

**RAFAEL PEREIRA SASSAKI**

**Política de estoques em uma cadeia de suprimentos fechada multinível: uma aplicação no**  
mercado de adquirência

Guaratinguetá

2022

**Rafael Pereira Sasaki**

**Política de estoques em uma cadeia de suprimentos fechada multinível: uma aplicação no mercado de adquirência**

Dissertação apresentada para o exame de Defesa do Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Chaves

Guaratinguetá

2022

S252p	<p>Sasaki, Rafael Pereira</p> <p>Política de estoques em uma cadeia de suprimentos fechada multinível: uma aplicação no mercado de adquirência / Rafael Pereira Sasaki – Guaratinguetá, 2022.</p> <p>63 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 60-62</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2022.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Fernando Augusto Silva Marins</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. Antônio Augusto Chaves</p> <p>1. Cadeia de logística integrada. 2. Logística reversa. 3. Controle de estoque. I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 658.5</p>
-------	--

**RAFAEL PEREIRA SASSAKI**

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO  
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

**APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO**

  
**Prof. Dr. Gislaine Cristina Batistela**  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA:**



**Prof. Dr. FERNANDO AUGUSTO SILVA MARINS**

**Orientador - UNESP**

participou por videoconferência



**P/ Prof. Dr. ERNÉE KOZYREFF FILHO**

**UNESP**

participou por videoconferência



**P/ Prof. Dr. MARCIO PORTO BASGALUPP**

**UNIFESP**

participou por videoconferência

## **DADOS CURRICULARES**

### **RAFAEL PEREIRA SASSAKI**

**NASCIMENTO** 31/10/1987 – São Paulo / SP

**FILIAÇÃO** Teruo Sasaki  
Angelina Aparecida Pereira Sasaki

**2008/2013** Graduação em Administração de Empresas  
Escola de Administração de Empresas de São Paulo  
Fundação Getulio Vargas

**2018/2020** MBA em Logística e Supply Chain  
Fundação Getulio Vargas

Dedico este trabalho a todos os familiares, amigos, professores, colegas de trabalho, em especial ao meu orientador e coorientador que me guiaram e incentivaram para a conclusão do mestrado.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente gostaria de agradecer à minha família por sempre acreditar em mim, incentivando e oferecendo todo o suporte para que eu alcançasse todos os meus sonhos. Meu obrigado muito especial aos meus orientadores Professor Dr. Fernando Augusto Silva Marins e ao Professor Dr. Antônio Augusto Chaves pelo direcionamento, sugestões de melhoria e ensinamentos ao longo dessa jornada para a elaboração da dissertação.

*“Stop dreaming about your bucket list and start living it.”*

Annette White

## RESUMO

Devido à crescente preocupação acerca dos aspectos ambientais e à possibilidade de maximizar o valor dos recursos ao longo do ciclo de vida do produto, reduzindo desperdícios, a gestão da cadeia de suprimentos fechada ou *Closed Loop Supply Chain* (CLSC) tem chamado a atenção dos pesquisadores. Ao promover a coordenação e cooperação entre os membros da cadeia, um gerenciamento de estoque multinível efetivo tem sido reconhecido por reduzir o custo total de estoque. A política de estoque no mercado de aquisição ainda é um campo pouco explorado pela literatura. Para tanto, este trabalho modelou uma política de estoque aplicada a uma cadeia de suprimentos fechada multinível no mercado de aquisição de modo a propiciar uma contribuição para o meio acadêmico. Não obstante, observou-se uma oportunidade de construir a política de estoque sob a ótica do custo de estoque, frete e da falta. Sendo assim, o objetivo deste estudo foi de estabelecer a política de estoque para a gestão de uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis de maneira a atender às especificidades do mercado de aquisição de acordo com o nível de serviço esperado da empresa estudada. Os resultados indicam uma redução do custo total sem afetar negativamente o nível de serviço mínimo esperado pela empresa estudada, considerando o custo de aquisição, frete e da falta, além da influência do mix da composição de estoque na política de estoque.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cadeia de suprimentos fechada. Multiníveis. Política de estoque.

## **ABSTRACT**

Due to the growing concern about environmental aspects and the possibility of maximizing the value of resources throughout product's life cycle by reducing waste, the Closed Loop Supply Chain (CLSC) has drawn attention of researchers. By promoting the coordination and cooperation among supply chain members, an effective multi-echelon inventory management has been recognized for minimizing the total inventory cost. The inventory stock policy in acquiring industry is still poorly explored by literature. This paper models an application of inventory stock policy in a closed loop supply chain with multi-echelons in payment card industry to provide a contribution to the academic environment. Nevertheless, there is an opportunity to build the inventory policy from the perspective of the cost of inventory, freight, and shortage. Therefore, the objective of this study is to establish the inventory stock policy for a closed supply chain with multi-echelons to meet the specificities of the acquiring industry according to the expected service level of the studied company. The results indicate a reduction in the total cost without negatively affecting the minimum service level expected by the company studied, considering the cost of acquisition, freight, and shortages, in addition to the influence of the mix of inventory composition on the inventory policy.

**KEYWORDS:** Closed loop supply chain. Multi-echelon. Inventory policy.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistema de estoque híbrido com manufatura e remanufatura .....	17
Figura 2 - Etapas de pesquisa.....	23
Figura 3 - Fluxograma pesquisa.....	24
Figura 4 - Evolução da quantidade de citações por palavras-chave .....	25
Figura 5 - VOSviewer – “ <i>Inventory Control</i> ” e “ <i>Supply Chain</i> ” .....	26
Figura 6 - VOSviewer – “ <i>Inventory Management</i> ” e “ <i>Supply Chain</i> ” .....	27
Figura 7 - Metodologias para solução utilizadas .....	29
Figura 8 - Participação do Mercado das adquirentes .....	33
Figura 9 - Cadeia de suprimentos mercado de adquirência .....	35
Figura 10 - Impacto do $k$ no estoque de segurança .....	37
Figura 11 - Impacto do D.O.A. no estoque .....	38
Figura 12 - Impacto do insucesso na instalação no estoque .....	40
Figura 13 - Network Design – Mercado Adquirência .....	41
Figura 14 - Utilização do D.O.A e Cancelamento. na política de estoque.....	54
Figura 15 - Representação da dinâmica dos estoques .....	52

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo da pesquisa por palavras-chave.....	25
Tabela 2 - Impacto do fator de segurança para o produto 1 na base 1 .....	47
Tabela 3 - Parâmetros da composição de estoque para o produto 1 no CD 1 .....	49
Tabela 4 - Resultado Política de estoque nas bases avançadas .....	54
Tabela 5 - Representatividade dos custos.....	55
Tabela 6 - Política de Estoque em dias.....	56

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de reparo.....	17
Quadro 2 - Exemplo de Inputs do DRP.....	20
Quadro 3 - Classificação da pesquisa.....	22
Quadro 4 - Análise de sensibilidade – Cobertura (dias) necessária nos CDs.....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABECS	Associação Brasileira das Empresas de Cartões de Crédito e Serviços
API	<i>Application Programming Interface</i>
BRKGA	<i>Biased Random-Key Genetic Algorithm</i>
CADE	Conselho Administrativo de Defesa Econômica
CD	Centro de Distribuição
CLSC	<i>Closed Loop Supply Chain</i>
CLSCND	<i>Closed Loop Supply Chain Network Design</i>
BACEN	Banco Central
D.O.A.	<i>Death On Arrival</i>
DDMRP	<i>Demand Driven Material Requirements Planning</i>
DRP	<i>Distribution Requirements Planning</i>
EOL	<i>End Of Life</i>
EPR	<i>Extended Producer Responsibility</i>
IJPR	International Journal of Production Research
I&PP	<i>Inventory and Production Planning</i>
NC	Número de Citações
NP	Número de Publicações
ND	<i>Network Design</i>
MDR	<i>Merchant Discount Rate</i>
MRII	<i>Manufactured and Remanufactured Items Inventory</i>
MRP	<i>Material Requirements Planning</i>
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i>
PDV	Ponto De Venda
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
POS	<i>Point Of Sale</i>
RL	<i>Reverse Logistics</i>
RSC	<i>Reverse Supply Chain</i>
SAA	<i>Sample Average Approximation</i>
SBDC	Sistema Brasileiro de Defesa da Concorrência
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
S&OP	<i>Sales and Operations Planning</i>
SKU	<i>Stock Keeping Unit</i>

TOC	<i>Theory Of Constraints</i>
UII	<i>Used Itens Inventory</i>

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1	CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA.....	15
1.2	OBJETIVOS, DELIMITAÇÃO, JUSTIFICATIVAS E LACUNAS DE PESQUISA...	18
1.3	ETAPAS E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....	21
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	23
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>24</b>
2.1	PESQUISA BIBLIOGRÁFICA.....	24
<b>2.1.1</b>	<b>Seleção dos artigos</b> .....	<b>24</b>
2.2	CADEIA DE SUPRIMENTOS FECHADA.....	27
<b>2.2.1</b>	<b>Gerenciamento e controle de estoque</b> .....	<b>29</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Desenho da cadeia de suprimentos</b> .....	<b>31</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA</b> .....	<b>33</b>
3.1	CONTEXTO DA EMPRESA ESTUDADA .....	33
3.2	DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	36
3.3	MODELO MATEMÁTICO .....	42
3.4	RESULTADOS COMPUTACIONAIS .....	53
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	<b>58</b>
4.1	VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA .....	58
4.2	SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO .....	58
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>60</b>
	<b>APÊNDICE A – MODELO ILUSTRATIVO EM EXCEL</b> .....	<b>63</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA E QUESTÃO DE PESQUISA

O Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos ou *Supply Chain Management* (SCM), na sua forma clássica, isto é, a logística direta, pode ser definido como um sistema composto por fornecedores, fábricas, serviços de distribuição e clientes que estão conectados por um fluxo de materiais até o cliente final (*downstream*) e recebem o fluxo de informações (pedidos) no sentido inverso (*upstream*) (ISLAM; HUDA, 2018).

Já a logística reversa, de forma geral, inicia-se a partir do cliente final, sendo definida como o processo de planejamento, implementação, controle da eficiência, custo efetivo do fluxo de materiais, estoque em processo, produtos acabados e informações relacionadas do ponto de consumo ao ponto de origem com o propósito de recuperar o valor ou o descarte apropriado. Isto é, maximizar o valor dos recursos ao reduzir o desperdício, contribuindo com a lucratividade das empresas por meio da recuperação dos materiais utilizados (KAZEMI; MODAK; GOVINDAN, 2018).

De acordo com Guide e Van Wassenhove (2009), o cliente final pode originar a logística reversa do produto por diversos motivos ao longo do ciclo de vida do produto como o destrato comercial (quando um cliente se arrepende da aquisição), final de uso do produto (substituição do produto por uma tecnologia melhor) e o final da vida do produto (obsolescência do produto).

Após a solicitação dos usuários finais em que os produtos são direcionados para a logística reversa, há a tentativa de gerenciar o final da vida do produto por meio de diferentes decisões conforme proposto por Govindan, Soleimani, Kannan (2015):

1. Reciclagem (para ter mais matéria prima ou partes);
2. Remanufatura (para revender a mercados secundários ou, se possível, a clientes primários);
3. Reparo (para vender em mercados secundários por meio do reparo);
4. Descarte de partes usadas.

Essas formas de retorno, associadas às crescentes regulamentações ambientais, práticas sustentáveis e ao potencial de recuperação de materiais fizeram com que a logística reversa tenha ganhado cada vez mais relevância nos últimos anos. À medida que várias indústrias estão gerando cada vez mais resíduos, diversos governos ao redor do mundo passaram a obrigar os produtores/fabricantes a implementar a responsabilidade do produtor estendida também conhecida como *EPR – Extended Producer Responsibility* (ISLAM; HUDA, 2018).

No Brasil, a Lei nº12.305/10 instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) para reduzir a geração de resíduos sólidos, bem como a destinação correta dos rejeitos, exigindo tanto do setor público quanto do setor privado a transparência no gerenciamento dos resíduos sólidos.

Quando é considerado o fluxo da logística direta e reversa de forma simultânea, denomina-se cadeia de suprimentos fechada ou *Closed Loop Supply Chain* (CLSC). Com a integração da logística reversa com a cadeia de suprimentos convencional é possível maximizar o valor dos recursos e reduzir os desperdícios, sendo definido como o desenho, controle e a operação de um sistema de modo a maximizar a criação de valor em todo o ciclo de vida de um produto com uma recuperação dinâmica do valor de diferentes formas e volumes do retorno ao longo do tempo (MAWANDIYA; JHA; THAKKAR, 2018).

Por isso, o CLSC leva a algumas evoluções no modelo no gerenciamento da SCM ao considerar novos objetivos, restrições, além de realizar a recuperação e valorização das atividades dos produtos ao final do seu ciclo de vida – *End Of Life* (EOL). A principal forma de valorização consiste na remanufatura do produto ou partes dele para serem usadas como novos produtos ou partes (GODICHAUD; AMODEO, 2015).

Este potencial econômico é possível visto que a maior parte da reversa requer apenas reparos leves como limpeza e cosmético. Contudo, alguns produtos oriundos da reversa, classificados como final de uso, podem ter sido utilizados de forma muito intensa, originando a necessidade de reparos mais severos de remanufatura (GUIDE; VAN WASSENHOVE, 2009).

O único processo de recuperação que atende às especificações de desempenho do fabricante de equipamento original - *Original Equipment Manufacturer* (OEM) – é o processo de remanufatura. No entanto, os demais processos de recuperação podem ser lucrativos se entregarem itens que sejam tão bons quanto os novos. Os sistemas mais comuns de recuperação, bem como suas definições podem ser encontrados no Quadro 1 (DEV; SHANKAR; CHOUDHARY, 2017).

Quadro 1 - Tipos de reparo

Sistemas de recuperação	Definição
Reutilização	Nenhum componente ou material é substituído
Reparo	Corrigir ou substituir algumas partes do produto que estejam levemente danificadas
Remanufatura	Os produtos são desmontados completamente e as partes com condições de uso são limpas, reformadas e colocadas no estoque reparado

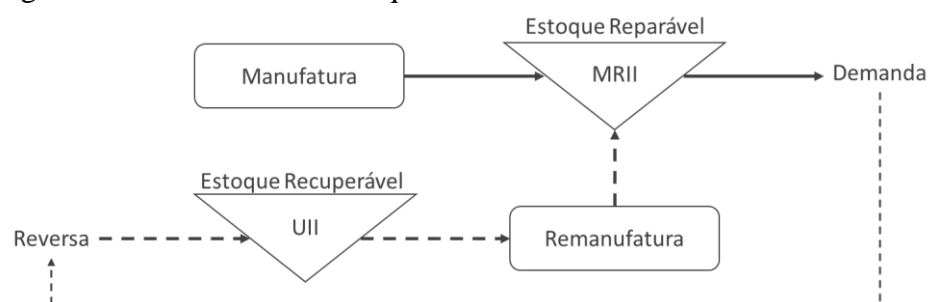
Fonte: Adaptado de Dev; Shankar; Choudhary (2017).

