



**UFOP**

Universidade Federal  
de Ouro Preto

**Universidade Federal de Ouro Preto  
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas  
Colegiado de Sistemas de Informação**

**Um modelo de Programação Linear  
Inteira para o Problema de Controle  
de Estoque Mínimo**

**Welberth Heider Magalhães de Araújo**

**TRABALHO DE  
CONCLUSÃO DE CURSO**

ORIENTAÇÃO:  
Prof. Dr. Samuel Souza Brito

**Novembro, 2022  
João Monlevade–MG**

**Welberth Heider Magalhães de Araújo**

**Um modelo de Programação Linear Inteira para  
o Problema de Controle de Estoque Mínimo**

Orientador: Prof. Dr. Samuel Souza Brito

Monografia apresentada ao curso de Sistemas de Informação do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, da Universidade Federal de Ouro Preto, como requisito parcial para aprovação na Disciplina “Trabalho de Conclusão de Curso II”.

**Universidade Federal de Ouro Preto**

**João Monlevade**

**Novembro de 2022**

## SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

A663u Araujo, Welberth Heider Magalhaes de.

Um modelo de programação linear inteira para o problema de controle de estoque mínimo. [manuscrito] / Welberth Heider Magalhaes de Araujo. - 2022.

25 f.: il.: color., gráf., tab..

Orientador: Prof. Dr. Samuel Souza Brito.

Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas. Graduação em Sistemas de Informação .

1. Controle de estoque. 2. Modelos matemáticos. 3. Processo decisório. 4. Programação linear. I. Brito, Samuel Souza. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 519.85

Bibliotecário(a) Responsável: Flavia Reis - CRB6-2431



## FOLHA DE APROVAÇÃO

**Welberth Heider Magalhães de Araújo**

### **Um modelo de Programação Linear Inteira para o Problema de Controle de Estoque Mínimo**

Monografia apresentada ao Curso de Sistemas de Informação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação

Aprovada em 04 de Novembro de 2022

#### Membros da banca

Professor Doutor Samuel Souza Brito - Orientador - Departamento de Computação e Sistemas  
Professor Doutor George Henrique Godim da Fonseca - Departamento de Computação e Sistemas  
Professor Doutor Paganini Barcellos de Oliveira - Departamento de Engenharia de Produção

Samuel Souza Brito, orientador do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 08/12/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Samuel Souza Brito, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 08/12/2023, às 14:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [http://sei.ufop.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0639018** e o código CRC **24458488**.

*Dedico este trabalho ao Deus Trino Criador do Universo e de tudo o que nele há pois, "sem Ele nada do que foi feito se fez" João 1:3b. Dedico também a você Edênia, minha esposa, minha namorada, minha ajudadora, minha companheira. Deus me deu você e eu te amo!*

# Agradecimentos

Agradeço a Deus pela salvação encontrada em Jesus, pelo cuidado surreal que sempre teve comigo em toda essa jornada no curso, sempre me capacitando para vencer os obstáculos e me protegendo do mal.

À minha esposa por sempre me apoiar, acreditar e principalmente me incentivar a continuar. Meu bem, se não fosse você eu já teria abandonado o curso há muito tempo. Obrigado por se esforçar em me ajudar. Um milhão de vezes: muito obrigado!

Aos meus pais Edésio e Alessandra. Se hoje estou aqui é porque eles cuidaram de mim! Obrigado pai e mãe por acreditarem em mim!

Aos meus familiares e amigos que sempre estiveram por perto, orando, conversando e contribuindo de alguma forma.

Ao meu orientador Samuel, que imensa ajuda forneceu, sempre paciente e compreensivo ao me auxiliar, guiar e aconselhar durante todo esse processo. Obrigado.

Aos professores, colegas e amigos que conheci e convivi durante a caminhada por essa trilha de conhecimento.

Sou imensamente grato a todos vocês!

*“Porque, ainda que existam alguns que são chamados de deuses, quer no céu ou sobre a terra — como há muitos "deuses" e muitos "senhores"—, para nós, porém, há um só Deus, o Pai, de quem são todas as coisas e para quem existimos, e um só Senhor, Jesus Cristo, por meio de quem todas as coisas existem e por meio de quem também nós existimos.”*

*1 Coríntios 8:5,6.*

# Resumo

O presente trabalho tem como objetivo principal a otimização dos custos de estoque de toners em uma empresa de locação de impressoras. Para esse propósito foi desenvolvido um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) visando facilitar as tomadas de decisão referentes ao controle de estoque, indicando quanto comprar de cada toner por período. O modelo matemático de PLI proposto para solucionar o problema foi submetido a testes com os dados reais coletados na empresa e com dados gerados artificialmente, permitindo comparar as soluções obtidas pelo modelo e as soluções adotadas pela locadora, assim como avaliar o comportamento do modelo em diferentes casos. Os resultados apontam que, ao aumentar o horizonte de planejamento, a solução gerada pelo modelo apresenta um redução de até 27,1% nos custos.

**Palavras-chaves:** Programação Linear Inteira. Controle de estoque. Modelagem Matemática. Tomada de Decisão.

# Abstract

The main objective of this study is to optimize the inventory costs of toners in a printer rental company. For this purpose, an Integer Linear Programming model was developed to facilitate decision-making regarding inventory control, indicating how much of each toner to purchase per period. The mathematical model of integer linear programming proposed to solve the problem was subjected to tests with real data collected from the company and artificially generated data, allowing for a comparison of the solutions obtained by the model and those adopted by the rental company, as well as an assessment of the model's behavior in different scenarios. The results indicate that, as the planning horizon increases, the solution generated by the model shows a reduction of up to 27.1% in costs.

**Key-words:** Integer Linear Programming. Inventory Control. Mathematical Modeling. Decision Making.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Algumas razões para evitar estoques . . . . .	6
Figura 2 – Gráficos de entradas e saídas tn10 e tn13 . . . . .	12
Figura 3 – Gráfico de demanda real . . . . .	17
Figura 4 – Gráfico Demanda Artificial 1 . . . . .	17
Figura 5 – Gráfico Preço Real . . . . .	18
Figura 6 – Gráfico Preço Artificial 1 . . . . .	18
Figura 7 – Quantidade comprada - Solução da empresa . . . . .	19
Figura 8 – Quantidade comprada - solução do modelo . . . . .	19
Figura 9 – Média de compra por período - solução da empresa e modelo . . . . .	20
Figura 10 – Gráfico comparativo das instâncias aleatórias . . . . .	21
Figura 11 – Média de estoque por período - solução da empresa e modelo . . . . .	21
Figura 12 – Estoque por período - solução da empresa . . . . .	22
Figura 13 – Estoque por período - solução do modelo . . . . .	22

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Volume ocupado por cada toner . . . . .	12
Tabela 2 – Capacidade de armazenamento . . . . .	12
Tabela 3 – Dados das Instâncias . . . . .	16
Tabela 4 – Comparativo dos resultados . . . . .	20

# Lista de abreviaturas e siglas

**PL** Programação Linear

**PLI** Programação Linear Inteira

**PO** Pesquisa Operacional

**CLSP** Capacitated lot-sizing problem

# Lista de símbolos

$\Sigma$	Letra grega maiúscula Sigma - Somatório
$\sigma$	Letra grega minúscula Sigma
$R$	Conjunto dos números reais
$Z$	Conjunto dos números inteiros
$\in$	Pertence a...
$\forall$	Para todo...
$\equiv$	Equivalente a...

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>1.1</b>	<b>Problema</b>	<b>1</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos</b>	<b>2</b>
1.2.1	Objetivo geral	2
1.2.2	Objetivos específicos	2
<b>1.3</b>	<b>Organização do trabalho</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>4</b>
<b>2.1</b>	<b>Pesquisa Operacional</b>	<b>4</b>
<b>2.2</b>	<b>Programação Linear</b>	<b>4</b>
2.2.1	Programação Linear Inteira	5
<b>2.3</b>	<b>Problema de Dimensionamento de Lotes Capacitado - CLSP</b>	<b>5</b>
<b>2.4</b>	<b>Estoques</b>	<b>6</b>
2.4.1	Controle de Estoque	7
2.4.2	Estoque de segurança	7
<b>2.5</b>	<b>Trabalhos correlatos</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>A empresa</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Coleta dos dados</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Descrição do Modelo</b>	<b>13</b>
3.3.1	Dados de entrada	13
3.3.2	Variáveis de decisão	14
3.3.3	Modelo de Programação Inteira	14
<b>4</b>	<b>EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS</b>	<b>15</b>
<b>4.1</b>	<b>Configurações</b>	<b>15</b>
<b>4.2</b>	<b>Testes e resultados</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b>	<b>23</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>24</b>

# 1 Introdução

Desde a Revolução Industrial no século XVIII, devido ao aumento considerável na escala de produção, as empresas buscam formas de estocar e controlar matérias-primas tendo em vista a manutenção do sistema de produção. Conforme [Slack et al. \(2018\)](#) descreve, o estoque representa recursos materiais armazenados que fluem através de processos, operações ou redes de suprimento.

