

Aplicação de Séries Temporais em Pontos de Pedidos Dinâmicos para Gestão de Estoque

Resumo

O gerenciamento de estoque é fundamental para garantir que haja disponibilidade de produtos, ao mesmo tempo que deve evitar quantidades elevadas em comparação com a demanda necessária, uma vez que podem gerar alto custo de estocagem. Apresenta-se uma abordagem, baseada em séries temporais, que leva em consideração as demandas recentes para o cálculo do ponto de pedido, dessa forma, torna-se possível reduzir o estoque médio e manter um nível de serviço satisfatório para aproximadamente 95% dos materiais avaliados. A estratégia em questão é comparada e avaliada com a abordagem de ponto de pedido estático utilizada pela empresa.

Empresa

- Razão social: XYZ (omitida a pedido do proprietário)
- Ramo: fabricação de equipamentos eletrônicos
- +100 empregados
- Mercado de atuação: todo o Brasil

Descrição da situação problema

Sistema de gerenciamento utilizando ponto de pedido estático, ineficiente para lidar com variações nos valores de demanda. Eis alguns problemas:

- Falta de material em momentos estratégicos;
- Altos valores de estoque médio;
- Método incapaz de lidar com variações recentes nas demandas dos materiais.

Proposta de Solução

- Implantação de um ponto de pedido dinâmico para levar em consideração o impacto das demandas recentes para a determinação do pedido de compra de material;
- Comparação de diferentes abordagens para o cálculo do ponto de pedido dinâmico utilizando dados históricos;
- Comparação das estratégias com diversos modelos de previsão para obtenção do ponto de pedido dinâmico.

Ponto de pedido dinâmico

- Consiste em uma estimativa dinâmica do ponto de pedido, levando em consideração o histórico próximo de demanda. Dessa forma, ao invés de um ponto de pedido estático, há um ponto de pedido que varia conforme as demandas. Isso resulta em uma redução do estoque médio, trazendo vantagens do ponto de vista econômico. Por exemplo, considerando um material X, este tem seu estoque consumido ao longo do tempo, de modo que deve haver reposição do estoque para evitar que falte material. Todavia, deve-se evitar super quantidades de estoque para não haver alto custo de estocagem. O sistema de gerenciamento deve possibilitar que haja estoque, mas em quantidade suficiente para suprir as necessidades e não valores superestimados.
- O método utilizado é inspirado na técnica implementada em **Machine Learning-based Time Series Forecasting for Dynamic Reorder Points**, realizada por Torkild Sandnes Grøstad. Definindo intervalos de observação e previsão, calcula-se o ponto de pedido dinâmico.

Ponto de pedido dinâmico

A implementação segue passos bem definidos, conforme a figura à direita. **Tem-se dois parâmetros de intervalo de tempo: janela de tempo para previsão (JT) e intervalo de *forecast* (IF).** Considerando que o ponto é estimado para uma data t . Eis a descrição das variáveis:

PASSO	AÇÃO
1	Diferença diária: comparação entre a primeira previsão (considerando um intervalo $[t - IF - JT, t - IF]$) e os valores de demanda em $[t - IF, t]$
2	LTI se refere ao Lead Time (Tempo de ressuprimento), o IF é o intervalo de <i>forecast</i>
3	Fator de serviço Z se refere a probabilidade de atender a demanda
4	Previsão para $[t - JT, t]$
5	Por fim, obtém-se o cálculo do Ponto de Pedido Dinâmico

PASSO 1

$$\sigma_{IF} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{Diferença diária})^2}$$

PASSO 2

LTI (Lead Time)

$$\sigma_{LTI} = \sigma_{IF} \times \sqrt{\frac{LTI}{IF}}$$

PASSO 3

ES (Estoque de segurança)

$$ES = \text{Fator de serviço } Z \times \sigma_{LTI}$$

PASSO 4

DDLT (Demanda durante o Lead Time)

$$DDLT = \text{Previsão}_{T0} \times LTI$$

PASSO 5

POP (Ponto de Ordem de Pedido)

$$POP = DDLT + ES$$

Ponto de pedido dinâmico

Quando se observa a variável 'sigma intervalo de forecast' (passo 1),

$$\sigma_{IF} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\text{Diferença diária})^2}$$

percebe-se que trata-se de uma métrica equivalente ao RMSE (Root Mean Square Error). Neste caso, fez-se experimentos considerando diferentes métricas, isto é, substituindo o RMSE na comparação do valor obtido pela previsão e a demanda naquele ponto. Para tanto, utilizaram-se as seguintes métricas: MSE (Mean Squared Error), MAE (Mean Absolute Error), RMSLE (Root Mean Squared Logarithmic Error) e MEAE (Median Absolute Error).

