

## Avaliação de cenários para o problema de localização de facilidades determinando centros de distribuição de uma empresa de eletrodomésticos

Alice Dias Pereira, Guilherme Vinicyus Batista, Bruno Sanito Slusarz de Andrade Cruz

**Resumo:** O presente artigo refere-se à utilização de pesquisa operacional para tomada de decisão da abertura de novos centros de distribuições para a logística reversa do e-commerce de uma empresa de eletrodomésticos. Utilizou-se uma abordagem de localização de facilidades com capacidade limitada e fonte única. A empresa conta com mais de 400 assistências técnicas espalhadas pelo país, sendo esses pontos candidatos a se tornarem um novo centro de distribuição. Além disso, a empresa tem registrado milhares de pontos de demanda em toda região brasileira. Para solucionar esse problema foi levantado os custos envolvidos nos processos de devolução de produtos e foram criados três cenários com 3, 4 e 5 centros de distribuição. A resolução do problema indica a designação de quais depósitos estarão habilitados a receber produtos de quais cidades. O modelo matemático foi criado utilizando o VBA (Virtual Basic for Applications) e a API (Aplicativos Programming Interface) do Google Maps para obtenção das coordenadas geográficas de cada localização. O solver Gurobi foi a ferramenta utilizada na resolução dos modelos com tempo limite de 6 horas e os resultados alcançados foram satisfatórios.

**Palavras chave:** Pesquisa operacional. Locação de facilidades. Fonte única. Modelo matemático.

## Evaluating scenarios for the facility location problem to determining warehouses for a household appliance company

**Abstract:** The present paper concerns about the use of operational research for decision-making analysis about the opening of new warehouses to store the products of the logistic reverse of the e-commerce of a household appliance company. The approached used was the Facility Location with Limited Capacity and Single Source. The company owns more than 400 technical assistances, which are the candidates to become a distribution center. Furthermore, the company has thousands demand spots around Brazil. To solve this problem, it was analyzed all the costs related to the logistic reverse processes and it was created three scenarios with 3, 4 and 5 distribution centers. As the result, there are assignments about which warehouse will receive the products from which city. The mathematical model was created using the VBA (Virtual Basic for Applications) and the API (Aplicativos Programming Interface) from Google Maps in order to obtain the geographic coordinates of each location. The solver Gurobi was the tool used to solve the model with the time limit of 6 hours and the results obtained were satisfactor.

**Key-words:** Operational Research. Facility Location. Single-source. Mathematical model.

### 1. Introdução

As vendas de produtos online vêm aumentando a cada ano devido a desenvolvimentos tecnológicos e menores custos logísticos. Além disso, segundo pesquisas o Instituto de Pesquisa Forrester (E-COMMERCE BRASIL, 2016), o e-commerce brasileiro terá crescimento de 12,4% ao ano e deve dobrar até 2021. Grandes empresas têm aumentado seu e-commerce de forma exponencial necessitando de reestruturação, para isso fazem grandes investimentos em projetos logísticos que visam reduzir custos, especialmente quando tratado do caso de

vendas online. O setor de e-commerce possui um alto custo relacionado ao retorno de mercadorias já que o consumidor tem o direito de devolver o produto em até 7 dias úteis. A logística reversa além das questões ambientais, é uma atividade essencial para diversos negócios (E-SALES, 2018).

O presente artigo foca na logística reversa, devolução de produtos devolvidos à empresa, propondo a determinação da localização de centros de distribuição (CDs) em locais estratégicos para o recebimento e conserto. Este problema é conhecido como o problema de localização de facilidade com capacidade limitada e fonte única e será modelado e resolvido utilizando um solver. As assistências técnicas espalhadas pelo país são pontos candidatos a se tornarem CD, sendo que serão gerados cenários com a escolha 3, 4 ou 5 facilidades.