O estoque apresenta uma natureza paradoxal para a empresa e seu gestor. No mesmo instante em que ele é um importante fator estratégico, também é um dos componentes que mais comprometem o capital de giro, podendo trazer grandes custos administrativos e com seguros [Slack et al. \(2018\)](#).

Apesar das inúmeras transformações ocorridas nos modelos de empresas desde a Revolução Industrial do século XVIII, os estoques continuam a ser um ponto de convergência predominante. Seja um *e-commerce* ou um pequeno comércio, o estoque bem ajustado pode garantir uma vantagem competitiva no mercado, absorvendo as flutuações que ocorrem na relação demanda e tempo de ressuprimento.

Dado que o estoque é frequentemente considerado como um “seguro” contra eventos inesperados, como apontado por [Slack et al. \(2018\)](#), torna-se evidente a importância de buscar sua otimização. Uma abordagem é utilizar a Pesquisa Operacional Pesquisa Operacional (PO), conforme indicado por [HILLIER e LIEBERMAN \(2013, p. 24\)](#):

...a PO tenta, frequentemente, encontrar uma melhor solução (conhecida como solução ótima) para o modelo que representa o problema considerado. (Dissemos uma melhor solução em vez de a melhor solução, pois pode haver várias soluções, cada uma delas sendo considerada como a melhor). Em vez de simplesmente melhorar o *status quo*, o objetivo é identificar o melhor caminho a percorrer. Embora ele deva ser interpretado com cuidado em termos das necessidades práticas da administração, a busca pela “otimalidade” é um tema importante na PO.

## 1.1 Problema

A empresa estudada é uma locadora de impressoras que atualmente não conta com um método para gerenciar e manter os estoques de toners. As reposições são realizadas esporadicamente, onde se compra quantidades variadas dos modelos de toners, sem qualquer política ou modelo que possa ser avaliado com o passar do tempo, desencadeando uma ausência de planejamento e controle do fluxo da operação da empresa.

Em conformidade com [Slack et al. \(2018\)](#), planejamento e controle tentam conciliar as demandas do mercado com a habilidade dos recursos da empresa para supri-las. Como o

planejamento está sujeito a oscilações, se faz necessária uma base para iniciar a caminhada. Idealizar algo concreto no futuro sem embasamento para os objetivos a serem atingidos pode levar a um ciclo sem fim, onde só se resolve os problemas e demandas do curto prazo. Com o planejamento quebrado não há o que controlar para colocar a operação alinhada a caminho do alvo.

Diante do pressuposto, propõe-se a elaboração de um modelo de Programação Linear Inteira (PLI) que possa ser aplicado na empresa como ferramenta para uma melhor gestão do estoque e eficiência em compras.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo matemático baseado em PLI visando a otimização/minimização do custo de estoque, levando em conta os custos dos suprimentos e o custo de oportunidade ao se investir no estoque. Ao otimizar os custos pretende-se embasar e viabilizar um processo de compra mais automatizado, informando ao gestor quanto comprar, dado o custo do insumo, o tempo de ressuprimento, o período de planejamento e outras variáveis.

### 1.2.1 Objetivo geral

O presente trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo matemático baseado em PLI visando a otimização/minimização do custo de estoque.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Como objetivos específicos pode-se citar:

- Analisar trabalhos correlatos já concluídos;
- Estudar e descrever as particularidades da empresa;
- Desenvolver o modelo matemático de PLI;
- Validar o modelo por meio de dados tanto reais quanto artificialmente gerados.

## 1.3 Organização do trabalho

O restante deste trabalho é organizado como se segue. O Capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica do trabalho, trabalhos correlatos e as técnicas utilizadas. O Capítulo 3 aborda um resumo sobre o funcionamento da empresa, a coleta de dados e o desenvolvimento do modelo matemático. O Capítulo 4 apresenta as configurações, testes e

resultados dos experimentos computacionais. No Capítulo 5 são descritas as considerações finais e as propostas para trabalhos futuros.

## 2 Revisão bibliográfica

Este capítulo apresenta uma revisão da literatura, bem como trabalhos correlatos que possibilitaram a contextualização dos conceitos e técnicas ligadas à Pesquisa Operacional (PO), seu desdobramento na Programação Linear (PL) e gestão de estoques.

### 2.1 Pesquisa Operacional

De acordo com Taha (2008) e HILLIER e LIEBERMAN (2013) as primeiras atividades formais de pesquisa operacional tiveram início na Inglaterra durante a Segunda Guerra Mundial, quando houve a necessidade de alocar os escassos recursos de maneira eficiente e otimizada para as diversas operações militares.

ARENALES et al. (2007) apresenta mais detalhes sobre o surgimento do termo e registra que o mesmo está ligado à invenção do radar na Inglaterra em 1934, pois após este feito, com o intuito de estudar de que maneira a tecnologia do radar poderia ser utilizada para interceptar aviões inimigos, o ministério britânico de Aviação criou a Estação de Pesquisa Manor Bawdsey. Já em 1941 é inaugurada a Seção de Pesquisa Operacional do Comando da Força Aérea de Combate, que ainda de acordo com ARENALES et al. (2007), essa seção estava envolvida em uma variedade de tópicos relacionados a operações de guerra, como manutenção e inspeção de aviões, seleção do tipo de avião para uma missão e aprimoramento na probabilidade de destruição de submarinos. Além disso, eram abordadas questões que envolviam o controle da artilharia antiaérea e a otimização do dimensionamento de comboios de frota. A Segunda Guerra Mundial marcou o início da análise científica do uso operacional de recursos militares de maneira sistemática.

### 2.2 Programação Linear

Com o sucesso e constantes estudos contínuos sobre o campo de análise de decisão que a PO trouxe a tona, outras vertentes foram surgindo. A Programação Linear (PL) é uma delas. De acordo com HILLIER e LIEBERMAN (2013), ela é considerada um dos mais importantes avanços tecnológicos do século XX, trazendo grande impacto desde a década de 1950.

A PL é construída a partir de um modelo matemático que visa replicar a realidade do problema real. O nome linear remete à característica das funções lineares da matemática com as seguintes leis de formação:  $f(x) = ax$ , onde  $a \neq 0$ ,  $a \in R$  e  $x$  está elevado à primeira potência ( $x^1$ ).

### 2.2.1 Programação Linear Inteira

Outro desdobramento da PO, é a Programação Linear Inteira (PLI). Esta se distingue da PL pois apresenta um conjunto discreto de variáveis, pertencentes a um subconjunto dos números inteiros. Um problema de PLI pode ser representado genericamente como:

$$\begin{aligned} z &= \max cx \\ Ax &\leq b \\ x &\in Z_+^n \end{aligned}$$

em que  $A$  é uma matriz ( $m \times n$ ),  $c$  um vetor ( $1 \times n$ )  $b$  um vetor ( $m \times 1$ ), representam os parâmetros do problema. O vetor de variáveis é  $x$  com dimensão ( $n \times 1$ ).  $Z_+^n$  representa o espaço dos vetores com  $n$  componentes inteiras não negativas.

## 2.3 Problema de Dimensionamento de Lotes Capacitado - CLSP

O Problema de Dimensionamento de Lotes Capacitado -(Capacitated lot-sizing problem (CLSP)), segundo [Quadt e Kuhn \(2008\)](#), pode ser descrito a partir das seguintes premissas: vários produtos devem ser produzidos; um volume determinístico e discreto de demanda por períodos predefinidos é fornecido para cada produto; a produção de um produto consome a capacidade escassa da máquina; mudar de um produto para outro gera custos de preparação que se acumulam (considerando o CLSP multi-item); alguns consideram os tempos de preparação, reduzindo assim a capacidade da máquina; quando uma unidade de produto não é produzida em seu período de demanda, os custos de estoque são incorridos. Dadas as premissas, o **objetivo do CLSP** é encontrar um plano de produção ideal que minimize os custos de configuração e estoque e forneça tamanhos de lote e períodos ideais para cada produto.

