessariamente o lucro real da empresa (= vendas – compras – frete), devido a imprecisões custos fornecidos ao modelo. De qualquer forma, ambos os valores são próximos. Para fins de comparação relativa entre diferentes cenários devemos usar a mesma métrica, que no caso é a função objetivo do modelo proposto.

A Tabela 4 compara as quantidades compradas no cenário real com aquelas definidas pelo modelo proposto. De modo geral, observa-se que o modelo tende a comprar menos quantidades de materiais quando a margem de lucro é baixa ou quando o estoque é suficiente para atender as demandas.

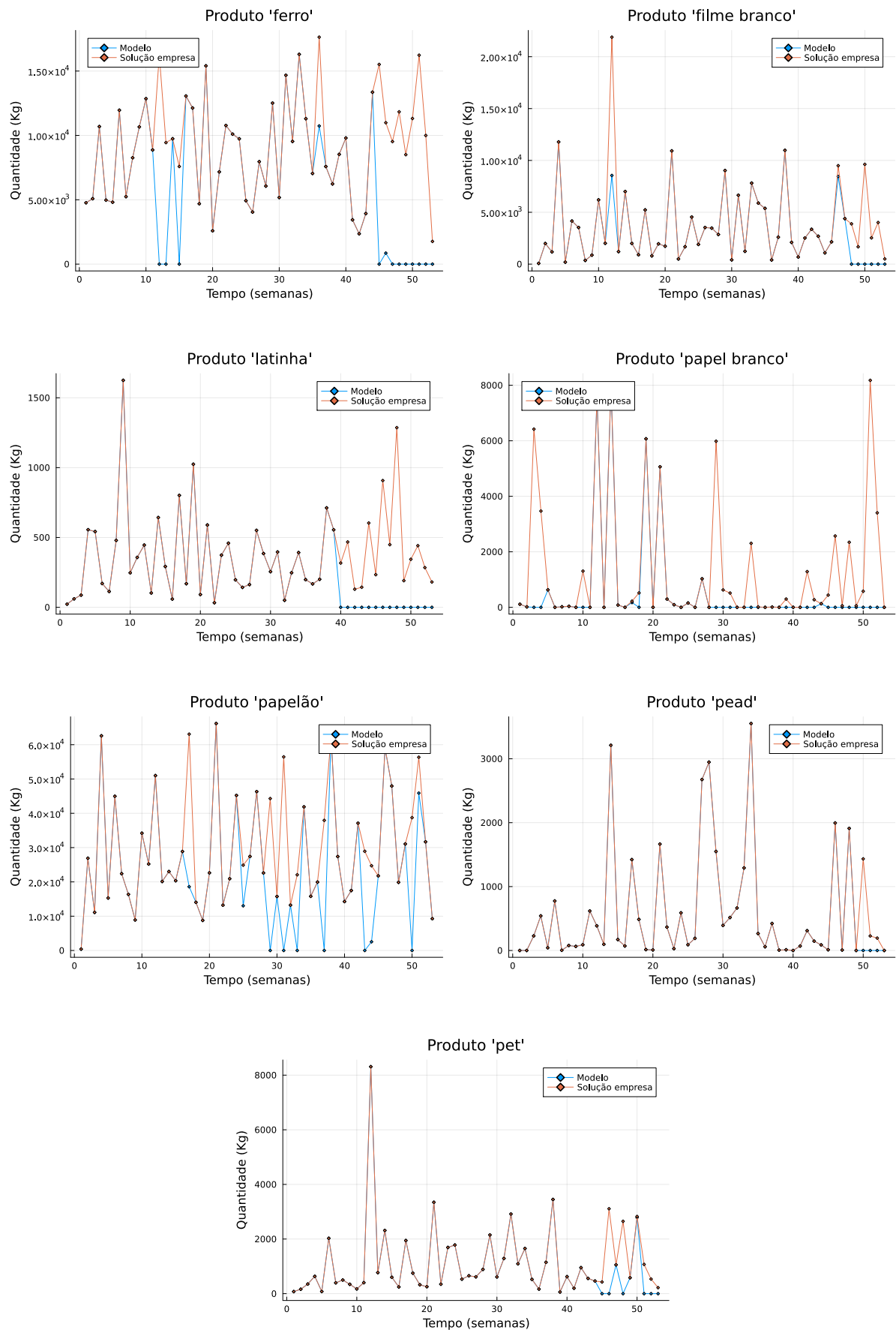
Tabela 4: Comparação da quantidade comprada de cada produto.

Produto	Cenário Real (Kg)	Modelo (Kg)
ferro	484.879,31	349.901,97
filme branco	205.490,87	168.895,75
latinha	19.930,93	13.952,44
papel branco	70.176,70	29.486,29
papelão	1.582.312,53	1.264.920,47
PEAD	31.978,50	30.123,89
PET	60.855,59	52.805,06

Fonte: a autora.

