

RESUMO EXPANDIDO DE TRABALHO ORIGINAL

Dimensionamento de lotes e gestão de suprimentos sob a ótica da modelagem matemática

Nelly Heine Marques Cordeiro, Centro Universitário Integrado, Brasil

Marcelo Alexandre Cordeiro, Centro Universitário Integrado, Brasil

INTRODUÇÃO

A gestão de estoques configura-se como um pilar estratégico determinante para a sustentabilidade financeira de organizações. A complexidade intrínseca à cadeia de suprimentos, marcada pela volatilidade nos preços de insumos e pela variabilidade nos prazos de suprimento (lead times), demanda a implementação de modelos de tomada de decisão que transcendam abordagens puramente empíricas. Nesse contexto, a aplicação da modelagem matemática e dos fundamentos da Pesquisa Operacional oferece o suporte necessário para que gestores otimizem processos, minimizando custos logísticos e de estocagem ao mesmo tempo em que asseguram níveis de serviço e disponibilidade de materiais adequados às demandas produtivas (Haojie, Lixin, Canrong, 2017).

No âmbito da gestão operacional, o *Capacitated Lot Sizing Problem* (CLSP) atua como um modelo de otimização que quantifica as necessidades de itens por período, respeitando as limitações físicas e operacionais do sistema (Karimi et al., 2003). A função objetivo deste problema concentra-se na minimização dos custos logísticos totais, ponderando as despesas de estocagem frente ao custo de acionamento do processo produtivo (Feng e Cheng, 1998). Ao confrontar sistematicamente a carga de trabalho com a capacidade disponível, o CLSP assegura que o plano gerado seja exequível. Tal precisão matemática permite que o algoritmo reflita com maior exatidão as restrições reais de fábrica, diferenciando-se de abordagens teóricas menos sofisticadas (Carvalho e Nascimento, 2018).

Esta pesquisa aborda a problemática do dimensionamento de lotes em uma organização, onde a ausência de um método quantitativo para compras resultava em custos de estocagem elevados ou riscos de ruptura. O objetivo geral é propor e validar um modelo de otimização baseado no CLSP para indicar a quantidade ótima de aquisição mensal, visando a minimização dos custos totais de inventário.

MÉTODO

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso de natureza aplicada, fundamentado em uma abordagem quantitativa por meio de modelagem matemática. O universo da investigação compreende o portfólio de produtos de

uma organização, utilizando uma amostra composta por itens críticos selecionados estrategicamente pela gestão da empresa.

O percurso metodológico iniciou-se com a coleta de dados primários, abrangendo o levantamento de demandas históricas reais, custos de pedido, despesas de manutenção de inventário e as limitações das capacidades de armazenagem. Subsequentemente, as informações foram estruturadas sob a ótica da modelagem matemática, aplicando-se o modelo de Problema de Dimensionamento de Lotes Capacitado (*Capacitated Lot Sizing Problem* – CLSP) em um horizonte de planejamento de doze meses.

O percurso metodológico envolveu a adaptação do modelo teórico de Drexl e Kimms (1997) para o contexto de compras, substituindo o custo de setup produtivo pelo custo de pedido mensal.

A função objetivo estabelecida buscou a minimização da soma dos custos de preparação (setup) e de estocagem, operando sob mecanismos de tratamento que incluem restrições de atendimento integral da demanda por período, balanço de inventário entre meses consecutivos e os limites de capacidade física da organização (Taha, 2008).

Por fim, para a resolução computacional, os modelos foram implementados em linguagem Python (plataforma Anaconda/Jupyter) e processados via pacote Gurobi Optimization, o que garantiu a obtenção de soluções ótimas com gap de dualidade desprezível.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Propôs-se a estruturação de um modelo matemático que integra as decisões de dimensionamento de lotes aos processos de aquisição de matérias-primas. Nesta abordagem, a determinação das quantidades a serem compradas e mantidas em inventário considera sistematicamente o custo dos insumos em cada período do horizonte de planejamento. Tal integração é fundamental, pois a volatilidade de custos pode alterar significativamente as soluções ótimas que seriam obtidas caso as decisões de dimensionamento fossem analisadas de forma isolada (Wei, Yuan, Zhang, 2018)