Outra característica é que o CLSP pode ser dividido em monoestágio ou multiestágio [Araujo e Arenales \(2000 apud FABRÍCIO; CABRAL; SUBRAMANIAN, 2007\)](#). Produção multiestágio acontece quando a produção de um item depende da prévia produção de outro. Um sistema de produção é monoestágio quando a produção de um item é independente em relação a outro, ou seja, esse item não depende da produção de outro para ser finalizado. O problema de dimensionamento monoestágio é aplicável a muitos casos gerais e aparece em muitos subproblemas. Isso se dá pois o problema monoestágio pode ser subdividido em várias categorias, por exemplo: pode ser considerado para um único item ou para vários itens, com ou sem restrição de capacidade ou ainda pode considerar ou não tempo de preparação, ficando evidente sua alta aplicabilidade [Bahl, Ritzman e Gupta \(1987\)](#).

## 2.4 Estoques

É sabido que os estoques são muito importantes para o correto funcionamento das empresas. Para algumas ele será mais importante do que para outras pois, o estoque de trigo em uma padaria impactará mais nos resultados do que o estoque de itens de limpeza em uma revenda de peças automotivas, por exemplo. Percebe-se então que o estoque tem diferentes funções. Segundo [Slack et al. \(2018\)](#), estoque representa recursos materiais armazenados que fluem através de processos, operações ou redes de suprimento.

[Arnold \(1999 apud SCHWITZKY, 2001\)](#) acrescenta que, na produção em lotes, o propósito básico dos estoques é separar o suprimento da demanda. Isto traz segurança para a empresa caso algum erro ocorra no processo de suprimento. O estoque garante que o cliente continue sendo atendido até que o fornecedor corrija o erro. Assim, empresa e cliente conseguem manter relações harmoniosas, possibilitando lucro para a empresa e a satisfação do cliente ao adquirir o que procura. [Schwitzky \(2001\)](#) ainda cita que se a demanda de certo produto cresce de forma imprevisível, é o estoque que consegue evitar as faltas de produtos acabados para entrega ao cliente.

Os estoques ajudam a maximizar o atendimento aos clientes, protegendo a empresa da variação da demanda. Se fosse possível prever exatamente o que os clientes querem e quando, um plano seria feito para satisfazer à demanda sem dúvidas. Entretanto, a demanda e o *lead time* necessários para produzir um item são sempre incertos, possivelmente resultando em esvaziamentos de estoques e na insatisfação dos clientes [Arnold \(1999 apud SCHWITZKY, 2001\)](#).

Embora manter um bom estoque apresente muitas vantagens, este item merece muita atenção e cuidado, pois o acúmulo do mesmo pode se tornar muito prejudicial à organização. [Slack et al. \(2018\)](#) identifica na Figura 1 algumas razões para se evitar um armazenamento exorbitantes de itens.

Figura 1 – Algumas razões para evitar estoques

	"Estoques"		
	Estoques físicos	Filas de clientes	Informações em bancos de dados
Custo	Comprometem o capital de giro e podem ter custos administrativos e de seguro elevados.	Principamente o custo do tempo dos clientes, isto é, os desperdícios de tempo dos clientes.	Custo inicial, de acesso, de atualização e de manutenção.
Espaço	Requerem espaço para estocagem.	Requerem áreas de espera ou linhas telefônicas para reter as ligações.	Requerem capacidade de memória. Podem exigir ambiente protegido e/ou especial.
Qualidade	Podem deteriorar-se no decorrer do tempo, danificar-se ou tornar-se obsoletos.	Podem irritar os clientes se tiverem que esperar muito tempo. Podem levar à perda de clientes.	Os dados podem estar corrompidos, perdidos ou tornarem-se obsoletos.
Operacional/organizacional	Podem ocultar problemas ( <i>veja o capítulo sobre produção enxuta – Capítulo 15</i> ).	Podem colocar pressão indevida sobre os funcionários e, assim, a qualidade fica comprometida no atravessamento.	Os bancos de dados precisam de gerenciamento constante, controle de acesso, atualização e segurança.

Fonte: ([SLACK et al., 2018](#), p. 486)

### 2.4.1 Controle de Estoque

Tendo conhecimento dos prós e contras de se manter o estoque entende-se que cabe aos gerentes de estoque e/ou produção a tarefa de escolher a melhor forma de responder as quatro questões propostas por [Arnold \(1999 apud SCHWITZKY, 2001\)](#) :

- Qual é a importância do item no estoque?
- Como os itens são controlados?
- Quantas unidades devem ser pedidas de cada vez?
- Quando um pedido deve ser emitido?

Os gestores que melhor responderem as questões anteriores terão uma grande chance de alcançar um ótimo resultado, evitando desperdício de recurso financeiro e físico.

Destaca-se um aspecto crucial ao qual o gestor de estoque deve estar atento. Conforme salientado por [Chiavenato \(2022\)](#), do ponto de vista financeiro, os estoques representam capital investido sem retorno enquanto permanecem inativos. Em casos de excesso de estoque, a empresa pode incorrer em desperdício de recursos financeiros e sofrer perdas decorrentes dos custos mais elevados associados a um estoque excedente.

A situação de um estoque excessivo pode se agravar, especialmente em momentos de urgência de capital. Conforme observado por [Schwitzky \(2001\)](#), quando se trata de estoque de material em processo, a empresa, em algumas circunstâncias, pode se ver compelida a vender esse estoque a preços de sucata para converter rapidamente em capital. No caso de estoque de produtos acabados, as empresas muitas vezes recorrem a promoções e vendas a preço de custo para transformar o capital investido em dinheiro, visando cumprir obrigações financeiras.

A questão anterior nos leva ao conceito de **Custo de Oportunidade**, **Custo de Capital** ou **Custo Alternativo**, que é igual ao sacrifício de deixar de produzir parte do bem  $x$  para produzir mais do bem  $y$ , ou seja, representa o custo da produção que foi sacrificada ([VASCONCELLOS; GARCIA, 2002](#)). Observe que o custo de oportunidade não está centrado no lucro contábil, mas, principalmente, naquilo que se renuncia, no que se deixa de obter.

### 2.4.2 Estoque de segurança

Para proteger seu núcleo produtivo, uma alternativa às empresas é fazer uso do estoque de segurança. O estoque de segurança visa proteger todo o processo relacionado ao objetivo do negócio, ou atividade-fim. Ele será responsável em manter a empresa

entregando seu serviço em ocasionais falha do sistema de ressuprimento (CHIAVENATO, 2022).

Peinado e Graeml (2007) relatam que os estoques de segurança visam proporcionar um certo nível de atendimento exigido ou pré-estabelecido, mediante a variabilidade tanto do suprimento como da demanda, em outras palavras, se ocorrer um eventual atraso na entrega ou na produção, ou a demanda superar a previsão, a organização conta com um estoque adicional para compensar estes tipos de ocorrência.

Devido às eventualidades provenientes dos fatores de suprimento e demanda, como apontado por Chiavenato (2022), as empresas optam por manter um estoque de segurança. Essa medida visa enfrentar imprevistos e assegurar a continuidade do sistema produtivo, protegendo-o contra circunstâncias externas à empresa. O estoque adicional é essencial para garantir a produção contínua mesmo durante períodos de escassez de materiais no mercado.

Tubino (2017) enfatiza que os estoques de segurança são projetados para garantir a estabilidade, absorvendo variações na demanda ao longo do tempo de ressuprimento, além de lidar com possíveis flutuações nesse próprio tempo. Isso é crucial, pois os estoques planejados podem se esgotar antes que um novo lote entre, o que poderia acarretar problemas no fluxo produtivo.

Esse estoque é a caução da estabilidade do processo produtivo, mas seu custo é permanente, portanto, deve ser calculado com muito critério para não onerar demais o inventário e o custo do produto ou serviço (PAOLESCHI, 2019).

Como o custo do estoque de segurança pode se tornar algo que destrua parte dos lucros da empresa, Peinado e Graeml (2007) definem cinco fatores que nortearão o seu tamanho:

1. **Demanda média por período:** Quanto maior a demanda do material maior será o tamanho do estoque de segurança deste material. Em outras palavras, o estoque de segurança será proporcional à demanda média.
2. **Tempo de ressuprimento (*Lead Time*):** Maiores prazos de ressuprimento vão exigir maiores estoques de segurança.
3. **Grau de variabilidade da demanda durante o tempo de ressuprimento:** Quanto maior a variação da demanda maior deverá ser o estoque de segurança.
4. **Grau de variabilidade do tempo de ressuprimento:** Quanto maior a variação do tempo de ressuprimento maior deverá ser o estoque de segurança.
5. **Nível de serviço desejado:** Quanto menor for o grau de risco de falta de material desejado, maior deverá ser o estoque de segurança.

