

REVISTA

# Femass

eISSN 2675-6153

NÚMERO 3 - Jan./jun. - 2021

## MODELAGEM MATEMÁTICA NA LOGÍSTICA HUMANITÁRIA: PROPOSTA DE UM MODELO QUE AUXILIE NA REDUÇÃO DE CUSTOS POR MEIO DA LOCALIZAÇÃO DE CENTROS DE ARMAZENAGEM E DISTRIBUIÇÃO

MATHEMATICAL MODELING IN HUMANITARIAN  
LOGISTICS: PROPOSED A MODEL TO HELP COST  
REDUCTION THROUGH THE LOCATION OF STORAGE  
AND DISTRIBUTION CENTERS

### Sérgio Pereira Gonçalves

Doutor em Engenharia de Reservatório e de Exploração de Petróleo  
(Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro)

E-mail: [sergiopereirag@gmail.com](mailto:sergiopereirag@gmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-7640-6440>

### Camila Tavares da Cunha

Graduanda em Licenciatura em Matemática (FeMASS)

E-mail: [camila.tc@hotmail.com](mailto:camila.tc@hotmail.com)

 <https://orcid.org/0000-0002-8736-0951>

Recebido: 10.05.2021

Aprovado: 25.05.2021

DOI: <http://dx.doi.org/10.47518/uf.v3i3.46>



Artigo publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Attribution, que permite uso, distribuição e reprodução em qualquer meio, sem restrições desde que o trabalho original seja corretamente citado.

**Resumo:** A pandemia que assola o mundo e as vulnerabilidades que ela expôs, especialmente no setor logístico, fez grandes empresas voltarem suas análises para logísticas emergenciais. Dessa forma, desperta-se uma preocupação com a logística humanitária, que opera na precariedade da logística emergencial já que não possui a devida atenção em termos de recursos e pesquisas, especialmente nos países mais pobres. Uma logística mais flexível e responsiva se faz necessária, porém, devido à complexidade e aleatoriedade dos eventos, modelos matemáticos genéricos não se aplicam de forma eficiente. O presente trabalho busca, então, apresentar uma sequência lógica que possibilite a elaboração de uma função-objetiva a ser desenvolvida por meio da otimização, auxiliando a tomada de decisão, visando otimizar custos logísticos.

**Palavras-chave:** Logística Humanitária. Modelo Matemático. Custo. Otimização.

**Abstract:** The pandemic that is plaguing the world and the vulnerabilities that this has exposed, especially on the logistics side, made companies to turn their analysis to emergency logistics matters. Which raises the concern with humanitarian logistics, which operates along same models of this emergency logistics at all the time, however, it does not have enough attention in terms of resources and research, especially in the poorest countries. A logistic more responsive and flexible is a need, however due to the complexity and randomness of events, generic mathematical models are not efficiently applied. The present work seeks to present a logical sequence that allows objective function generation, to be solved through optimization in order to present an analysis that guides in decision making aiming to optimize logistical costs.

**Keywords:** Vulnerability, Humanitarian Logistics, Mathematical Model, Cost, Optimization.

## INTRODUÇÃO

A pandemia mundial do coronavírus comprometeu diversas áreas da economia. Dentre elas, a cadeia de suprimentos que vem sofrendo os efeitos, diretamente, das restrições impostas, tais como horário de funcionamento, quantitativo de circulação entre outros para assegurar o cumprimento das medidas de segurança. A situação mundial expôs as vulnerabilidades de muitas organizações e o setor logístico, por exemplo, vem vivenciando pausas e lentidão. Anteriormente, empresas com apenas uns pontos de abastecimento, normalmente, não possuíam planos para interrupções de longo prazo e estrangulamento na escoação de material.

Segundo o CSCMP, (*Council of supply chain management professionals*, 2021), “a gestão da logística é a parte que planeja, implementa e controla a eficiência do fluxo de ida e vinda e armazenagem de materiais, serviços e informações relacionadas entre origem e consumo, a fim de atender os clientes.” (CSCMP, tradução nossa)<sup>1</sup>. Sendo assim, a cadeia de suprimentos empresarial passa de matéria-prima, manufatura até a entrega ao consumidor final no quantitativo correto e no tempo estimado, conforme planejado. Dessa forma, torna-se um desafio manter a eficiência sendo assolado por uma pandemia em que protocolos de restrição de viagem (transporte), não antevistos pelas empresas, são exigidos.