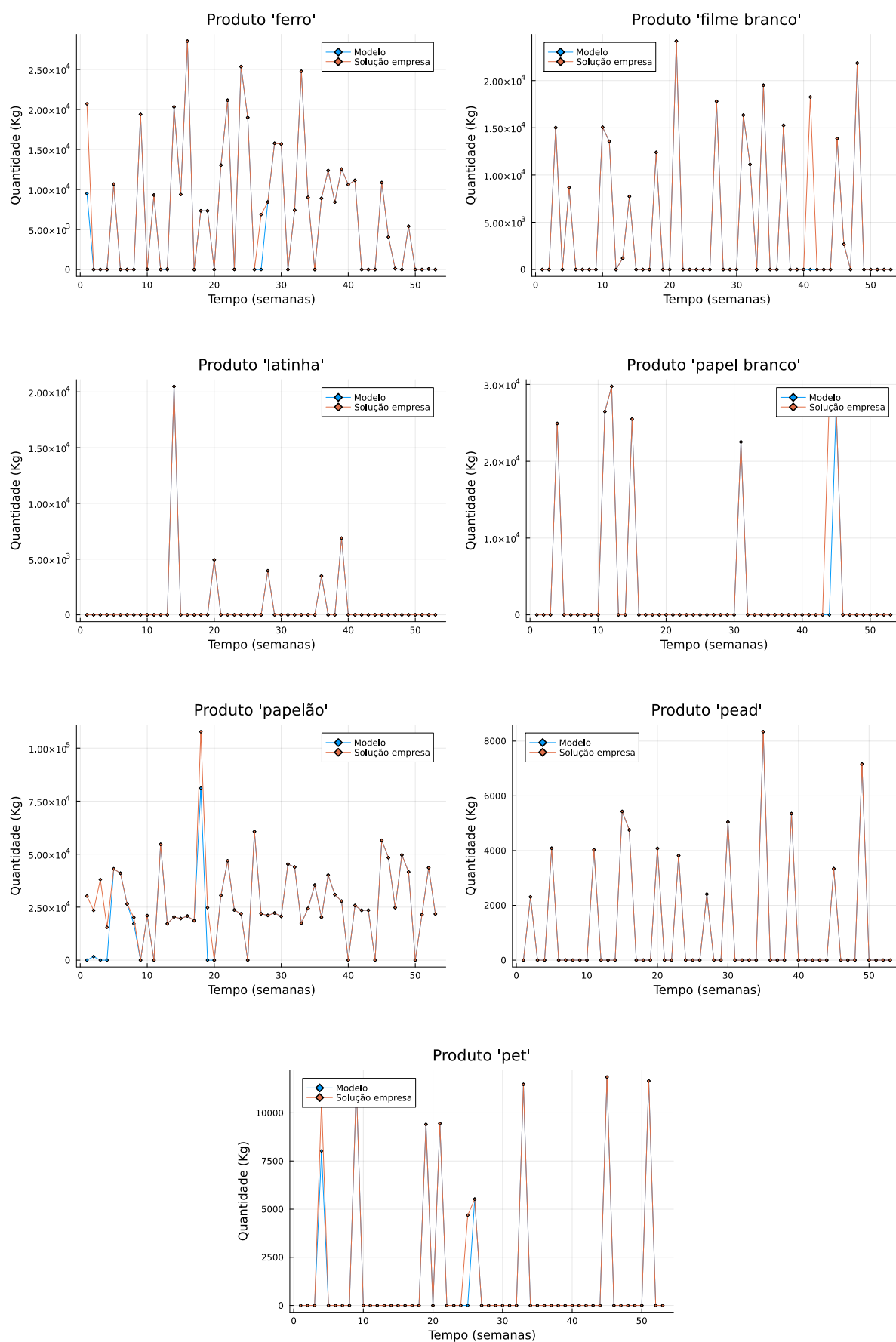
As Figuras 2 e 3 apresentam a comparação entre as quantidades compradas e vendidas de cada material no cenário real e no modelo. A partir dessas comparações, são discutidas as principais diferenças observadas e apresentados gráficos da evolução do estoque dos materiais, com o objetivo de explicar os comportamentos identificados pelo modelo.

Figura 2: Comparação entre compras praticadas com as calculadas pelo modelo.



Fonte: a autora.

Figura 3: Comparação entre vendas praticadas com as calculadas pelo modelo.



Fonte: a autora.

O produto que apresentou a maior redução percentual nas compras em relação ao cenário real foi o papel branco. Esse comportamento pode estar relacionado à elevada quantidade de estoque inicial estimada para esse material, fazendo com que o modelo priorize vender o estoque disponível antes da realização de novas compras.

Ao analisar o gráfico de compras do papel branco apresentado na Figura 2, observa-se que o modelo realizou bem menos compras quando comparado ao cenário real. Em contrapartida, conforme apresentado na Figura 3, o comportamento das vendas ficou semelhante entre os dois cenários. Esses resultados indicam que o modelo foi capaz de atender a demanda com um volume menor de compras, obtendo um melhor aproveitamento do estoque disponível, mesmo sem considerar os custos de armazenamento na função objetivo.

Segundo a secretária da empresa, a latinha é considerada um dos materiais mais importantes para o capital de giro da empresa. Essa percepção é reforçada pelos dados do cenário real, onde a comercialização da latinha representou aproximadamente 18,0% do lucro total da empresa no ano de 2024. Além disso, os resultados obtidos pelo modelo mostram que as quantidades compradas, vendidas e armazenadas permaneceram próximas às observadas no cenário real, conforme apresentado nas Figuras 2 e 3.

As compras são distribuídas ao longo do ano, enquanto as vendas são concentradas em momentos de maior lucratividade. Como a latinha tem uma margem unitária de lucro maior, o modelo prioriza armazenar o material por mais tempo e realizar as vendas nos períodos mais vantajosos. Como neste momento não são considerados custos de armazenamento, manter o material por mais tempo no estoque não afeta os resultados.