Partindo desses pontos, quando o fornecedor apresenta elevado grau de garantia no cumprimento do prazo de tempo de ressuprimento, ou seja, se torna mínima a variação do tempo de entrega, o estoque de segurança será calculado levando-se em conta a variação da demanda durante o tempo de ressuprimento, através da fórmula (PEINADO; GRAEML, 2007):

$$ES = Z \times \sqrt{TR} \times \sigma_D \quad (2.1)$$

Onde  $ES$  representa o estoque de segurança,  $Z$  indica o número de desvios padrão,  $TR$  o tempo de ressuprimento  $\sigma_D$  desvio padrão da demanda.

O valor de  $Z$  varia em função do nível de serviço que se atribui ao material. Nível de serviço é a probabilidade de não faltar material durante um ciclo de abastecimento. Caso o gestor decida trabalhar com um nível de serviço de 98%, significa que terá 98% da probabilidade de não faltar estoque caso a demanda aumente deliberadamente. Os 2% restantes representam o risco de faltar estoque.

## 2.5 Trabalhos correlatos

Foram analisados alguns trabalhos que apresentam grau de semelhança com o problema que será desenvolvido. A fim de validar o desenvolvimento desta proposta um breve resumo é apresentado abaixo sobre cada trabalho estudado.

Fabrício, Cabral e Subramanian (2007) trataram do problema de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção em uma indústria do setor de bebidas. O objetivo do modelo consiste em determinar o produto e a quantidade a ser fabricada e determinar a sequência em que os produtos serão processados em cada linha. Os resultados pós aplicação do modelo foram positivos, demonstrando uma redução obtida de 12,61% do tempo total de horas paradas para preparação das máquinas para se processar outro produto.

Demonstrando como a PO e a PL são aplicáveis em problemas cotidianos das empresas, Garcia et al. (2015) desenvolvem um modelo matemático que busca facilitar a tomada de decisões referentes ao controle de estoque em uma loja de eletrônicos. O modelo propôs uma quantidade de compra menor para cada item analisado, levando em conta estoque, demanda, preços, custos e estoque de segurança. O resultado foi uma redução nos custos de estocagem de aproximadamente 40%.

Guimarães (2016) desenvolveu um modelo de programação inteira baseado no CLSP que busca otimizar os custos relacionados ao estoque de um posto de combustíveis e melhor alocar o combustível adquirido nos tanques de transporte. O modelo de ressuprimento aplicado pelo posto estava baseado em dados de fluxo anteriores, mantendo o máximo

de estoque que o capital de giro permitisse. O modelo proposto sugeriu pedidos menores porém com maior frequência, permitindo o aumento de 94% no giro do estoque e a queda de aproximadamente 50% na cobertura de estoque, fatores que influenciam diretamente no aumento do capital de giro e da margem de lucro.

Buscando uma nova abordagem para o processo de tomadas de decisão e uma melhoria na programação de produção em uma indústria de colchões, [Christofoletti \(2018\)](#) propõe um modelo matemático para determinar as principais decisões do processo produtivo dessa indústria, observando os problemas de dimensionamento de lotes e corte de estoque. Os resultados apontaram uma tendência de diminuir os custos com o aumento do número de padrões de corte. Também apontaram uma redução de 12% a 14% nos custos.

## 3 Desenvolvimento

A natureza deste trabalho consiste no desenvolvimento de um modelo matemático visando a otimização do custo de estoque em uma empresa de locação de impressoras.

### 3.1 A empresa

A empresa considerada neste trabalho solicitou a não divulgação do nome e dados sensíveis ao negócio, mas não limita o estudo de caso e a verificação de uma solução. A principal atividade da empresa é a locação de impressoras. A mesma atende inúmeras empresas na cidade onde está sediada e regiões circunvizinhas. O serviço se estende desde impressoras básicas, para escritórios simples ou residencial, até impressoras mais robustas para suprir as demandas de prefeituras e clínicas hospitalares.

### 3.2 Coleta dos dados

A empresa de locação de impressoras opera com diversos modelos de máquina e conseqüentemente de toners. Em entrevista informal e não estruturada com os gestores ficou decidido que seriam utilizados, para o presente estudo, oito modelos de impressoras que correspondem a quatorze modelos de toners. Esses toners são os mais usados e que mais impactam no faturamento da empresa. Os modelos de toner foram nomeados sequencialmente como  $tn1, tn2, \dots, tn14$ .

Os dados de entrada e saída de toners, juntamente com o custo de compra de cada um, foram extraídos de um sistema utilizado pela locadora para realizar esse controle. Por limitação do sistema foi possível extrair somente dados do ano corrente da extração. Sendo o ano 2021, foram extraídos para uma planilha dados de janeiro a outubro. Essa foi uma limitação inesperada, que causou uma diminuição considerável do volume de dados para serem estudados e alimentarem o modelo. Para exemplificar os dados coletados tem-se a Figura 2.

Sobre a área disponível para estoque na empresa, foi realizada a medição para se calcular qual volume, em metros cúbicos ( $m^3$ ), a empresa dispunha para o armazenamento dos insumos. De cada modelo de toner também foram mensuradas as medidas a fim de calcular qual volume cada um ocupa. O  $tn1$ , por exemplo, ocupa um espaço de  $0.00360m^3$ . Já o toner  $tn11$  ocupa  $0.01580m^3$ . As demais medidas estão apresentadas na Tabela 1.

Figura 2 – Gráficos de entradas e saídas tn10 e tn13

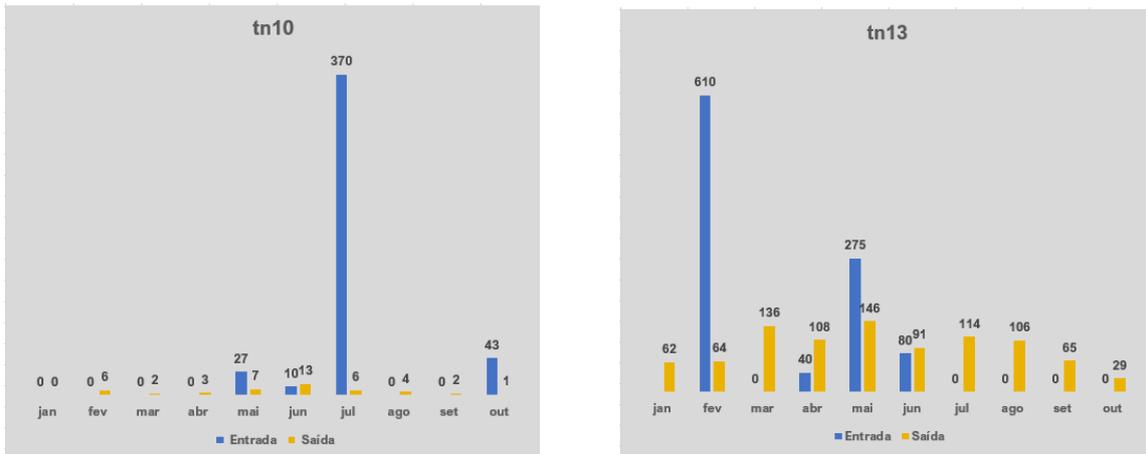


Tabela 1 – Volume ocupado por cada toner

Tipo	Volume - m <sup>3</sup>
tn1	0.00360
tn2	0.00360
tn3	0.00360
tn4	0.00360
tn5	0.00547
tn6	0.00547
tn7	0.00547
tn8	0.00547
tn9	0.00543
tn10	0.00543
tn11	0.01580
tn12	0.01239
tn13	0.01239
tn14	0.00852

Fonte: Elaborada pelo autor

Por ser uma empresa ainda em crescimento, sua área de estoque contemplava duas salas maiores e uma menor, que juntas totalizaram 56,32m<sup>3</sup>. As medidas coletadas estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Capacidade de armazenamento

Sala	Volume - m <sup>3</sup>
Sala 1.1	18.48
Sala 1.2	24.01
Sala 2	13.83
<b>Total</b>	<b>56.32</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

O *modus operandi* da gestão de estoque é direcionado pela necessidade de atender à demanda dos clientes. No entanto, o método adotado carece de métricas documentadas para avaliação e ferramentas de suporte para decisões de compra, exigindo uma análise empírica e visual do estoque. A responsabilidade recai completamente sobre o gestor e sua experiência, incumbidos de determinar as quantidades a serem adquiridas para cada modelo de toner. Esse modelo de gestão dificulta a operação com estoque mínimo, exigindo um esforço significativo e contínuo por parte do gestor.

### 3.3 Descrição do Modelo

Para elaboração do modelo observou-se que a empresa armazena  $N$  tipos de toners, cada um contendo uma demanda  $d_{it}$  para cada período  $t \in T$  e ocupando um espaço  $v_i$ , onde  $i \in N$ . Cada um dos toners possui seu estoque inicial  $s_i$  e o custo unitário de aquisição  $c_i$ . Para estocá-los, a empresa conta com a capacidade de armazenamento  $A$ .