$$\text{MAE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x|$$

$$\text{MSE} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}$$

$$\text{RMSLE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log(1 + x_i) - \log(1 + x))^2}$$

$$\text{Median Absolute Deviation} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \text{median}(x)|}{n}$$

Comparando diferentes abordagens no cálculo do ponto de pedido (diferentes métricas)

Diferentes métodos para o cálculo do ponto de pedido dinâmico foram realizados, cada um identificado pela métrica utilizada. Foram avaliados, ao todo, um conjunto de **1086 diferentes materiais**. Os valores de estoque médio são referentes ao somatório resultante do estoque de todos os materiais que foram avaliados.

O nível de serviço é o percentual de tempo em que o estoque foi capaz de suprir a demanda necessária, por exemplo, 95% de nível de serviço significa que em 95% do tempo houve estoque suficiente, já 100% indica que o estoque foi capaz de suprir toda a demanda 100% do tempo.

Note que o RMSE e o MSE obtiveram os melhores resultados se tratando da porcentagem de materiais com nível de serviço acima de 95%. Todavia, o estoque médio do RMSE é inferior ao do MSE, desta forma, o RMSE se mostra como a melhor opção.

MÉTRICA	ESTOQUE MÉDIO	PORCENTAGEM DE MATERIAIS COM NÍVEL DE SERVIÇO ACIMA DE 95%
MSE	977.152	96.59%
MAE	267.564	93.83%
RMSE	281.854	95.12%
RMSLE	253.258	93.00%
MEAE	257.528	92.63%

Otimizando os valores de Janela de tempo (JT) e intervalo de *forecast* (IF)

Uma vez que a estratégia possui hiper parâmetros, torna-se possível realizar o processo de otimização. Neste caso, os valores a serem otimizados são a janela de tempo para predição (JT) e intervalo de *forecast* (IF). O objetivo da otimização é encontrar os melhores valores de JT e IF para reduzir o estoque médio e maximizar o nível de serviço, isto é, reduzir o estoque, mas possuir o suficiente para que não falte material. Para tanto, fez-se uma avaliação considerando 10 e 15 *trials* (considere um *trial* como uma iteração no processo de otimização), respectivamente.

O *trial* é a tentativa, isto é, estimam-se valores de JT e IF a cada *trial*, e baseado nos resultados obtidos de estoque médio e nível de serviço, escolhem-se os próximos valores. A técnica para encontrar os valores ótimos é o *fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II*. Note que os valores são escolhidos para cada material, diferente de escolher valor fixos para todos os produtos.

TRIALS	ESTOQUE MÉDIO	PORCENTAGEM DE MATERIAIS COM NÍVEL DE SERVIÇO ACIMA DE 95%
0	281.853	95,12%
10	210.459	92,91%
15	203.906	92,08%

Comparando abordagens (diferentes modelos de previsão)

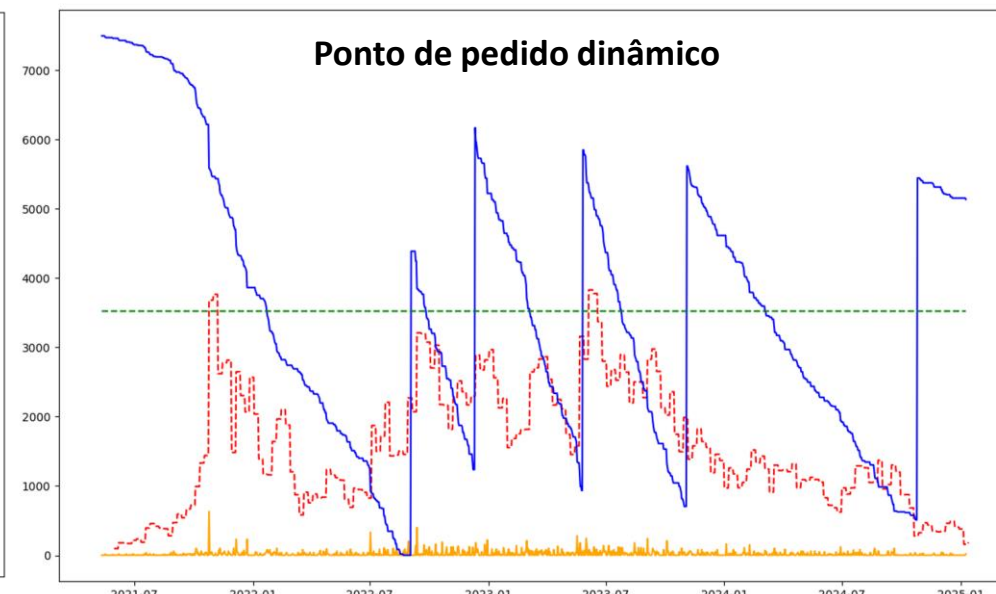
Note que a quantidade de materiais com nível de serviço abaixo de 95% é mínima no modelo Holt Winters, todavia, o estoque médio é um valor acima do ARIMA e SMA. Como o SMA tem o menor estoque médio e uma diferença de 12 itens com nível de serviço abaixo de 95% comparado ao ARIMA, o SMA se mostra como a melhor abordagem para a estimação do ponto de pedido dinâmico.