O fluxo de logístico de devolução do produto é o contrário da entrega, saindo do cliente, passando pelo estoque do e-commerce da empresa, pelo armazém até chegar à fábrica. Assim, ele é recuperado ou trocado e levado novamente ao cliente de acordo com o fluxo inicial. Todo esse fluxo de devolução representa um alto custo logístico à empresa. A construção de estabelecimentos junto a assistências técnicas autorizadas, os quais pudessem receber produtos com problemas operacionais a fim de concertá-los de devolvê-los ao cliente, traz uma diminuição das distâncias percorridas para a logística reversa, já que o produto não precisaria ir para o estoque do e-commerce e fábricas. Tal projeto pode trazer redução considerável de custos relacionados a transporte, o qual atualmente é feito pela terceirização de transportadoras.

Para a resolução dos diversos problemas de localização de facilidades, há diferentes modelos e abordagens que são utilizados, a seguir serão apresentados trabalhos relevantes tratando do tema de localização de facilidades e abordagens de resolução. Na terceira seção será introduzida a modelagem matemática e o levantamento de dados. Na quarta os resultados obtidos e, finalmente, na quinta as considerações finais.

## 2. Trabalhos correlatos

O problema de localização de facilidades é bastante estudado em Pesquisa Operacional. Segundo Reville (2005), ele visa encontrar o lugar ideal para a abertura de uma instalação utilizando o modelo matemático mais adequado para a situação. Para isso, o objetivo deste tipo de problema é determinar a localização de instalações de tal forma que as “vantagens” máximas possam ser obtidas em virtude da localização, em termos de medidas de desempenho desejáveis (RANDHAWA e WEST, 1995).

Existem vários fatores que interferem na solução ótima do problema, podendo ser fatores econômicos ou acessibilidade do local. Barreto (2004), Peričaro, Volpi e Santos (2007), Current, Min e Schilling (1990) citam fatores que podem alterar a decisão locacional do problema, como: a minimização de custos, a proximidade dos fornecedores e dos consumidores, a infraestrutura local, a localização dos competidores, barreiras governamentais, impacto econômico, danos ambientais.

O problema de localização de facilidades é subdividido em inúmeras categorias, e usa diversas abordagens de resolução. O estudo formal de facilidades iniciou-se com Alfred Weber em 1909, quando analisou o problema de localização de um armazém, diminuindo a distância entre os clientes (WEBER, 1929). Leon Cooper foi um dos primeiros a escrever sobre problemas de alocações de facilidades; o autor apresentou um modelo que encontrava a melhor solução para a localização de várias instalações, levando em consideração seus custos

fixos (COOPER, 1963). Teitz e Bart (1968) estudaram as possibilidades de se encontrar a mediana de um grafo ponderado, obtendo resultados inesperados e importantes para o estudo de localização de facilidades até o momento. Nas décadas de 80 e 90, houve mais pesquisas e publicações relacionadas ao tema devido aos avanços computacionais. Atualmente, o problema vem sendo estudado em diferentes setores o que levou o desenvolvimento de novos métodos, resoluções e tipos.

Os problemas atuais são de maiores complexidades e com muitas variáveis. Pizzolato e Menezes (2013), por exemplo, estuda a distribuição espacial das escolas de ensino básico no bairro de Guaratiba - Rio de Janeiro, avaliando a distribuição atual e projetando a localização ideal de novas escolas para os horizontes de 2015 e 2020, em função das previsões de crescimento demográfico na região. Já Endler (2016), estuda a otimização de centros públicos de educação infantil em Curitiba, resolvendo os modelos matemáticos pelo solver CPLEX® e utilizando software ArcGis® 10.1.

De acordo com Current, Min e Schilling (1990), Owen e Daskin (1998) e Bandeira (2006), os modelos de localização de capacidades podem ser classificados em diferentes categorias. Há modelos que possuem limites ou tamanho da capacidade nas restrições (*capacitated facility location model*). Já os não-capacitados ou com capacidade ilimitada assumem que cada unidade não tem limites em sua capacidade. Segundo Arabani e Farahani (2012), nos problemas simples, a instalação deve ser escolhida com a finalidade de que as distâncias com as outras instalações sejam minimizadas. Nos problemas de múltiplas instalações é similar, porém várias novas instalações deverão ser alocadas em locais ótimos. Além desses, ainda existem modelos de cobertura, modelos centrais e modelos medianos. O modelo mediano tem como finalidade localizar  $p$  instalações nos vértices de uma rede e alocar demandas dessas instalações de forma a minimizar o total do produto peso vezes a distância entre as instalações e os pontos de demanda do consumidor (Hakimi, 1964). Romero (2006) classifica os modelos de localização de acordo com cinco métodos de resolução. Os de otimização ou programação linear, simulação, multicritério, heurísticos e meta-heurísticos. Os métodos meta-heurísticos, por exemplo, São métodos de solução que coordenam procedimentos de busca locais com estratégias de mais alto nível, de modo a criar um processo capaz de escapar de mínimos locais e realizar uma busca robusta no espaço de soluções de um problema (GLOVER e KOCHENBERGER, 2003).

