



## **ROTEIRIZAÇÃO COM ESTOQUE EM UMA DISTRIBUIDORA DE COSMÉTICOS ATUANTE NA REGIÃO METROPOLITANA DE BELÉM**

**Diego Moah**  
**Rafael Martinelli**  
**Hugo Repolho**

Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro  
Rua Marquês de São Vicente, 225 – Gávea, Rio de Janeiro  
moah6@aluno.puc-rio.br  
{martinelli, hugorepolho}@puc-rio.br

**Felipe Barbosa Rodrigues**

Faculdade Ideal Devry  
Travessa Tupinambás, 461 – Batista Campos, Belém  
feliperodrigues.eng@gmail.com

### **RESUMO**

No sistema de *Vendor Managed Inventory* (VMI) os clientes delegam ao fornecedor o gerenciamento de seus estoques, desse modo as decisões logísticas de quanto e quando entregar são tomadas pelo fornecedor. O VMI está ligado ao Problema de Roteirização e Estoques (do inglês *Inventory Routing Problem – IRP*), que lida ao mesmo tempo com custos de roteamento e de estoques. Este estudo aborda três políticas de distribuição existentes na literatura (*Maximum Level*, *Order-Up-to-Level* e *Optimized Target Level*) e realiza uma comparação. Foram utilizados modelos de Programação Linear Inteira aplicados aos dados de uma empresa que estuda adotar o sistema de VMI para seus clientes mais relevantes. A empresa é uma distribuidora de cosméticos que atende ao mercado de pequeno a grande porte da região metropolitana de Belém-PA. Analisou-se a política mais adequada, considerando o custo total e o tempo de execução, chegando à conclusão que a melhor política é *Maximum Level*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Roteirização de Veículos com Estoques, *Vendor Managed Inventory*, Programação Inteira.

**Tópicos:** L&T - Logística e Transportes, PM - Programação Matemática e SE - PO em Serviços

### **ABSTRACT**

In the *Vendor Managed Inventory* (VMI) system the customers delegate to the supplier their inventory management, thus the logistic decisions of how much and when to deliver are made by the supplier. The VMI is related to the *Inventory Routing Problem* (IRP), which deals with routing and inventory costs. This study compares three IRP distribution policies from the literature (*Maximum Level*, *Order-up-to-level* and *Optimized Target Level*). An Integer Linear programming model was devised for each policy and applied to the data of a company that is considering the adoption of a VMI system for its most relevant clients. The referred company is a cosmetics distributor that serves the small- and large-sized market of Belém metropolitan area. Based on the results comparison regarding total cost and execution time, it was concluded that the best policy is the *Maximum Level*.

**KEYWORDS.** *Inventory Routing Problem*, *Vendor Managed Inventory*, *Integer Programming*.

**Topics:** L&T - Logistics and Transport, PM - Mathematical Programming and SE - OR in Services



## 1. Introdução

As diferentes estratégias de gestão de estoques aplicadas pelas empresas que participam em cada elo da cadeia de suprimentos tradicional geram, inevitavelmente, uma distorção da demanda. Essa distorção é definida por muitos autores na literatura como "efeito chicote" na cadeia de suprimentos, sendo considerado como um falso crescimento da demanda. A distorção da demanda amplia os estoques e os riscos decorrentes dos mesmos para os fornecedores. Destarte, considerando o encolhimento do ciclo de vida do produto, a incerteza da demanda, e a exigência do mercado pelo aumento do nível de serviço ao cliente, o modelo de gestão de estoques não integrado ao fornecedor tornou-se incompatível com a realidade atual. O *Vendor Management Inventory (VMI) Collaborative Planning, Forecasting, and Replenishment (CPFR)*, *Efficient Consumer Response (ECR)*, *Jointly Managed Inventory (JMI)*, *Continuous Replenishment (CRP)*, e outros sistemas de integração da cadeia de suprimentos surgiram nesse contexto para dar resposta a essa necessidade.

Devido à sua relevância prática dentro da cadeia de suprimentos e na gestão de estoques integrada com o fornecedor, o VMI vem sendo amplamente abordado nos últimos anos pela literatura. Alguns trabalhos se destacam como Bani-Asadi e Zanjani [2017] que cria um modelo matemático para VMI, no qual existem três elos da cadeia de suprimento, sendo: armazém central, múltiplos centros de distribuição e vários varejistas; os autores utilizam lógica *fuzzy* e metaheurísticas. O estudo conclui que o algoritmo genético é o mais eficiente. Vidović *et al.* [2014] abordam a estratégia do VMI em uma distribuidora de combustíveis através do *Inventory Routing Problem (IRP)*, também conhecido como roteirização com estoques. Os autores propõem uma metaheurística. Guzmán-Camacho *et al.* [2014] estudam dois elos da Gestão da Cadeia de Abastecimento do leite em Sugamuxi (Colômbia), e avaliam o possível ganho no custo total de operação com o uso da política de abastecimento VMI. Dong e Leung [2009] analisam as dificuldades encontradas por fornecedores que optam pelo VMI no abastecimento dos varejistas de vestuário na indústria têxtil. Os pesquisadores propõem um modelo de reposição baseado em simulação e um algoritmo genético para otimizar o desempenho da cadeia de suprimentos, o estudo trouxe ganhos de custo e nível de serviço até certo ponto; Zhu *et al.* [2009] indicam um modelo VMI com demanda estocástica na cadeia de suprimento de produtos petrolíferos, o modelo gera estoque de segurança, nível de serviço e *lead-time* mais compatíveis com a realidade. O modelo se mostrou eficiente no apoio à decisão da gestão da cadeia de abastecimento; entre outros.