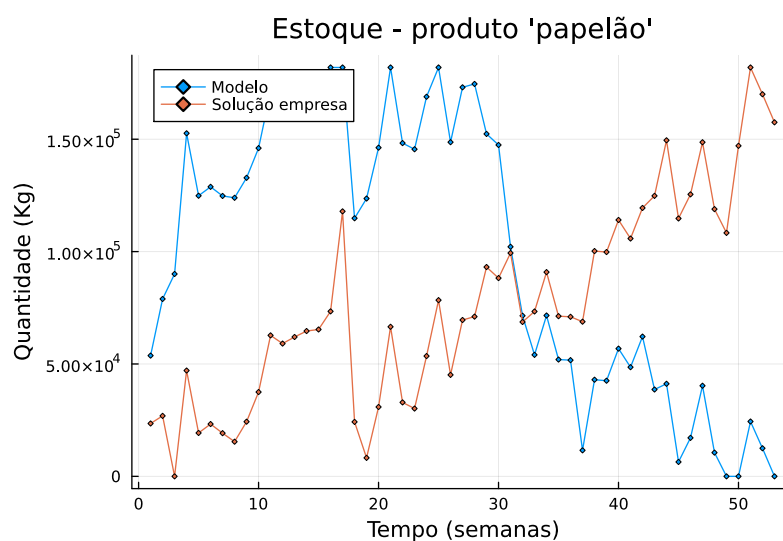
Outro ponto interessante é que a partir da semana 40, o modelo não realiza novas compras, diferentemente do cenário real. Esse comportamento ocorre porque o modelo tende a finalizar o período analisado com o estoque igual a zero. Assim, como não existem vendas previstas, o modelo utiliza o estoque disponível para atender às demandas restantes. Evidentemente, caso utilizemos dados de vários anos, esse comportamento tende a ser mitigado na transição de um ano para o seguinte.

Uma alternativa para evitar que o estoque seja igual a zero ao final do período, tornando o comportamento do modelo mais semelhante ao praticado pela empresa, seria acrescentar uma restrição de estoque mínimo, onde $z_{iT} \geq E_{i,min}$ para todo $i \in P$. Assim, o modelo finalizaria o horizonte de planejamento com um estoque positivo, garantindo a disponibilidade de materiais para o início do ano seguinte.

O papelão é o material mais comercializado pela empresa em relação à quantidade, sendo toneladas vendidas por semana. Ao analisar os gráficos de compras do papelão

apresentados na Figura 2, observa-se que esse material foi comprado em todas as semanas no cenário real da empresa. Já no modelo, houve seis semanas em que não foram realizadas compras. Entretanto, é interessante notar que mesmo sem compras nessas semanas, ainda tiveram vendas, conforme mostrado nos gráficos de vendas do papelão apresentados na Figura 3. Como pode ser visto na Figura 4, o estoque já estava alto e era suficiente para atender às demandas semanais.

Figura 4: Evolução do estoque de papelão



Fonte: a autora.

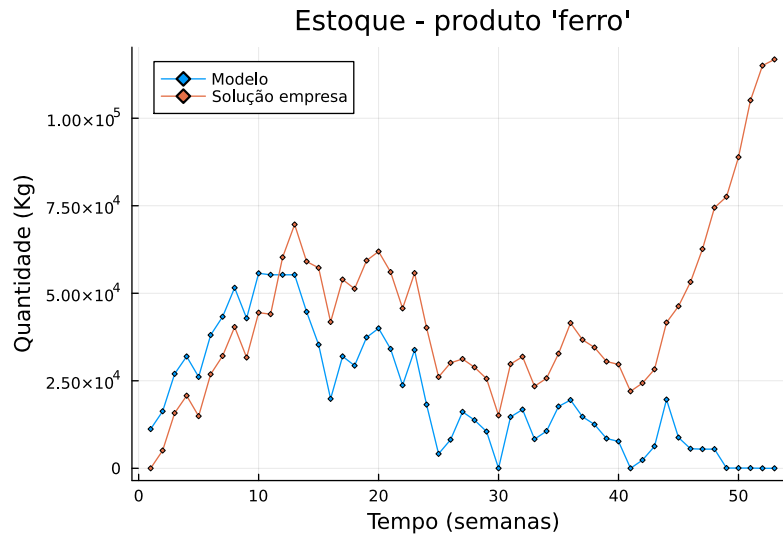
Outro ponto importante é que o modelo evita o “capital parado”, em que, segundo os relatórios da empresa, resulta em períodos com saldo negativo, devido ao fato das compras superarem as vendas ao longo de aproximadamente quatro a cinco semanas, equivalente a um mês. Dessa forma, o modelo prioriza a utilização do estoque disponível, evitando compras excessivas e melhorando o aproveitamento dos materiais armazenados. Ter capital disponível em caixa pode ser interessante para enfrentar momentos de crise ou mesmo para realizar aplicações financeiras com vistas à minimizar a desvalorização do capital pela inflação.