O problema de locação de facilidade capacitado com fonte única (SSCFLP) é um caso especial de localização de facilidade capacitado, no qual cada cliente pode apenas ser atendido por uma facilidade. Esse problema foi estudado por vários autores como Barcelo and Casa- novas (1984), Darby-Dowman and Lewis (1988), Fisk (1978), Sridharan (1986, 1993), Klincewicz & Luss (1986), Neebe and Rao (1983), Pirkul (1987) e Beasley (1993).

Segundo Rönnqvist et al. (1999), uma das abordagens mais comuns para solucionar esse problema é a heurística Lagrangeana. Nessa abordagem, uma sequência de menores e mais simples subproblemas são resolvidos, os quais se aplicam procedimentos de soluções eficientes. Para ter certeza que haja soluções factíveis, alguns procedimentos heurísticos precisam ser usados, os quais, dado a solução de um subproblema, tentam gerar uma solução factível. Klincewicz & Luss (1986) apresenta um algoritmo que é baseado no relaxamento de restrições de capacidade de facilidade. O correspondente subproblema de Lagrangian então se tornou um problema de facilidade não capacitado. Ambos são resolvidos usando algoritmos de subida dupla de Erlenkotter (1978).

### 3. Metodologia

Nessa seção serão apresentados o modelo matemático do problema em questão, bem como suas variáveis e parâmetros. Além disso, será apresentada a metodologia de levantamento de dados.

#### 3.1. Modelagem matemática

Primeiramente, para que se possa utilizar os modelos matemáticos estudados para a resolução dos problemas, é necessário coletar informações. Como se trata de um problema logístico de uma empresa que entrega produtos para todo o Brasil, cada cidade será identificada como um cliente  $j$ . Ademais, as possíveis facilidades são todas assistências técnicas da empresa, que consistem em mais de 400 unidades.

A metodologia utilizada para o presente problema é localização de facilidades com capacidade limitada e fonte única. Assim, cada cliente será representado por uma cidade e deve ser alocado para exatamente uma facilidade (CD) cujas capacidades são limitadas.  $J$  é o conjunto dos clientes  $j$ , ou seja, as cidades as quais a empresa entrega produtos. O índice  $i$  representa todos os candidatos a serem escolhidos para serem transformados em CD's, ou seja, as assistências técnicas. A representação  $D_j$  é a demanda de produtos devolvidos de cada cidade, e  $Q_i$  a capacidade do CD  $i$ .

Os custos também devem ser considerados, assim,  $c_{ij}$  é o custo relacionado com o transporte dos produtos do cliente  $j$  até o CD  $i$ ,  $f_i$  é o custo fixo do CD  $i$  e  $V$  é o custo variável do CD. A quantidade de facilidades abertas é representada por  $p$ , e serão definidas como 3, 4 e 5 assim o resultado das 3 possibilidades serão analisados para auxiliar na tomada de decisão. Os parâmetros do modelo são apresentados na Tabela 1.

Parâmetro	Significado
$j$	índices de clientes ou cidades
$i$	índices de Assistência Técnica
$f_i$	Custo fixo do CD $i$
$V_i$	Custo variável de manuseio de itens no CD $i$
$c_{ij}$	Custo de transporte do CD $i$ para o cliente $j$
$D_j$	Demanda do cliente $j$
$Q_i$	Capacidade do CD $i$
$p$	Quantidade de CDs abertos
$M$	Número grande