Entretanto para otimizar o sistema de VMI entre apenas dois elos (distribuidor e varejista), que é o foco deste estudo, faz-se necessária a resolução de um problema de otimização combinatória complexo: o IRP. O problema refere-se à distribuição de um produto, a partir de determinado centro de distribuição (CD), que atende vários clientes dentro de um horizonte de planejamento.

O cliente consome um determinado produto a uma certa taxa e tem uma capacidade de armazenagem máxima. Realiza-se a distribuição dos produtos através da frota da empresa podendo ser heterogênea (capacidades diferentes) ou homogênea (mesma capacidade). Os custos de transportes e estoques são do fornecedor, e o objetivo é minimizar o custo de distribuição e estoques durante o horizonte de planejamento, de maneira que não haja rupturas. Para uma descrição mais rica e detalhada das aplicações e aspectos industriais do IRP, vide Andersson *et al.* [2010].

Por se tratar de um problema *NP*-difícil vários autores vêm propondo diversas soluções tais como: método exato desenvolvido por Archetti *et al.* [2007]; heurística ALNS proposta por Coelho *et al.* [2012b]; para frotas heterogêneas existem os algoritmos exatos de corte de Adulyasak *et al.* [2013] e Coelho e Laporte [2013]. Coelho *et al.* [2014] em seu trabalho faz uma revisão bem detalhada sobre os aspectos algorítmicos do IRP.

Este estudo motivou-se por uma aplicação prática de otimização logística em uma empresa distribuidora de produtos cosméticos localizada na região metropolitana de Belém. A empresa tem a pretensão de implementar o VMI para os seus clientes mais importantes (aqueles que apresentam maior demanda), visando reduzir custos totais e aumentar o nível de serviço ao cliente. Desta maneira, o objetivo deste estudo é encontrar o ponto ótimo de equilíbrio entre os



custos de transporte e estocagem para minimizar o custo total de operação. Para tal, utilizou-se o modelo de Coelho *et al.* (2012) e realizaram-se alguns ajustes para implementar três políticas diferentes.

O presente artigo está estruturado em uma breve introdução do tema contendo o contexto, motivação e objetivo. A Seção 2 detalha a metodologia utilizada. Na Seção 3 apresentam-se os tópicos teóricos relevantes sobre o VMI. A Seção 4 trata da definição formal do IRP como um modelo Problema Linear Inteiro (PLI) e as políticas utilizadas. A Seção 5 é dedicada a descrever a empresa onde se realizou o estudo e o seu contexto. A Seção 6 contém a validação do modelo e informações computacionais geradas para apresentar os resultados e análise de sensibilidade do modelo. Por fim, na Seção 7 são apresentadas as considerações finais e proposta de estudos futuros.

## 2. Metodologia

No desenvolvimento deste estudo, realizaram-se os mesmos passos de Moah *et al.* [2016] em seu trabalho de roteirização de veículos. Para aplicação do modelo matemático de roteirização com estoques e alcançar os objetivos propostos realizou-se os seguintes procedimentos:

**a) Coleta de dados:** levantaram-se, por intermédio da empresa, as informações relacionadas a custos e consumo de combustíveis dos veículos, demanda dos clientes, endereços de clientes, e outros. Este estudo considerou distâncias reais e não euclidianas. Para tal, realizou-se um levantamento de informações como distâncias e tempos de percurso entre o centro de distribuição, os clientes e entre clientes. Para essa coleta externa não relacionada à empresa foi utilizado o aplicativo *Google Maps Distance Matrix API*.

**b) Revisão da literatura:** realizou-se uma breve revisão da literatura para identificar os modelos mais eficientes de roteirização com estoques, considerando a diversidade de modelos com diferentes restrições, mas que têm os mesmos objetivos. Destarte, julgou-se necessário uma análise inicial para a escolha do melhor modelo a ser adotado para o problema da empresa foco do estudo. A busca foi realizada na base Scopus.

**c) Escolha do modelo que melhor se encaixe ao problema:** Após análise sobre alguns modelos existentes na literatura utilizou-se como base o modelo de Coelho *et al.* [2012a] pois foi o mais aderente ao caso prático estudado considerando uma frota heterogênea. O modelo também permite com pequenos ajustes implementar diferentes políticas de reposição.

**d) Implementação do modelo no software AIMMS e verificação do modelo:** Implementou-se um PLI utilizando software de modelagem AIMMS. Aplicou-se um teste ao modelo com instâncias existentes na literatura disponibilizadas no trabalho de Coelho *et al.* [2012a] com o objetivo de averiguar a consistência dos resultados e se os modelos estavam gerando soluções (instâncias disponíveis em <http://www.leandro-coelho.com/instances>).