Para tornar as atividades no processo da cadeia de suprimentos com alto padrão de qualidade e serviços para o cliente, a integração de toda a cadeia de valor é fundamental. Para alcançar este nível de performance, as empresas precisam de um design ótimo da rede da cadeia de suprimentos fechada, também conhecido como *Supply Chain Network Design* (SCND). Contudo, esta abordagem gera, em alguns casos, decisões não factíveis ou conflitantes ao integrar multiníveis em virtude da complexidade inerente deste tipo de modelagem (ARAYA-SASSI; PAREDES-BELMAR; GUTIÉRREZ-JARPA, 2020).

Outro tema relevante em uma SCND integrada é a seleção de uma política de estoque adequada, a qual deve endereçar o problema de quanto e quando fazer os pedidos dos produtos que, associada ao planejamento de produção, tem-se o *Inventory and Production Planning* (I&PP). Na presença de multiníveis, o I&PP é amplamente reconhecido por reduzir o custo médio total de estoque ao promover a coordenação e a cooperação entre os membros da cadeia de suprimentos (ESCORCIA-CABALLERO; AMAYA-MIER; SOTO-FERRARI, 2020).

Nos sistemas de I&PP, há duas maneiras que o estoque dos itens reparáveis pode ser aumentado: manufatura e remanufatura. Em um sistema híbrido há dois pontos de estoque, sendo o primeiro o de itens usados, isto é, estoque recuperável com pequenos danos – *Used Items Inventory* (UII) e o segundo estoque de itens manufaturado e remanufaturado - *Manufactured and Remanufactured Items Inventory* (MRII) conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 - Sistema de estoque híbrido com manufatura e remanufatura



Fonte: Dev; Shankar; Choudhary (2017).

Diversos métodos numéricos avançados podem ser utilizados para resolver o problema de controle de estoque, tornando um campo altamente multidisciplinar que atrai pesquisadores de diferentes frentes acadêmicas. Embora a questão fundamental sobre a teoria de controle de estoque seja a de determinar o tempo e a quantidade que deve ser reabastecida, cada problema em particular pode ser notadamente diferente dos demais, repletos de especificidades (JACKSON; TOLUJEVS; KEGENBEKOV, 2020).

Sendo assim, o presente trabalho se propõe a responder à seguinte questão de pesquisa: como definir a política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis, mantendo o nível de serviço esperado da empresa estudada?

## 1.2 OBJETIVOS, DELIMITAÇÃO, JUSTIFICATIVAS E LACUNAS DE PESQUISA

O objetivo geral desta dissertação foi propor uma política de estoque para a gestão de uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis, de maneira a atender às especificidades do mercado de adquirência, de acordo com o nível de serviço esperado da empresa estudada.

Os objetivos específicos são:

- 1 – Modelar uma cadeia de suprimentos fechada para o mercado de adquirência
- 2 – Identificar as principais variáveis que influenciam neste modelo

Este trabalho será limitado à definição de política de estoque do principal *Stock Keeping Unit* (SKU) – em uma cadeia de suprimentos fechada multinível de uma empresa do segmento de adquirência. A intenção deste trabalho não é abordar o assunto de previsão de demanda, quantidade ideal de centros de distribuição ou bases avançadas.

As principais justificativas para o desenvolvimento desta pesquisa são a de garantir um gerenciamento de estoque efetivo com o intuito de minimizar o custo médio de estoque ao promover a coordenação e a cooperação entre os seus elos e garantir o nível de serviço esperado da empresa estudada.

Com a redução do ciclo de vida dos produtos devido à mudança na preferência dos consumidores, avanços tecnológicos, esquemas promocionais para a troca de produtos tem criado uma grande oportunidade para a reutilização, remanufatura dos produtos reversados.

A reutilização não apenas contribui para as questões ambientais como também reduz o custo do produto final visto que os componentes remanufaturados, ou recondicionados, são invisíveis para os clientes, isto é, geram o mesmo valor que um item novo (MAWANDIYA; JHA; THAKKAR, 2018).

Por isso, a Logística Reversa - LR (PRAKASH *et al.*, 2020) desempenha um papel de extrema importância ao integrar com o SCM convencional, pois é capaz de maximizar o valor dos recursos e reduzir o desperdício, além de ajudar as empresas a aumentarem os seus lucros por meio da recuperação dos materiais usados (KAZEMI; MODAK; GOVINDAN, 2018).

Para viabilizar a reutilização dos produtos, é preciso que uma nova política de controle de estoque seja implementada para operar a cadeia de suprimentos, considerando diferentes tipos de incertezas relacionadas ao suprimento de novos produtos (demanda e prazos) e o gerenciamento dos produtos da reversa (retorno e prazos) (GODICHAUD; AMODEO, 2015).

Associado a este impacto, a LR impacta diretamente na logística direta, principalmente em se tratando de uma cadeia de suprimentos fechada em função do seu alto nível de interdependência, já que a remanufatura chega a representar aproximadamente 70% dos terminais que são instalados nos clientes conforme dados de uma das maiores empresas de meios de pagamentos eletrônicos do Brasil.

Na cadeia de suprimentos fechada, é preciso avaliar a quantidade de estoque necessário para atender à demanda, considerando as possibilidades de disponibilizar os produtos, seja no formato de remanufatura ou aquisição de acordo com o *Material Requirements Planning (MRP)*. Isto é, o MRP considera a imprevisibilidade na reutilização de componentes e dos tempos de processamento de cada atividade durante a remanufatura, definindo quando e quanto produzir (SITCHARANGSIE; IJOMAH; WONG, 2019).

Além do MRP, as decisões sobre a estratégia de distribuição para garantir o alto nível de serviço com baixo custo de estoque, denominado de *Distribution Requirements Planning (DRP)*, influenciam diretamente a política de estoque. Isto é, o custo total, que é composto pelo custo de alocação fixa, manutenção de estoque, aquisição, transporte e de pedidos, pode ser reduzido por meio das estratégias adotadas pelo DRP (FIROOZI *et al.*, 2020).

O DRP se tornou um método efetivo para controle de estoque para multiprodutos e multiníveis no que tange à distribuição com o intuito de obter uma visibilidade total do nível de estoque em cada nó da cadeia de suprimentos. Para isso, o DRP considera uma grande quantidade de variáveis com o intuito de minimizar o custo total de manufatura e transporte conforme exemplificado no Quadro 2 (CHO *et al.*, 2016).

Quadro 2 - Exemplo de Inputs do DRP

Previsão por depósito
Pedidos dos clientes
Estoque disponível para venda
Compra e/ou pedidos da manufatura
Entrega e tempo de produção
Política de estoque de segurança
Mínima quantidade de compra, produção e distribuição

Fonte: CHO *et al.* (2016).

Com uma política de estoque efetiva, é possível minimizar o custo total conjunto – *joint total cost* – da cadeia de suprimentos fechada ao considerar a soma dos custos do varejista, fabricante e centros de reparos. Para tanto, é preciso encontrar o tamanho do lote ideal, bem como a política de envio para cada entidade do CLSC (MAWANDIYA; JHA; THAKKAR, 2018).

Contudo, devido ao alto grau de complexidade dos problemas orientados para os negócios, a teoria de controle de estoque adota um vasto arsenal de métodos de diferentes disciplinas científicas. Isso provoca um entrave de dimensionalidade em problemas reais de controle de estoque tanto no âmbito analítico quanto teórico, provocando uma dificuldade na resolução de forma explícita em um tempo computacional factível. Por isso, nos problemas de controle de estoque, frequentemente são utilizados alguns tipos de aproximação (JACKSON; TOLUJEVS; KEGENBEKOV, 2020).

Embora o problema de política de estoque tenha sido amplamente estudado por diversos autores nos últimos anos, ainda há muitas lacunas na literatura que impedem profissionais e a indústria de atingirem os requisitos para representar de forma realista a complexidade e as incertezas das necessidade da SCND (ARAYA-SASSI; PAREDES-BELMAR; GUTIÉRREZ-JARPA, 2020).

As principais lacunas encontradas ao longo desta pesquisa estão relacionadas à definição da política de estoque, considerando uma cadeia de suprimentos fechada com grande influência da LR na produção.

A maioria dos modelos presentes na literatura não consideram a relação entre a LR e a demanda uma vez que há o aumento de complexidade quando considerados de forma simultânea. Para minimizar a complexidade, a maioria da literatura considera a demanda e a LR de forma independente ou utilizam o relaxamento das hipóteses (ZERHOUNI; GAYON; FREIN, 2013).

A maior parte da literatura considera modelos estáticos, isto é, os parâmetros da cadeia de suprimentos são conhecidos e não variam ao longo do tempo. Em relação ao tipo das cadeias de suprimentos, geralmente são consideradas cadeias de suprimentos seriais com um ou dois níveis produtivos (PACHECO, 2017).

Embora Zerhouni, Gayon, Frein (2013) tenham demonstrado a influência entre a LR e a reversa por meio de um algoritmo para computar o nível de estoque ideal, respeitando os parâmetros da cadeia de suprimentos como índices de chegada, produção, retorno, e os custos de produção, perda de venda, custo da reversa e de manutenção, o modelo proposto não considera o problema conjunto do controle da manufatura e remanufatura.

Em se tratando de uma cadeia de suprimentos com multiníveis, há uma falta de simulações e aplicações voltadas a um contexto real em virtude da complexidade computacional associada à implementação da política de estoque multiníveis. Adicionalmente, uma avaliação de uma política de estoque em multiníveis em uma cadeia de suprimentos mais complexa pode oferecer ideias interessantes associadas ao desempenho do estoque (ESCORCIA-CABALLERO; AMAYA-MIER; SOTO-FERRARI, 2020).

Além disso, notou-se, a partir da revisão da literatura, a existência de poucos artigos relacionados ao mercado de adquirência, demonstrando ser um campo ainda pouco explorado. Isto é, pesquisou-se as palavras chaves “*acquirer*” (adquirência) e “*Supply Chain Management*” (Gestão da cadeia de suprimentos) e não houve resultados para esta pesquisa. Para tanto, foi realizada uma nova pesquisa apenas com a palavra “*acquirer*” que apresentou uma seleção de 766 artigos publicados nos últimos cinco anos. Porém, todos os artigos relacionados a adquirência estavam relacionados ao campo de finanças corporativas como, por exemplo, fusões e aquisições; governança corporativa e finanças.

Sendo assim, este trabalho pretende contribuir com esta lacuna ao definir uma política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis que atenda às especificidades do mercado de adquirência, podendo proporcionar um grande impacto nesta cadeia ao evitar estoques desnecessários e onerosos.

### 1.3 ETAPAS E CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

Para explorar o interesse da comunidade científica acerca deste tema, bem como as aplicações práticas e contemporaneidade deste trabalho, foi realizado um estudo bibliométrico para caracterizar as lacunas de pesquisa que esta dissertação buscará preencher que será descrito na sequência.

Por ser orientado aos problemas específicos do mercado de adquirência, baseado no problema de uma das maiores adquirentes do Brasil, a pesquisa tem a sua natureza classificada como pesquisa aplicada com abordagem quantitativa. Em relação à classificação, este trabalho é considerado empírico normativo visto que busca melhorar a situação corrente a partir do desenvolvimento de políticas, estratégias e ações (MIGUEL *et al.*, 2018).

A fim de representar uma situação de forma sistemática com o intuito de auxiliar na compreensão do problema estudado, será utilizado o método de modelagem e simulação (MIGUEL *et al.*, 2018). Para isso, serão realizadas formulações matemáticas para a resolução do problema de política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis.

Para tanto, as variáveis e os níveis serão tratados a partir dos dados de uma das maiores empresas de adquirência do Brasil com o intuito de desenvolver uma política de estoque adequada à realidade deste segmento. Sendo assim, a classificação da pesquisa deste trabalho será categorizada conforme exposto no Quadro 3.

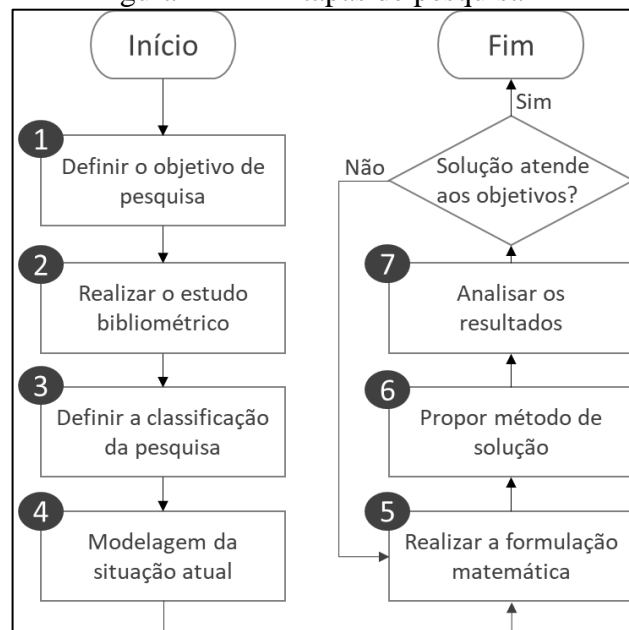
Quadro 3 - Classificação da pesquisa

Natureza	Aplicada
Abordagem	Quantitativa
Tipo de pesquisa	Modelagem e Simulação
Classificação	Empírico Normativa

Fonte: Adaptado de Tramarico (2016).

Para a elaboração deste trabalho, após a definição do objetivo de pesquisa, realização do estudo bibliométrico e classificação da pesquisa, este trabalho realizará a modelagem e a formulação matemática da situação atual da empresa estudada com o intuito de propor um método de solução conforme Figura 2.

Figura 2 - Etapas de pesquisa



Fonte: Autoria própria.

Após o desenvolvimento da solução, serão analisados os resultados de modo a identificar o atingimento do objetivo proposto. Caso a solução não atenda aos objetivos, a formulação matemática será revisada até atingir o resultado esperado.

#### 1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi estruturado em mais três capítulos, subdivididos em seções.

No Capítulo 2 é apresentada a abordagem metodológica utilizada no desenvolvimento desta pesquisa, sendo composto pelas seções que abrangem o detalhamento da pesquisa bibliográfica. A fundamentação teórica acerca da política de estoque em CLSC é apresentada, englobando o *network design* e política de estoque.

No Capítulo 3 ocorre o desenvolvimento da pesquisa, demonstrando o contexto da empresa estudada, as características operacionais do mercado de aquisição que opera no formato de CLSC, o problema estudado, o modelo adotado pela empresa e o modelo proposto.

No Capítulo 4 apresentam-se as conclusões parciais do trabalho com a verificação dos objetivos já atingidos, respostas às questões de pesquisa, e sugestões para continuidade deste trabalho. Finalmente apresentam-se as referências bibliográficas utilizadas para a elaboração deste texto.