Tabela 1 – Parâmetros do trabalho

Esse modelo também usa as três variáveis de decisão, duas binárias e uma livre que são as seguintes:

$$y_i = \begin{cases} 1 & \text{se a facilidade } i \text{ for aberta} \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{se a facilidade } i \text{ servir o cliente } j \\ 0 & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$q_i = \text{capacidade utilizada no depósito } i$$

O modelo matemático é o seguinte:

$$\text{Min} \sum_{i \in I} f_i y_i + \sum_{i \in I} V_i q_i + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij} D_j x_{ij} \quad (1)$$

Sujeito à:

$$q_i \leq QMax_i \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, \quad (3)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p, \quad (4)$$

$$\sum_{j \in J} D_j x_{ij} = q_i, \quad \forall i \quad (5)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq M y_i, \quad \forall i \quad (6)$$

$$x_{ij} \in B^{||J||}, \quad y_i \in B^{|I|}, \quad q_i \in R \quad (7)$$

A função objetivo (1) tem como finalidade minimizar os custos fixos dos centros de distribuições, os custos relacionados às atribuições dos clientes até as facilidades e os custos variáveis de cada CD. A restrição (2) garante que a capacidade utilizada no CD  $i$  é menor que a capacidade total do CD. A restrição (3) garante que cada cliente  $j$  é designado a apenas 1 facilidade. E a restrição (4) garante que apenas  $p$  facilidades serão escolhidas. A restrição (5) informa a capacidade do CD e a (6) verifica se o CD  $i$  está sendo utilizado. A restrição (7) indica os tipos de variáveis.

O modelo deve ser resolvido três vezes, levando em consideração as diferentes quantidades de CDs desejados pela empresa para se investir, ou seja,  $p$  poderá assumir os valores 3, 4 ou 5. Por fim, obtêm-se quais cidades devem ter seus produtos devolvidos para cada CD e quais assistências técnicas devem ser transformadas em CDs.

### 3.2 Levantamento de dados

Para que o modelo matemático seja montado, é necessário coletar todos os dados descritos como: coordenadas, custos e demandas de acordo com as atuais condições da empresa.

#### 3.2.1 Coordenadas

Como o problema se trata de locação de facilidades, primeiramente é necessário analisar todos os pontos geograficamente, tanto das cidades quanto das assistências técnicas. A empresa possui um cadastro de com informações do endereço de suas assistências técnicas. Foi, então, necessário coletar as coordenadas de cada assistência técnica. Para isso, utilizou-se uma API (Application Programming Interface) que teve como finalidade transferir os dados as coordenadas do Google Maps para o Excel. A integração foi feita através de uma programação em VBA (Virtual Basic for Applications) que utilizou a API criada pelo Google para

a partir dos endereços que estavam descritos em células do Excel, retornar com vários dados sobre o local procurado como suas coordenadas.

### 3.2.2 Cálculo das distâncias

Após obter todas as coordenadas necessárias para o modelo matemático, deve-se calcular a distância entre todas as assistências técnicas e todas as cidades. Sob a terminologia da Teoria dos Grafos, Corrêa et al. (2004) associam o Problema das  $p$ -medianas Capacitado (PPMC) a um grafo não direcionado  $G = (V, A)$  cujo conjunto de vértices  $V$  contém os  $n$  pontos de demanda interligados pelos arcos do conjunto  $A$ . No problema, cada par de coordenadas irá gerar um vértice, sendo que cada cliente estará ligado a todos os depósitos por meio de arestas.

Para obter-se as distâncias das arestas, utilizou-se a Fórmula de Haversine já que a distância necessária é entre pontos localizados sobre a esfera terrestre. Segundo (HIJMANS, 2015), existem quatro formas de se calcular a distância entre dois objetos geográficos, as quais são apresentadas em ordem crescente de complexidade algorítmica: lei esférica dos cossenos, Haversine (SINNOTT, 1984), “Vincenty Sphere” e “Vincenty Ellipsoid” (VINCENTY, 1975). Segundo Ivis (2006), entre os dois métodos mais simples, a fórmula de Haversine é matematicamente equivalente a lei esférica dos cossenos, sendo preferida por ser menos sensível a erros de arredondamento. Considerando dois pontos de uma esfera de raio  $R$ , com latitude e longitudes  $(l_1, \Delta_1)$ ,  $(l_2, \Delta_2)$ , respectivamente, a distância  $d$  calculada por Haversine é definida pela equação 8.

$$d = 2R \arcsin \left( \sqrt{\sin^2 \left( \frac{l_2 - l_1}{2} \right) + \cos(l_1) \cos(l_2) \sin^2 \left( \frac{\Delta_2 - \Delta_1}{2} \right)} \right) \quad (8)$$

O valor da distância  $d$  retornada é relacionado a medida do raio utilizado, para cálculos de coordenadas geográficas utiliza-se o raio médio da terra de 6371 quilômetros.