**e) Análises de resultados:** Por fim realizou-se análises e comparações dos resultados gerados pelas três políticas implementadas. Alguns dos parâmetros foram: taxa de utilização da frota, custo total, estoques gerados, entre outros. A Figura 1 contém os passos adotados no trabalho.

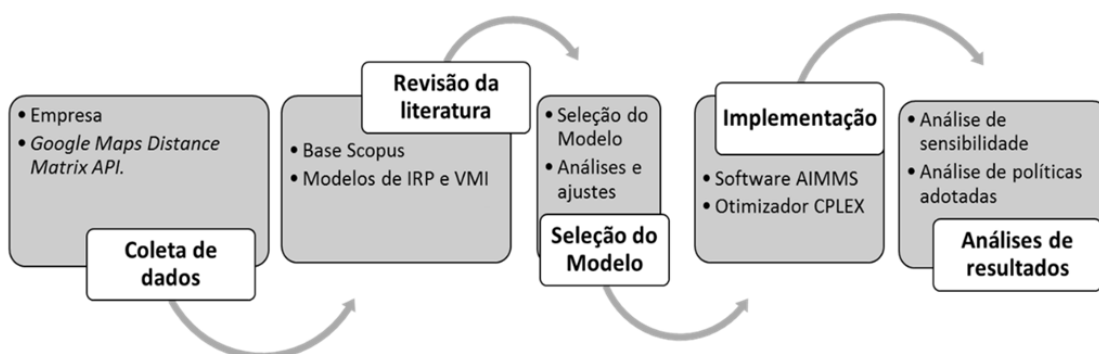


Figura 1 – Metodologia utilizada. Fonte: Autores [2017]



### 3. Vendor Management Inventory

Pires [2009] define o VMI como uma prática segundo a qual os fornecedores têm a responsabilidade de gerenciar o estoque de seus clientes, arcando com os custos de estoques e transporte. Belfiore *et al.* [2006] define como uma técnica segundo a qual o fornecedor controla os níveis de estoque de seus clientes. O fornecedor passa a ser responsável pelas decisões de quando e quanto entregar de mercadoria para cada cliente. Destarte, o cliente faz apenas um acompanhamento, mas não controla ou gerencia o processo. Segundo Bani-Asadi e Zanjani [2017], o VMI é um dos métodos mais eficazes para reduzir efeito chicote e a incerteza sobre a demanda.

Segundo Guimarães *et al.* [2015], os sistemas de VMI são reconhecidos por criarem valor simultaneamente para o fornecedor e para o cliente, criando uma situação de benefício mútuo. O fornecedor tira proveito de maior acurácia no planejamento de sua distribuição de produtos, reduzindo as rupturas e elevando a eficiência de entregas.

O pesquisador Tang [2006] afirma que ao utilizar o VMI, ganha-se na redução dos níveis de estoque, com uma conseqüente redução de custos no processo, e ao mesmo tempo, eleva o nível de serviço prestado aos clientes. O mesmo autor ainda afirma que o fornecedor, através do VMI, consegue diminuir os custos de estoques e distribuição. Apesar do custo adicional com a manutenção de estoques, essa prática fideliza o cliente, além das informações adicionais sobre a demanda e mercado.

### 4. Formulação do Inventory Routing Problem

O IRP pode ser formulado da seguinte forma: um grafo completo e não-orientado  $G = (V, E)$  de modo que o conjunto de vértices e o conjunto de arcos são definidos respectivamente por  $V = \{0, \dots, n\}$  e  $E = \{(i, j) \in V, i \neq j\}$ . O vértice  $D$  pertencente a  $V$  é o centro de distribuição (CD) e  $C = V \setminus D$  retrata os clientes. Os arcos  $(i, j) \in V$  possuem um custo  $c_{ij} > 0$ . O problema considera decisões em um horizonte  $T = \{0, \dots, p\}$ . O cliente  $i$  demanda  $d_i^t, \forall t \in T$ , tem um custo de manutenção de estoque  $h_i$  e uma capacidade de estocagem  $C_i$ , CD tem capacidade de estocagem  $C_D$ . No instante  $t = 0$ , pode ser que exista no cliente um estoque inicial definido por  $I_i^0, \forall i \in V$ . Considera-se que o CD possui um estoque suficiente de produto para atender à demanda dos clientes ao longo de  $T$ , e o CD deve escolher em qual período  $t$  será atendida a demanda do cliente  $i$  a uma quantidade  $Q_{ik}^t$ . Uma frota heterogênea de  $k$  veículos,  $K = \{1, \dots, k\}$ , com capacidade  $Q_k$  está disponível no CD.  $CT_{ij}$  é o custo associado a mão de obra utilizada para satisfazer cada roteiro. Cada veículo  $k$  faz uma única rota em cada período  $t$ , visitando um certo número de clientes. As variáveis estão descritas abaixo:

- $x_{ijk}^t = 1$  se o arco  $(i, j)$  é percorrido no período  $t$  pelo veículo  $k$  senão  $x_{ijk}^t = 0$
- $y_{ik}^t = 1$  se o cliente  $i$  for visitado pelo veículo  $k$  no período  $t$  e 0 caso contrário
- $I_i^t =$  nível de estoque do cliente  $i$  no final do período  $t$
- $I_D^t =$  nível de estoque no CD ao final do período  $t$
- $q_{ik}^t =$  quantidade transportada para o cliente  $i$  no período  $t$  pelo veículo  $k$
- $r^t =$  decisão de compra de itens para ressuprimento do CD
- $w_{ij}^t =$  fluxo para  $j$  a partir  $i$  no período  $t$

O IRP tem como objetivo minimizar os custos totais de transporte e estoque, tendo em conta as seguintes restrições:

- O estoque  $I_D^t$  do CD deve ser menor ou igual que  $C_D$
- O estoque  $I_i^t$  do cliente  $i$  deve ser menor ou igual  $C_i$
- A quantidade entregue pelo veículo  $k$  no período  $t$  não deve exceder sua capacidade  $Q_k$ .



- Cada veículo deve iniciar e terminar sua rota no depósito, cada veículo faz apenas uma rota por período e o número de rotas não pode superar a disponibilidade da frota.
- Cada cliente  $c$  só pode ser visitado por no máximo um único veículo em cada período.

O IRP baseado em Coelho, [2012a] pode ser formulado como um modelo de PLIMB com a política de *Maximum Level* (ML) como descrito abaixo:

$$\text{Min} \sum_{t \in T} I_D^t h_D + \sum_{i \in C} \sum_{t \in T} I_i^t h_i + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} \sum_{t \in T} x_{ij}^{kt} (C_{ij} + CT_{ij}) \quad (1)$$

sujeito a

$$I_D^t = I_D^{t-1} + r^t - \sum_{i \in C} \sum_{k \in K} q_i^{kt} \quad \forall t \in T \quad (2)$$

$$I_i^t = -d_i^t + I_i^{t-1} + \sum_k q_i^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (3)$$

$$I_i^t \leq C_i \quad \forall i \in C, t \in T \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} q_i^{kt} \leq C_i - I_i^{t-1} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (5)$$

$$\sum_{i \in C} q_i^{kt} \leq Q_k \quad \forall t \in T, k \in K \quad (6)$$

$$q_i^{kt} \leq y_i^{kt} C_i \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{j \in C} x_{ij}^{kt} = \sum_{j \in C} x_{ji}^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in C} x_{ji}^{kt} = y_i^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{j \in C} x_{Dj}^{kt} \leq 1 \quad \forall k \in K, t \in T \quad (10)$$

$$\sum_{k \in K} y_i^{kt} \leq 1 \quad \forall i \in C, t \in T \quad (11)$$

$$w_i^{kt} - w_j^{kt} + C_i x_{ij}^{kt} \leq Q_k - q_i^{kt} \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in T \quad (12)$$

$$q_i^{kt} \leq w_i^{kt} \leq Q_k \quad \forall i \in C, t \in T, k \in K \quad (13)$$

$$q_i^{kt} \geq 0, I_i^t \geq 0 \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in T \quad (14)$$

$$x_{ij}^{kt} \text{ e } y_i^{kt} \in \{0; 1\} \quad \forall i, j \in C, k \in K, t \in T \quad (15)$$

A Função (1) tem objetivo de minimizar os custos de estoques do CD, o custo de estoques do cliente e o custo total de transporte. As equações (2) e (3) fazem o balanceamento dos estoques dos clientes e CD, e garantem o atendimento da demanda  $i$  no período  $t$ . As inequações (4) e (5) asseguram que a quantidade entregue ao cliente  $i$  no período  $t$  não ultrapasse sua capacidade disponível. A inequação (6) garante que o total transportado pelo veículo  $k$  não exceda sua própria capacidade. A inequação (7) decide quais clientes serão visitados no período  $t$ . As equações (8) e (9) garantem a continuidade de fluxo dos veículos. A restrição (10) certifica-se que todos os veículos saiam do CD. Em (11), assegura-se que cada cliente seja visitado por apenas um veículo



em  $t$ . As restrições (12) e (13) asseguram a não ocorrência de subciclos. A inequação (14) garante a não negatividade das variáveis de decisão de estoques e quantidade transportada. Por fim, a restrição (15) obriga que as variáveis de decisão de rota e de visitar ou não os clientes sejam binários.