Para cada tipo de toner foi calculada a margem mínima  $e_i$ , que representa o estoque de segurança de cada toner, ou estoque mínimo. Para o cálculo utilizou-se a Equação 2.1. Já o custo de capital do estoque,  $h_{it}$ , é calculado levando em consideração o CDI (Certificado de Depósito Interbancário) que é a principal referência de rentabilidade para os investimentos de renda fixa (INFOMONEY, 2022). Então o custo de capital seria quanto o lojista deixaria de ganhar em um investimento básico da nossa economia ao manter um toner em estoque.

O modelo busca encontrar a quantidade de cada tipo de toner  $i$  que deve ser comprada e a quantidade a ser armazenada em cada período  $t$ , suprimindo a demanda e minimizando os custos.

#### 3.3.1 Dados de entrada

- $N$  - Conjunto de toners, sendo  $N = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;
- $T$  - Número de períodos do horizonte de planejamento, sendo  $T = \{1, 2, 3, \dots\}$ ;
- $A$  - Capacidade de armazenamento da empresa (volume);
- $v_i$  - Volume ocupado pelo toner  $i$ ;
- $e_i$  - Margem mínima média do toner  $i$  (estoque de segurança ou estoque mínimo);
- $d_{it}$  - Demanda esperada do toner  $i$  no período  $t$ ;
- $s_i$  - Estoque inicial do toner  $i$ ;
- $h_{it}$  - Custo de capital do estoque por unidade do toner  $i$

- $c_i$  - Custo unitário do toner  $i$ .

### 3.3.2 Variáveis de decisão

- $x_{it}$  - Quantidade a ser comprada do toner  $i$  no período  $t$ ;
- $y_{it}$  - Quantidade a ser estocada do toner  $i$  no período  $t$ .

### 3.3.3 Modelo de Programação Inteira

$$\text{Minimize: } \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} c_{it} x_{it} + \sum_{i \in N} \sum_{t \in T} h_{it} y_{it} \quad (3.1)$$

Sujeito a:

$$y_{i0} = s_i \quad \forall i \in N \quad (3.2)$$

$$y_{it} = y_{it-1} + x_{it} - d_{it} \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.3)$$

$$y_{it} \geq e_i \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.4)$$

$$\sum_{i \in N} y_{it} v_i \leq A \quad \forall t \in T \quad (3.5)$$

$$x_{it}, y_{it} \in Z_+ \quad \forall i \in N, \forall t \in T \quad (3.6)$$

- A função objetivo (3.1) visa minimizar os custos totais (compra e estoque);
- As restrições (3.2) são usadas para inserir o estoque inicial de cada toner;
- As restrições (3.3) realizam o balanceamento de estoque, onde a quantidade armazenada no fim do período deve ser igual à quantidade armazenada no período anterior mais a quantidade adquirida menos a demanda do presente período;
- A restrição (3.4) exige que a quantidade armazenada de cada toner ao final do período seja maior ou igual ao estoque de segurança;
- A restrição (3.5) exige que o volume da quantidade armazenada de toners ao final do período respeite a capacidade de armazenamento da empresa;
- A restrição (3.6) indica que as quantidades compradas e estocadas de cada toner em cada período devem ser inteiras e não negativas.

## 4 Experimentos computacionais

Este capítulo trata dos experimentos computacionais e configurações necessárias para execução do modelo.

### 4.1 Configurações

Os testes computacionais foram desenvolvidos em um computador com as seguintes configurações:

- Sistema Operacional Windows 10 Enterprise 21H2;
- Processador AMD Ryzen 5 PRO 3500U w/ Radeon Vega Mobile Gfx 2.10 GHz;
- 8 GB de Memória RAM.

Para implementação e validação do modelo foi desenvolvida uma planilha no Microsoft Excel, onde consta todos os dados de entrada necessários para a execução do modelo. É nela que o lojista instruirá um responsável para a alimentar constantemente, mantendo as entradas atualizadas.

O modelo de [PLI](#) foi implementado na linguagem de programação Python 3.10.3, por meio da biblioteca Python-MIP versão 1.14.1.

A biblioteca Python-MIP é definida como sendo uma coleção de ferramentas Python para a modelagem e solução de problemas de Programação Linear Inteira/Mista (Mixed-Integer Linear programs - MIPs). A sintaxe da biblioteca foi inspirada no Pulp, mas o pacote também fornece acesso a recursos avançados do resolvidor, como geração de cortes, restrições *lazy*, inserção de soluções iniciais e pools de soluções ([PYTHON-MIP, 2022](#)).

O resolvidor utilizado no Python-MIP para solucionar os modelos de PLI foi o COIN-OR Branch-and-Cut Solver (CBC)<sup>1</sup>. Escrito na linguagem de programação C/C++. O CBC possui código aberto, permitindo que desenvolvedores implementem algoritmos customizados a partir dele. Além disso, ele é um dos resolvidores de código aberto mais rápidos da atualidade ([PYTHON-MIP, 2022](#)).

Com o objetivo de aprimorar a avaliação do desempenho do modelo e criar cenários mais diversos e desafiadores, foram criadas instâncias artificiais. Essas instâncias foram geradas de forma automatizada por meio de ajustes no algoritmo principal, incorporando variações significativas nos dados originais.

---

<sup>1</sup> <<https://github.com/coin-or/Cbc>>

Primeiramente, a quantidade de períodos no horizonte de planejamento foi introduzida de forma manual no arquivo de entrada, permitindo uma flexibilidade maior na análise. Além disso, o estoque inicial de toners foi estabelecido por meio da geração de valores aleatórios no intervalo de 1 a 20, os quais foram posteriormente multiplicados por números aleatórios no intervalo de 1 a 5, proporcionando uma ampla variação na quantidade inicial de estoque.

Ao mesmo tempo, o número de modelos de toners foi alterado manualmente para introduzir diferentes cenários de disponibilidade de modelos no mercado, permitindo testar o modelo com mais e menos modelos de toner, explorando várias situações.

A demanda de toners também foi sujeita a variações, sendo multiplicada por valores aleatórios no intervalo de 1 a  $T$ , onde  $T$  representa o número de períodos do horizonte de planejamento. Isso resultou em uma demanda que poderia flutuar significativamente ao longo do horizonte de planejamento.

Por fim, o valor dos toners foi ajustado para refletir cenários de mercado mais diversificados. Isso foi feito multiplicando os preços originais por fatores aleatórios obtidos de uma distribuição uniforme no intervalo de 0.6 a 1.4.

Essas modificações nas instâncias de dados permitiram a criação de cenários de teste mais abrangentes, incorporando incertezas e variações que podem ser encontradas em situações do mundo real, enriquecendo assim a análise e avaliação do modelo.

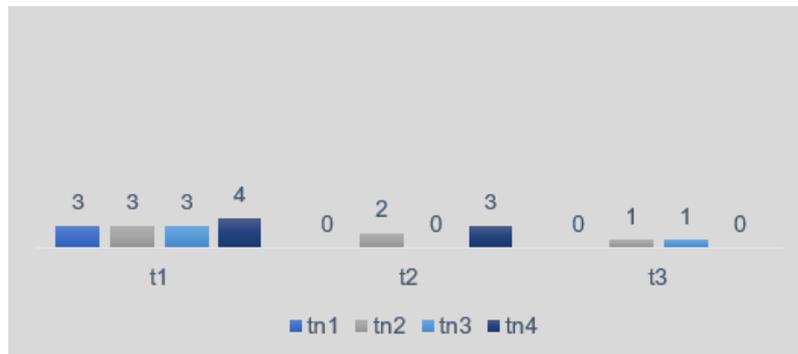
Abaixo, a Tabela 3 exibe a quantidade de modelos de toners e períodos de planejamento de cada instância. As figuras 3, 4, 5 e 6 exibem a demanda e preço dos toners  $tn_1, tn_2, tn_3$  e  $tn_4$  nos períodos de tempo  $t_1, t_2$  e  $t_3$ , para a instância real e para uma instância artificial.