Ao analisar o ferro, observa-se pela Figura 2 que houveram compras em todas as semanas no cenário real. Já no modelo, não ocorreram compras nas semanas 12, 13 e 15, além das semanas 45, 47 e 48. Para uma análise mais detalhada, foi visto que nesses períodos a margem unitária de lucro por quilograma era inferior a aproximadamente R\$ 0,28, sendo negativa na semana 12. Logo, não era vantajoso realizar as compras.

Entretanto, no cenário real, a empresa chegou a comprar aproximadamente 16 toneladas na semana 12. Além disso, conforme apresentado na Figura 5, nesse período a

empresa já possuía mais de 60 toneladas de ferro no estoque, indicando que não havia necessidade de novas compras naquele momento. Esse resultado mostra que o modelo consegue avaliar de forma mais precisa a viabilidade econômica das operações de compra e venda.

Figura 5: Evolução do estoque de ferro



Fonte: a autora.

Em relação às vendas, os gráficos apresentados na Figura 3 mostram que o modelo tende a seguir o comportamento do cenário real, devido a forma como a demanda foi definida a partir dos dados históricos. No cenário real, ocorreram 19 semanas sem vendas, sendo apenas três consecutivas. Já no modelo, houveram três semanas a mais sem vendas onde o valor unitário era mais baixo e o estoque estava abaixo da média, indicando que o modelo optou por armazenar o material por mais tempo, aguardando períodos mais vantajosos para a realização das vendas, sem aumentar significativamente os custos ou comprometer o capital.

De modo geral, o modelo foi capaz de representar o funcionamento da empresa e auxiliar nas decisões relacionadas às compras, vendas e armazenamento dos materiais recicláveis. Os resultados mostraram uma redução nas compras excessivas, melhor aproveitamento do estoque e o aumento do resultado econômico da empresa em relação ao cenário real analisado.

Além disso, foi possível perceber que pequenas alterações nos parâmetros podem impactar significativamente as decisões do modelo e os resultados obtidos. Dessa forma, foi realizada uma análise de sensibilidade do custo de armazenamento, apresentada a seguir.

5.2 Análise de sensibilidade à variações nos custos de armazenamento

Nesta seção, medimos a sensibilidade da solução do modelo à variações nos custos de armazenamento.

Inicialmente, o custo de armazenamento foi considerado nulo. A partir disso, foi possível comparar o estoque médio obtido no cenário real da empresa, o estoque médio obtido no modelo e o valor de referência informado pelo proprietário da empresa.

Tabela 5: Comparação do estoque médio em (Kg).

Produto	Valor referência	Cenário real	Modelo
ferro	50.000,00	43.732,56	20.673,31
filme branco	20.000,00	32.855,02	24.980,87
latinha	6.000,00	11.948,66	11.112,65
papel branco	50.000,00	57.747,15	46.197,91
papelão	150.000,00	76.666,57	98.926,13
PEAD	15.000,00	14.558,29	14.429,92
PET	10.000,00	11.351,84	15.449,18

Fonte: a autora.

Ao comparar o valor de referência com o estoque médio do cenário real, principalmente para os materiais como filme branco, latinha e papel branco, foi possível perceber uma diferença entre a visão da empresa e a quantidade de produtos armazenados. Ao longo do período analisado, esses materiais permaneceram com estoque altos na maior parte do tempo. Esse resultado reforça a falta de um controle de estoque relatado durante as entrevistas, indicando que a empresa desconhece as quantidades exatas de materiais armazenados no galpão.

Ao comparar o cenário real com os resultados obtidos pelo modelo, foi identificado que apenas os produtos como o papelão e o PET apresentaram estoque médio maior no modelo otimizado. Esse comportamento indica que, na ausência de custo de armazenamento, o modelo preferiu manter esses materiais armazenados por mais tempo e posteriormente vender quando fosse mais vantajoso economicamente. Para os demais materiais, o modelo apresentou redução do estoque médio em relação ao cenário real.

Foram realizados novos testes com o objetivo de analisar o impacto do custo de armazenamento nas decisões do modelo. A partir dos cálculos realizados com base nas despesas

indiretamente relacionadas ao armazenamento, foi estimado um custo aproximado de R\$ 0,08 por quilograma ao mês. Dessa forma, como os dados foram agregados semanalmente no modelo, foram considerados os valores de R\$ 0,02 e R\$ 0,016 por quilograma para o custo de armazenamento, levando em consideração meses com quatro e cinco semanas, respectivamente.

Tabela 6: Valor da função objetivo com os custos de armazenamento. As colunas “redução %” são as reduções percentuais em relação ao valor anterior.

Cenário	R\$ 0,000	R\$ 0,016	redução %	R\$ 0,020	redução %
Real	1.021.162,25	810.128,89	20,66	757.370,56	6,51
Modelo	1.365.325,79	1.217.387,99	10,83	1.191.554,60	2,12

Fonte: a autora.

Como pode ser observado na Tabela 6, ao considerar custos de armazenamento, houve uma redução no valor da função objetivo em ambos os cenários, como esperado. Os valores relativos ao cenário real foram calculados considerando o histórico de compras e vendas realizado pela empresa (isto é, as variáveis x_{it} , y_{it} e z_{it} são fixas no modelo, veja página 23). Assim, ao alterar os custos de armazenamento a_i , a função objetivo (4.1) tem decréscimo proporcional à quantidades de estoque z_{it} . Se estas quantidades são grandes, o decréscimo também é grande. Já nos cenários computados pelo modelo, o decréscimo na função objetivo é mais suave. Isso evidencia que, ao considerar custos de armazenamento, o planejamento das compras e vendas muda. Mais ainda, esses resultados mostram que mesmo pequenas variações no custo de armazenamento podem gerar impactos significativos no setor de reciclagem, uma vez que a empresa trabalha com grandes volumes de materiais e margens unitárias de lucro relativamente baixas.