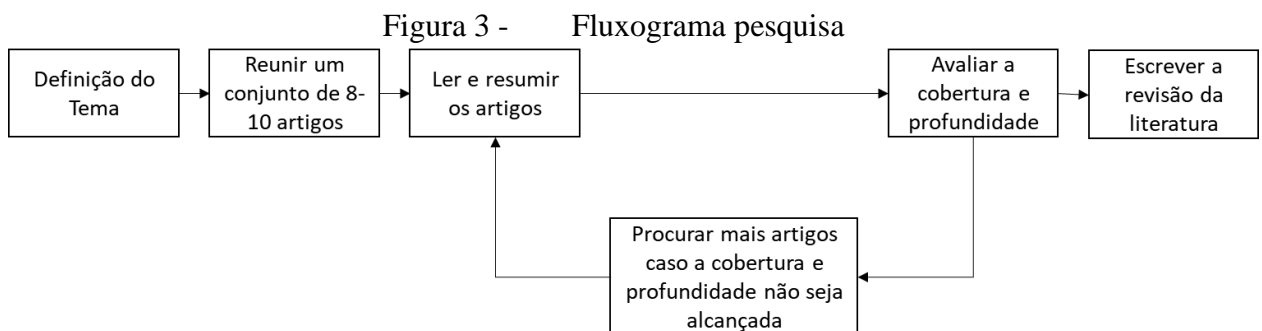
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

O objetivo deste capítulo é mostrar como a pesquisa será desenvolvida ao longo deste trabalho, além de identificar as principais referências, lacunas e oportunidades acerca do problema de definição de política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis.

### 2.1 PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

Esta etapa busca demonstrar como foi estruturada a seleção dos artigos relacionados ao problema de definição de política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis com o intuito de avaliar o que a literatura tem abordado.

Para isso, este trabalho seguirá as diretrizes propostas por Nakano e Muniz (2018) conforme ilustrado na Figura 3.



Fonte: Nakano; Muniz (2018).

#### 2.1.1 Seleção dos artigos

Neste trabalho, as principais plataformas utilizadas para a pesquisa foram: *Scopus* (<http://www.scopus.com>) e *Web of Science* (WOS, <https://webofknowledge.com>). Para a seleção dos artigos, foram pesquisados apenas os artigos publicados entre 2009 e 2020, além de filtrar pelo tipo de documento sendo “*Article or Review*” no Scopus e “*Review Articles*” or “*Research articles*” na *Web of Science*.

Para avaliar a relevância dos artigos selecionados, optou-se por ordenar pelo número de citações. A priori, foram pesquisadas apenas as palavras chaves de forma isolada e, em seguida, com a combinação das palavras chaves, encontrando os seguintes resultados com a quantidade de publicações e citações conforme a Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo da pesquisa por palavras-chave

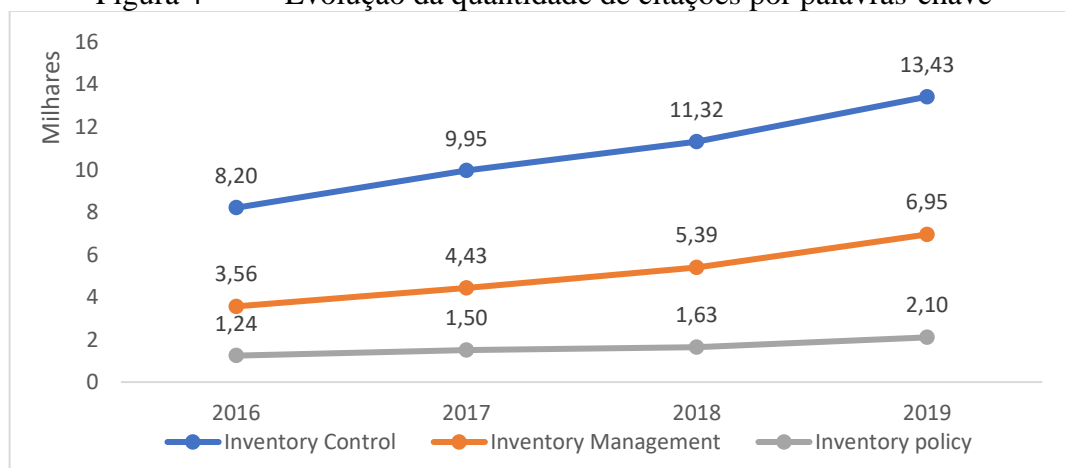
Plataforma	Palavras chaves	NP	NC
Scopus	<i>Inventory Control</i>	5.274	65.121
	<i>Inventory Management</i>	2.971	28.788
	<i>Inventory policy</i>	868	9.596
	<i>Inventory Control and closed loop supply chain</i>	55	698
	<i>Inventory Management and closed loop supply chain</i>	25	458
	<i>Inventory Policy and closed loop supply chain</i>	11	95
	<i>Inventory Control and Multi-echelon</i>	187	2.708
WOS	<i>Inventory Control</i>	2.751	
	<i>Inventory Management</i>	3.388	
	<i>Inventory policy</i>	649	
	<i>Inventory Control and closed loop supply chain</i>	30	
	<i>Inventory Management and closed loop supply chain</i>	31	
	<i>Inventory Policy and closed loop supply chain</i>	9	
	<i>Inventory Control and Multi-echelon</i>	96	

Abreviações: NP = Número de Publicações; NC = Número de Citações

Fonte: Scopus e WOS (2020).

Conforme demonstrado na Tabela 1, as plataformas *Scopus* e *WOS* possuem relevância similar no que tange à pesquisa do problema de controle de estoque. A busca pela combinação das palavras chaves auxilia no refinamento da busca. Além da quantidade expressiva de citação com as palavras chaves, a Figura 4 mostra o aumento da relevância que o problema de controle de estoque tem ganhado nos últimos anos.

Figura 4 - Evolução da quantidade de citações por palavras-chave



Fonte: Scopus (2020).





consumidores finais (KAZEMI; MODAK; GOVINDAN, 2018), mas passam a olhar de uma maneira mais ampla levando em consideração a logística reversa.

Para criar este fluxo reverso, alguns fabricantes têm criado programas de incentivo de devolução dos produtos ao final da sua vida útil ou de seu uso para os varejistas coletarem e devolverem os produtos. Por isso, a LR é considerada o centro da cadeia de suprimentos fechada que coordena os fluxos da logística direta e reversa, permitindo a criação de um novo ciclo de vida para aquele produto (KAZEMI; MODAK; GOVINDAN, 2018).

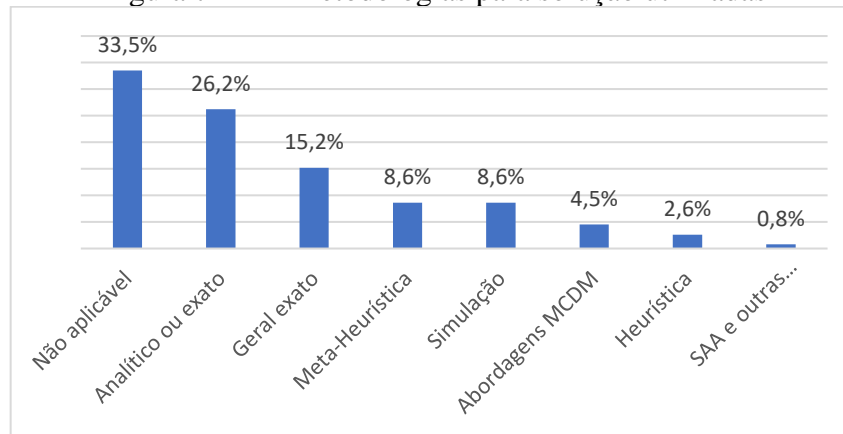
Para coordenar este fluxo da cadeia de suprimentos com multiníveis, Clark e Scarf foram os pioneiros ao introduzir este conceito de estoque multiníveis. O controle da política de estoque para sistemas multiníveis tem sido amplamente estudado na literatura organizacional (ESCORCIA-CABALLERO; AMAYA-MIER; SOTO-FERRARI, 2020).

O aspecto central nesses estudos é a definição do ponto de ressuprimento, baseado no estoque do elo ao invés de considerar o estoque de instalação. Já a posição do estoque é determinada pelo estoque disponível em cada elo, acrescentado o estoque em trânsito e a posição de estoque dos elos subsequentes na cadeia. Com isso, a política de estoque com multiníveis considera o efeito que as decisões de estoque exercem nos demais elos da cadeia de suprimentos (ERUGUZ *et al.*, 2016).

Uma revisão da literatura realizada por Escorcia-Caballero, Amaya-Mier, Soto-Ferrari (2020) revela uma falta de casos reais de simulação e aplicações em virtude da complexidade computacional associada à implementação da política de estoque multiníveis, sendo a maior parte desses modelos assumem uma demanda externa estacionária ou estocástica com o objetivo de estabelecer uma equação em função do custo total da cadeia de suprimentos que determina qual o tamanho de lote ótimo ( $Q^*$ ) para ser solicitado.

O principal objetivo da simulação é replicar os efeitos e custos dentro de um contexto real da cadeia de suprimentos. Para tanto, várias abordagens são mais utilizadas pelos pesquisadores para resolver os problemas matemáticos em CLSC, sendo divididos em sete principais categorias conforme está disposto na Figura 7.

Figura 7 - Metodologias para solução utilizadas



Fonte: Govindan; Soleimani; Kannan (2015).

Os métodos denominados analíticos, ou exatos, são complicados e limitados na resolução de problemas de larga escala. Alguns pesquisadores buscam resolver os problemas desta natureza com solucionadores exatos como o Lingo 19.0, GAMS 25.0.2, CPLEX 12.8 e Gurobi. Já as técnicas de *Sample Average Approximation* (SAA) são mais frequentes nos problemas de otimização estocástico e outros métodos de aproximação. Para resolução de problemas de larga escala, algoritmos de heurística e meta-heurística como o *Genetic algorithm* (GA), *Simulated Annealing* (SA), *Tabu Search* (TS) ou *Ant Colony* (AC) são mais comumente utilizados (GOVINDAN; SOLEIMANI; KANNAN, 2015).

### 2.2.1 Gerenciamento e controle de estoque

O gerenciamento ótimo de estoque se tornou o principal objetivo para, simultaneamente, reduzir custos e melhorar o serviço ao cliente em um ambiente que tem se tornado cada vez mais competitivo. Por isso o aumento do interesse em modelos que resolvem problemas abrangentes em escopo e que integram vários níveis de decisão (RODRIGUEZ *et al.*, 2014).

Em uma cadeia de suprimentos multiníveis, o controle de estoque é ainda mais relevante visto que um gerenciamento de estoque efetivo em cada ponto de estoque é crítico a fim de garantir um alto nível de serviço aos seus clientes no menor custo possível. Para isso, cada ponto de estoque precisa manter um certo nível de estoque de segurança para absorver a variação da demanda (CHEN; LI, 2015).

Um dos níveis de decisões está relacionado ao *Distribution Requirements Planning* (DRP) – que define as decisões ótimas sobre quando e quanto pedir, podendo ser resolvidas pelas técnicas tradicionais de otimização como, por exemplo, modelos clássicos como o EOQ

– *Economic Order Quantity*, porém baseado no modelo da logística reversa para itens reparados em condições tão boas quanto a de itens novos (HASANOV; JABER; TAHIROV, 2019).

As principais políticas de estoque que podem ser consideradas o alfabeto do controle de estoque, de acordo com Jackson, Tolujevs e Kegenbekov (2020), são:

1.  $(R,S) \rightarrow$  o nível do estoque é revisado a cada  $R$  período. Após a revisão, um pedido é realizado de modo a levar o nível do estoque para  $S$ ;
2.  $(R,s,S) \rightarrow$  o nível do estoque é revisado a cada  $R$  período e assim que ultrapassa o ponto de ressuprimento  $s$ , um pedido é realizado de modo a levar o nível do estoque para  $S$ ;
3.  $(r,Q) \rightarrow$  política mais simples em que o estoque é revisto continuamente e assim que atinge o limiar  $r$ , um pedido  $Q$  é colocado;
4.  $(s,S) \rightarrow$  é a mesma que  $(R,s,S)$ , considerando o fato do nível de estoque ser revisado continuamente.

No que tange à política de estoque do *Material Requirements Planning (MRP)*, o nível de proteção é flexionado para cima ou para baixo de acordo com os parâmetros operacionais, mudanças no mercado e planejamento ou eventos futuros conhecidos (CHO *et al.*, 2016).

Cho (2016) propõe uma abordagem denominada *Demand Driven Material Requirements Planning (DDMRP)* que é baseada nos conceitos de *Material Requirements Planning (MRP)*, *Distribution Requirements Planning (DRP)*, *Lean Six Sigma* e *Theory Of Constraints (TOC)*. O intuito desta abordagem é de absorver a variabilidade ao longo da cadeia de suprimentos ao reduzir o horizonte de planejamento e comprimir os *lead times*.

Em relação às decisões sobre o gerenciamento de estoque, há dois conceitos que geralmente são utilizados: puxado e empurrado. No primeiro caso, o varejista precisa realizar o pedido antes da temporada de vendas iniciar e suportar todo o risco do estoque. Já o estoque empurrado, o fornecedor mantém o estoque e suporta o risco completo do estoque (WANG *et al.*, 2017).

Uma cadeia de suprimentos com multiníveis é considerada uma estrutura de rede comum para as grandes empresas que precisam gerenciar uma grande quantidade de produtos com diversos fornecedores. No nível tático, a definição da rede de distribuição origina o problema de otimização do controle de estoque.

Os modelos tradicionais de otimização tendem a reduzir o problema para um conjunto de níveis independentes de controle de estoque para manter o problema resolvível, negligenciando a interdependência entre os elos. Isso pode descartar algumas oportunidades de posicionamento ou estratégias de cobertura de estoque (FIROOZI; BABAI; KLIBI; DUCQ, 2020).

## 2.2.2 Desenho da cadeia de suprimentos

*Network design (ND)* ou desenho da cadeia de suprimentos possui uma grande relevância estratégica devido ao seu impacto na eficiência e responsividade da cadeia de suprimentos, pois lida com a quantidade e localização dos centros de distribuição, alocação dos fluxos entre os centros de distribuição, adequação da capacidade e controle dos fluxos (GODICHAUD; AMODEO, 2015).

Em uma cadeia de suprimentos fechada, a configuração das malhas logística direta e reversa exerce uma grande influência na performance de cada uma, por isso devem ser consideradas de forma integrada ( PISHVAEE; RABBANI; TORABI, 2011). Este tema é ainda mais relevante na logística reversa, já que a quantidade e qualidade dos produtos reversados possuem uma maior incerteza quando comparado com a logística direta.

Os fluxos de retorno geram novos elementos de incerteza como a reversa e os *lead times*, podendo originar muitas soluções. Nesse contexto, os tomadores de decisão precisam escolher uma configuração para atingir vários objetivos relacionados à satisfação dos clientes e minimizar os custos. Por isso, a otimização do controle de inventário é um tema complexo (GODICHAUD; AMODEO, 2015).

Em uma cadeia de suprimentos fechada, a etapa que mais agrega valor consiste na reutilização ou reparo dos produtos, bem como o aproveitamento dos componentes. Quando a taxa da demanda é maior do que a reversa, tanto a manufatura quanto a remanufatura é utilizada para a composição do estoque ( DEV; SHANKAR; CHOUDHARY, 2017).