<sup>1</sup> Texto original <http://cscmp.org/>: Logistics management is that part of supply chain management that plans, implements, and controls the efficient, effective forward and reverse flow and storage of goods, services and related information between the point of origin and the point of consumption in order to meet customers' requirements.

Um dos sócios da empresa KPMG<sup>2</sup>, Cristiano Rios, diz que “o momento atual convida as empresas a terem uma cadeia de suprimentos mais responsiva – com fluxos e tomadas de decisão mais rápidas e assertivas – a partir de modelos sofisticados e tecnológicos”. Diversas empresas, então, buscam desenvolver e aplicar modelos matemáticos e soluções logísticas que se sobreponham à crise, mas essas iniciativas precisam transcender o espaço da logística empresarial e permear, também, a logística humanitária que é uma ramificação da logística encarregada dos processos que envolvem mobilização de recursos para ajudar em comunidades afetadas por danos provocados pelo homem ou desastres naturais.

Uma das diferenças entre logística empresarial e humanitária se dá ao tipo de demanda, que sucede de maneira aleatória e com necessidade de resposta imediata com o menor tempo possível entre a ocorrência da demanda e capacidade de supri-la. Do lado da logística empresarial existem diversas métricas para medir eficiência: satisfação do cliente, lucros, controles de estoque, tempo de entrega, entre outros. Na logística humanitária não se tem uma definição de estoque nem elemento; o sucesso pode ser resumido na mitigação do sofrimento das pessoas vulneráveis.

Neste tema, um plano de resposta à emergência faz-se necessário. A sociedade deve estar preparada para reagir, em tempo hábil, às demandas provenientes de desastres, naturais ou não, com menor impacto possível e dentro de orçamentos nem sempre suficientes. Situações emergenciais acontecem quando existe uma inequação entre meios disponíveis e os meios necessários para atender determinada demanda. Essas circunstâncias podem decorrer de fenômenos da natureza como furacões, terremotos e outros, ou de situações causadas pelo homem como guerras ou negligência de controle de ativos químicos, biológicos ou radioativos.

Nestes termos, os desafios de uma logística humanitária têm maior complexidade se comparado à logística de materiais. As condições de infraestrutura, geralmente, são acometidas pelo desastre e, portanto, instáveis, o que torna o acesso nem sempre fácil, com condições de trabalho e reais necessidades geralmente incertas.

Empresas investem no setor logístico porque esse, sendo mais eficiente, tem menor custo que pode implicar em uma vantagem competitiva. Já na logística humanitária, trabalha-se não com lucro, mas em atender ou não às necessidades básicas de uma pessoa e com escassez de recursos. Referindo-se à logística humanitária, Meirim (2007) diz que “ela busca à pronta resposta visando atender o maior número de pessoas, evitar falta e

<sup>2</sup> KPMG é uma empresa multinacional que fornece serviços de auditoria e consultoria.

desperdício, organizar as diversas doações que são recebidas nestes casos e, principalmente, atuar dentro de um orçamento limitado”.

Conforme estabelecido por Ertem et al. (2010), a logística empresarial e a logística humanitária operam em diferentes contextos, mas são inter-relacionadas considerando que o uso efetivo de alguns conceitos pode ser aplicado em ambas esferas. Porém, existe a necessidade de desenvolver métricas específicas dedicadas a cada um, já que, apesar do conceito de redução de custo logístico permear nas duas classificações, o efeito indesejado de um mau gerenciamento traz diferentes tipos de resultados. Beamon (*apud* Nogueira et al., 2007) aborda que tipos diferentes de sistemas requerem características e medidas de desempenho específicas. Com base em Nogueira et al. (2009), a tabela 1 apresenta algumas comparações entre a logística empresarial e a humanitária.

Tabela 1: Comparativo de logística empresarial e humanitária.