### 3.2.3 Custos

Como o objetivo do modelo matemático é a redução de custos, foi necessário realizar uma análise de todos os custos envolvidos na logística reversa dos produtos comprados online da companhia. Foram considerados os custos de transporte entre um ponto e outro usando a distância calculada entre os pontos em quilômetros, para então encontrar o custo de transporte por quilômetro para que se chegue no custo da distância total baseado em dados históricos.

Além dos custos de transporte, há custos relacionados ao centro de distribuição. O custo fixo de um centro de distribuição com a capacidade desejada pela empresa foi estimado a partir de outros depósitos similares. O custo variável do CD é relacionado a todo manuseio e tratamento dado ao produto. Os produtos devolvidos passam por um retrabalho para que possam ser vendidos novamente caso passem pelo controle de qualidade da empresa. Assim, levando em conta a mão de obra envolvida, é possível estimar o custo variável para manuseio, armazenamento e retrabalho de um produto.

Sendo assim, tem-se os dados de todos os custos relacionados a logística reversa para serem

usados na função objetivo no modelo matemático de locação de facilidades.

#### 4. Resultados

O modelo matemático proposto possui pouco menos de 2 milhões de variáveis e 5 conjuntos de restrições, para tanto o solver escolhido para obter os resultados do problema foi o Gurobi com limitação de 6 horas sendo retornada a melhor solução até o momento. Os modelos de localização foram implementados em um computador Core i7-5500U, 8GB de RAM, no qual os arquivos lp foram criados com os respectivos modelos.

O modelo matemático foi solucionado 3 vezes, tendo  $p = 3, 4$  ou  $5$ , ou seja, tem-se soluções ótimas para as 3 opções: abrir 3, 4 ou 5 novos centros de distribuição, de acordo com a restrição 11. Os resultados gerados foram: custo total anual relacionado a logística reversa, quais CDs recebem mercadorias de cada cidade, quais assistências técnicas devem ser transformadas em CD e qual a capacidade de cada centro de distribuição.

Para preservar as informações econômicas da empresa será considerando 100% o valor gasto com a arquitetura atual com um CD. Os três cenários trouxeram ganhos econômicos, sendo o mais vantajoso com 3 CDs cuja economia do processo atual chega a 12,3% como pode-se observar na Figura 1.

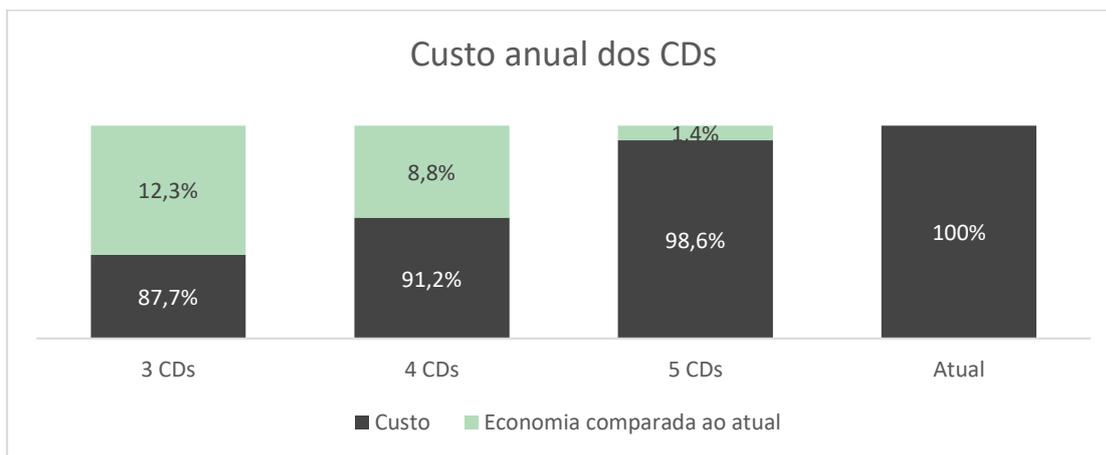


Figura 1 – Resultado alcançados nos 3 cenários



Figura 2 – Resultado do cenário 1 com 3 CDs.