#### 4.1. Políticas do *Inventory Routing Problem*

O IRP é abordado na literatura considerando diferentes políticas de abastecimento, que impõem condições na quantidade que deve ser entregue a cada visita ao cliente. As duas mais utilizadas são as políticas de *Order-Up-to-Level* (OU) e de *Maximum Level* (ML). A política OU, define que “se for decidido” visitar o cliente, a quantidade entregue ao mesmo deve preencher a capacidade máxima de seu estoque, desse modo vinculando a decisão da quantidade que deve ser entregue à diferença entre capacidade máxima e seu nível de estoque do cliente no período. Essa política foi introduzida por Dror *et al.* [1985] com o intuito de simplificar o problema e obter boas soluções. Diferente do OU, a política ML considera que qualquer quantidade pode ser entregue considerando apenas a restrição de capacidade do cliente. A política de ML pode alcançar os mesmos resultados da OU, porém é mais flexível. Entretanto traz mais complexidade ao problema, haja visto que o número de variáveis de decisão aumenta, pois a quantidade a ser entregue deixa de estar associada à simples diferença de capacidade e estoque do período. Ambas políticas são extensamente abordadas na literatura vide Bertazzi *et al.* [2002], Archetti *et al.* [2007], Solyal and Süral [2011], Adulyasak *et al.* [2013], Archetti *et al.* [2012] Coelho *et al.* [2012a] Coelho *et al.* [2012b], Michel e Vanderbeck [2012], Coelho e Laporte [2013a], Coelho e Laporte [2013b], Hewitt *et al.* [2013], entre outros. Recentemente os pesquisadores Coelho e Laporte [2013b] introduziram na literatura a política de *Optimized Target Level* (OTL).

A política de OTL é parecida com a política OU, porém a quantidade a ser transportada não deve preencher a capacidade de estoque do cliente, mas sim chegar a um nível ótimo de estoque que é definido pelo modelo matemático, sendo calculado simultaneamente para todos os clientes.

O problema formulado acima está de acordo com a política ML. Abaixo as formulações para as outras políticas. A política de OU pode ser representada com a adição das Equações (16) e (17).

$$q_i^{kt} \leq C_i - I_i^{t-1} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (16)$$

$$q_i^{kt} \geq C_i y_i^{kt} - I_i^{t-1} \quad \forall i \in C, k \in K, t \in T \quad (17)$$

A política de OTL cria uma variável nova  $L_i$ , que seria o nível ótimo de estoque do cliente, a OTL pode ser representada com a adição das Equações (18), (19) e (20).

$$0 \leq q_i^{kt} \leq L_i - I_i^t \quad \forall i \in C, t \in T \quad (18)$$

$$q_i^{kt} \leq C_i y_i^{kt} \quad \forall i \in C, t \in T \quad (19)$$

$$q_i^{kt} \geq L_i - I_i^t - (1 - y_i^{kt})C_i \quad \forall i \in C, t \in T \quad (20)$$

#### 5. Empresa Foco do Estudo

A empresa estudada entrou no mercado em 1994. Seu principal serviço é a distribuição de produtos de higiene pessoal, perfumaria e cosméticos, tendo como principais clientes os varejistas de pequeno a grande porte. A empresa atua na distribuição e no varejo nos estados do Pará, Amazonas, Maranhão, Amapá, Roraima e Rondônia, e tem filiais no estado do Amazonas e Pará. O estudo foi realizado para o Pará. A filial atende com frota própria as cidades de Ananideua, Marituba e Belém, e terceiriza a distribuição para outras regiões.

Na logística, a empresa atua desde a compra e negociação com fornecedores, passando pela entrada da mercadoria, separação dos pedidos, até a entrega ao cliente final. A empresa atende



mais de 150 clientes, sendo que oito deles representam mais de 60% de sua demanda total. Diariamente são recibos novos pedidos e a rota de entrega varia de acordo com o volume demandado. Dentre os oito clientes citados, seis estão localizados em Belém e apenas dois em Ananindeua. Esses oito clientes geram em média uma receita de R\$ 170.000,00 por mês para empresa.

A frota da empresa é composta por quatro veículos, chamados de Furgão 1, Furgão 2, Furgão 3 e Furgão 4. Suas capacidades são respectivamente 30, 20, 20 e 4,8 metros cúbicos. Seus respectivos consumos de combustíveis são: 6, 13, 13 e 8 quilômetros por litro. Apenas o Furgão 4 usa gasolina sendo que os outros usam diesel. Dada a quantidade de produto que cada veículo transporta, a empresa impõe que a tripulação do Furgão 1 seja composta por um motorista e dois ajudantes, os Furgões 2 e 3 têm a tripulação composta por um motorista e um ajudante e o Furgão 4 apenas o motorista. O volume do produto é 0,02508 metros cúbicos. Este estudo considerou os preços atuais de mercado dos combustíveis e, que todos os clientes iniciaram com um estoque equivalente a um período de demanda.

Com intuito de aumentar o nível de serviço a esses clientes e também garantir a fidelização, a empresa quer implantar um sistema de VMI. Nesse contexto surge este estudo para avaliar a viabilidade da implantação do sistema e otimizar a roteirização juntamente com os novos custos de estoques. A Figura 2 contém um mapa com os clientes.