Tabela 3 – Dados das Instâncias

	<b>Real</b>	<b>Artificial 1</b>	<b>Artificial 2</b>	<b>Artificial 3</b>	<b>Artificial 4</b>
Modelos de Toners	14	6	12	14	20
Períodos de planejamento(meses)	10	30	6	12	24

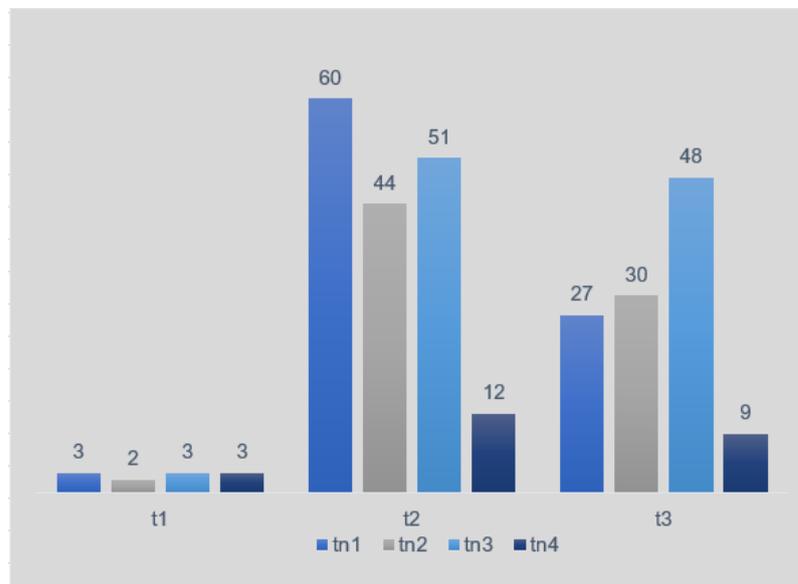
Fonte: Elaborada pelo autor

Figura 3 – Gráfico de demanda real



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 4 – Gráfico Demanda Artificial 1



Fonte: Elaborado pelo autor

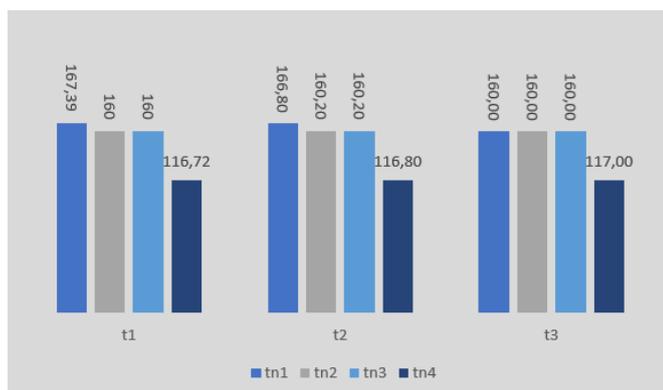
Além das instâncias, um modelo matemático foi gerado para simular o comportamento de reposição de estoque do lojista que, como dito na Seção 3.2, se baseia em suprir a demanda do período.

## 4.2 Testes e resultados

Após recolhidas as entradas do problema através do preenchimento da planilha de entrada, o modelo de *PLI* proposto neste trabalho foi executado e os resultados obtidos foram comparados com os dados reais.

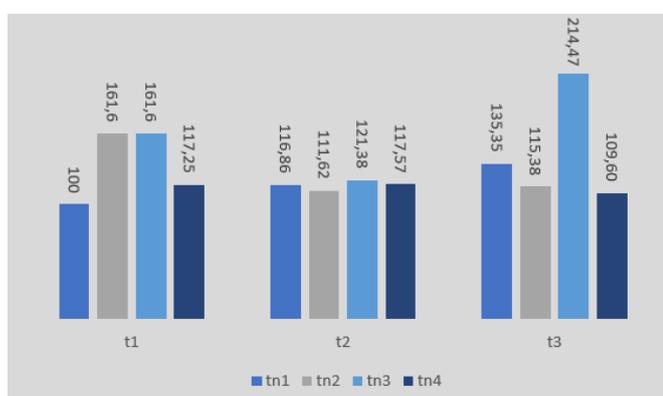
Tendo como entrada os dados reais o modelo otimizou 16,2% o custo de estoque. Sem o uso do modelo, a empresa teve um custo de R\$163.390,83 com o estoque de Janeiro a Outubro, caracterizando um horizonte de planejamento de 10 meses e contemplando

Figura 5 – Gráfico Preço Real



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 6 – Gráfico Preço Artificial 1



Fonte: Elaborado pelo autor

14 modelos de toners. O modelo apresentou um custo de R\$136.947,07, diminuindo o montante gasto em R\$26.443,76.

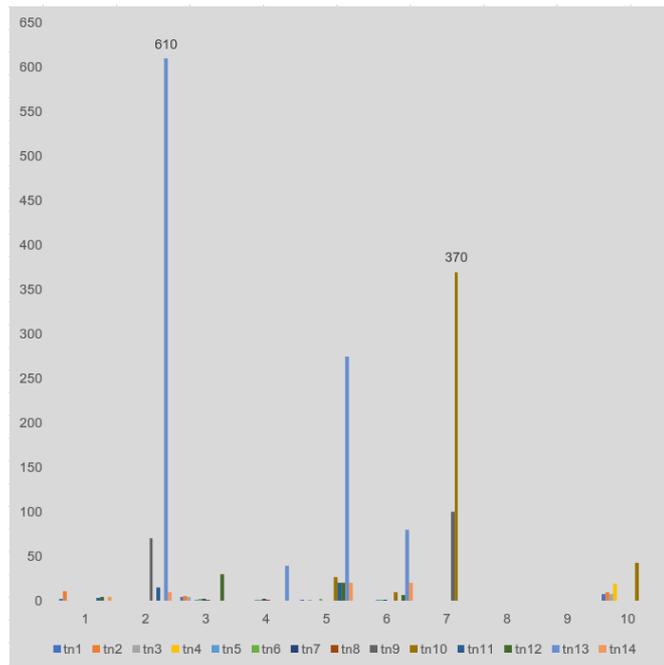
As Figuras 7 e 8, quando comparadas, evidenciam a carência de ferramentas para uma melhor gestão de compras. Enquanto a maior compra da empresa foi de 610 unidades do toner tn13 no período 2, a maior compra sugerida pelo modelo foi de 153 unidades do toner tn10, concluindo que, uma compra significativa dessa natureza terá justificção somente quando houver uma demanda efetiva para seu consumo. Também observa-se que, o modelo sugere o fracionamento das compras, pois leva em conta, além do preço do produto, a operação com estoque mínimo.

Ao analisar atentamente a compra destacada no Gráfico 7, pode-se supor que tenha sido motivada pela busca por economia de escala visando obter um preço mais vantajoso. No entanto, essa não foi a estratégia adotada. A decisão de compra foi fundamentada em uma previsão baseada em métodos empíricos e visuais, conforme detalhado no final da seção 3.2, descrevendo a abordagem prática adotada pela empresa.

Essa prática demonstra desvantagens em, pelo menos, dois aspectos: geração de

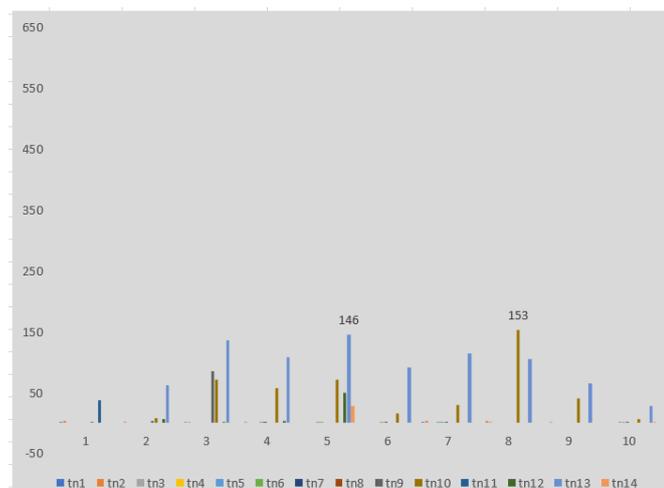
custos administrativos e operacionais desnecessários. Por exemplo, implica em deslocar pelo menos um colaborador (custo operacional) para organizar todas as caixas, demandando um tempo consideravelmente maior e deixando a operação desfalcada. Além disso, requer um tempo adicional de um supervisor para revisar e coordenar essa ação (custo administrativo), o que implica na realocação das atividades planejadas para outros colaboradores, gerando impactos nos atendimentos e manutenções já agendados.