O resultado do cenário com 3 centros de distribuição encontra-se na Figura 2. As regiões sul e sudeste são responsáveis por 87% das entregas realizadas no Brasil. Isso explica o fato de que as três assistências técnicas escolhidas para serem transformadas em CDs foram em estados das regiões sul e sudeste. O centro de distribuição localizado em São Paulo atingiu sua capacidade limite e o do Rio de Janeiro atingiu 93% da capacidade. Isso fez com que algumas cidades do Norte e do Nordeste tenham que ir para o CD do Paraná mesmo sendo um pouco mais distante que os outros.

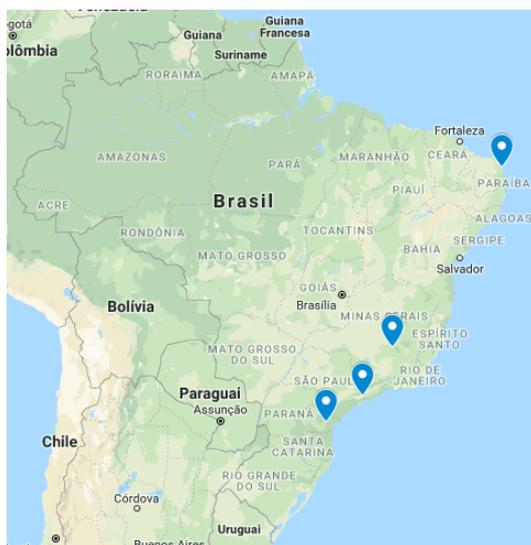


Figura 3 – Resultado do cenário 2 com 4 CDs.

No segundo cenário, Figura 3, novamente o centro de distribuição do estado de São Paulo utilizou sua capacidade máxima devido ao grande volume da capital paulista e região metropolitana. O centro de Minas Gerais foi o segundo mais utilizado, atingindo 74% da sua capacidade. Neste cenário o CD de Natal é responsável pelos produtos das cidades do Norte e do Nordeste, o que não acontecia com apenas 3 centros.



Figura 5 – Resultado 3 com 5 CDs.

Por fim, com a escolha de abrir 5 centros de distribuição, Figura 5, a região Sudeste que é responsável 62,9% dos pedidos da empresa, possui 3 dos 5 centros de distribuição. Ficando

sob responsabilidade do Paraná as cidades da região sul e pelo estado do Pernambuco a maior parte das cidades do Norte e Nordeste.

## 5. Considerações Finais

Tendo em vista o aumento das vendas do e-commerce na empresa e em todo o cenário brasileiro, todo o investimento feito em redução de custo e otimização do processo é necessário e valorizado pela companhia. Os custos logísticos embora sejam necessários, são altíssimos quando se trata de entrega de e-commerce em um país grande como o Brasil e com pouca infraestrutura de rodovias e ferrovias.

Assim, o trabalho desenvolvido com a utilização de pesquisa operacional na resolução de um problema de localização de facilidade, utilizou modelos matemáticos que reduziram 12% dos custos anuais relacionados a logística reversa na empresa. Para futuras análises, deve-se considerar o volume de devoluções baseado na previsão dos próximos anos, já que as vendas online tendem a aumentar. É necessário analisar até qual ano a capacidade dos 3 CDs será suficiente e qual a melhor ação a ser tomada quando esse cenário acontecer.

Além disso, deve-se analisar a possibilidade de aumentar o centro de distribuição do estado de São Paulo já que ele utiliza sua capacidade limite em todos os cenários. Por fim, mesmo não sendo o objetivo atual da empresa, pode-se analisar a possibilidade de ter apenas dois novos centros de distribuição, mas com capacidades maiores do que a delimitada para o presente trabalho.