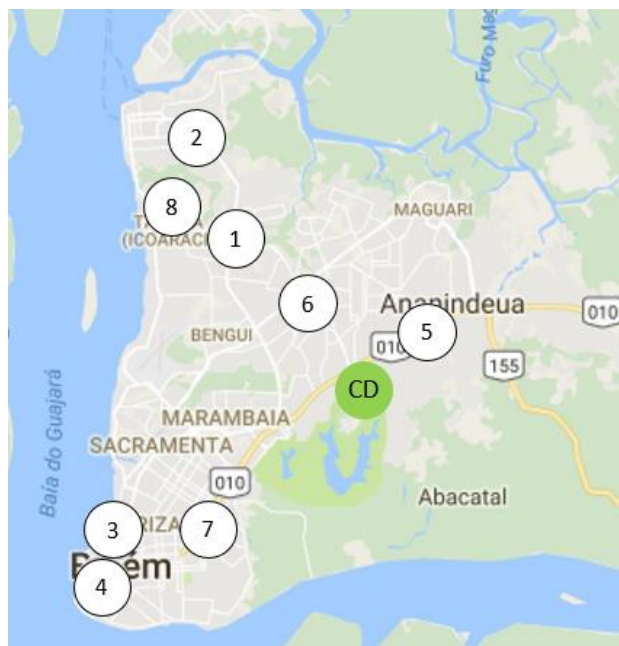


Figura 2 – Mapa de clientes. Fonte: Autores [2017]

## 6. Resultados e Análises

As três políticas foram implementadas com o software de modelagem AIMMS. Realizou-se um teste no modelo com instâncias da literatura e em seguida realizou-se um teste com os dados coletados do problema. Para este problema, o AIMMS gerou um modelo de programação linear inteira com as seguintes características. Números de variáveis: OTL 1585 sendo 1280 inteiras; ML 1577 sendo 1280 inteiras; OU 1577 sendo 1280 inteiras. O número de restrições geradas foram respectivamente: 2149, 1829, 2101. O solver utilizado pelo AIMMS foi o CPLEX 12.6. As soluções encontradas foram as ótimas de cada política.

O computador utilizado possui um processador Intel Core i3 1.7GHz e 4GB de memória RAM, sob plataforma Windows 10. Para validar as soluções do problema, utilizou-se a ferramenta Math Inspector do AIMMS, a qual possibilita inspecionar os valores de todas as variáveis utilizadas



nos modelos. Através das variáveis  $x_{ijk}^t$  com valor igual a um, ou seja, o cliente  $j$  é atendido após o cliente  $i$  pelo veículo  $k$ , no período  $t$ , pode ser identificada a rota que cada veículo deverá realizar. Através da variável  $q_i^{kt}$ , pôde-se inspecionar a quantidade transportada, e  $I_i^t$  a quantidade de estoque em cada cliente.

As três políticas implementadas geraram três cronogramas de entregas diferentes. A política de OU gerou roteiros totalmente diferentes das outras e foi a única que gerou entregas no período 1. A política ML e OTL foram semelhantes em relação aos estoques gerados no CD e nos clientes, diferenciando-se apenas nas entregas do cliente 5. Nas Tabelas de 1 a 6 constam os roteiros, estoques, tempos de execução e custos totais gerados por cada política abordada.

Política OU		Roteiros			
Períodos	Furgão 1	Furgão 2	Furgão 3	Furgão 4	
1	0-6-1-0	0-3-8-0	0-5-2-0	-	
2	-	0-7-0	0-4-0	-	
3	-	0-2-0	0-4-0	-	
4	-	-	-	-	

Tabela 1 – Roteiros política OU. Fonte: Autores [2017]

Política ML		Roteiros			
Períodos	Furgão 1	Furgão 2	Furgão 3	Furgão 4	
1	-	-	-	-	
2	-	0-6-1-2-8-0	0-5-7-4-3-0	-	
3	-	0-5-7-4-3-0	0-6-1-2-8-0	-	
4	-	0-6-1-2-8-0	0-5-7-4-3-0	-	

Tabela 2 – Roteiros política ML. Fonte: Autores [2017]

Política OTL		Roteiros			
Períodos	Furgão 1	Furgão 2	Furgão 3	Furgão 4	
1	-	-	-	-	
2	-	0-6-3-4-7-0	0-1-2-8-0	0-5-0	
3	-	0-6-3-4-7-0	0-1-2-8-0	0-5-0	
4	-	0-6-3-4-7-0	0-1-2-8-0	0-5-0	

Tabela 3 – Roteiros política OTL. Fonte: Autores [2017]

Política	Estoques											
	OU				ML				OTL			
	Cliente	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$	$I_4$	$I_1$	$I_2$	$I_3$
0	330	-	-	-	2791	1284	-	-	2791	1284	-	-
1	737	492	246	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	337	-	337	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	415	277	138	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	-	321	321	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	435	290	145	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	395	263	132	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	228	152	76	-	-	-	-	-	-	-	-
8	342	228	114	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 4 – Estoques por política em cada cliente. Fonte: Autores [2017]

Apenas a política OU gerou estoques nos clientes, optando por zerar os estoques no CD e transferí-los para os clientes. Considerando que neste estudo os custos de manter os estoques nos clientes é ligeiramente maior que no CD essa política irá gerar custos maiores. As políticas ML e OTL geram os mesmos estoques portanto menores custos de estoque.