A formalização matemática foi padronizada para eliminar inconsistências de notação, seguindo a estrutura proposta por Drexl e Kimms (1997) adaptada:

Índices do problema

$i = 1, \dots, N$: *Períodos no horizonte do planejamento*

$j = 1, \dots, M$: *Quantidades de produtos*

Variáveis de decisão

X_{ij} = *Quantidade comprada do produto i no período j*

E_{ij} = *Quantidade estocada do produto i no período j*

Y_j = *Variável Binária que indica se foi realizado o pedido no período j*

Parâmetros

D_{ij} = Quantidade demandada do produto i no período j

C_i = Custo de compra do produto i

CE_i = Custo de estoque do produto i

CP = Custo do Pedido

CD_j = Capital disponível por período j

T_i = Tamanho do produto i

A - Área de armazenagem disponível

E_{i0} = Quantidade do estoque inicial do produto i

Função Objetivo

$$\text{Min } Z = \sum_{j=1}^M CP.Y_j + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M CE_i.E_{ij} \quad (1)$$

Restrições do problema

Balanço de Estoque

$$E_{ij} = X_{ij} + E_{i(j-1)} - D_{ij} \quad \forall i = 1, \dots, T \quad j = 1, \dots, J \quad (2)$$

Capital Disponível/Pedido

$$\sum C_i X_{ij} + Y_j \cdot CP \leq Y_j \cdot CD_j \quad j = 1, \dots, J \quad (3)$$

Espaço Disponível

$$\sum T_j E_{ij} \leq A \quad j = 1, \dots, J \quad (4)$$

O modelo matemático é estruturado para otimizar a função objetivo por meio da redução dos custos operacionais de compra e armazenamento. O conjunto de restrições propõe o equilíbrio do balanço de inventário e respeita as limitações de fluxo de caixa e capacidade de armazenagem, estabelecendo a relação necessária entre a quantidade de itens solicitados e o estoque remanescente ao longo do período planejado (Chotayakul e Punyangarm, 2017).

A Tabela 01 apresenta o tamanho, o custo unitário de compra, o custo de estoque por metro quadrado e o estoque inicial de cada um dos itens analisados.

Tabela 01 – Estoque de Matéria-prima

Produto	Tamanho (m ²)	Custo Unitário	Custo de Estoque por m ²	Estoque Inicial (unidades)
Produto 1	0,05715	R\$ 8,00	R\$ 0,46	50
Produto 2	0,0762	R\$ 16,00	R\$ 1,22	10
Produto 3	0,09525	R\$ 22,00	R\$ 2,10	30
Produto 4	0,1143	R\$ 32,00	R\$ 3,66	20
Produto 5	0,1524	R\$ 45,00	R\$ 6,86	5

Fonte: Dados da pesquisa, 2026.

Embora a empresa utilizasse métodos empíricos baseados em experiência, os resultados computacionais atingiram a solução ótima instantaneamente. O modelo demonstrou que o custo total mensal estabiliza-se em R\$ 1.500,00 quando não há necessidade de estoque, coincidindo exatamente com o custo fixo de pedido, o que valida a eficiência da ferramenta em evitar custos de posse desnecessários.

Com base nos experimentos computacionais realizados por meio do pacote *Gurobi Optimization*, os resultados demonstram que o modelo de Dimensionamento de Lotes Capacitado (CLSP) é capaz de gerar planos de aquisição financeiramente mais eficientes para a organização. Observou-se que o algoritmo priorizou a manutenção de estoque estrategicamente para o Produto 1, com volumes que oscilaram entre 3 e 74 unidades em determinados meses, enquanto os demais itens operaram predominantemente sem estoques remanescentes, atendendo à demanda de forma exata.