	Logística empresarial	Logística humanitária
Foco	Produtos, serviço e informações	Suprir necessidades básicas
Objetivo	Maximizar lucro	Prestar assistência a vulneráveis e salvar vidas
Padrão de demanda	Relativamente estável e investimento em previsão e planejamento de demanda	Incerto e volátil
Centrais de armazenagem e distribuição	Escolhidas com base no melhor retorno	Não definido
Controle de estoque	Fórmulas bem definidas relacionando demanda, tempos de entrega e nível de serviço	Não definido
Sistema de informação e base de dados	Sólido e com recursos de alta tecnologia	Estimativas, informações não confiáveis e às vezes, inexistentes
Tempo de resposta	De acordo com o planejamento	Imediato ou no menor tempo possível da ocorrência até a entrega
Efeito do tempo resposta	Pode inviabilizar o contrato e gerar perdas de lucro	Pode gerar perda de vidas

Mão de obra	Capacitada	Geralmente voluntários não especializados
Fornecedores	Selecionados previamente baseados em custo benefício	Múltiplos fornecedores e irregularidade na quantidade, tempo e qualidade do material recebido

Fonte: Adaptado de Ertem *et al.* (2010)

A falta de controle descrita na Tabela 1 não se trata apenas da natureza da emergência e demanda. Balcik et al. (2010) explicitam que a cadeia de suprimento humanitária se inicia na aquisição de suprimentos e que essa vem, em sua maioria, proveniente de doações de diversas fontes e, portanto, não homogênea, tanto em relação à natureza da doação quanto à qualidade da mesma e, dessa forma, uma passagem importante nessa logística que a difere da outra é a triagem, o que implica em uma centralização do recebimento das doações.

Nessa condição, Tallon (1993) aponta, em seus estudos, o impacto positivo da centralização dos estoques quando a demanda e o tempo de resposta são incertos. Entretanto, uma maior centralização pode incrementar distâncias e prejudicar a entrega ao consumidor final. Posteriormente, estudos de Das & Tyagi (1997) promoveram avanços para definir um grau ótimo de localização que permita otimizar custos de transporte sem comprometer tempos de entrega.

Observa-se que existem estudos relacionados à logística de maneira ampla, mas com pouco foco na eficiência da logística humanitária. Alinhado com o panorama descrito, é fundamental que a logística humanitária seja bem estruturada não apenas para permitir planejamento e controle, mas também para promover otimização de custos.

## **OTIMIZAÇÃO DE UMA FUNÇÃO-OBJETIVO PARA INDICAR LOCALIZAÇÕES EM POTENCIAL MINIMIZANDO CUSTOS**

Centros de armazenagens e distribuição ou depósitos se apresentam como uma oportunidade de redução de custos. Eles devem estar em pontos estratégicos que sejam próximos o suficiente para uma resposta rápida, mas que tenham distância suficiente para que os problemas derivados da natureza da emergência possuam pouca ou nula interferência na fluidez da logística. Por exemplo, em caso de um terremoto, a área de armazenagem situada no epicentro do desastre pode ter suas estruturas

físicas comprometidas e, assim, deixa de ser um lugar apto para armazenar doações, ainda que seu posicionamento em relação à distância seja o mais apropriado.

Modelos matemáticos despontam como aliados de problemas de localização, tendo em vista que apenas a experiência não é capaz de ser tão assertiva quando combinadas tantas variáveis como tempo, espaço, custo, questões climáticas, interrupções no tráfego, etc. Porém, no que diz respeito à logística humanitária, pouco se observa sobre aplicações matemáticas.

Segundo Forrester (1971), resposta a desastres tende a ser resolvida com modelos baseados na intuição e experiência, mesmo que as situações sejam ainda mais complexas que logística empresarial. Os modelos heurísticos, geralmente, trazem respostas adequadas, porém nem sempre são as mais vantajosas. Hinkle e Kuehn (1967) apontam que os modelos heurísticos são análogos à tentativa e ao erro humano. Assim, buscam soluções possíveis e aceitáveis em que não há algoritmos disponíveis, porém não garantem melhores soluções.

Alfred Weber foi um dos pioneiros em resolução do problema de localização no plano. A obra de Weber (1929) constituiu um ponto de partida para outros pesquisadores traçarem a teoria da localização. Ele concentra sua teoria em uma causa puramente econômica. Faz referência à localização geográfica com maior disponibilidade de matéria prima e acesso. O modelo demonstra que, partindo do pressuposto que os custos de produção seriam uniformes dentre as localizações possíveis, as indústrias tenderiam a se localizar onde o custo de transporte seria mínimo, ou seja, o custo mais relevante seria o logístico.