## Referências

ARABANI, A.B.; FARAHANI, R.Z. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. **Computers & Industrial Engineering**. 62, 408–420, 2012.

BANDEIRA, R. A. M. **Proposta de uma Sistemática de Análise para a Localização de Depósitos. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Produção**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

BARRETO, S. S. **Análise E Modelização De Problemas De Localização-Distribuição**. Tese de Doutorado em Gestão Industrial. Universidade de Liboa, 2004.

CORRÊA, E. S.; STEINER M. T.; FREITAS A. A.; CARNIERI. C. **A genetic algorithm for solving a capacitated p-median problem**. Numerical Algorithms, v. 35, p. 373–388, 2004.

E-COMMERCE BRASIL. **E-commerce brasileiro vai crescer 12,4% ao ano e dobrar de tamanho no país, diz Google**, Publicado: 17/10/2016. Disponível em: <<https://www.ecommercebrasil.com.br/noticias/e-commerce-google/>> Acesso: 25 nov. 2018.

Erlenkotter, D., 1978. **A dual-based procedure for uncapacitated facility location**. Operations Research 26, 992±1009

E-SALES. **Entenda a importância da logística reversa para uma empresa**, Publicado: 28/06/2018. Disponível em: < <https://esales.com.br/blog/entenda-a-importancia-da->

logistica-reversa-para-uma-empresa/|> Acesso: 09 dez. 2018.

ENDLER, K. D. **Otimização na localização de centros públicos de educação infantil: caso de Curitiba-PR** Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, 2016.

GLOVER, F.; KOCHENBERGER, G. A. **Handbook of Metaheuristics**. Kluwer Academic Publishers, Boston. 2003.

HAKIMI, S.L. **Optimal locations of switching centers and the absolute centers and medians of a graph**. *Operation Research*. n. 12, p 450- 459.1964

HIJMANS, R. J. **Introduction to the "geosphere" package** (Version 1.5-1). [S.l.], 2015.

IVIS, F. **Calculating geographic distance: Concepts and methods**. In: Proceedings of the 19th Conference of Northeast SAS User Group. [S.l.: s.n.], 2006.

KLINCEWICZ, J.G., LUSS, H., 1986. **A Lagrangian relaxation heuristic for capacitated facility location with single source constraints**. *Journal of the Operational Research Society* 37, 495±500.

OWEN, S. H.; DASKIN, M. **Strategic facility location: a review**. *European Journal of Operational Research*, n. 111, p. 423-447, 1998.

PERIÇARO, G. A.; VOLPI, N.M.P.; SANTOS, S.R. **Um Estudo sobre a Influência de Custos de Transporte na Localização de uma Agroindústria de Aves**. XXXIX SBPO, A Pesquisa Operacional e o Desenvolvimento Sustentável, Fortaleza, 2007.

RANDHAWA, S.U.; WEST, T.M. **An Integrated Approach To Facility Location Problems**. *Computers Ind. Engng*, vol. 29, n.1-4, pp. 261-265, 1995

REVELLE, D. O. **Recent advances in bolide entry modeling: A bolide potpourri**. *Earth, Moon and Planets*, v. 95, n. 1–4, p. 441–476, 2005.

RÖNNQVIST, M.; TRAGANTALERNGSAK, S.; HOLT, J. **Repeated matching heuristic for the single-source capacitated facility location problem**. *European Journal of Operational Research*, v. 116, n. 1, p. 51–68, 1999.

ROMERO, B. C. **Análise da Localização de Plataformas Logísticas: Aplicação ao Caso do ETSP – Entrepasto Terminal São Paulo – da CEAGESP**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos. Universidade de São Paulo, 2006.

SINNOTT, R. W. **Virtues of the Haversine**. *Sky Telesc.*, v. 68, p. 159, 1984

TEITZ, M.; BART, P. **Heuristics Methods for estimating the generalized vertex median of a weighted graph**. *Operations Research*, v. 16, n. 5, p. 955-961, 1968.

VINCENTY, T. **Direct and inverse solutions of geodesics on the ellipsoid with application of nested equations**. *Survey Review*, v. 22, n. 176, p. 88–93, 1975.