MODELO	QUANTIDADE COM NÍVEL DE SERVIÇO ABAIXO DE 95%	ESTOQUE MÉDIO
SMA	53	281.853
ARIMA	41	399.463
SARIMAX	146	563.661
HOLT WINTERS	38	429.949

Comparando ponto de pedido dinâmico e estático

Para essa comparação, o ponto de pedido dinâmico é estimado com janela de tempo para predição (JT) de 28 dias e intervalo de *forecast* (IF) de 7 dias, com a métrica de RMSE, sem otimização de parâmetros, houve uma redução em torno de **81,48%** quando comparados os valores de estoque médio entre as diferentes técnicas. Eis alguns exemplos exibindo a evolução temporal do estoque comparando as diferentes abordagens. Note que em azul está o estoque, em verde o estoque médio, em vermelho o ponto de pedido e em amarelo as demandas.

Nas figuras abaixo, percebe-se que enquanto o estoque médio com o pedido estático é por volta de 6000 itens, com o pedido dinâmico o estoque médio ficou abaixo de 4000 itens. Diferente do ponto estático, o ponto dinâmico varia conforme a evolução das demandas ao longo do tempo.



Resultados alcançados e/ou previstos

- Redução de 81,48% no estoque médio geral (considerando todos os materiais);
- Análise gráfica da evolução do estoque e também das demandas;
- Maior confiabilidade do processo e mais robustez a variações inesperadas em relação as demandas;
- Uma vez que houve redução do estoque médio, há também redução no custo de estocagem.

Discussão

- A obtenção dos dados apresentou desafios significativos, exigindo um esforço considerável na engenharia dessas informações para a construção da base;
- Dificuldade de compreender o método utilizado pela empresa, tendo em vista que diferentes pessoas haviam atuado no gerenciamento do estoque;
- Desafio de aumentar a capacidade computacional para utilizar soluções que demandam uso de Inteligência Artificial.

Conclusão

- A empresa avaliou e se mostrou satisfeita com a proposta, principalmente em relação à possibilidade de acompanhar as séries temporais de estoque e demanda;
- O método desenvolvido se mostrou eficiente para reduzir o estoque médio;
- A abordagem dinâmica promoveu um sistema de ressuprimento confiável e com menos custos comparado com o método de ponto de pedido estático.

Referências

- Sandnes Grøstad, T., & Stangebye Larsen, E. (2023). Machine Learning-based Time Series Forecasting for Dynamic Reorder Points (Master's thesis, NTNU).
- Peinado, J., & Graeml, A. R. (2007). Administração da produção. Operações industriais e de serviços. Unicenp, 201-202.
- Korstanje, J. (2021). Advanced Forecasting with Python: With Stateof-the-Art-Models Including LSTMs, Facebook's Prophet, and Amazon's DeepAR. Apress. Maisons Alfort, France.
- Hyndman, R. J., & Athanasopoulos, G. (2018). Forecasting: principles and practice 3rd ed. O Text.

Aplicação de Séries Temporais em Pontos de Pedidos Dinâmicos para Gestão de Estoque

✉ diogenes.silva@fpf.br – Diógenes Wallis de França Silva

✉ jennyfer.moraes@fpf.br – Jennyfer Oliveira de Moraes

✉ raphaela.goes@fpf.br – Raphaela Lima de Araújo Goes

✉ elen.couto@fpf.br – Elen Couto

✉ viviane.bernardo@fpf.br – Viviane Bernardo

✉ carlos.mar@fpf.br – Carlos Mar