Na Tabela 7, é possível observar como o custo de armazenamento influenciou o estoque médio do modelo otimizado, alterando as decisões relacionadas às compras, vendas e armazenamento.

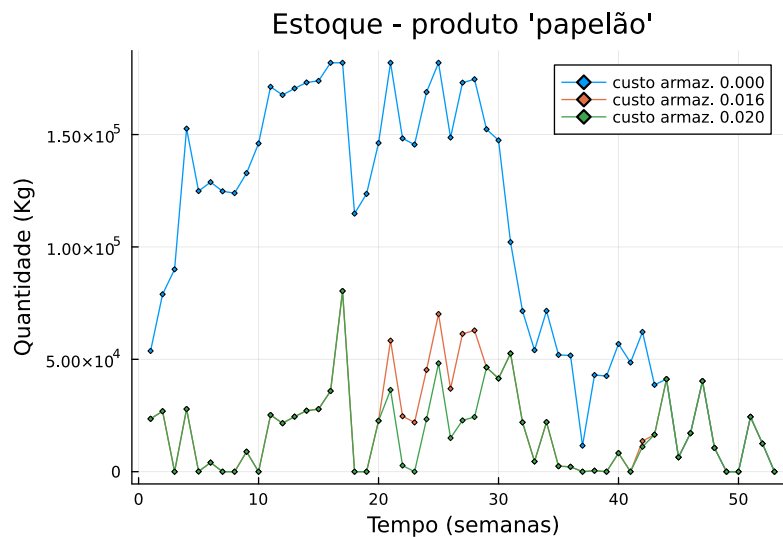
Tabela 7: Estoque médio para cada custo de armazenamento.

Produto	R\$ 0,000	R\$ 0,016	R\$ 0,020
ferro	20.673,31	14.349,71	10.493,81
filme branco	24.980,87	22.936,35	17.674,03
latinha	11.112,65	11.112,65	11.112,65
papel branco	46.197,91	31.685,61	31.492,25
papelão	98.926,13	21.187,60	17.204,10
PEAD	14.429,92	14.429,92	14.422,00
PET	15.449,18	13.243,32	13.243,32

Fonte: a autora.

De acordo com os dados, o papelão foi o material com maior sensibilidade em relação ao custo de armazenamento. Esse comportamento pode ser explicado pelo fato do papelão ser o material com o maior volume comercializado, fazendo com que qualquer variação no custo por quilograma tenha impactos significativos nas decisões do modelo. A Figura 6 ilustra este fato.

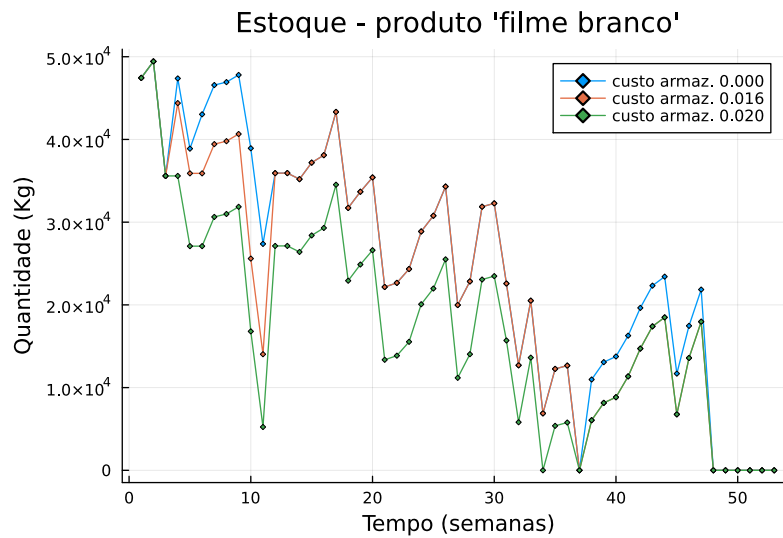
Figura 6: Evolução do estoque de papelão para diferentes custos de armazenamento.



Fonte: a autora.

Já o filme branco apresentou maior sensibilidade entre os custos de R\$ 0,016 e R\$ 0,020, apresentando uma redução de aproximadamente 5,2 toneladas no estoque médio, como pode ser observado na Figura 7. Isso mostra que pequenas alterações no custo de armazenamento podem modificar significativamente as decisões do modelo para determinados materiais.