Apesar do avanço, os modelos existentes ainda não são capazes de adicionar e/ou prever todas as variáveis. Antes de definir um modelo, o passo primordial é conhecer as necessidades, complexidades e restrições do ambiente a ser estudado.

Na escolha do modelo de otimização empregam-se técnicas matemáticas que selecionam as melhores alternativas para alcançar os objetivos predeterminados. Conforme mencionado, para criar o modelo o passo primordial é conhecer as necessidades, complexidades e restrições do ambiente. Uma vez que o modelo é incapaz de tomar decisões subjetivas, dependerá única e exclusivamente das restrições que forem inseridas.

Converter um ambiente real em fórmulas matemáticas é extremamente complexo. Sendo assim, as entradas são feitas por meio de simplificações e suposições, nem sempre fiéis ao problema real. Entretanto, por mais precisa que a descrição do problema seja, não exige a necessidade da análise humana. Quanto mais fidedigna as entradas forem da

realidade, menos se exige da subjetividade. Para ilustrar, se não forem adicionadas restrições de áreas inóspitas, o modelo considerará apenas pontos no plano cartesiano e a melhor localização de um depósito pode ser, por exemplo, no meio do oceano. Matematicamente, apresenta-se uma solução ótima, mas inviável dado à estrutura da cidade. Para se criar um modelo coerente, o trabalho propõe um guia sequencial de tomada de decisões:

Passo 1: Elencar o problema e definir o elemento da demanda (água, alimentos não perecíveis e outros), conforme Nogueira et al (2007) que discorre sobre a importância de se conhecer os objetivos e as características da demanda. Esboçar, então, o mapa destacando o ponto a ser atendido e as possíveis coordenadas geográficas capazes de se tornar um centro de armazenagem e distribuição, ou depósito, que, de preferência, sejam áreas adjacentes à demanda ou próximo onde haja maior volume de doações.

Passo 2: Equalizar os pontos da localização geográfica. Partindo da premissa de Weber (1929) que a localização se dá onde temos custo de transporte mínimo e considerando que em um desastre o tempo de resposta implica muitas vezes em salvar uma vida ou não, a localização geográfica é um ponto crucial no modelo. Mas, conforme descrito, não deve ser o único ponto considerado dado às situações que podem tornar a localização imprópria.

Nesse sentido, para equalizar os pontos são atribuídos pesos aos possíveis depósitos dispostos na cidade a fim de analisar quais seriam os que apresentam melhor custo benefício e, então, multiplicar pelo custo relevante da logística, relacionando valor monetário e distância. Os pesos podem ser definidos usando critérios de posição geográfica, custo, livre acesso à transporte de grande porte, total de doações adjacentes, segurança do local, entre outros.

Passo 3: Levantar as restrições pertinentes e específicas do evento. Segundo Simchi-Levi *et al.* (2000), os modelos de simulação representam apenas uma cadeia determinada; caso seja preciso analisar uma nova configuração, um outro modelo se faz necessário. Nesse caso, as restrições mínimas apresentadas referem-se à capacidade de armazenagem de cada ponto potencial e à quantidade mínima e máxima de pontos abertos desejada.

Passo 4: Quantificar a demanda estimada, proveniente da necessidade e a demanda disponível, proveniente em sua maioria de doações para que se tenha a compreensão do tamanho do fluxo de produtos e ajustá-los à capacidade do sistema.

Passo 5: Elencar os custos relevantes do projeto que, no presente trabalho, atêm-se aos custos fixos e variáveis de se abrir ou não um depósito,

o custo por quilômetro de levar uma doação até um centro de armazenagem e distribuição e o custo por quilômetro para que saia deste local e chegue até a área de necessidade.

Passo 6: Transcrever as restrições da linguagem escrita para nomenclatura matemática a fim de inserir os dados no software desejado para executar o modelo.