Sendo assim, em um sistema de estoque híbrido, as decisões relacionadas à aquisição de novos produtos, bem como o processo de recuperação precisam de um gerenciamento simultâneo. Além disso, a política de estoque precisa levar em consideração diferentes tipos de incertezas relacionadas ao fornecimento de novos produtos (demanda, *lead times*), gerenciamento da LR (logística reversa, *lead times*) (GODICHAUD; AMODEO, 2015).

Adicionalmente, em virtude da interdependência das decisões do CLSC, o *network design* deve ser realizado de forma simultânea. Quando o fluxo reverso e direto são considerados separadamente, são gerados resultados subótimos (PRAKASH *et al.*, 2020).

A complexidade do modelo do ND depende das características da cadeia de suprimentos, sendo as principais conforme proposto por Akçali, Cetinkaya, Uster (2012):

1. Tipo de rede – SCM, RSC, CLSC
2. Modelo do ND – Estático ou Dinâmico
3. Modelagem da demanda – Determinística ou estocástica

4. Horizonte de planejamento
5. Estrutura da rede – Quantidade de níveis
6. Premissas dos fluxos

Os modelos de ND são categorizados de acordo com o nível de integração entre os fluxos direto e reverso, bem como a modelagem do abastecimento no fluxo reverso. Não obstante, o tipo do processo de recuperação dos itens, o volume que será reciclado, itens reutilizados e a remanufatura influenciam na categorização do *ND*. Sob a ótica da modelagem, a interação entre a logística direta e reversa é capturada pela definição das relações entre o produto e os fluxos reversos associados com a demanda do último nível da cadeia de suprimentos (AKÇALI; CETINKAYA; USTER, 2012).

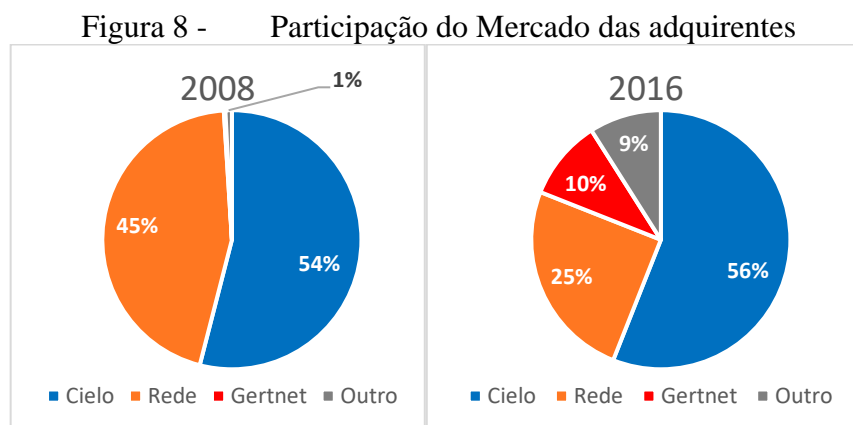
### 3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E SOLUÇÃO PROPOSTA

#### 3.1 CONTEXTO DA EMPRESA ESTUDADA

O mercado de meios eletrônicos de pagamentos, até 2010, era dominado pela REDE (antiga Redecard) e a CIELO (antiga Visanet), sendo as responsáveis pelo duopólio de captura dos cartões Mastercard e VISA respectivamente. Contudo, após as recomendações do BACEN (Banco Central) e as regulações do CADE (Conselho Administrativo de Defesa Econômica), este mercado foi aberto para outros competidores quando a Redecard e a Visanet passaram a capturar, oficialmente, transações com as demais bandeiras concorrentes (BOGOSSIAN, 2019).

Por se tratar de um mercado com alta rentabilidade, poucos competidores que representam mais de 5,1 milhões de máquinas de cartão (POS e PDV), além de ser responsável por mais de R\$1,36 trilhão em compras com cartões em 2017, novos concorrentes passaram a fazer parte deste atrativo mercado, tornando-o cada vez mais competitivo. Isto é, as margens e os valores de aluguéis passaram a sofrer uma pressão do mercado para baixarem. Com isso, os grandes nomes do mercado de aquisição como REDE e CIELO passaram a perder cada vez mais participação (CHACON, 2018).

Um exemplo da diminuição da representatividade por quantidade de estabelecimentos ativos é a redução da participação das duas maiores empresas, Cielo e REDE, saindo de uma representatividade de 99% em 2008 para 81% em 2016, conforme está ilustrado na Figura 8.



Fonte: Perez; Bruschi (2018).

O *modus operandi* deste segmento consiste, principalmente, no formato de comodato em que os terminais são alugados para os clientes mediante a uma taxa por transação *Merchant*

*Discount Rate* (MDR) e aluguel. Contudo, para alguns casos, o aluguel é isento conforme negociação comercial.

No que tange à logística deste segmento, trata-se de uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis, incluindo os clientes, bases avançadas, centros de distribuição, laboratórios e fornecedores.

Há três formas de serviço que o cliente pode solicitar: instalação, troca e desinstalação. A instalação ocorre quando os clientes solicitam um terminal, seja o seu primeiro ou um adicional. Já a troca ocorre de acordo com uma taxa de falha do terminal, isto é, quando ele deixa de funcionar da maneira adequada. Nesse caso, o técnico retira o terminal que não está em condições de uso e deixa um outro terminal que esteja em condições de uso. Por fim, no caso da desinstalação ocorre quando o cliente não quer mais o terminal.

As bases avançadas são responsáveis por armazenar terminais em condições para a instalação de modo a expedir para os técnicos os terminais sempre que houver demanda para instalação e troca. Já nos casos da reversa (desinstalações e trocas), as bases avançadas armazenam os terminais até o transportador retirar para levar para os centros de distribuição.

Nos centros de distribuição, ocorre o processo de triagem dos terminais oriundos da reversa que determina quais devem ser reutilizados, reparados ou descartados. Os terminais reutilizados são aqueles em que nenhum componente ou material é substituído. Já os terminais que necessitam de reparos com maior complexidade são enviados pelos centros de distribuição para os laboratórios (centros de reparo dos fabricantes). Após reparados nos laboratórios, os terminais retornam para os centros de distribuição. Além disso, os centros de distribuição são responsáveis pelo recebimento dos terminais novos.

Sendo assim, os itens reutilizados ou reparados nos centros de distribuição e nos laboratórios são tão bons quanto os novos. Dessa maneira, os clientes são indiferentes a receber produtos novos ou usados.

No que tange à disponibilização de terminais para as bases avançadas realizarem o atendimento aos clientes, os centros de distribuição – CDs - são os responsáveis por receber todos os terminais oriundos da reversa, retrabalhá-los, direcionar aqueles que não estão em condições de uso para os centros de reparo, além de receber os terminais novos dos fabricantes.

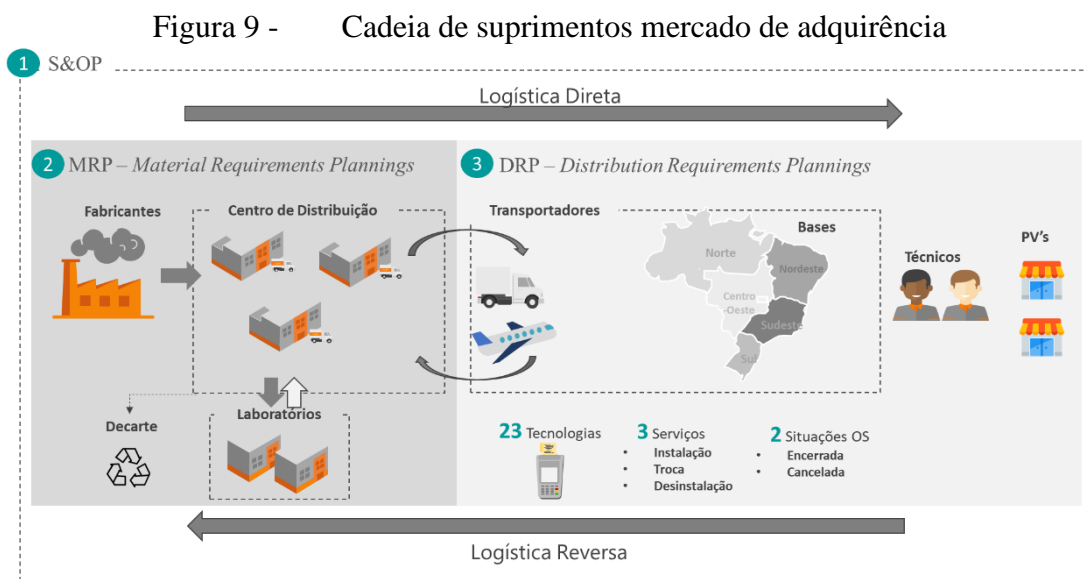
Na empresa estudada, a área de planejamento integrado é a responsável por todo o planejamento logístico da empresa, incluindo as subáreas de *Sales and Operations Planning* (S&OP), *Material Requirements Planning* (MRP), *Distribution Requirements Planning* (DRP).

A área de S&OP é a responsável pela previsão de demanda de todos os serviços. Isto é, ela define o quanto será instalado, desinstalado ou trocado para todos os níveis da cadeia.

A área de *Material Requirements Planning* (MRP) é a responsável pelas decisões acerca da composição de estoque de modo a garantir a disponibilidade de terminais para o atendimento aos clientes de acordo com a previsão no S&OP, isto é, define a quantidade de terminais que deverão ser reutilizados nos centros de distribuição, reparados nos laboratórios e o volume de aquisição de novos terminais de modo a atender à política de estoque de produto acabado.

A área de *Distribution Requirements Planning* (DRP) é a responsável pelas decisões de distribuição dos terminais de modo a garantir o estoque nas bases avançadas para o atendimento aos clientes. As bases avançadas operam com o controle avançado de estoque puxado, sendo consideradas para a necessidade de estoque as incertezas da demanda e do prazo de entrega, uma vez que é pouco provável determinar, com exatidão, a demanda e os prazos de entrega (BALLOU, 2010).

A rede associada à cadeia de suprimentos estudada é ilustrada na Figura 9.



O principal propósito da companhia é aumentar a criação de valor por meio de todo ciclo de vida do produto, considerando tanto a logística direta quanto a reversa. Para aumentar a criação de valor dentro de uma rede de cadeia de suprimentos, o *network design* é fundamental para a tomada de decisão crítica e estratégica (KALAITZIDOU; LONGINIDIS; GEORGIADIS, 2015).

Diante da importância do *Closed Loop Supply Chain Network Design* (CLSCND), este trabalho irá investigar a coordenação de quatro níveis (fornecedores, centros de distribuição, laboratórios, bases avançadas) de uma cadeia de suprimentos fechada que opera com uma

estratégia de produção híbrida. Isto é, a composição do estoque é feita tanto por produtos novos quanto reconicionados.

### 3.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Neste trabalho, pretende-se contribuir com a definição de uma política de estoque em dois pontos de estoques principais, centros de distribuição e bases avançadas, de modo a atender às especificidades do mercado de adquirência.

Para tanto, este capítulo apresenta uma formulação matemática diferente das abordagens clássicas que consideram apenas o nível de serviço, *lead times*, demanda e os desvios da demanda. Além disso, este capítulo apresentará as formas de cálculo das etapas da cadeia de produção.

Segundo Eruguz *et al.* (2016), para mitigar o risco de falta de estoque (*stockouts*), tem-se o estoque de segurança que determina o nível de estoque necessário de acordo com a probabilidade da ocorrência da falta de estoque, isto é, o nível de serviço desejado, conforme está em (1). Além do estoque de segurança, tem-se o estoque alvo que é o ponto em que o estoque atinge o seu ponto máximo, isto é, a quantidade estoque que suportará a demanda pelo período do *lead time* acrescido do intervalo de ressuprimento sem ultrapassar o estoque de segurança conforme (2) (ERUGUZ *et al.*, 2016):

$$S = z \sqrt{L \sigma_d^2 + d^2 \sigma_L^2} \quad (1)$$

$$Y = d (L + q) + S \quad (2)$$

sendo,

$d$  = Demanda diária (unidades)

$L$  = *Lead Time* (dias)

$q$  = intervalo de ressuprimento

$\sigma_d$  = desvio padrão da demanda (unidades)

$\sigma_L$  = desvio padrão do *Lead Time* (dias)

$S$  = Estoque de segurança (unidades)

$Y$  = Estoque alvo (unidades)

$z$  = Inverso da distribuição de probabilidades normal acumulada

Para exemplificar o cálculo do estoque de segurança, suponha uma demanda diária de 100, desvio padrão da demanda de 25, *lead time* de 5 dias, desvio padrão do *lead time* de 2 dias e o nível de serviço esperado de 95% tem-se em (3) e (4):

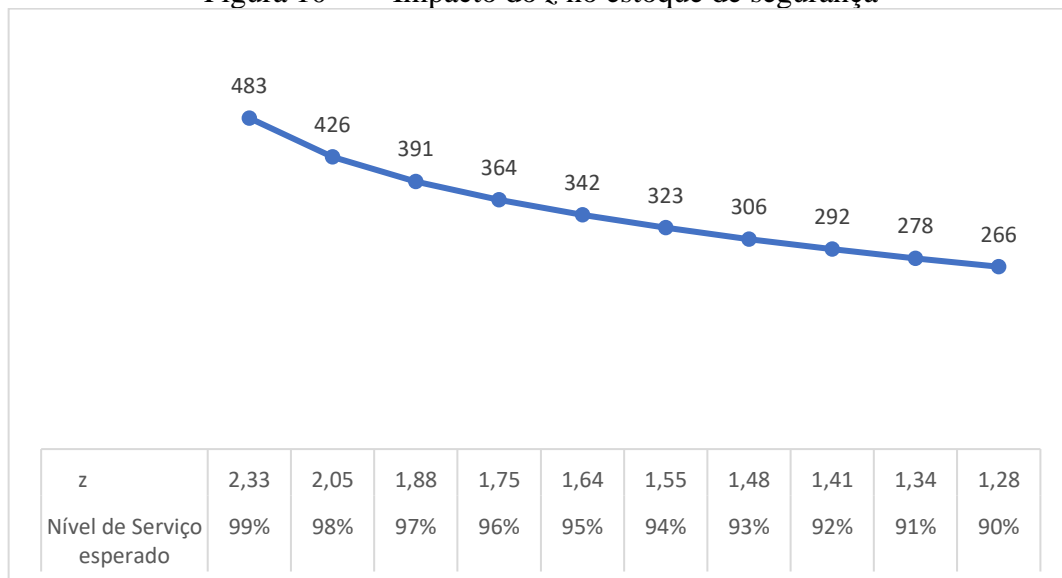
$$S = 1,64 \sqrt{5 \times 25^2 + 100^2 \times 2^2} \quad (3)$$

$$S = 341 \quad (4)$$

Conforme (4), o estoque de segurança de acordo com estes parâmetros deve ser 341 para absorver as variações da demanda e do *lead time*, reduzindo a probabilidade de falta de estoque para atendimento.