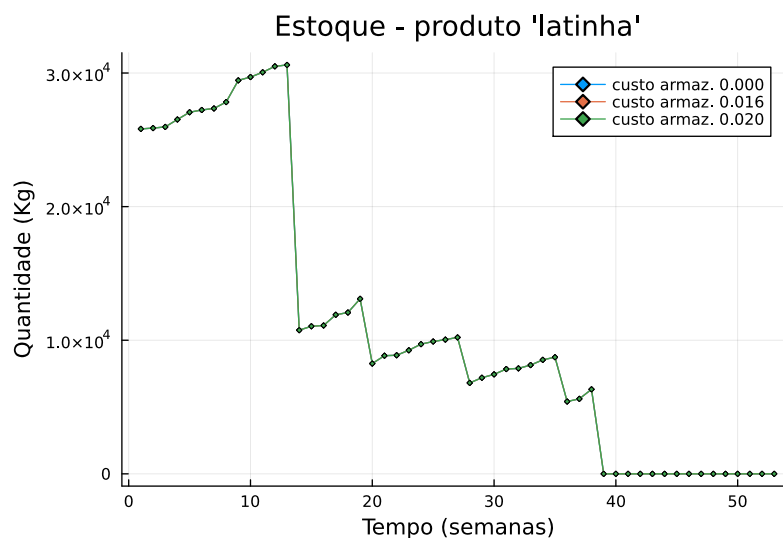
Figura 7: Evolução do estoque de filme branco para diferentes custos de armazenamento.



Fonte: a autora.

Outros produtos sofreram pouca ou nenhuma modificação. A latinha, por exemplo, manteve o mesmo nível de estoque para os diferentes custos de armazenamento, conforme apresentado na Figura 8. Esse comportamento indica que a empresa já opera de forma eficiente para esse material, mantendo equilíbrio entre compras, vendas e armazenamento ao longo do período analisado. Um fato a ser considerado é que a latinha tem alto valor de venda, enquanto ocupa pouco volume. Assim, é coerente não ser sensível à variações de custos de armazenamento.

Figura 8: Evolução do estoque de latinha para diferentes custos de armazenamento.



Fonte: a autora.

Como dito anteriormente, o setor de reciclagem trabalha com grandes volumes de materiais e, muitas vezes, com margens de lucro variando aproximadamente entre R\$ 0,20 e R\$ 0,80 por quilograma. Nesse sentido, nossa análise indica a importância de considerar custos de armazenamento, e como ele pode afetar diretamente o lucro da empresa.

Conclusões

Este trabalho teve como objetivo criar um modelo de Programação Linear Inteira Mista para auxiliar o planejamento de compras, vendas e estoque em uma empresa de reciclagem. Os resultados obtidos demonstraram que o modelo pode contribuir significativamente para a tomada de decisão, permitindo identificar os gargalos e ineficiências que não eram percebidas pela empresa.

Durante as entrevistas, o proprietário relatou que o principal problema enfrentado era o alto custo do frete, que muitas vezes inviabilizava as vendas. No entanto, os resultados mostraram que esse não é o único fator que influencia a lucratividade. As análises indicaram que a empresa realiza compras excessivas, aproveitando do espaço disponível no galpão, sem considerar os custos gerados pelo armazenamento desses materiais. Além dos custos com armazenamento, os materiais que permanecem estocados por longos períodos, podem sofrer perdas de qualidade ou ter que ser reprocessados. Logo, esses custos podem afetar o valor do produto final.

O modelo mostrou também que nem sempre comprar grandes quantidades é a melhor decisão. Embora o setor de reciclagem apresente oferta constante de materiais e exista demanda por estes produtos, isso não significa que toda oportunidade de compra seja economicamente vantajosa. Em diversas situações, o modelo optou por não comprar determinados materiais, priorizando a utilização do estoque disponível até que surgissem condições mais favoráveis de mercado.

A análise de sensibilidade mostrou ainda a importância de considerar os custos de armazenamento no planejamento. Mesmo pequenas variações, como diferenças de apenas alguns centavos por quilograma, alteraram significativamente as decisões do modelo. Esse resultado evidencia que custos normalmente desconsiderados pela empresa podem impactar diretamente a lucratividade.

Outro problema identificado foi a ausência de um controle dos estoques. Durante o estudo, verificou-se que a empresa não conhece com precisão a quantidade de cada material armazenado, dificultando o planejamento das compras e vendas. A comparação entre o estoque médio informado pelo proprietário e o estoque médio estimado a partir

dos dados históricos evidenciou essa diferença. Nesse sentido, o modelo também contribui para a gestão dos estoques, permitindo acompanhar semanalmente a quantidade de cada material armazenado e fornecendo informações que auxiliam nas decisões de compra e venda.

Por fim, foi possível perceber que o proprietário realiza o planejamento com base em sua experiência, avaliando as negociações de forma individual. Entretanto, diante da grande quantidade de materiais comercializados e da variação dos preços, fica muito difícil analisar todas as informações simultaneamente. O modelo matemático permite uma visão maior do problema, considerando preços, ofertas, demandas, estoque, frete e custos de armazenamento ao mesmo tempo, fornecendo uma ferramenta de apoio para decisões mais eficientes.

Como limitações do trabalho, destacam-se a necessidade de estimar alguns parâmetros do modelo devido à falta de informações, principalmente em relação ao estoque inicial e a demanda real do mercado. Como trabalhos futuros, sugere-se a utilização de dados históricos maiores, a utilização de modelos estocásticos para as incertezas do mercado e a inclusão de novas restrições operacionais que representam ainda melhor a realidade da empresa.

Portanto, o modelo proposto atingiu o objetivo deste trabalho, mostrando que técnicas de Pesquisa Operacional podem contribuir para melhorar o planejamento de compras, vendas e estoques em empresas do setor de reciclagem, auxiliando em decisões mais eficientes e aumentando o potencial de lucratividade.