Passo 7: Definir a função problema. O modelo a ser utilizado diz respeito à minimização de uma função-objetivo que representa os custos relevantes para este evento, sujeita a uma série de restrições físicas e comportamentais. O objetivo principal é localizar os depósitos de maneira que o custo de logística de transporte das doações mais o custo fixo e variável de se manter um depósito aberto sejam minimizados ao máximo. Para compreender melhor a função e suas restrições, apresenta-se a tabela de definições:

- i: Índice para ponto de doação
- j: Índice para central de armazenagem
- k: Índice do ponto de entrega na zona afetada
- l: Índice para elemento de doação
- X<sub>ijl</sub>: Unidade de produto no fluxo do ponto de doação para armazenagem
- X<sub>jkl</sub>: Unidade de produto no fluxo de armazenagem para zona afetada
- t: Custo de transporte (R\$/km)
- C<sub>ijl</sub>: Custo de logística ponderado de doação até central de armazenagem (R\$/unid)
- A<sub>jkl</sub>: Custo de logística ponderado da armazenagem até a zona afetada (R\$/unid)
- F<sub>j</sub> : Custos fixos para operar a central de armazenagem com capacidade D (\$/período)
- V<sub>j</sub>: Custo variável da central de armazenagem por unidade processada (R\$/unid)
- D: Capacidade máxima de fluxo de produtos de uma central de armazenagem
- R<sub>min</sub>: Número mínimo de central de armazenagem que se deseja operar
- R<sub>max</sub>: Número máximo de central de armazenagem que se deseja operar
- Z : Custo total (\$/período)
- M: Um número grande, neste cenário pode ser a capacidade total do evento
- Y<sub>j</sub>: Variável binária para decisão. Y=1 se o depósito j com capacidade D está aberto; Y=0, caso contrário.

Sujeito às restrições:

$$\min Z = \sum_i \sum_j \sum_l C_{ijl} X_{ijl} + \sum_j \sum_k \sum_l A_{jkl} X_{jkl} + \sum_j F_j Y_j + \sum_j \sum_k \sum_l V_j Y_j X_{jkl} \quad \square$$

$$\sum_j X_{ijkl} \leq D_j \quad \forall j \in D \tag{1}$$

$$\sum_j Y_j \leq Rmax \quad \forall j \tag{2}$$

$$\sum_j Y_j \geq Rmin \quad \forall j \tag{3}$$

$$\sum_i X_{ijl} - \sum_i X_{jkl} = 0 \quad \forall i \forall j \forall k \forall l \tag{4}$$

$$X_{ijkl} \geq 0 \quad \forall i \forall j \forall k \forall l \tag{5}$$

$$Y_j = \{0,1\} \quad \forall j \tag{6}$$

$$X_{ij} - M_{ij} Y_j \leq 0 \quad \forall i \forall j \tag{7}$$

$$C_{ijl} = w_j d_j(x, y) t \quad \forall i \forall j \forall l \tag{8}$$

$$A_{jkl} = w_j d_j(x, y) t \quad \forall i \forall j \forall l \tag{9}$$

A primeira restrição apresentada, na relação (1), garante que a quantidade de elementos entregue em determinado depósito não exceda a capacidade máxima do local. As relações (2) e (3) estimam a quantidade mínima e máxima dos depósitos que se espera abrir. A equação (4) assegura que a quantidade de entrada de um material em determinado centro de armazenagem seja a mesma quantidade de saída. A relação (5) define as variáveis positivas, enquanto a (6), as variáveis binárias. A relação (7) é uma restrição de ligação. Adicionar essa restrição ao modelo garante que, quando ao menos uma unidade seja transportada pelo depósito, obrigatoriamente, os custos relativos à abertura do depósito deverão ser incluídos na função-objetivo. E, por fim, as relações (8) e (9) sinalizando que o custo logístico de cada elemento depende não somente de seu custo por quilômetro, mas também de seu peso ponderado previamente incluído no modelo, conforme descrito no passo 2.

Em suma, o modelo apresentado é uma representação simples de um problema de localização de centros de armazenagem e distribuição que pode ser resolvido em alguns softwares disponíveis de forma gratuita como, por exemplo, Statistical Analysis System (SAS), Microsoft Excel e outros. Ele visa entregar uma solução ótima quando comparando às distâncias ponderadas dos depósitos em potencial e seus respectivos custos relevantes.