A política OU apresentou o menor tempo de execução em relação às outras políticas (vide Tabela 6), sendo seu tempo de execução mais de 2.000 vezes menor que as demais. A política ML apesar do elevado tempo de execução em relação aos custos gerados foi a mais eficiente (vide Tabela 5), sendo que a política OTL foi praticamente igual, gerando uma diferença de custos de 0,1956%. A política OTL apesar de ser praticamente igual à ML em relação aos custos, teve maior tempo de execução entre as três, sendo esse muito maior que o tempo de execução da OU e sendo 92,59% maior que a política ML. A diferença de custos entre a política OTL e ML que é pequena, se dá justamente pelas três entregas ao cliente 5 realizados pelo Furgão 4.

Custo totais		
OU	ML	OTL
R\$ 31.247	R\$ 13.805	R\$ 13.832

Tabela 5 – Custo total de cada política. Fonte: Autores [2017]

Tempos de execução		
OU	ML	OTL
15,76s	32877,24s	63318,95s

Tabela 6 – Tempo de execução de cada política. Fonte: Autores [2017]

Analisando as três políticas implementadas, a que teve menor desempenho foi a OTL, com o maior tempo de execução e não alcançando o menor custo. Destarte, para o problema estudado, essa seria a política menos indicada para o problema. Então deve-se optar entre a OU e ML, devendo-se analisar o *trade-off* entre o tempo necessário para tomada de decisão e o menor custo gerado. Levando em consideração que o modelo realiza o planejamento de roteiros de entregas e os estoques de clientes de um mês, o tempo de execução de aproximadamente 9 horas e 10 minutos (ML), é aceitável. Em um cenário que o tempo de decisão passa a ser mais restrito deve-se considerar-se a política OU.

As três políticas abordadas utilizaram diferentes veículos da frota. A política OU utilizou apenas os Furgões 1, 2 e 3. A ML utilizou Furgões 2 e 3, e a OTL utilizou Furgões 2, 3 e 5. A taxa total de utilização dos veículos pode ser vista na Figura 3. Isto demonstra que não é necessário a utilização da frota inteira para atender esses clientes, deixando os Furgões 1 e 4 à disposição para atender a demanda dos outros clientes da empresa.

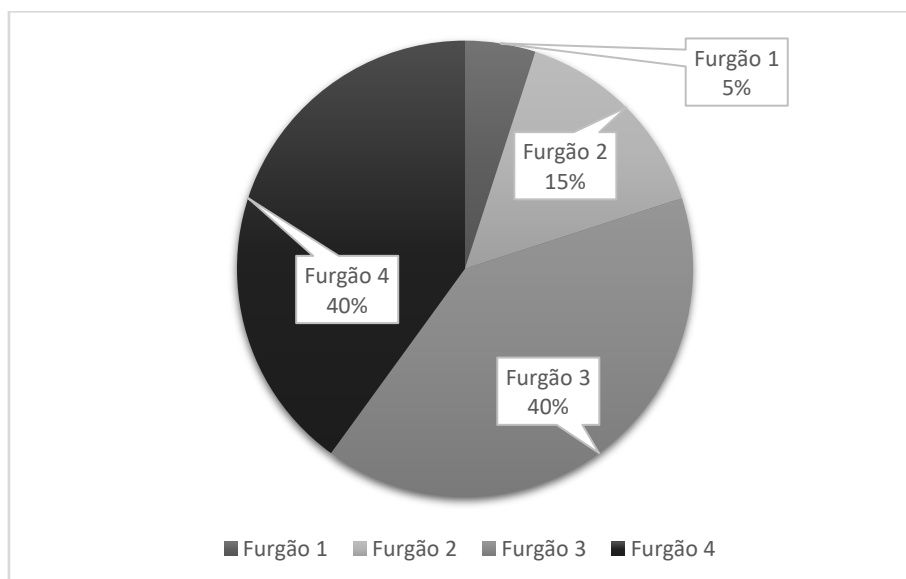


Figura 3 – Taxa de utilização de veículo incluindo todas as políticas. Fonte: Autores [2017]



## 7. Considerações Finais

Este estudo propôs um modelo de IRP visando implementar um sistema de VMI em uma distribuidora de cosméticos. Tal sistema seria para seus oito clientes que mais geram receita. Considerou-se os dados de custos reais de estoques e transportes da empresa e distâncias reais de rotas. O estudo apontou que para implantação do sistema de VMI não seria necessário a utilização de toda a frota da empresa, disponibilizando assim parte da frota exclusivamente para o atendimento de outros clientes.

Implementou-se com sucesso o modelo de IRP considerando três políticas de reposição de estoques (OU, ML e OTL), alterando algumas restrições de acordo com a política utilizada. Tais problemas são de Programação Linear Inteira. O software de modelagem matemática utilizado foi o AIMMS e otimizador CPLEX 12.6. Dentre as políticas implementadas, a que obteve o melhor custo-benefício foi a ML, alcançando menores custos e tempo de execução aceitável.

Como abordado nos resultados existe um *trade-off* entre a escolha da abordagem OU e ML sobre tempo e custo-benefício. Como o planejamento do IRP considera um mês de roteiros, a política ML é completamente aceitável considerando que seu tempo de resposta fica em torno de 9 horas. Mas sabe-se que em muitas situações do cotidiano, do mercado ou nas empresas é necessária uma tomada de decisão imediata, na qual a política OU é mais interessante pois seu tempo de resposta é mais rápido. Destarte seria interessante avaliar um misto de abordagens, usando para o primeiro período a decisão da política OU e, a partir desses resultados iniciais e com benefício de ganho de tempo utilizar a ML. Obviamente, esse misto de políticas deixaria de ser o resultado ótimo, mas atende ambas necessidades de rapidez e redução de custos.