Para avaliar o impacto do  $z$  no estoque de segurança, a Figura 10 mostra o impacto de acordo com o nível de serviço esperado. Ao alterar o fator  $z$  de 2,33 (99% de nível de serviço), calculado com o inverso da distribuição cumulativa normal, para 1,28 (90% de nível de serviço) há uma redução de 45% no estoque de segurança, evidenciando a relevância do fator  $z$  na política de estoque.

Figura 10 - Impacto do  $z$  no estoque de segurança



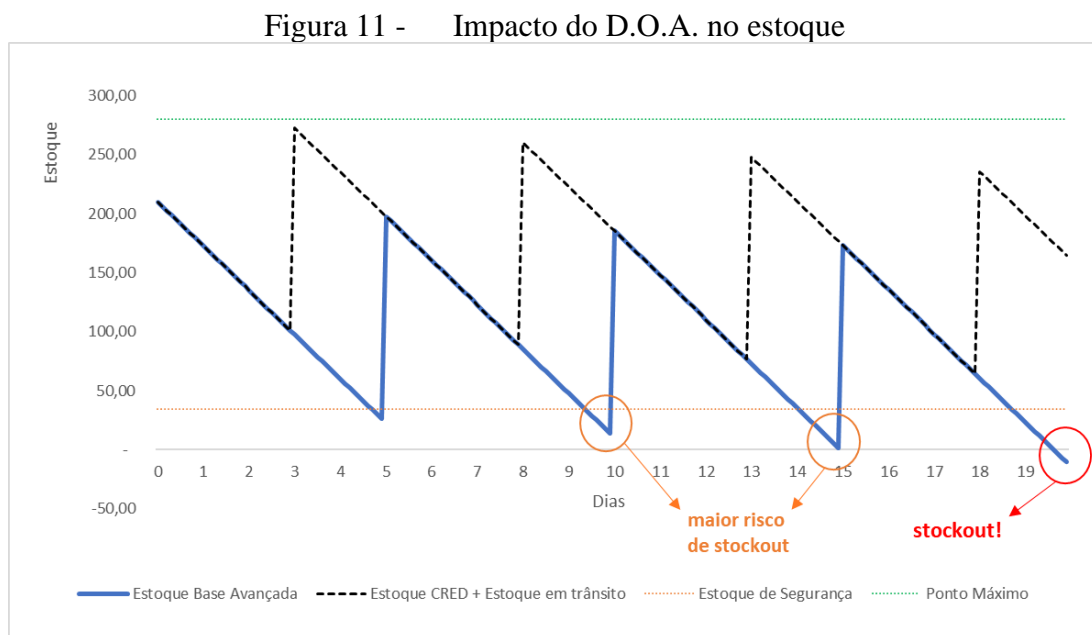
Fonte: Autoria própria

Contudo, para o cálculo de estoque necessário na cadeia de suprimentos fechada no mercado de adquirência, há duas variáveis particulares à operação estudada: o índice de *Death On Arrival* (D.O.A.) e o índice de insucesso na instalação que aumentam o risco de *stockout* nas bases avançadas.

O processo de D.O.A acontece quando um terminal enviado do centro de distribuição para a base avançada apresenta algum defeito no momento de instalação no cliente. Desta forma o uso do terminal fica inviabilizado e deverá ser reversado para o centro de distribuição. Na empresa estudada existe um indicador de D.O.A. para cada tipo de tecnologia, assim como projetos para diminuir sua ocorrência.

Como não é possível instalar os terminais com D.O.A., há um decréscimo do estoque disponível nas bases avançadas e, caso não seja contemplado no plano de estoque, poderá aumentar o risco de *stockout*.

Para ilustrar o impacto do D.O.A. no estoque de uma base avançada, foi representado na Figura 11 o ciclo de estoque considerando um índice de D.O.A. de 7%, porém, sem considerá-lo na política de estoque.



Na Figura 11 foram representados:

1. Estoque Base avançada: estoque que está fisicamente na base avançada e disponível para a instalação no cliente;
2. Estoque na base avançada mais o Estoque em trânsito: foi somado ao estoque da base avançada, o estoque em trânsito até o momento que é o mesmo entregue na base avançada.
3. Ponto máximo: é o estoque máximo atingido durante o ciclo, que também representa a necessidade de estoque total para o giro da cadeia
4. Estoque de segurança: estoque calculado com base na Equação 1.

Com um DOA de 7%, considera-se que a cada 100 terminais que forem levados pelos técnicos para realizar a instalação no cliente, 7 apresentam defeito. Desta forma, o estoque na base vai diminuindo a cada dia. Na Figura 11, nos dias 10 e 15 do ciclo representado, o estoque na base avançada fica abaixo da linha do estoque de segurança, aumentando-se o risco de *stockout*, pois podem ocorrer outras variações na base avançada, como atraso de transporte ou desvio na demanda. Após o dia 19 do ciclo, após os efeitos acumulados do D.O.A. no estoque, acontece de fato o *stockout*.

Já o insucesso na instalação ocorre quando não é possível realizar a instalação do terminal no cliente, por motivos não relacionados à funcionalidade do terminal. Os principais motivos são: estabelecimento fechado, erro no endereço cadastrado, o cliente não reconhecer o pedido, entre outros. No entanto, diferentemente do D.O.A., o técnico ainda poderá usar este terminal para os demais atendimentos.

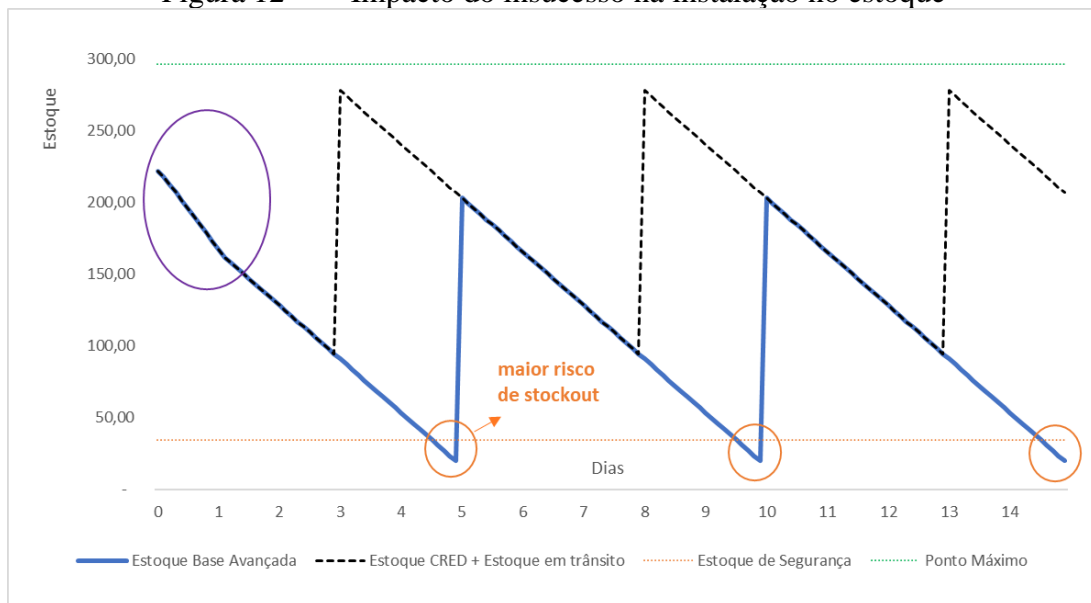
No entanto, como espera-se que um percentual de atendimentos não será realizado com sucesso, o técnico deverá levar mais terminais do que o necessário para atingir sua meta diária.

Por exemplo: Caso o técnico tenha que realizar 20 atendimentos em um determinado dia e considerando que 20% das visitas realizadas serão canceladas, o técnico precisará fazer 25 visitas, para que 20 (80%) sejam realizados com sucesso. Porém, o técnico precisa estar com os 25 terminais em sua posse, pois caso o índice de cancelamento naquele dia for menor que os 20% esperados ou ainda 0%, ele necessitará dos 25 terminais.

Desta forma, parte do estoque deverá ficar sempre com o técnico, e esse número deve ser considerado no estoque de segurança da base avançada. Caso não seja considerado, aumenta-se o risco de *stockout*.

Na Figura 12, o efeito fica mais evidente. Na situação representada, há uma queda mais acentuada de estoque no 1º dia do ciclo, devido aos terminais que ficam com o técnico devido ao cancelamento. Deste modo, o estoque disponível na base avançada diminui, aumentando o risco de *stockout* nos próximos dias do ciclo.

Figura 12 - Impacto do insucesso na instalação no estoque



Fonte: Autoria própria

Diante das especificidades supracitadas do mercado de adquirência, identificou-se a necessidade de adaptar o cálculo do estoque de segurança, como proposto por Eruguz *et al.* (2016), de modo a incorporar ao modelo as variáveis do D.O.A. e Insucesso na instalação. Para isso, será proposta uma política de estoque para as bases avançadas de modo a atender às especificidades do mercado de adquirência, ou seja, para absorver os impactos do insucesso nas visitas e das falhas nos terminais distribuídos, além das variações nos *lead times* de abastecimento e na demanda. Com isso, espera-se mitigar o problema da falta de estoque (*stockouts*).

Na sequência, será abordada a política de estoque para os centros de distribuição, considerando a forma de produção do terminal reutilizado, reparado e aquisição de novos terminais. Dessa maneira, o centro de distribuição será o responsável por absorver todas as variações de acordo com o mix de produção, tanto do que será produzido pelo próprio centro como pelos fornecedores e laboratórios.

Com isso, espera-se que os centros de distribuição também possuam uma política de estoque que atenda a essas especificidades do mercado de adquirência. Isto é, que regulam o estoque de segurança de acordo com o mix de produção previsto, já que os *lead times*, demanda de produção e os seus desvios variam entre o que é produzido pelo centro de distribuição, laboratório e fornecedor de novos terminais.

Por fim, será apresentada uma política de estoque que define a quantidade de estoque ideal em todas as etapas da cadeia de suprimentos multinível de uma empresa do mercado de adquirência.

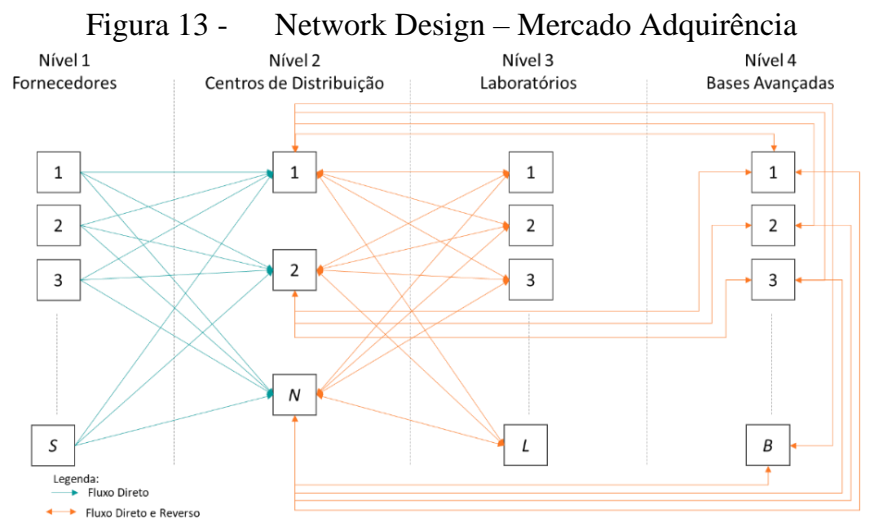
Para descrever o problema, considere-se o primeiro nível como o dos fornecedores que são responsáveis por fornecer terminais novos para os centros de distribuição.

O segundo nível inclui o ND dos centros de distribuição que são os responsáveis pelo processo de recebimento, triagem, armazenagem e expedição. Neste estágio, ocorre o processo de triagem dos terminais oriundos da reversa, isto é, os terminais provenientes das trocas e desinstalações. Os terminais que necessitam de reparos de baixa complexidade são realizados nos centros de distribuição e aqueles que, depois de triados, precisam de reparos com maior complexidade são enviados para os laboratórios.

O terceiro nível inclui o ND dos laboratórios que reparam os terminais com maior complexidade e depois devolvem para os centros de distribuição tanto os terminais reparados como os terminais sem condições de reparo.

O quarto nível são as bases avançadas que recebem os terminais em condições de uso dos centros de distribuição, armazenam e depois expedem os terminais para os técnicos atenderem aos clientes.

A partir da descrição destes níveis, é possível compreender o fluxo do terminal na cadeia de suprimentos fechada do mercado de adquirência, conforme ilustrado na Figura 13.



Fonte: Autoria própria

Com exceção do nível 1, fornecedores, os demais fluxos contam com o fluxo direto e reverso, demonstrando a grande influência da logística reversa neste mercado. Isto ocorre em

detrimento de os terminais serem reutilizados na cadeia de suprimentos no mercado de aquisição ao longo da vida útil do produto.

### 3.3 MODELO MATEMÁTICO

Nesta seção é apresentado o modelo matemático para o problema de política de estoques nas bases avançadas, e nos centros de distribuição, de modo a atender às especificidades do mercado de aquisição a partir da inclusão de novas variáveis, restrições e alteração da função objetivo conforme apresentado na sequência.

Sendo assim, o modelo proposto propõe minimizar o custo coordenado entre os elos da cadeia de suprimentos fechada multinível no que tange ao custo de aquisição, reparo, reutilização, frete e falta, garantindo o nível de serviço da empresa estudada. Isto é, minimizar o custo total das bases avançadas e de composição dos estoques de modo a garantir, pelo menos, 95% de nível de serviço nas regiões atendidas.

Para a formulação das expressões do cálculo da política de estoques são necessárias algumas considerações iniciais:

1. As quantidades, localizações e capacidades dos centros de distribuição, bases avançadas, fornecedores e laboratórios são conhecidas.
2. Os produtos novos são considerados tão bons quanto os reutilizados ou reparados.
3. A capacidade de transporte é irrestrita.
4. O custo de transporte é o mesmo para todos os produtos.
5. O custo de triagem e montagem de kit é o mesmo para todos os produtos.
6. O custo de transporte para o laboratório está incluso no preço do reparo.
7. Os centros de distribuição são os responsáveis por absorver as variações dos laboratórios e fornecedores.
8. O custo da falta é o mesmo para todos os produtos, variando por região.