Figura 7 – Quantidade comprada - Solução da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 8 – Quantidade comprada - solução do modelo

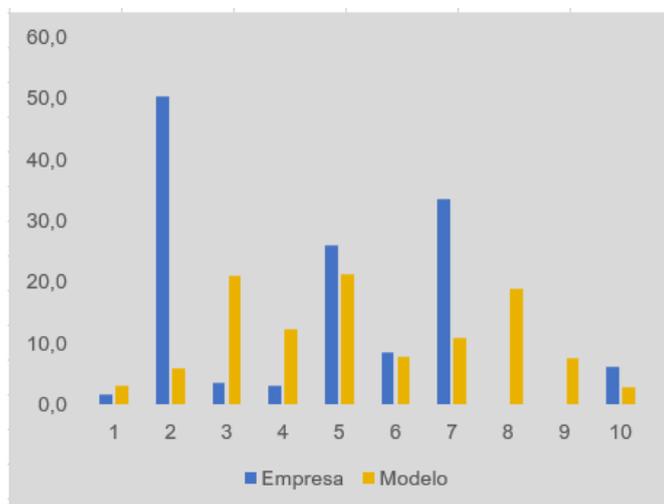


Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 9 reforça que o modelo considera compras menores e constantes durante

o horizonte de planejamento ao apresentar a média da quantidade comprada de toner em cada período.

Figura 9 – Média de compra por período - solução da empresa e modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

Analisando as instâncias artificiais percebe-se uma diminuição significativa dos custos quando estende-se o horizonte de planejamento. A instância aleatória contendo seis meses de horizonte de planejamento, quando submetida ao modelo, obteve otimização de 13,94%. Quando observamos a instância com doze meses de horizonte nos deparamos com 24,4% de otimização, cerca de 10% a mais quando comparada com a anterior. Outra observação é que, quando o período ultrapassa um ano (12 meses), o ganho obtido pelo modelo opera entre 20% e 30%. A Tabela 4 apresenta um paralelo dos resultados com dados reais (primeira linha) e com dados aleatórios (demais linhas) e a Figura 10, contendo o gráfico de análise das instâncias aleatórias.

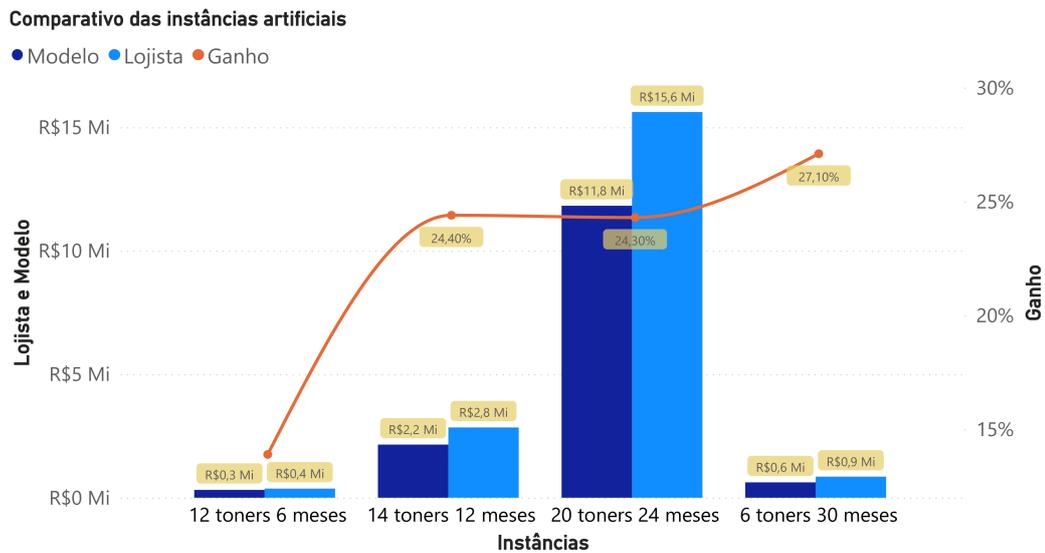
Tabela 4 – Comparativo dos resultados

	<b>Lojista</b>	<b>Modelo</b>	<b>Diferença</b>	<b>Ganho</b>
14 toners 10 meses	R\$163.390,83	R\$136.947,07	R\$26.443,76	<b>16,2%</b>
12 toners 6 meses	R\$368.772,95	R\$317.362,72	R\$51.410,23	<b>13,9%</b>
6 toners 30 meses	R\$852.862,85	R\$621.949,47	R\$230.913,38	<b>27,1%</b>
14 toners 12 meses	R\$2.845.041,21	R\$2.150.485,79	R\$694.555,41	<b>24,4%</b>
20 toners 24 meses	R\$15.615.107,26	R\$11.821.211,84	R\$3.793.895,42	<b>24,3%</b>

Fonte: Elaborada pelo autor

O ganho de 16,2% na instância real, como mostra a Tabela 3, foi proporcionado também pela diminuição na média de toners estocados por período, conforme mostra a Figura 11. Enquanto a solução da empresa manteve uma média alta, entre 40 e 50 unidades, a solução do modelo apresenta-se com uma média muito inferior, entre 8 e 12 unidades, além de um comportamento decrescente. Com essa configuração que o modelo

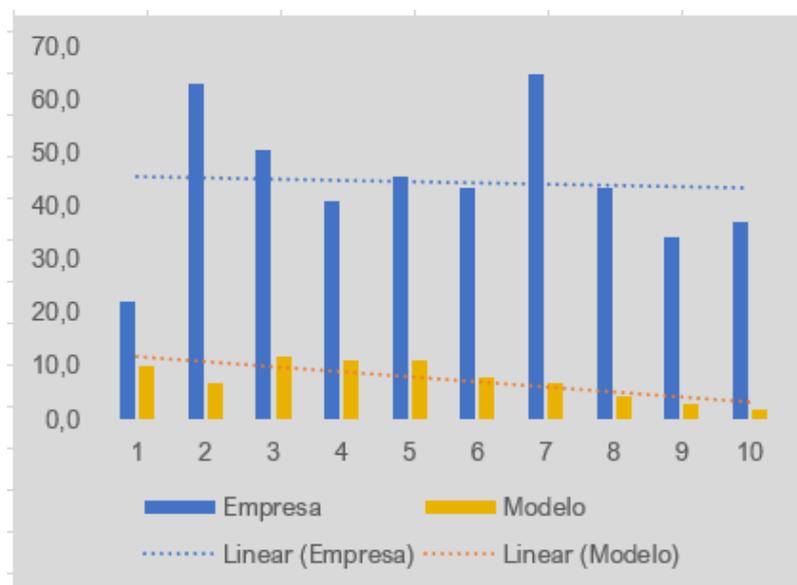
Figura 10 – Gráfico comparativo das instâncias aleatórias



Fonte: Elaborado pelo autor

apresenta o empresário terá mais capital de giro em caixa e menos capital parado, pois aumentará consideravelmente o giro do estoque.

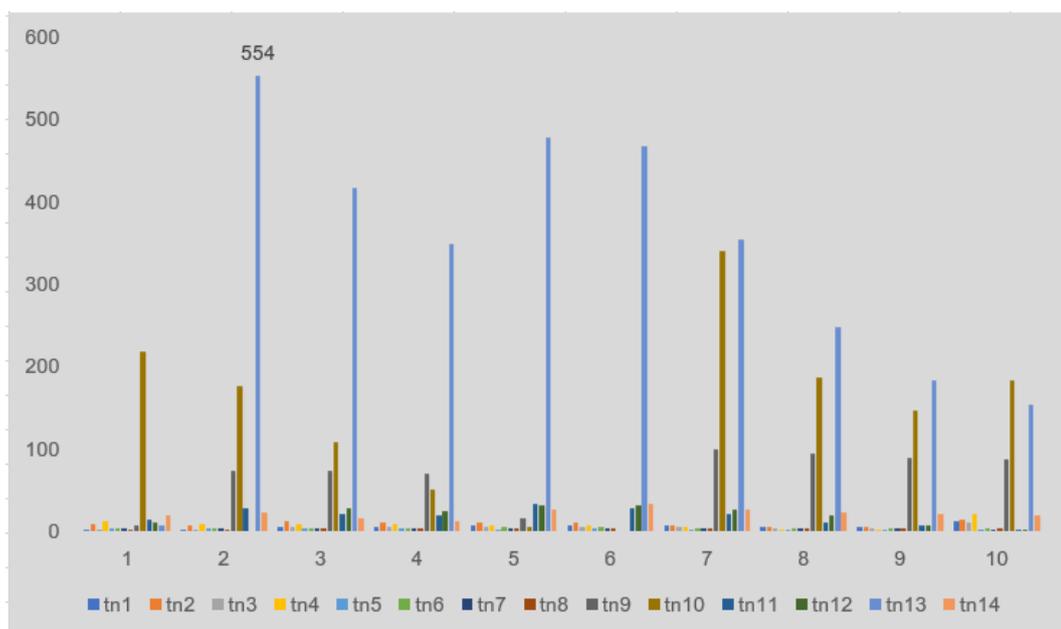
Figura 11 – Média de estoque por período - solução da empresa e modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

