



Proposição de um Modelo de Otimização Inteira para o Problema de Adquirência

Rafael Pereira de Ávila Ferrari,¹ Maristela Santos²

Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação /USP

Eli Angela Toso³

Universidade Federal de São Carlos - Campus Sorocaba

1 Introdução e Definição do Problema

As empresas de adquirência gerenciam e operam os terminais de pagamento, como os de cartões de crédito e débito. Esses terminais, também conhecidos como maquininhas, máquinas ou maquetinas, integram uma operação complexa. Em especial, no aspecto logístico, essas empresas precisam cobrir uma vasta área geográfica, com centros de distribuição e postos avançados, garantindo que os dispositivos cheguem aos comerciantes ou clientes de forma eficiente. O setor de adquirência está em crescimento contínuo. No ano de 2023, houve um aumento de 10,1%, somando R\$ 3,73 trilhões em transações, de acordo com a ABECS (Associação Brasileira das Empresas de Cartões de Crédito e Serviços). Em número de transações, foram 42,2 bilhões, representando um crescimento de 13% [2]. Uma empresa de adquirência, de uma maneira geral, realiza sua distribuição através do modelo logístico *merge-docking*. As principais facilidades existentes em um modelo de *merge-docking* são:

- Os centros de distribuição (CDs): normalmente são abertos em pequenas quantidades, pois possuem uma grande área de armazenagem, bem como uma grande quantidade de produtos armazenados e são responsáveis por abastecer os postos avançados;
- Os postos avançados (PAs): normalmente são abertos em grandes quantidades, pois possuem uma área pequena de armazenagem e são responsáveis por abastecer os clientes de uma determinada região de um município populoso ou uma região que possui alguns municípios pouco populosos;

¹rpferrari@gmail.com

²mari@icmc.usp.br

³eli@ufscar.br

- Cliente final: é onde se encontra o objetivo de abastecimento da malha logística, pois se trata do estabelecimento que realizará as transações financeiras, gerando receita para a empresa.
- Fabricantes: responsáveis por abastecer os centros de distribuição (CDs) com máquinas, seja por meio de compra ou de reparo das maquinetas que não estão em perfeito estado de funcionamento;
- Empresas de descarte: especializadas em receber itens que não podem mais ser utilizados nas operações devido a avarias, quando o reparo é mais caro do que a aquisição de um novo produto. Essas empresas são certificadas com a ISO 14001 e seguem práticas sustentáveis para o descarte de produtos eletrônicos, minimizando o impacto ambiental.

Outra característica importante da malha logística de uma empresa de adquirência é que opera como uma cadeia de circuito fechado (*closed loop supply chain*), onde os itens enviados ao cliente retornam pelo mesmo trajeto, em um processo conhecido como logística reversa. Assim, o item é constantemente enviado e retornado até não poder mais ser reutilizado. O envio das maquinetas começa no fabricante de duas maneiras: a primeira é por negociações, geralmente em grandes quantidades, com envio direto para os CDs. A segunda é pela devolução de máquinas quebradas dos CDs, que passam por reparo e são enviadas de volta. Os CDs são abastecidos tanto pelos fabricantes quanto pelas máquinas retornadas dos PAs, formando um estoque redistribuído para os PAs conforme a demanda, seguindo um fluxo puxado. Os PAs são a última etapa antes de enviar a maquineta ao cliente e a primeira na logística reversa após a desinstalação, sem realizar reparos. Embora alguns sejam maiores, a maioria opera em locais simples, como residências adaptadas. A demanda surge quando o cliente solicita a instalação, gerando uma ordem de serviço. O PA deve, então, enviar e instalar a maquineta dentro do prazo estipulado para a região. No fluxo reverso, o PA remove a maquineta e a envia aos CDs. Técnicos especializados realizam a instalação e desinstalação, e o transporte é feito por motocicletas ou veículos, conforme a demanda. Nos CDs, as maquinetas passam por triagem, onde recebem pequenos reparos e limpeza. Se precisarem de reparos maiores, são enviadas aos fabricantes ou, se inutilizáveis, encaminhadas para descarte de material eletrônico. Após a triagem, maquinetas aptas seguem para armazenagem. A estrutura da rede logística de uma companhia de adquirência pode ser melhor observada conforme Figura (1) e o processo interno do CD na Figura (2).

2 Modelagem Matemática

Um modelo de otimização inteira mista está sendo desenvolvido para lidar com o problema, onde as principais decisões envolvem determinar as quantidades de máquinas a serem transportadas das fábricas para os centros de distribuição (CDs), e destes para os postos avançados e clientes finais. Além disso, o modelo também deve otimizar a logística reversa, abrangendo o retorno de equipamentos dos clientes para os postos avançados e destes, para os CDs e fábricas. Outro aspecto crucial é a definição das localizações das facilidades, como CDs e PAs, estabelecendo tanto o número de instalações a serem abertas quanto suas localizações mais estratégicas. O objetivo principal do problema é minimizar os custos totais, que englobam não apenas o transporte direto, mas também os custos relacionados à manutenção das instalações abertas, bem como os custos associados à abertura de novos centros de distribuição (CDs) e postos avançados (PAs). As restrições do