Observa-se que a sensibilidade do modelo aos custos de setup exerce influência direta sobre a frequência de pedidos e o volume de inventário mantido. Ao confrontar os achados com a literatura clássica de dimensionamento de lotes, como o trabalho de Wei, Yuan e Zhang (2018), o modelo validado neste estudo confirma que a consideração de capacidades finitas é um diferencial estratégico. Isso ocorre porque as limitações físicas em centros de distribuição e depósitos atuam frequentemente como restrições críticas, impedindo a viabilidade de planos de produção ou aquisição que não considerem a infraestrutura logística real.

Os testes de sensibilidade revelaram que o aumento do custo de pedido para R\$ 2.000,00 força a manutenção de estoques elevados (até 315 unidades do Produto 1) para diluir o custo fixo. Já a ampliação do capital para R\$ 15.000,00 permitiu a ausência total de pedidos em meses como maio e dezembro, devido ao amortecimento gerado por compras antecipadas.

A utilização do algoritmo no ambiente de otimização Gurobi permitiu a obtenção de soluções de qualidade técnica em tempo computacional reduzido, o que viabiliza a implementação do modelo como uma ferramenta de apoio à decisão tática mensal, comprovando que a sistematização matemática aplicada à gestão de suprimentos confere maior previsibilidade e competitividade à organização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo atingiu os objetivos propostos ao demonstrar que a modelagem matemática aplicada ao dimensionamento de lotes constitui uma solução viável para a otimização de processos organizacionais.

O modelo CLSP provou ser uma ferramenta eficaz para o planejamento tático, superando abordagens empíricas ao integrar restrições financeiras e de espaço. A sistematização matemática conferiu maior previsibilidade à organização, permitindo identificar padrões de compra que minimizam o custo operacional total.

Embora o trabalho apresente como limitação a consideração de demandas estritamente determinísticas, os resultados alcançados oferecem uma base segura para o suporte à decisão tática. Para estudos posteriores, sugere-se a incorporação de incertezas na demanda por meio de modelos estocásticos, bem como a análise do impacto de múltiplos fornecedores com prazos de entrega (lead times) variados, visando aproximar o modelo da complexidade dinâmica e da volatilidade do mercado.

PALAVRAS-CHAVE

Dimensionamento de Lotes. Pesquisa Operacional. Otimização de Estoque.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, D. M., NASCIMENTO, M. C. V., A kernel search to the multi-plant capacitated lot sizing problem with setup carry-over. **Computers & Operations Research**, vol 100, p. 43-53, 2018.

CHOTAYAKUL, S., PUNYANGARM, V. An MIP-based heuristic approach to determine production lot size for capacitated single-stage production processes with stochastic demand on parallel machines, **International Conference on Industrial Technology and Management (ICITM)** 2017, Cambridge, Reino Unido.

DREXL, A.; KIMMS, A. Lot sizing and scheduling - Survey and extensions. **European Journal of Operations Research**, 1997.

FENG, H., CHENG, H. Solving mixed programming production planning problems with setups by shadow price information. **Computers and Operations Research**, 1998, vol 12, p. 1027-1042.

HAOJIE, Y., LIXIN, M., CANRONG, Z. Capacitated lot-sizing problem with one-way substitution: A Robust optimization approach. In **3rd International Conference on Information Management (ICIM)**, Chengdu, China, 2017.

KARIMI, B., FATEMI GHOMI, S. M. T., WILSON, J. M. The capacitated lot sizing problem: a review of models and algorithms, **Omega**, 2003, vol 31, p. 365-378.

NASCIMENTO, M. C. V., TOLEDO, F. M. B. A Hybrid Heuristic for the Multi-Plant Capacitated Lot Sizing Problem With Setup Carry-Over, **Journal of the Brazilian Computer Society (JBACS)**, 2008, vol 14, p. 7-15.

TAHA, H. A. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2008.

TAS, D., GENDREAU, M., JABALI, O., Jans, R. A capacitated lot sizing problem with stochastic setup times and overtime. **European Journal of Operational Research**, vol 273, p. 146-159, 2019.

WEI, M.; YUAN, Y.; ZHANG, C. An Modified Relax-and-fix Algorithm for the Multi-Level Lot-Sizing Problem with Replaceability. In: **International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)**, 2018, Singapura. Anais... Singapura, 2018. p. 262-267.