Para a formulação do modelo a notação apresentada a seguir:

Conjuntos:

- $I$  conjunto de bases avançadas (indexado por  $i$ )
- $F$  conjunto de fornecedores (indexado por  $f$ )
- $J$  conjunto de CDs (indexado por  $j$ )
- $P$  conjunto de produtos (indexado por  $p$ )
- $R$  conjunto de laboratórios (indexado por  $r$ )

Parâmetros:

- $\alpha_{pi}$  índice do D.O.A. do produto  $p$  na base  $i$
- $\nu_{pi}$  reversa mensal do produto  $p$  na base  $i$
- $d_{pi}$  demanda diária do produto  $p$  na base  $i$
- $d_{pj}$  demanda diária do produto  $p$  no CD  $j$
- $E_{pi}$  estoque do produto  $p$  na base  $i$  no último dia do mês anterior
- $E_{pj}$  estoque do produto  $p$  no CD  $j$  no último dia do mês anterior
- $BT_{pj}$  backlog de triagem do produto  $p$  no CD  $j$  no último dia do mês anterior
- $BR_{pj}$  backlog de reparo do produto  $p$  no CD  $j$  no último dia do mês anterior
- $CT_j$  custo de triagem no CD  $j$
- $f_i$  custo da falta na base  $i$
- $E_{pi}$  índice de obsolescência na reversa do produto  $p$  na base  $i$
- $IL_{pr}$  índice de não reparo do produto  $p$  no Laboratório  $r$
- $g_{pj}$  índice de reutilização do produto  $p$  no CD  $j$
- $h_{pj}$  custo do reparo no laboratório do produto  $p$  do CD  $j$
- $L_i$  *lead time* para a base  $i$
- $L_{pj}$  *lead time* de produção do produto  $p$  no CD  $j$
- $L_{prj}$  *lead time* de produção e envio do produto  $p$  do Laboratório  $r$  para o CD  $j$
- $L_{pfj}$  *lead time* de envio do produto  $p$  pelo Fornecedor  $f$  para o CD  $j$
- $\lambda_{pi}$  índice de insucesso na instalação do produto  $p$  na base  $i$
- $m_j$  custo da montagem de kit no CD  $j$
- $N_i$  capacidade de estoque na base  $i$
- $q$  intervalo de ressuprimento
- $\theta_{pi}$  ponto de ressuprimento do produto  $p$  na base  $i$
- $\theta_{pj}$  ponto de ressuprimento do produto  $p$  no CD  $j$
- $\sigma_j$  desvio padrão da composição de estoque no CD  $j$
- $\sigma_{pi}$  desvio padrão da demanda do produto  $p$  na base  $i$
- $\sigma_i$  desvio padrão do *lead time* de transporte para a base  $i$
- $\sigma_{pj}$  desvio padrão do *lead time* de produção do produto  $p$  no CD  $j$
- $\sigma_{pr}$  desvio padrão do *lead time* de produção do produto  $p$  no Laboratório  $r$
- $\sigma_{fj}$  desvio padrão do *lead time* de envio do Fornecedor  $f$  para o CD  $j$

$t_i$	tempo de transporte para a base $i$
$u_{ji}$	custo do frete unitário do CD $j$ para a base $i$
$v_{pf}$	valor do produto $p$ do Fornecedor $f$

Variáveis de decisão:

$S_{pi}$	estoque de segurança do produto $p$ na base $i$
$Y_{pi}$	estoque alvo do produto $p$ na base $i$
$Y_{pj}$	estoque alvo do produto $p$ no CD $j$
$z_{pi}$	fator de segurança do produto $p$ na base $i$ (inverso da distribuição padrão cumulativa)
$w_{pj}$	quantidade produzida do produto $p$ no CD $j$
$w_{pr}$	quantidade produzida do produto $p$ no Laboratório $r$
$w_{pf}$	quantidade comprada do produto $p$ do Fornecedor $f$

Para o cálculo do custo total das bases avançadas, é preciso, a priori, calcular o estoque alvo, isto é, o ponto em que o estoque atinge o seu ponto máximo. Contudo, para o cálculo do estoque alvo, é preciso calcular o estoque de segurança.

Para tanto, este modelo propõe uma adaptação da fórmula tradicional de estoque de segurança (1) de modo a mitigar o D.O.A. e o insucesso na instalação. A variável  $z_{pi}$ , ou seja, o nível de serviço esperado do produto  $p$  na base  $i$  será definida pelo Solver do Microsoft Excel®. Contudo, para definir a restrição de que o nível mínimo de serviço esperado é de 95%, utilizou-se a função “INV.NORMP.N” do Microsoft Excel.

Para tanto, o cálculo do estoque de segurança das bases avançadas para o mercado de aquisição utiliza tanto o índice D.O.A. quanto o índice de insucesso na instalação do produto  $p$  na base  $i$  conforme (5):

$$S_{pi} = z_{pi} * \sqrt{L_i \sigma_{pi}^2 + \left(d_{pi} (1 + \alpha_{pi})\right)^2 \sigma_i^2} (1 + \lambda_{pi}) \quad i \in I, p \in P \quad (5)$$

A fim de demonstrar o cálculo do estoque de segurança, propõe-se o seguinte exemplo para a base 1 e produto 1 (6):

$$S_{11} = 1,64 * \sqrt{6 \cdot 6^2 + (24 (1 + 5\%))^2 \cdot 0,6^2} (1 + 15\%) = 38,89 \quad (6)$$

sendo,

$z_{11} = 1,64$  calculado à partir da fórmula INV. NORMP. N do Excel® com 95%

$L_1 = 6$  dias

$\sigma_1 = 0,6$  dias

$\sigma_{11} = 6$  unidades

$d_{11} = 24$  unidades

$\alpha_{11} = 5\%$

$\lambda_{11} = 15\%$

Sendo assim, o valor do estoque de segurança do produto 1 para a base 1 é de 38,89 unidades para absorver a variação do lead time e da demanda, além de considerar o impacto do D.O.A. e do índice de insucesso.

O estoque alvo é a quantidade que o estoque que suportará a demanda pelo período do *lead time*, acrescido do intervalo de ressuprimento sem ultrapassar o estoque de segurança dos produtos nas bases avançadas conforme (7):

$$Y_{pi} = d_{pi} (L_i + q) + S_{pi} \quad i \in I, p \in P \quad (7)$$

Conforme exemplificado em (7) o cálculo do estoque de segurança para o produto 1 na base 1, o estoque alvo para este exemplo é dado por (8):

$$Y_{11} = 24 (6 + 5) + 38,89 = 303,89 \quad (8)$$

sendo,

$L_1 = 6$  dias

$q = 5$  dias

$S_{11} = 38,89$  unidades

$d_{11} = 24$  unidades

A partir da equação (9), o estoque alvo do produto 1 na base 1 é 303,89 unidades, isto é, o estoque suportará a demanda diária de 24 unidades pelo período do *lead time*, acrescido do momento da revisão do estoque. Isto é, as 303,89 unidades suportarão a demanda diária de 24 unidades por 11 dias (*lead time* e período da revisão periódica) até chegar no estoque de segurança (38,89 unidades).

A partir do estoque alvo das bases avançadas (7), é possível calcular o custo anual de terminais nas bases avançadas como o produto do estoque alvo e o custo de aquisição conforme (9):

$$\text{Custo anual de terminais nas bases} = CB_{pi} = \sum_{f \in F} CA_{pf} Y_{pi} \quad i \in I, p \in P \quad (9)$$

Para calcular o custo anual do terminal na cadeia de suprimento, divide-se o valor do produto por três, já que foi considerada uma depreciação acelerada de três anos por se tratar de um item de tecnologia que tem tido constantes mudanças nos últimos anos para acompanhar as necessidades do mercado como está em (10):

$$CA_{pf} = \sum_{p \in P} \left( \frac{v_{pf}}{3} \right) \quad f \in F \quad (10)$$

Sendo assim, o custo anual dos terminais para o exemplo do produto 1 na base 1, é dado por (11):

$$CB_{11} = \frac{600}{3} * 303,89 = 60.777 \quad (11)$$

sendo,

$$v_{pf} = 600 \text{ reais}$$

Isto é, o custo para manter o estoque do produto 1 na base 1 é de R\$ 60.777.

Já o custo anual de frete para abastecer as bases avançadas (12) foi calculado o valor do frete para abastecer a demanda anual de todas as bases avançadas. Não foi acrescentado o estoque de segurança, visto que se trata de uma operação em andamento.

$$\text{Custo anual de frete} = CF_{pi} = \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} (d_{pi}(1 + \alpha_{pi})252) u_i \quad (12)$$

O custo anual de frete para o exemplo do produto 1 na base 1, é dado por (13):

$$CF_{11} = (24 * (1 + 5\%) * 252) * 17,45 = 110.814 \quad (13)$$

sendo,

$$u_i = 17,45 \text{ reais}$$

A equação (13) calcula o custo para transportar o produto 1 para a base 1, totalizando R\$110.814 no ano, considerando apenas os dias úteis (252).

O custo da falta – estimativa do custo da falta de terminais para o atendimento (14) foi calculado a partir da estimativa da perda de rentabilidade da região de atendimento de cada base, isto é, perda com taxas de MDR.

$$\text{Custo anual da falta} = CS_{pi} = \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} (d_{pi} 252 f_i (P(Z \geq z_{pi}))) \quad f \in F \quad (14)$$

O custo anual da falta para o exemplo do produto 1 na base 1, é dado por (15):

$$CS_{11} = (24 * 252 * 16) * 5\% = 4.838 \quad (15)$$

sendo,

$$f_1 = 16 \text{ reais}$$

Conforme (15), o custo da falta com o  $z_{11} = 95\%$  é de R\$4.838, visto que o custo da falta de um produto para o cliente gera uma receita não capturada de R\$16,00 por dia.

Dessa maneira, o custo total, das bases avançadas é dado pela soma destes três custos (9), (12) e (14).

Para o exemplo do produto 1 na base 1, o custo total da base avançada é composto por (11), (13) e (15), totalizando R\$176.430.

Alterando apenas o  $z_{11}$ , é possível avaliar o impacto do fator de segurança no custo total da base avançada conforme a Tabela (2).

Tabela 2 - Impacto do fator de segurança para o produto 1 na base 1

$z_{11}$	$CB_{11}$	$CF_{11}$	$CS_{11}$	Custo Bases Avançadas
85%	R\$ 57.826	R\$ 110.814	R\$ 14.515	R\$ 183.156
90%	R\$ 59.015	R\$ 110.814	R\$ 9.677	R\$ 179.506
95%	R\$ 60.777	R\$ 110.814	R\$ 4.838	R\$ 176.430
99%	R\$ 64.082	R\$ 110.814	R\$ 0.968	R\$ 175.864

Fonte: Autoria própria

A partir da Tabela 2, para o produto 1 na base 1, o menor custo é com o maior nível de confiança, ou seja, com o  $z_{11} = 99\%$ , uma vez que o impacto da falta é mais representativo do que o custo de aumento de estoque para garantir um nível de serviço maior.

Similarmente à política de estoque das bases avançadas, os centros de distribuição possuem uma política de estoque para os terminais disponíveis, isto é, em condições de uso para enviar para as bases avançadas atenderem aos clientes.

Em se tratando da composição do estoque, os centros de distribuição contam com os terminais reutilizados nos CDs, terminais reparados no laboratório e os terminais novos. Dessa maneira, o estoque de segurança dos centros de distribuição é o responsável por absorver as variações da disponibilidade de estoque oriundas dos CDs, laboratórios e fornecedores.

Sendo assim, para o cálculo do custo de composição de estoques, considerou-se o custo anual de reutilização (16), custo anual de reparo (17), custo anual da depreciação do terminal (10). O custo total da composição de estoque é dado por (18):

Para calcular o custo de reutilização consideram-se todos os terminais que foram triados nos centros de distribuição, bem como a montagem do kit dos terminais conforme está em (16):

$$CR_j = \sum_{j \in J} (CT_j + m_j) \quad (16)$$

O cálculo do custo de reparo é calculado baseado na quantidade de terminais reparados nos laboratórios, incluindo o custo de triagem e o custo de montagem do kit nos centros de distribuição, conforme está em (17):

$$CL_{jr} = \sum_{j \in J} (CR_j + h_r) \quad r \in R \quad (17)$$

$$\text{Custo de composição do estoque} \quad p \in P \quad (18)$$

$$= \sum_{j \in J} (w_{pj} CR_j) + \sum_{r \in R} (w_{pr} CL_{jr}) + \sum_{f \in F} (w_{pf} CA_{pf})$$

Para calcular o estoque de segurança é preciso, a priori, calcular o *lead time* e o desvio padrão da composição de estoque, sendo ponderado pela quantidade produzida em cada elo conforme (19) e (20):

$$\begin{aligned}
 \text{Lead Time Composição de estoque} &= L_{jp} \\
 &= \frac{\sum_{j \in J} L_{pj} w_{pj}}{\sum_{j \in J} w_{pj}} + \frac{\sum_{r \in R} L_{pr} w_{pr}}{\sum_{r \in R} w_{pr}} + \frac{\sum_{f \in F} L_{pf} w_{pf}}{\sum_{f \in F} w_{pf}} \quad p \in P \quad (19)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Desvio padrão Composição de estoque} &= \sigma_{jp} \\
 &= \frac{\sum_{j \in J} \sigma_{pj} w_{pj}}{\sum_{j \in J} w_{pj}} + \frac{\sum_{r \in R} \sigma_{pr} w_{pr}}{\sum_{r \in R} w_{pr}} + \frac{\sum_{f \in F} \sigma_{pf} w_{pf}}{\sum_{f \in F} w_{pf}} \quad p \in P \quad (20)
 \end{aligned}$$

Para exemplificar a composição de estoque nos centros de distribuição, isto é, a formação de estoque para disponibilizar para as bases avançadas atenderem aos clientes, a Tabela 3 mostra a quantidade de estoque disponível esperada por origem (centros de distribuição, laboratórios e fornecedores).

Tabela 3 - Parâmetros da composição de estoque para o produto 1 no CD 1

Quantidade a ser produzida (números fictícios)	Centros de Distribuição	Composição Estoque	Lead time	Desvio Produção
195.864		CD1	2	0,3
102.526		Laboratório 1	20	8,0
131.099	CD1	Fornecedor 1	5	1,0
43.940		Laboratório 2	15	5,0
14.567		Fornecedor 2	3	1,0

Fonte: Autoria própria

A partir dos dados fornecidos pela Tabela 3, calcula-se o *Lead Time* da composição de estoque do produto 1 no CD 1. Sendo assim, tem-se:

$$L_{jp} = 7,79 \text{ dias}$$

$$\sigma_{jp} = 2,55 \text{ dias}$$

Com isso, o *lead time* de produção é de 7,79 dias e com o desvio padrão de 2,55 dias. Isso significa que um terminal demora aproximadamente 7,8 dias para ficar em condições de uso para ser enviado para as bases avançadas com um desvio esperado de aproximadamente 2,5 dias.

Com o *lead time* e o desvio padrão da composição de estoque calculados, é possível calcular o estoque de segurança para cada produto em cada centro de distribuição (21) de acordo com o nível de serviço esperado (22).

$$S_{pj} = z_{pj} * \sqrt{L_{jp} \sigma_{pj}^2 + d_{pj}^2 \sigma_{jp}^2} \quad j \in J, p \in P \quad (21)$$

$$z_{pj} = 1,64 \quad j \in J, p \in P \quad (22)$$

O estoque alvo dos centros de distribuição é o ponto em que o estoque atinge o seu ponto máximo teórico, visto que a quantidade que é produzida no dia também é expedida conforme a demanda. Em outras palavras, é a quantidade estoque que suportará a demanda pelo período do *lead time* da composição de estoque adicionado ao intervalo de ressuprimento, como definido em (23):

$$Y_{pj} = (d_{pj}(1 + L_{jp})) + S_{pj} \quad j \in J, p \in P \quad (23)$$

Para definir a necessidade de estoque, isto é, a quantidade de estoque que será produzida no mês para atender à demanda e à política de estoque, é preciso calcular o saldo dos estoques nas bases avançadas por meio de (24), nos centros de distribuição por meio de (25) e a demanda mensal com o índice de D.O.A. por meio de (26):

$$\text{Saldo dos estoques nas bases avançadas} = \sum_{i \in I} (Y_{pi} - E_{pi}) \quad p \in P \quad (24)$$

$$\text{Saldo dos estoques nos CDs} = \sum_{j \in J} (Y_{pj} - E_{pj}) \quad p \in P \quad (25)$$

$$\text{Demanda mensal} = \sum_{i \in I} ((d_{pi} \times 30)(1 + \alpha_{pi})) \quad p \in P \quad (26)$$

A partir da necessidade de estoque, é preciso definir a estratégia de composição dos estoques para atender às requisições de expedição. Para tanto, faz-se necessário definir a quantidade que será produzida pelos centros de distribuição por meio de (27), laboratórios por meio de (28) e aquisição de novos terminais por meio de (30).