Referências

- 1 OLIVEIRA, F. F.; SILVEIRA, R. R.; FERREIRA, R. J. P. Pesquisa operacional como apoio na tomada de decisões em gestão da produção. In: *SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XVII SIMPEP*. UNESP Bauru: [s.n.], 2010.
- 2 GASSEN, G. et al. Proposta de um modelo de programação linear para otimização do planejamento agregado de produção de brocas para empresa multinacional. *Revista Produção Online*, v. 19, n. 1, p. 21–43, mar. 2019. Disponível em: <<https://www.producaoonline.org.br/rpo/article/view/3013>>.
- 3 HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à Pesquisa Operacional*. 9. ed. Porto Alegre: AMGH, 2013. E-book. ISBN 9788580551198. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580551198/>.
- 4 POZO, H. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Uma Introdução*. 2. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2019. E-book. ISBN 9788597023220. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597023220/>.
- 5 DIAS, M. A. P. *Administração de Materiais: Uma Abordagem Logística*. 7. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2019. E-book. ISBN 9788597022100. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788597022100/>.
- 6 ALT, P. R. C.; MARTINS, P. G. *Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais*. 3. ed. Rio de Janeiro: Saraiva, 2009. E-book. ISBN 9788502089167. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788502089167/>.
- 7 CHIAVENATO, I. *Iniciação ao Planejamento e Controle da Produção*. 3. ed. Rio de Janeiro: Atlas, 2022. E-book. ISBN 9786559773664. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786559773664/>.
- 8 GRAZZIOTIN, G. A. A arte do varejo: o pulo do gato está na compra. In: *Editora Senac*. São Paulo: [s.n.], 2006.
- 9 NEVES, C. C.; GONÇALVES, J. C. A importância da gestão de compras em uma empresa comercial. 2019.
- 10 BALLOU, R. H. *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial*. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006. E-book. ISBN 9788560031467. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788560031467/>.
- 11 BERTAGLIA, P. R. *Logística e Gerenciamento da Cadeia de Abastecimento*. 4. ed. Rio de Janeiro: Saraiva Uni, 2020. E-book. ISBN 9788571440975. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788571440975/>.

- 12 BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J.; COOPER, M. B. *Gestão Logística da Cadeia de Suprimentos*. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2014. E-book. ISBN 9788580553185. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9788580553185/>.
- 13 PêGO, B. *Logística e Transportes no Brasil: Uma Análise do Programa de Investimentos 2013–2017 em Rodovias e Ferrovias*. Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>.
- 14 REZENDE, L. T. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Administração), *Análise do Custo de Transporte Rodoviário de Agregamento: Um Comparativo ao Piso Estabelecido pela ANTT*. São Luís: [s.n.], 2025.
- 15 ARAUJO, S. A. de; RANGEL, S. *Matemática Aplicada ao Planejamento da Produção e Logística*. São Carlos: SBMAC, 2014. (Notas em Matemática Aplicada, v. 76). E-ISBN 978-85-8215-062-7. Disponível em: <https://www.sbmec.org.br/noma-titulos-da-serie/>.
- 16 WOLSEY, L. *Integer Programming*. [S.l.]: Wiley, 2021. ISBN 9781119606475.

APÊNDICE A – Formulário das entrevistas

1. Quais são os materiais que mais trazem retorno financeiro para a empresa?
2. Todos os materiais trazem rendimento para a empresa ou alguns geram mais prejuízo/dificuldade?
3. Como é feito o planejamento de compras?
4. Existem fornecedores fixos?
5. Há uma quantidade específica comprada por mês ou varia conforme a oferta?
6. Como funciona a compra de materiais de outras cidades/estados?
7. As vendas são feitas sempre para as mesmas empresas ou variam?
8. A demanda é fixa ou varia muito?
9. O que acontece com os produtos quando não há demanda no momento?
10. Como funciona a relação com clientes de outros estados?
11. Como a empresa lida com o frete alto?
12. Já ocorreram problemas com limite de carga ou peso do caminhão?
13. Já houve situações de alta demanda sem estoque suficiente?
14. Já houve baixa demanda com estoque parado?
15. Existe planejamento de riscos relacionado ao estoque e à demanda?
16. Qual é a capacidade de compra mensal aproximada de cada material?
17. Qual é a média de venda mensal?
18. Qual é a capacidade de armazenamento do galpão/pátio?

19. Qual é o limite de viagens possíveis no mês ou capacidade máxima por veículo?
20. Qual é o custo médio de frete por produto?
21. O combustível é custeado pela empresa ou repassado ao cliente/frentista?
22. Qual é o custo médio de estocagem (energia, espaço e mão de obra)?
23. Existe um planejamento de compra e venda com previsão de entrada e saída de materiais?
24. A empresa utiliza planilhas ou sistemas para controle das operações?
25. Como funciona a planilha de controle utilizada pela empresa?
26. Existe um limite de capital disponível para compras mensais?

APÊNDICE B – Materiais comercializados

Tabela 8: Materiais utilizados.