Algumas possíveis extensões desse estudo poderiam ser: i) adição de janelas de tempo; ii) adição de transbordo; iii) um modelo de IRP que considera os clientes do sistema de VMI assim como outros clientes da empresa que não estão incluídos no sistema; iv) elaboração de uma heurística para a resolução do problema com instâncias maiores.

## Referências

- Adulyasak, Y., Cordeau, J-F, Jans R. (2013) Formulations and branch-and-cut algorithms for multivehicle production and inventory routing problems. *INFORMS J. Comput.* 26(1):103-120
- Andersson, H. A, Christiansen M. H. G., Løkketangen A. (2010) Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing. *Comput. Oper. Res.* 37(9):1515–1536
- Archetti, C., Bertazzi L., Hertz A., Speranza, M. G. (2012) A hybrid heuristic for an inventory routing problem. *INFORMS J. Comput.* 24(1):101–116.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Laporte, G., Speranza, M. G. (2007) A branch and-cut algorithm for a vendor-managed inventory-routing problem. *Transportation Sci.* 41(3):382–391.
- Archetti, C., Bertazzi, L., Paletta, G., Speranza, M. G. (2011) Analysis of the maximum level policy in a production-distribution system. *Comput. Oper. Res.* 12(38):1731–1746.
- Bani-Asadi, H., e Zanjani, H. J. (2017) Vendor managed inventory in multi level supply chain. *Decision Science Letters.* 6 (2017) 67–76
- Belfiore, P. P., Costa, O. L. V., Fávero, L. P. L. (2006) Problema de estoque e roteirização: revisão bibliográfica. *Produção* 16 (3)42-454



Bertazzi, L., Speranza, M. G. (2002) Continuous and discrete shipping strategies for the single link problem. *Transportation Sci.* 36(3):314–325

Coelho, L. C., Laporte, G. (2013a) A branch-and-cut algorithm for the multi-product multi-vehicle inventory-routing problem. *Internat. J. Production Res.* (1)1-14

Coelho, L. C., Laporte, G. (2013b) The exact solution of several classes of inventory-routing problems. *Comput. Oper. Res.* 40(2):558–565.

Coelho, L. C., Cordeau J-F., Laporte, G. (2012a) Consistency in multivehicle inventory-routing. *Transportation Res. Part C: Emerging Tech.* 24(1):270–287.

Coelho, L.C., Cordeau J-F, Laporte, G. (2012b) Dynamic and stochastic inventory-routing. Technical report, CIRRELT-2012- 37, Montreal, Canada.

Coelho, L. C., Cordeau, J-F., Laporte, G. (2012c) The inventory routing problem with transshipment. *Comput. Oper. Res.* 39(11): 2537–2548

Dong, A. H., Leung, S. Y. S. (2009) A Simulation-Based Replenishment Model for the Textile Industry. *Textile Research Journal* 79(13) 1188–1201

Dror, M., Ball, M. O., Golden, B. L. (1985) A computational comparison of algorithms for the inventory routing problem. *Ann. Oper. Res.* 4:3–23.

Guimarães, T., Scarpin, C., Steiner, M. T. (2015) Políticas de distribuição com lote econômico de entrega em problemas de roteirização com estoque gerenciado pelo fornecedor e sistema logístico em três níveis. *Gestão da Produção.* 22 (1) 133-148

Guzmán-Camacho, C. H., Salazar-Sanabria H. F., Adarme-Jaimes W. (204) Coordinating inventory in collecting raw milk. Case Region Sugamuxi – *Colombia. DYNA* 81 (186)259-266.

Hewitt, M., Nemhauser, G.L., Savelsbergh, M.W.P., Song J-H. (2013) A branch-and-price guided search approach to maritime inventory routing. *Comput. Oper. Res.* 40(5):1410–1419.

Michel, S., Vanderbeck, F. (2012) A column-generation based tactical planning method for inventory routing. *Oper. Res.* 60(2):382–397

Moah, D., Dos Santos, T. R. A., Hamacher, S., Rodrigues, F. B. (2016) Roteirização de veículos em uma distribuidora de cosméticos atuante na região metropolitana de Belém. In *Anais do XIII SIMPEP*, P.1-14, Bauru-SP

Pires, S. R. I. (2009) *Gestão da Cadeia de Suprimentos: conceitos, estratégias, práticas e casos-* Supply chain management. 2ª ed. São Paulo: Atlas.

Tang, C. (2006) Perspectives in supply chain risk management. *International Journal of Production Economics.* (103) 451-488.



Vidović M., Popović D., Ratković B. (2014) Mixed integer and heuristics model for the inventory routing problem in fuel delivery. *Int. J. Production Economics*. (147) 593–604

Zhu Z., Zhang Y., Gao D. (2009) A Study of VMI Model With Stochastic Demand. *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering)*. (3) 608-628