Para calcular o potencial de produção nos centros de distribuição, ou seja, os terminais triados que precisam apenas de reparos leves, é preciso considerar o *backlog* de triagem, volume da reversa, índice de obsolescência dos terminais oriundos da reversa e o índice de reutilização dos terminais nos CDs, conforme está em (27):

$$\text{Potencial de produção nos CDs} = \mathbf{PCD}_{pj} = \sum_{i \in I} ((BT_{pj} + \nu_{pi})(1 - \epsilon_{pi}) g_{pj}) \quad j \in J, p \in P \quad (27)$$

O cálculo do potencial de produção nos laboratórios diferencia-se do cálculo do potencial de produção nos CDs, pois ele considera o complementar ao índice de reutilização, isto é, os

terminais que os CDs precisam enviar para os laboratórios para ter condições de uso. Além disso, adiciona-se o *backlog* de reparo e aplica-se o índice que os laboratórios não conseguem recuperar os terminais, seja por um dano muito severo ou o custo ser maior que um terminal novo.

$$\text{Potencial de produção nos Laboratórios} = PL_{pj} \quad j \in J, p \in P, r \in R \quad (28)$$

$$\sum_{i \in I} (((BT_{pj} + n_{pi}) (1 - \epsilon_{pi})(1 - g_{pj})) + BR_{pj}) IL_{pr}$$

Ou

$$\sum_{i \in I} \left( \frac{\text{Potencial de produção nos CDs}}{\epsilon_{pi}} - \epsilon_{pi} + BR_{pj} \right) IL_{pr} \quad j \in J, p \in P, r \in R \quad (29)$$

Para calcular a necessidade de aquisição, é preciso considerar o saldo das bases avançadas por meio de (24), dos centros de distribuição por meio de (25) em relação aos estoques alvo, a demanda por meio de (26), além do potencial de produção nos CDs por meio de (27) e laboratórios por meio de (29). Sendo assim, a necessidade de aquisição para compor o estoque alvo é dada por (30):

$$\text{Necessidade de aquisição} = (24) + (25) + (27) + (29) - (26) \quad (30)$$

Dessa forma, a política de estoque proposta é o estoque alvo das bases avançadas somado ao estoque alvo dos centros de distribuição de modo a atender ao nível de serviço esperado pela empresa conforme está em (31):

$$\text{Estoque de produto acabado} = \sum_{p \in P} (Y_{pi}) + \sum_{j \in J} (Y_{pj}) \quad i \in I, j \in J \quad (31)$$

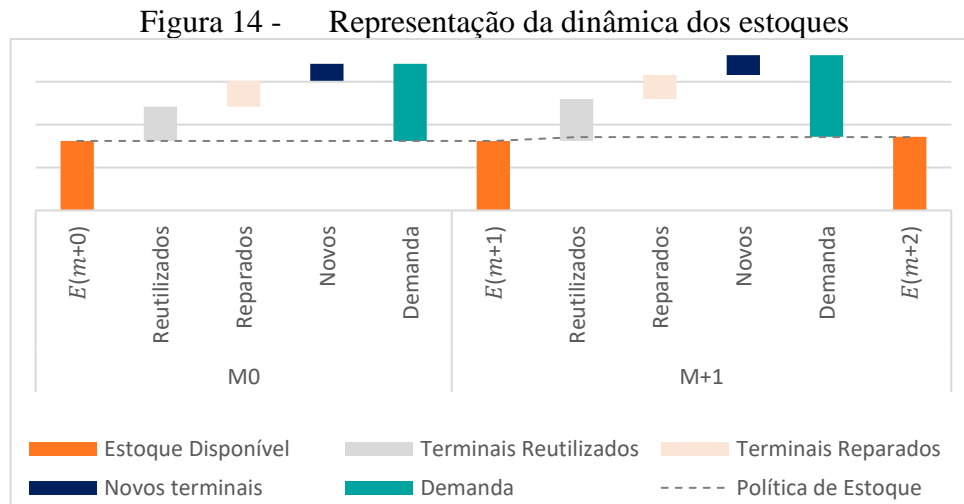
A fim de exemplificar a dinâmica dos estoques da empresa estudada ao longo do tempo, tem-se o estoque inicial ( $E$ ), em que são adicionados os estoques da composição de estoque (Reutilização; Reparo; Aquisição) e subtrai-se a demanda. Para o cálculo do estoque projetado para o próximo mês ( $k+1$ ) utilizou-se (32) - (33):

$$E_{k+1} = E_k + (30) \quad (32)$$

sujeito a:

$$E_{k+1} > \text{Estoque de produto acabado} \quad (33)$$

A partir da equação (32), tem-se a representação da dinâmica dos estoques na Figura 14.



Fonte: Autoria própria

Conforme ilustrado na Figura 14, a política de estoque da cadeia de suprimentos fechada varia mês a mês conforme a disponibilidade de estoques. Isto é, a política de estoque é dinâmica e varia conforme o mix produtivo. Para o estoque das bases avançadas considerou-se que ele é estático.

Diante das considerações sobre o cálculo da política de estoque nas bases avançadas e dos centros de distribuição, o modelo matemático, que propõe minimizar o custo total das bases avançadas e dos centros de distribuição ao variar o nível de serviço por base avançada e o *mix* de produção, pode ser formulado da seguinte maneira (30):

$$\min \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} (CB_{pi} + CF_{pi} + CS_{pi}) + \sum_{p \in P} \sum_{r \in R} \sum_{j \in J} \sum_{f \in F} (CR_j w_{pj}) + (CL_{jr} w_{pr}) + (CA_{pf} w_{pf}) \quad (30)$$

sujeito a:

$$Z_{pi} \geq 1,64 \quad p \in P, i \in I \quad (31)$$

$$\sum_{p \in P} (w_{pj} + w_{pr} + w_{pf}) \geq \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (Y_{pj} + Y_{pi} - E_{pj} - E_{pi} + ((d_{pi} \times 30)(1 + \alpha_{pi}))) \quad j \in J, r \in R, f \in F, i \in I \quad (32)$$

$$w_{pj} \geq 0 \quad j \in J, p \in P \quad (33)$$

$$w_{pr} \geq 0 \quad p \in P, r \in R \quad (34)$$

$$w_{pf} \geq 0 \quad f \in F, p \in P \quad (35)$$

$$Y_{pi} \geq 0 \quad p \in P, i \in I \quad (37)$$

$$Y_{pj} \geq 0 \quad p \in P, j \in J \quad (38)$$

$$\sum_{i \in I} Y_i \leq N_i \quad (39)$$

$$w_{pj} \leq \text{Potencial de produção nos CDs (27)} \quad j \in J, p \in P \quad (40)$$

$$w_{pr} \leq \text{Potencial de produção nos Laboratórios (29)} \quad r \in R, p \in P \quad (41)$$

A função objetivo (30) busca minimizar o custo das bases avançadas e dos centros de distribuição no que tange ao custo de frete, falta, estoque, aquisição e produção de acordo com a política de estoque para cada base avançada, produto e centro de distribuição.

Em relação à restrição (31), esta define o menor nível de serviço esperado para cada base avançada e centro de distribuição. Isto é, espera-se que a probabilidade de *stockout*, ou seja, falta de terminais para o atendimento seja inferior a 5%.

A restrição (32) define a quantidade a ser produzida nos centros de distribuição, laboratórios e dos fornecedores sejam maiores que o saldo das bases avançadas, centros de distribuição e demanda. As restrições (33)-(38) definem a não negatividade das variáveis de decisão relacionadas à composição de estoque.

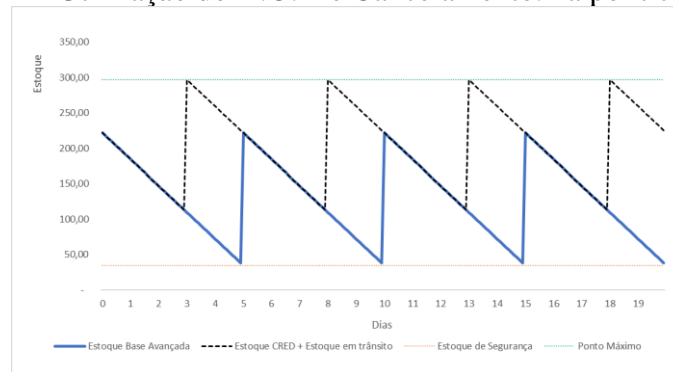
Já a restrição (39) define que o estoque alvo nas bases avançadas não pode ser superior à sua capacidade de armazenamento.

Por fim, as restrições (40) e (41) definem que a quantidade produzida não seja superior ao potencial de produção dos centros de distribuição e laboratórios respectivamente.

### 3.4 RESULTADOS COMPUTACIONAIS

Quando o efeito do D.O.A. e do insucesso na instalação no estoque da base avançada é considerado para o envio de terminais pelo CD, e conseqüentemente na política de estoque (aumentando-se assim o ponto máximo de estoque), o ciclo se ajusta e não há mais o risco de *stockout*, conforme ilustrado na Figura 15.

Figura 15 - Utilização do D.O.A e Cancelamento. na política de estoque

Fonte: Autoria própria<sup>11</sup>

Para a implementação do modelo que minimiza o custo total das bases avançadas, utilizou-se a ferramenta *solver* do Microsoft Excel com o método de solução *evolutionary*, alterando o nível de serviço esperado uma vez que o modelo não é linear conforme está disposto na Tabela 4.

Tabela 4 - Resultado Política de estoque nas bases avançadas

UF	AC	AL	AM	AP	BA
Tecnologia	1	1	1	1	1
Demanda Diária	3	12	3	3	69
Desvio Demanda	1	4	1	1	18
Capacidade Base	105	420	105	105	2.415
Lead Time	10	6	3	10	5
Desvio LT	2	1	1	2	1
fator k	1,69	2,06	2,29	1,80	2,13
Revisão Periódica	5	5	5	5	5
D.O.A.	5%	5%	5%	5%	5%
Insucesso na instalação	15%	15%	15%	15%	15%
Estoque de Segurança	13	33	6	12	173
Estoque de Ciclo	15	60	15	15	345
Estoque na base	28	93	21	27	518
Estoque em Trânsito	30	72	9	30	345
Ealvo bases	58	165	30	57	863
Custo anual Terminais	R\$14.565	R\$41.321	R\$7.456	R\$14.193	R\$215.654
Qtd Transporte	769	3.057	762	768	17.561
Custo Anual FRETE	R\$13.431	R\$20.882	R\$4.441	R\$11.304	R\$116.414
Custo da Falta	R\$1.040	R\$1.766	R\$248	R\$811	R\$8.664
Custo Total	R\$29.036	R\$63.970	R\$12.145	R\$26.309	R\$340.732

Fonte: Dados da empresa estudada

<sup>1</sup> Informações fornecidas pela empresa estudada, a qual solicitou não ser identificada, 2019.

A partir da Tabela 4 é possível avaliar que as regiões que possuem o custo da falta muito elevado, isto é, regiões em que a receita média diária dos clientes que transacionam com o terminal é elevada, tendem a ter um nível de serviço esperado mais alto.

Os resultados mostram o impacto do custo anual de terminais, demonstrando a importância de uma política de estoque eficiente de modo a reduzir a quantidade de terminais na cadeia, conforme mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 - Representatividade dos custos

UF	k	Custo Anual Terminais	Custo Anual FRETE	Custo da Falta
AC	1,6864	50,2%	46,3%	3,6%
AL	2,0649	64,6%	32,6%	2,8%
AM	2,2930	61,4%	36,6%	2,0%
AP	1,8019	53,9%	43,0%	3,1%
BA	2,1294	63,3%	34,2%	2,5%

Fonte: Autoria própria

A média do custo anual de terminais representa 80%, demonstrando o grande impacto do custo de terminais na política de estoque. Além do grande impacto da depreciação, o valor do dólar tem exercido uma grande pressão no preço do terminal, uma vez que é negociado em dólar.

Por isso, o custo de frete e da falta possuem uma relevância muito menor do que o custo anual de terminais.

Buscando exemplificar a variação da política ao longo do tempo, a Tabela 6 ilustra a variação do estoque alvo de produto acabado, isto é, o estoque disponível nas bases avançadas e nos centros de distribuição pronto para a instalação nos clientes. Para tanto, transformou-se o estoque alvo do produto acabado em dias, isto é, o estoque alvo em unidades foi dividido pela demanda diária.

Tabela 6 - Política de Estoque em dias

Mês	CDs	Laboratórios	Fabricante	$Y_{pj}$ (dias)	$Y_{pi}$ (dias)	Estoque alvo produto acabado (dias)
M0	39%	18%	43%	5,60	9,67	15,27
M+1	41%	27%	32%	6,75	9,67	16,41
M+2	68%	32%	0%	6,78	9,67	16,45
M+3	66%	34%	0%	7,08	9,67	16,74
M+4	46%	48%	5%	9,53	9,67	19,20
M+5	43%	45%	12%	9,15	9,67	18,82
M+6	16%	16%	68%	5,95	9,67	15,62
M+7	45%	46%	9%	9,25	9,67	18,92
M+8	44%	46%	9%	9,33	9,67	18,99
M+9	43%	31%	27%	7,22	9,67	16,89
M+10	48%	25%	27%	6,40	9,67	16,06
M+11	38%	22%	40%	6,12	9,67	15,79

Fonte: Autoria própria

Na Tabela 6, observa-se a variação do estoque alvo nos centros de distribuição em função da representatividade da composição do estoque. Pode-se interpretar que a variação no *lead time* de produção do laboratório exerce uma influência significativa nos dias de cobertura de estoque.

Com o intuito de demonstrar o efeito da variação do mix de produção no estoque alvo dos centros de distribuição, foi elaborada uma análise de sensibilidade com variação nos parâmetros da representatividade do mix de produção dos laboratórios e dos centros de distribuição. Apenas os dois parâmetros foram utilizados visto que a aquisição de novos terminais é a última opção na composição de estoque em função do seu custo elevado.

Sendo assim, o Quadro 4 demonstra a variação do estoque alvo nos centros de distribuição de acordo com o mix entre centro de distribuição e laboratórios, sendo a diferença para os 100% o *mix* de aquisição de novos terminais. Dessa forma, é possível verificar que quanto maior a representatividade da produção nos centros de distribuição menor será a necessidade de estoque para suportar a demanda.