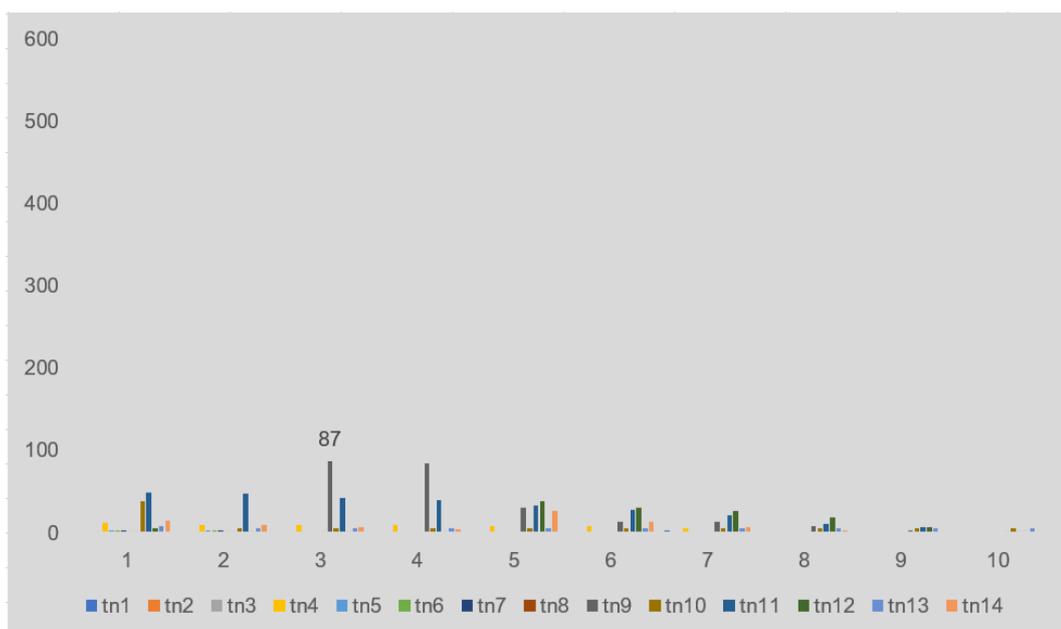
Com maior detalhamento, as figuras 12 e 13 apresentam o estoque por período com a solução da empresa e com a solução do modelo. Pode-se observar a grande discrepância entre as quantidade máximas armazenadas nos períodos. Isso acentua a capacidade do modelo de **PLI** proposto tratar o problema de estoque mínimo.

Figura 12 – Estoque por período - solução da empresa



Fonte: Elaborado pelo autor

Figura 13 – Estoque por período - solução do modelo



Fonte: Elaborado pelo autor

## 5 Conclusão

Este trabalho apresentou a elaboração de um modelo matemático baseado em **PLI** que busca minimizar os custos do estoque mantendo uma margem de estoque de segurança que atenda as demandas inesperadas dos períodos planejados. Para tal propósito o modelo entrega uma solução ótima com as quantidades de toners a serem comprados e estocados.

Desenvolveu-se uma planilha de fácil manuseio para entrada de dados pela empresa e um algoritmo em Python que recebe essa planilha, organiza os dados e resolve o modelo matemático. Os resultados gerados contemplam a quantidade a ser comprada e a quantidade a ser estocada de cada toner, facilitando a tomada de decisão do gestor no momento de compra e reposição do estoque. A solução apresentada foi capaz de obter uma economia de até 16,2% para os dados reais em comparação com a forma atualmente adotada pela empresa no processo de compra e estocagem de toners.

Um ponto de atenção e ressalva é que a demanda prevista impacta fortemente no resultado do modelo. Caso seja prevista uma demanda abaixo do real, o modelo então calculará uma quantidade de compra baixa, colocando em risco o estoque de segurança e o atendimento ao usuário final. Caso a demanda seja superestimada causará uma compra excessiva de insumos, compra essa que poderá ocorrer em um momento de alta nos preços, causando um maior prejuízo à empresa. Como extensão deste trabalho, poderia ser explorada a aplicação de técnicas de *machine learning* para aprimorar a precisão das previsões de demanda. A proposição de um modelo de programação dinâmica ou a utilização de simulações otimizadas poderiam ser alternativas interessantes para abordar o desafio da variabilidade da demanda.

Com a aplicação do modelo no período estudado nota-se a relevância que o uso da Pesquisa Operacional (**PO**), mais especificamente Programação Linear Inteira (**PLI**) para este caso, tem como um sistema de apoio à decisão dentro de organizações. Em situações cotidianas das empresas, o uso dessas ferramentas proporciona agilidade nos processos e uma base sólida para decisões sensíveis, como a compra e manutenção de um estoque.

Como os custos com frete e tamanho do lote não fizeram parte desse estudo, por escolha da empresa, estudos futuros podem ser realizados levando em consideração essas variáveis, agregando mais assertividade quanto aos custos totais envolvendo o estoque.

Você pode encontrar o código-fonte completo do meu Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) no GitHub. Confira aqui: Repositório do TCC <<https://github.com/WelberthMagalhaes/TCC>>.

## Referências

- ARAUJO, S. A. d.; ARENALES, M. N. Problema de dimensionamento de lotes monoestágio com restrição de capacidade: modelagem, método de resolução e resultados computacionais. *Pesquisa Operacional*, SciELO Brasil, v. 20, p. 287–306, 2000.
- ARENALES, M. et al. *Pesquisa Operacional para cursos de Engenharia*. [S.l.: s.n.], 2007.
- ARNOLD, J. T. *Administração de materiais: uma introdução*. [S.l.]: Atlas, 1999.
- BAHL, H. C.; RITZMAN, L. P.; GUPTA, J. N. Or practice—determining lot sizes and resource requirements: A review. *Operations Research*, INFORMS, v. 35, n. 3, p. 329–345, 1987.
- CHIAVENATO, I. *Gestão de Materiais: Uma Abordagem Introdutória*. 4. ed. Barueri [SP]: Atlas, 2022. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786559772889/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- CHRISTOFOLETTI, M. M. O problema integrado de dimensionamento de lotes e corte de estoque em uma indústria de colchões. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2018.
- FABRÍCIO, A. d. S. F.; CABRAL, L. d. A. F.; SUBRAMANIAN, A. Problema de dimensionamento de lotes e sequenciamento da produção: Um estudo de caso em uma indústria de bebidas. *XXVII Enegep*, 2007.
- GARCIA, N. J. M. et al. Uso da programação linear como ferramenta de gerenciamento de estoques em uma loja de artigos eletrônicos. *XXXV ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 2015.
- GUIMARÃES, N. A. Otimização dos custos de estoque por meio de um modelo de programação inteira: um estudo de caso em um posto de combustíveis. Niterói, 2016.
- HILLIER, F. S.; LIEBERMAN, G. J. *Introdução à pesquisa operacional*. Porto Alegre, RS, 2013. E-book. ISBN 9788580551198. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788580551198/>>.
- INFOMONEY. *CDI: O que é, como funciona e como se relaciona com seus investimentos*. 2022. Disponível em: <<https://www.infomoney.com.br/guias/cdi/#guia-o-que-e-cdi>>.
- PAOLESCHI, B. *Almoxarifado e gestão de estoques*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2019.
- PEINADO, J.; GRAEML, A. R. Administração da produção. *Operações industriais e de serviços*. Unicenp, 2007.
- PYTHON-MIP. *Python-MIP is a modelling tool developed to provide: - Ease of use - High performance - Extensibility*. 2022. Disponível em: <<https://www.python-mip.com/>>.
- QUADT, D.; KUHN, H. Capacitated lot-sizing with extensions: a review. *4OR*, Springer, v. 6, n. 1, p. 61–83, 2008.

SCHWITZKY, M. *Acuracidade dos Métodos de Previsão e a sua Relação com o Dimensionamento dos Estoques de Produtos Acabados*. Florianópolis, SC, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82190>>. Acesso em: 18 ago. 2022.

SLACK, N. et al. *Administração da produção*. 8. ed. São Paulo, SP, 2018. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597015386/>>. Acesso em: 18 ago. 2022.

TAHA, H. A. *Pesquisa Operacional. 8ª Edição*. [S.l.]: São Paulo: Person Prentice Hall, 2008.

TUBINO, D. F. *Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática*. 3. ed. – São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: <<https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597013726/>>. Acesso em: 15 nov. 2023.

VASCONCELLOS, M. A. S. de; GARCIA, M. E. *Fundamentos de economia*. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2002.