Figura 1: Cadeia logística *merge-docking* de laço fechado

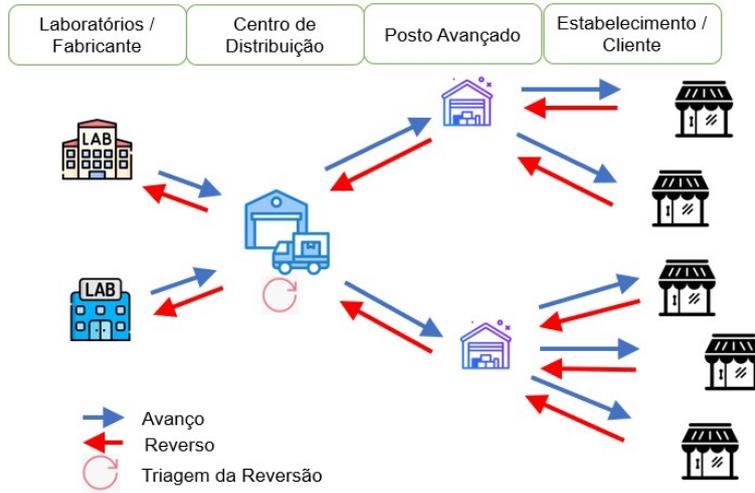
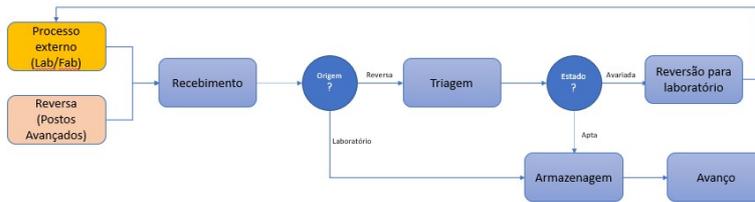


Figura 2: Fluxo de processo no centro de distribuição



modelo levam em consideração diversos fatores críticos, incluindo o balanço de estoque em cada nível da cadeia logística, a quantidade máxima de armazenamento permitida nas instalações, além da capacidade de envio e recebimento de produtos. Também são consideradas as limitações sobre a quantidade máxima de CDs e PAs que podem ser abertos, bem como a manutenção da operação das instalações existentes. Entre essas restrições, destaca-se as restrições 1 de balanceamento de estoque para os PAs. Para o período $t \in \{1, \dots, T\}$, a quantidade de maquinetas enviadas da zona de demanda $j \in \{1, \dots, J\}$ para o posto avançado (PA) $p \in \{1, \dots, P\}$ é representada por $q_{j,p,t}^{rp}$. Além disso, a quantidade de maquinetas transportadas do PA $p \in \{1, \dots, P\}$ para o centro de distribuição (CD) $i \in \{1, \dots, I\}$ no mesmo período é indicada por $q_{p,i,t}^{rc}$. A quantidade de maquinetas para reversa que compõe o estoque do PA $p \in \{1, \dots, P\}$ no período anterior, $t - 1$, é denotada por $s_{p,t-1}^{prc}$. Por fim, a quantidade de maquinetas para reversa que compõe o estoque do PA $p \in \{1, \dots, P\}$ no período atual.

$$\sum_{j=1}^J q_{j,p,t}^{rp} - \sum_{i=1}^I q_{p,i,t}^{rc} + s_{p,t-1}^{prc} = s_{p,t}^{prc} \quad p = 1, \dots, P \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

Na literatura consultada sobre problemas relacionados, para a formulação do modelo matemático, considera os seguintes estudos sobre localização de facilidades e controle de estoques:

- *"Effective location models for sorting recyclables in public management"*, propõe um modelo dinâmico de localização de instalações que considera restrições orçamentárias e incertezas de custos e demandas, visando minimizar os custos de instalação, operação e transporte de materiais recicláveis, enquanto maximiza o nível de serviço na coleta [3].
- *"Using the maximal covering location problem to design a sustainable recycling network"* aborda a otimização da localização e quantidade de centros de coleta de produtos em fim de vida (EoL) via MCLPR (*Maximal Covering Location Problem for Recycling*), com restrições orçamentárias. As variáveis principais incluem a instalação de centros, transporte de EoL e fluxo entre centros de demanda e usinas de reciclagem. O estudo de caso em São Paulo, com 412 centros e 20 usinas, destaca a importância de uma logística reversa eficiente [4].
- *"An Inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithm and Computational Results"* aborda o gerenciamento de estoques e a otimização da localização de centros de distribuição (CDs), equilibrando custos de estoque e transporte. Propõe um modelo para determinar o número e a localização ideais de CDs, integrando políticas de estoque e decisões de transporte [1].

3 Próximos Passos

Nesta pesquisa, um modelo de otimização inteira é proposto para representar a rede logística reversa de uma empresa de aquisição, implementado em Python com o solver Gurobi 10.0.2. Na próxima etapa, serão gerados exemplos para análise de cenários de uma empresa brasileira do setor, considerando a rede com e sem a abertura de novos CDs e postos avançados.

Referências

- [1] DASKIN, Mark S.; COULLARD, Collette R.; ZUO-JUN, Max; SHEN. An Inventory-Location Model: Formulation, Solution Algorithm and Computational Results. 2002. *Annals of operations research*, 83-106.
- [2] F. ANNA. Inimigos do Pix? Pagamentos com cartões crescem 10% e atingem R\$ 3,73 tri em 2023. *Infomoney*, 2024. url = <https://www.infomoney.com.br/consumo/pagamentos-com-cartoes-crescem-10-e-atingem-r-373-tri-em-2023/>
- [3] TOSO, Eli; ALEM, Douglas. Effective location models for sorting recyclables in public management. 2014. *European Journal of Operational Research*, v. 234, n. 3, p. 839-860.
- [4] Ximena D. Medrano-Gómez, Deisemara Ferreira, Eli A.V. Toso, Omar J. Ibarra-Rojas. Using the maximal covering location problem to design a sustainable recycling network. 2020. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 124020.,