Quadro 4 - Análise de sensibilidade – Cobertura (dias) necessária nos CDs

		Representatividade Laboratórios											
		0,0%	3,0%	6,0%	9,0%	12,0%	15,0%	18,0%	21,0%	24,0%	27,0%	30,0%	33,0%
Centros de Distribuição	67,0%	2,56	2,95	3,35	3,75	4,15	4,55	4,95	5,36	5,76	6,16	6,57	6,97
	64,0%	2,63	3,02	3,42	3,82	4,22	4,62	5,03	5,43	5,83	6,23	6,64	7,04
	61,0%	2,70	3,09	3,49	3,89	4,29	4,69	5,10	5,50	5,90	6,31	6,71	7,11
	58,0%	2,77	3,16	3,56	3,96	4,36	4,76	5,17	5,57	5,97	6,38	6,78	7,18
	55,0%	2,84	3,23	3,63	4,03	4,43	4,83	5,24	5,64	6,04	6,45	6,85	7,25
	52,0%	2,91	3,30	3,70	4,10	4,50	4,91	5,31	5,71	6,11	6,52	6,92	7,33
	49,0%	2,98	3,37	3,77	4,17	4,57	4,98	5,38	5,78	6,18	6,59	6,99	7,40
	46,0%	3,05	3,44	3,84	4,24	4,64	5,05	5,45	5,85	6,26	6,66	7,06	7,47
	43,0%	3,12	3,51	3,91	4,31	4,71	5,12	5,52	5,92	6,33	6,73	7,13	7,54
	40,0%	3,18	3,58	3,98	4,38	4,79	5,19	5,59	5,99	6,40	6,80	7,20	7,61
	37,0%	3,25	3,65	4,05	4,45	4,86	5,26	5,66	6,06	6,47	6,87	7,28	7,68
	34,0%	3,32	3,72	4,12	4,52	4,93	5,33	5,73	6,14	6,54	6,94	7,35	7,75

Fonte: Autoria própria

A política de estoque no mercado de adquirência multinível tem grande influência do nível de serviço esperado para cada região, bem como os desvios da demanda e do *lead time*. Ao contrário da política de estoque nas bases avançadas, a política de estoque dos centros de distribuição está diretamente relacionada ao mix para disponibilização do estoque.

Sendo assim, a política de estoques nos centros de distribuição é uma consequência da LR, ou seja, o *mix* de produção varia de acordo com a LR, ou seja, o planejador possui pouca influência na mudança do *mix*.

Já o aumento de estoque de segurança nas bases avançadas devido ao efeito D.O.A. e ao insucesso na instalação é baixo, estimado um aumento em 0,5% e 2,1%, respectivamente. Assim, com um pequeno aumento no estoque e custos na cadeia, o risco de *stockout* é mitigado. Em contrapartida, a variação no nível de serviço esperado (Inverso da distribuição cumulativa normal) de acordo com o resultado do custo de aquisição, frete e da falta proporcionou uma redução no nível de estoque de aproximadamente 4,9%.

## 4 CONCLUSÕES

### 4.1 VERIFICAÇÃO DOS OBJETIVOS E RESPOSTAS ÀS QUESTÕES DE PESQUISA

De modo a verificar o atingimento dos objetivos propostos no Capítulo 1, vale relembrar o objetivo geral e específicos, sendo o objetivo geral desta dissertação de estabelecer a política de estoque para a gestão de uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis de maneira a atender às especificidades do mercado de adquirência de acordo com o nível de serviço esperado da empresa estudada.

Os objetivos específicos foram:

- 1 – Modelar uma cadeia de suprimentos fechada para o mercado de adquirência
- 2 – Identificar as principais variáveis que influenciam neste modelo

No Capítulo 3, na Seção 3.2 foi ilustrado o *network design* da empresa estudada, modelando a cadeia de suprimentos de acordo com as especificidades dos mercado de adquirência. Também na Seção 3.2, identificou-se as principais variáveis que influenciam na construção de uma política de estoque para o mercado de adquirência, bem como seus impactos quando não consideradas.

Na Seção 3.3, definiu-se a formulação matemática com as principais variáveis aplicadas na política de estoque das bases avançadas e nos centros de distribuição. Com isso, foi possível propor uma política de estoque para a cadeia de suprimentos fechada multinível, atendendo aos objetivos expostos no Capítulo 1 ao propor uma solução com um ótimo local, porém sem garantir o ótimo global.

Por fim, na Seção 3.4, os resultados computacionais foram comprovados, evidenciando uma política de estoque em uma cadeia de suprimentos fechada com multiníveis que garante o nível de serviço esperado pela empresa estudada.

### 4.2 SUGESTÕES PARA CONTINUIDADE DO TRABALHO

O trabalho apresentado sugere alguns parâmetros constantes como é o caso do *lead time* de produção, laboratório e transporte. Contudo, há a possibilidade da utilização de diferentes tipos de transporte em que o custo varia de região para região, bem como o prazo. Isto é, há a possibilidade de utilizar um frete expresso para uma região ao invés do frete convencional (exemplo fictício: frete convencional custa R\$20,00 com um prazo de seis dias enquanto o frete expresso custa R\$80,00 com um prazo de dois dias).

Além do transporte, existe a opção de os laboratórios repararem os terminais em um prazo inferior mediante a uma taxa no custo de reparo. Dessa maneira, é possível avaliar a configuração com esses fatores que influenciam no custo total.

Sugere-se, também, a utilização de *solvers* não lineares, visto que o modelo proposto não garantiu a otimalidade. Para tanto, uma abordagem sugerida é a metaheurística *Biased Random-Key Genetic Algorithm* (BRKGA) que se demonstrou competitiva em relação às abordagens do estado da arte (BIAJOLI; CHAVES; LORENA, 2019). Para isso, sugere-se uma *Application Programming Interface* (API) adaptada como foi proposto por Gonçalves e Resende (2013).

Aliado à adoção de modelos matemáticos, sugere-se a utilização dos parâmetros definidos de controle de estoque para a utilização no centro de comando (*command center*), ou torre de controle, por meio de *triggers* (gatilhos de intervenção) de modo a auxiliar na tomada de decisão da cadeia de suprimentos fechada com o intuito de acompanhar o desempenho no dia a dia. Com isso, é possível atuar com tempestividade nos casos de *stockout* e, preferencialmente, evitá-los. Para isso, é preciso ter as informações em tempo real com uma visão *end to end* (ponta a ponto) da cadeia de suprimentos.

Por fim, sugere-se a aplicação do modelo matemático apresentado em cadeias de suprimento fechadas multiníveis com características similares como, por exemplo, no mercado de televisões por assinatura como é o caso da Sky, Vivo, Net entre outras que também fornecem o *modem* mediante à assinatura do pacote. A partir do momento em que os clientes encerram seus contratos os *modems* retornam para a cadeia de suprimentos fechada para serem direcionados a outros clientes.

## REFERÊNCIAS

- AKÇALI, E.; CETINKAYA, S.; USTER, H. Network design for reverse and closed-loop supply chains: an annotated bibliography of models and solution approaches. **Networks**, New York, v.53, n. 3, p. 231-248, 2012.
- ARAYA-SASSI, C.; PAREDES-BELMAR, G.; GUTIÉRREZ-JARPA, G. Multi-commodity inventory-location problem with two different review inventory control policies and modular stochastic capacity constraints. **Computers and Industrial Engineering**, Talca, v.143, p. 1-30, 2020.
- BIAJOLI, F. L.; CHAVES, A. A.; LORENA, L. A. N. A biased random-key genetic algorithm for the two-stage capacitated facility location problem. **Expert Systems with Applications**, São José dos Campos, v. 115, p. 418-426, 2019.
- CONSELHO ADMINISTRATIVO DE DEFESA ECONÔMICA. **Cadernos do cade: Mercado de Instrumentos de Pagamento**. Brasília, 2019. Disponível em: [https://cdn.cade.gov.br/Portal/Not%C3%ADcias/2019/Cade%20divulga%20estudo%20sobre%20mercado%20de%20instrumentos%20de%20pagamento\\_\\_Cadernodeinstrumentosdepagamento\\_27nov2019.pdf](https://cdn.cade.gov.br/Portal/Not%C3%ADcias/2019/Cade%20divulga%20estudo%20sobre%20mercado%20de%20instrumentos%20de%20pagamento__Cadernodeinstrumentosdepagamento_27nov2019.pdf). Acesso em 13 de jun. 2020.
- FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE BANCOS. **Tendências para meios de pagamento**. Disponível em: <https://www.abecs.org.br/indicadores-apresentacoes-estudos>. Acesso em: 03 de jun. 2019.
- CHEN, H.; LI, P. Optimization of (R, Q) policies for serial inventory systems using the guaranteed service approach. **Computers and Industrial Engineering**, Troyes, v.80, p. 261-273, 2015.
- CHO, Y. S. *et al.* Demand driven DRP: assessment of a new approach to distribution. **International Journal of Supply and Operations Management**, Morocco, v. 6, p.1-10, 2016.
- DEV, N. K.; SHANKAR, R.; CHOUDHARY, A. Strategic design for inventory and production planning in closed-loop hybrid systems. **International Journal of Production Economics**, New Delhi, v.183, p. 345-353, 2017.
- ERUGUZ, A. S. *et al.* A comprehensive survey of guaranteed-service models for multi-echelon inventory optimization. **International Journal of Production Economics**, Netherlands, v.172, p. 110-125, 2016.
- ESCORCIA-CABALLERO, J. P.; AMAYA-MIER, R.; SOTO-FERRARI, M. Multi-echelon inventory management policies : a case study for a two-echelon supply chain. **Industrial Engineering and Operations Management Society International**, São Paulo, 2020.
- FIROOZI, M. *et al.* Distribution planning for multi-echelon networks considering multiple sourcing and lateral transshipments. **International Journal of Production Research**, Montreal, v.58, n. 7, p. 1968-1986, 2020.
- GODICHAUD, M.; AMODEO, L. Efficient multi-objective optimization of supply chain with returned products. **Journal of Manufacturing Systems**, Troyes, v.37, n. 3, p. 683-691,

2015.

GONÇALVES, J. F. ; RESENDE, M. G. C. An extended akers graphical method with a biased random-key genetic algorithm for job-shop scheduling. **AT&T Labs Res. Tech**, Oxford, v.46, p. 253-271, 2014.

GOVINDAN, K.; SOLEIMANI, H.; KANNAN, D. Reverse logistics and closed-loop supply chain: a comprehensive review to explore the future. **European Journal of Operational Research**, Denmark, v. 240, n. 3, p. 603-626, 2015.

GUIDE, V. D. R.; VAN WASSENHOVE, L. N. The evolution of closed-loop supply chain research. **Operations Research**, Maryland, v.57, p. 10-18, 2009.

HASANOV, P.; JABER, M. Y.; TAHIROV, N. Four-level closed loop supply chain with remanufacturing. **Applied Mathematical Modelling**, Azerbaijan, v. 66, p. 141-155, 2019.

ISLAM, M. T.; HUDA, N. Reverse logistics and closed-loop supply chain of waste electrical and electronic equipment (weee)/e-waste: a comprehensive literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, Sydney, v. 137, p.48-75, 2018.

JACKSON, I.; TOLUJEVS, J.; KEGENBEKOV, Z. Review of inventory control models: a classification based on methods of obtaining optimal control parameters. **Transport and Telecommunication Journal**, Latvia, v. 21, n. 3, p. 191-202, Latvia, 2020.

KALAITZIDOU, M. A.; LONGINIDIS, P.; GEORGIADIS, M. C. Optimal design of closed-loop supply chain networks with multifunctional nodes. **Computers and Chemical Engineering**, Thessaloniki, v. 80, p. 73-91, 2015.

KAZEMI, N.; MODAK, N. M.; GOVINDAN, K. A review of reverse logistics and closed loop supply chain management studies published in IJPR: a bibliometric and content analysis. **International Journal of Production Research**, v.57, n. 15-16, p. 4937-4960, 2018.

MAWANDIYA, B. K.; JHA, J. K.; THAKKAR, J. J. Optimal production-inventory policy for closed-loop supply chain with remanufacturing under random demand and return. **Operational Research**, Nirma, v.20, p. 1623-1664, 2018.

MUSA, A.; DABO, A. A. A. A review of RFID in supply chain management: 2000–2015. **Global Journal of Flexible Systems Management**, Preston, v.17, p. 189-226, 2016.

NAKANO, D.; MUNIZ, J. Writing the literature review for empirical papers. **Production**, v.28, 2018. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.20170086>. Disponível em: <http://prod.org.br/article/10.1590/0103-6513.20170086/pdf/production-28- e201700086.pdf>. Acesso em 20 de junho de 2020.

PACHECO, E. O. **Uma política de controle dinâmico de estoques em uma cadeia de suprimentos serial com incerteza na demanda de mercado usando eventos discretos**. 2016. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica e Informática Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2620>. Acesso em: 15 junho 2020.

PEREZ, A. H.; BRUSCHI, C. **A indústria de meios de pagamento no brasil: movimentos recentes**, 2018. Disponível em: <https://www.insper.edu.br/wp-content/uploads/2018/09/industria-meios-pagamento-brasil-movimentos-recentes.pdf>. Acesso em: 03 de jun. 2019.

PISHVAEE, M. S.; RABBANI, M.; TORABI, S. A. A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty. **Applied Mathematical Modelling**, Tehran, v. 35, p. 637-649, 2011.

PRAKASH, S. *et al.* Closed-loop supply chain network design and modelling under risks and demand uncertainty: an integrated robust optimization approach. **Annals of Operations Research**, Minneapolis, v. 290, p. 837-864 2020.

RODRIGUEZ, M. A. *et al.* Optimal supply chain design and management over a multi-period horizon under demand uncertainty. Part I: MINLP and MILP models. **Computers and Chemical Engineering**, Santa Fe, v. 62, p. 194-210, 2014.

SITCHARANGSIE, S.; IJOMAH, W.; WONG, T. C. Decision makings in key remanufacturing activities to optimise remanufacturing outcomes: a review. **Journal of Cleaner Production**, Glasgow, v. 232, p. 1465-1481, 2019.

TRAMARICO, C. L. **Avaliação multicritério da educação na gestão da cadeia de suprimentos**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Guaratinguetá, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/144551>. Acesso em: 17 junho 2020.

WANG, N. *et al.* Supply chain performance under pull or push contracts in the presence of a market disruption. **International Transactions in Operational Research**, Anhui, v. 24, p. 713-736, 2017.

ZERHOUNI, H.; GAYON, J. P.; FREIN, Y. Influence of dependency between demands and returns in a reverse logistics system. **International Journal of Production Economics**, Grenoble, v.143, p. 62-71, 2013.

## **APÊNDICE A – MODELO ILUSTRATIVO EM EXCEL**

Disponível em:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/16xmEpMf6NBoTWFxkW9ThfTla2hTfeArd/edit?usp=sharing&ouid=107868078320334082558&rtpof=true&sd=true>