## CONCLUSÃO

Existem diversos modelos matemáticos que auxiliam o desempenho no âmbito de logística empresarial. Porém, não existem muitos sobre logística humanitária que, apesar de compartilharem diversas di-

retrizes, possuem diferentes características e necessitam de diferentes medidas e modelos.

Este trabalho apresentou um modelo simples de centralização de doações em depósitos preestabelecidos que pudesse reduzir custo logístico na entrega de material. É preciso observar que, na esfera da logística humanitária, as necessidades mudam rapidamente e há pouco tempo disponível para tomada de decisão o que resulta na principal limitação do modelo: a falta de planejamento. Dada a complexidade e a aleatoriedade da demanda, isso inviabiliza uma abordagem geral, sendo necessário um levantamento de características e medidas de desempenho específicas para cada sistema.

Dessa forma, apresentou-se, de forma objetiva, o passo a passo para criação de um modelo base, sendo exigida uma revisão em cada alteração nos eventos. Esse passo a passo se faz relevante visto que há um crescente interesse das organizações em serem mais eficientes na entrega ao usuário final.

O resultado proveniente da otimização deve ser analisado, detalhadamente, para assegurar que a saída é compatível com a realidade e, portanto, o modelo não exime a análise heurística, mas traz, incontestavelmente, benefícios na elaboração de um plano estratégico de distribuição que vise diminuir custos logísticos.

## REFERÊNCIAS

CSCMP, **Council of Supply Chain Management Professionals**. Disponível em: <https://cscmp.org/>. Acesso em: 02 de jan. 2021.

BALCIK, B.; BEAMON, B.M.; KREJCI, C.C.; MURAMATSU, K. M.; RAMIREZ, M. Coordination in humanitarian relief chains: Practices, challenges and opportunities. **Journal of production Economics**, v. 126, n. 1, pp. 22-34, 2010.

DAS, C. & TYAGI, R **Role of Inventory and Transportation Costs in Determining The Optimal Degree of Centralization**. 1997. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/> Acesso em: 02 de mar. 2021.

ERTEM, M.; BUYURGAN, N.; ROSSETTI, M. **Multiple-buyer procurement auctions framework for humanitarian chain management**. v. 40, n. 3, p. 202-227, 2010.

FORRESTER, J. W. **Counterintuitive behavior of social systems**. v. 73. 1971.

HINKLE, C.L; KUEHN A. A. **Heuristic Models: Mapping the Maze for Management**, 1967. Disponível em: <https://journals.sagepub.com/>

doi/10.2307/41164091 Acesso em: 19 de mar. 2021.

LIMA, L. COVID-19 motiva 'choque de eficiência' na logística do Brasil. CNN Brasil, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/business/2020/04/29/covid-19-motiva-choque-de-eficiencia-na-cadeia-de-suprimentos-do-brasil>. Acesso em: 10 de abr. de 2021.

MEIRIM, H **Logística humanitária e logística empresarial**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.anpad.org.br/>. Acesso em: 10 de abr. 2021.

NOGUEIRA, C. W; GONÇALVES, M. B.; NOVAES, A. G. **Logística humanitária e logística empresarial: relações, conceitos e desafios**. Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes, ANPET, Rio de Janeiro, 2007. em: <https://www.revistatransportes.org.br/anpet/article/view/633>. Acesso em: 02 de fev. 2021.

NOGUEIRA, C. W, e GONÇALVES, M. B. **A Logística Humanitária: Apontamentos e a Perspectiva da Cadeia de Assistência Humanitária**. XXIX Encontro Nacional de engenharia de produção, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/>. Acesso em: 02 de fev. 2021.

SIMCHI-LEVI, D.; KAMINSKY, P.; SIMCHI-LEVI, E. **Cadeia de suprimentos projeto e gestão: conceitos, estratégias e estudos de caso**. 3. ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

TALLON, W.J. The Impact of Inventory Centralization on Aggregate Safety Stock: The Variable Supply Lead Time Case. **Journal of Business Logistics**. 14(1), 185-203,1993.

WEBER, A. **Theory of location of industries**. 1929. Disponível em: <http://www.economia.unam.mx/> Acesso em: 10 de jan. de 2021.