Item	Nome	Categoria	Subcategoria
1	ferro	Metais Ferrosos	Ferro
2	ferro bruto	Metais Ferrosos	Ferro
3	sucata de ferro	Metais Ferrosos	Ferro
4	aço inox	Metais Ferrosos	Aço inox
5	aço inox 320	Metais Ferrosos	Aço inox
6	aço inox 430	Metais Ferrosos	Aço inox
7	aço inox bom	Metais Ferrosos	Aço inox
8	aço inox ruim	Metais Ferrosos	Aço inox
9	alumínio	Metais Não Ferrosos	Alumínio
10	alumínio limpo	Metais Não Ferrosos	Alumínio
11	alumínio com ferro	Metais Não Ferrosos	Alumínio
12	alumínio duro	Metais Não Ferrosos	Alumínio
13	alumínio duro com ferro	Metais Não Ferrosos	Alumínio
14	perfil de alumínio	Metais Não Ferrosos	Alumínio
15	fio de alumínio	Metais Não Ferrosos	Alumínio
16	latinha de alumínio	Metais Não Ferrosos	Alumínio
17	panela	Metais Não Ferrosos	Alumínio
18	cobre	Metais Não Ferrosos	Cobre e Derivados
19	cobre limpo	Metais Não Ferrosos	Cobre e Derivados
20	cobre sujo	Metais Não Ferrosos	Cobre e Derivados
21	fio de cobre	Metais Não Ferrosos	Cobre e Derivados
22	bronze	Metais Não Ferrosos	Outros Metais
23	latão	Metais Não Ferrosos	Outros Metais
24	antimônio	Metais Não Ferrosos	Outros Metais
25	radiador	Metais Não Ferrosos	Radiadores
26	radiador cobre	Metais Não Ferrosos	Radiadores
27	motor	Motores e Eletrônicos	Motores
28	motor pequeno	Motores e Eletrônicos	Motores
29	motor grande	Motores e Eletrônicos	Motores
30	motor de geladeira	Motores e Eletrônicos	Motores

Item	Nome	Categoria	Subcategoria
31	motor embraco pequeno	Motores e Eletrônicos	Motores
32	motor embraco grande	Motores e Eletrônicos	Motores
33	computador	Motores e Eletrônicos	Eletrônicos
34	placas	Motores e Eletrônicos	Eletrônicos
35	placas eletrônicas	Motores e Eletrônicos	Eletrônicos
36	bateria	Motores e Eletrônicos	Eletrônicos
37	papel	Papel e Papelão	Papel
38	papel branco	Papel e Papelão	Papel
39	papel misto	Papel e Papelão	Papel
40	papelão	Papel e Papelão	Papelão
41	livro	Papel e Papelão	Livros
42	PET	Plásticos Diversos	PET
43	PET branco	Plásticos Diversos	PET
44	PET cristal	Plásticos Diversos	PET
45	PET verde	Plásticos Diversos	PET
46	PET detergente	Plásticos Diversos	PET
47	PET mineral	Plásticos Diversos	PET
48	PET óleo de cozinha	Plásticos Diversos	PET
49	PET óleo de motor	Plásticos Diversos	PET
50	PEAD	Plásticos Diversos	PEAD
51	PEAD branco	Plásticos Diversos	PEAD
52	PEAD colorido	Plásticos Diversos	PEAD
53	PEAD garrafinha	Plásticos Diversos	PEAD
54	PP água	Plásticos Diversos	PP
55	PP branco	Plásticos Diversos	PP
56	PP caixaria	Plásticos Diversos	PP
57	PP colorido	Plásticos Diversos	PP
58	PP mineral	Plásticos Diversos	PP
59	PP preto	Plásticos Diversos	PP
60	PP para-choque	Plásticos Diversos	PP
61	PP sucato	Plásticos Diversos	PP
62	PP sucato branco	Plásticos Diversos	PP
63	PP sucato colorido	Plásticos Diversos	PP
64	PVC	Plásticos Diversos	PVC
65	cano	Plásticos Diversos	PVC
66	cano azul	Plásticos Diversos	PVC
67	cano branco	Plásticos Diversos	PVC
68	mangueira	Plásticos Diversos	PVC
69	persiana	Plásticos Diversos	PVC
70	forro	Plásticos Diversos	PVC
71	filme plástico	Plásticos Diversos	Filmes
72	filme branco	Plásticos Diversos	Filmes

Item	Nome	Categoria	Subcategoria
73	filme colorido	Plásticos Diversos	Filmes
74	filme cristal	Plásticos Diversos	Filmes
75	filme preto	Plásticos Diversos	Filmes
76	plástico	Plásticos Diversos	Outros
77	lona	Plásticos Diversos	Outros
78	ráfia	Plásticos Diversos	Outros
79	bag	Plásticos Diversos	Outros
80	bombona	Plásticos Diversos	Outros
81	tampinha	Plásticos Diversos	Outros
82	sacola branca	Plásticos Diversos	Outros
83	copinho	Plásticos Diversos	Outros
84	garrafinha	Plásticos Diversos	Outros
85	sucata	Sucata Mista	Sucata
86	sucata branca	Sucata Mista	Sucata
87	sucata colorida	Sucata Mista	Sucata
88	sucatão	Sucata Mista	Sucata
89	sucatão branco	Sucata Mista	Sucata
90	sucatão colorido	Sucata Mista	Sucata
91	tetra pak	Tetra Pak	Tetra Pak
92	fogão	Outros	Por unidade
93	mesa	Outros	Por unidade
94	roda	Outros	Por unidade
95	aro	Outros	Por unidade
96	caixa	Outros	Por unidade
97	carretel	Outros	Por unidade
98	antena	Outros	Por unidade
99	tela de borracha	Outros	Por unidade

Fonte: a autora.