
Livro em processo de elaboração.

Título: Gestão de Demanda e Controle de Estoque.

Autora: Tatiana Balbi Fraga.

Profa. do Núcleo de Tecnologia da UFPE.

Caso tenha interesse em participar da elaboração deste livro, enviar e-mail para: tatiana.balbi@ufpe.br.

O mesmo endereço de e-mail poderá ser utilizado para críticas e sugestões. Desde já agradeço por qualquer contribuição.

O conteúdo apresentado neste livro estará sendo modificado ao longo de sua elaboração, caso o mesmo seja consultado para elaboração de algum trabalho, favor citar como referência o título, a autora, a data da consulta e o endereço da versão consultada no github.

Capítulo 1

Classificação de itens de inventário

No intuito de oferecer um pronto atendimento aos clientes, grande parte das empresas estocam alguns produtos que comercializam. Contudo, o estoque apresenta uma série de preocupações tais como a necessidade de deixar um grande capital parado, o uso de amplo espaço para estocagem e o perecimento dos produtos. Assim torna-se necessária uma correta identificação dos níveis adequados de estoque para os diferentes produtos através de estudos que buscam um ponto de equilíbrio entre as reais necessidades de estocagem e os custos envolvidos. Entre os esforços necessários para a definição de um ponto de equilíbrio podemos citar os estudos de demanda e a busca pela otimização da utilização do espaço disponível para estocagem.

Como muitas organizações comercializam centenas ou até mesmo milhares de itens de inventário, muitas vezes determinar o nível adequado de estoque para cada item se torna excessivamente custoso ou até mesmo impraticável. Portanto uma prática comum consiste em classificar os diversos itens dando a atenção necessária apenas aos itens considerados mais importantes. Entre os métodos de classificação mais conhecidos está o método de Análise ABC desenvolvido com base na observação de Pareto, que posteriormente foi generalizada como regra de Pareto ou regra 80-20. De acordo com essa regra, aproximadamente 20% das causas é responsável por 80% dos efeitos.

Pela classificação ABC, os itens de inventário devem ser distribuídos em três grupos - A, B e C - com base em algum critério conhecido. Os itens classificados como A são aqueles mais importantes, os itens B são menos importantes, e os itens C não apresentam importância significativa. Para classificação dos itens é necessário inicialmente listá-los em ordem decrescente, de acordo com sua contribuição para o critério observado. Posteriormente é feita a soma acumulada das contribuições, e a distribuição dos itens entre as três categorias pode ser

feita conforme sugerido na Tabela ??.

grupo	percentual de itens	contribuição percentual
A	20%	80%
B	30%	15%
C	50%	5%

Tabela 1.1: Regra sugerida para classificação ABC.

Observe que nem sempre será possível encontrar a proporção exata apresentada na Tabela ?. Uma forma de contornar essa dificuldade consiste em fixar aproximadamente um dos critérios encontrando o valor para o próximo. Por exemplo, em determinada análise pode ser observado que 10% dos itens são responsáveis por 79,5% dos resultados.

Uma importante questão a ser considerada na aplicação do método ABC é o critério escolhido para a análise. Geralmente é utilizado o critério custo-volume. Contudo outros critérios podem influenciar fortemente na definição da importância de determinado item. Entre tais critérios podemos citar:

- obsolescência: quando um item torna-se rapidamente obsoleto, ou quando este item está próximo de se tornar obsoleto, é necessário atribuir maior atenção ao controle do nível de estoque deste item, portanto itens com maior obsolescência são mais importantes do que itens com menor obsolescência;
- lead-time: itens que podem ser fabricados ou adquiridos rapidamente são menos importantes do que aqueles itens com longos lead-times. O mesmo é válido para itens com lead-times muito variáveis, nesse caso a incerteza faz com que tais itens tornem-se mais importantes;
- substituíbilidade: quando um item pode ser substituído por outro com especificações próximas, isso aumenta a flexibilidade e diminui o tempo de resposta na possibilidade de falta do item, portanto itens mais substituíveis são menos importantes do que itens menos substituíveis;
- reparabilidade: assim como no caso anterior, itens que podem ser rapidamente e facilmente reparáveis aumentam a flexibilidade e o tempo de resposta, portanto itens mais reparáveis são menos importantes do que itens menos reparáveis;
- nível de criticidade: esse aspecto está associado ao custo relacionado à falta de estoque do item. O controle dos níveis de estoque de itens considerados críticos é geralmente muito importante;

- comunalidade: esse aspecto diz respeito às diferentes formas de uso de um item, um item com mais utilidades é mais importante do que um item com menos utilidades.

É preciso observar que muitas vezes é necessário considerar mais do que um critério, sendo que diferentes critérios podem resultar em diferentes classificações. A literatura apresenta uma série de metodologias que podem ser aplicadas para Análises ABC com Múltiplos Critérios. A seção ?? apresenta um método matricial proposto por ? para classificação ABC utilizando a comparação de dois critérios. A seção apresenta uma formulação matemática, tratando o problema como um problema de designação.

1.1 Classificação matricial ABC com dois critérios

Nesse método a classificação com dois critérios escolhidos é feita usando uma matrix de critérios conjuntos. Normalmente essa matriz terá a seguinte forma:

		critério 2			legenda
		A	B	C	
critério 1	A				A
	B				B
	C				C

Tabela 1.2: Matriz de critérios conjuntos.

Neste caso, itens com classificação, de acordo com primeiro e segundo critério, AA, AB ou BA, são classificados como itens do grupo A. Já os itens com classificação CA, BB, e AC são classificados como itens do grupo B. E os itens com classificação CB, BC e CC são classificados como itens do grupo C. Contudo, a forma da matriz poderá ser ajustada conforme os critérios utilizados e a avaliação da chefia. Por exemplo, caso fossem escolhidos como critérios o custo-volume e a criticidade, poderíamos adotar a seguinte forma matricial:

		criticidade			legenda
		A	B	C	
custo-volume	A				A
	B				B
	C				C

Tabela 1.3: Matriz de critérios conjuntos para os critérios custo-volume e criticidade.

1.2 Processo de Hierarquia Analítica

O Processo de Hierarquia Analítica (PHA) é um método desenvolvido por Saaty em 1971 que tem como objetivo encontrar uma medida única e padronizada quando considerando vários critérios. Para apresentação de como este método pode ser utilizado para classificação ABC multicritério, estarei usando uma adaptação do exemplo apresentado em uma das publicações do autor (?).

Considere que em uma empresa, foram feitas quatro classificações para os itens de inventário, utilizando para cada classificação um dos seguintes critérios: custo-volume, nível de criticidade, obsolescência e lead-time. A Tabela ?? apresenta o resultado destas classificações:

custo-volume			criticidade			obsolescência			lead-time		
item	%		item	%		item	%		item	%	
1	50	A	8	60	A	3	20%	A	item 4	30%	A
2	30	A	3	20	A	4	20%	A	item 5	20%	A
3	8	B	1	4	B	item 6	20%	A	item 6	20%	A
4	4	B	2	4	B	item 9	20%	A	item 10	10%	A
5	3	B	4	4	B	item 1	5%	B	item 1	8%	B
6	1	C	5	4	B	item 5	5%	B	item 3	7%	B
7	1	C	6	1	C	item 10	5%	B	item 9	2%	C
8	1	C	7	1	C	item 2	3%	C	item 2	1%	C
9	1	C	9	1	C	item 7	1%	C	item 7	1%	C
10	1	C	10	1	C	item 8	1%	C	item 8	1%	C

Tabela 1.4: Classificação ABC para os critérios custo-volume, nível de criticidade, obsolescência e lead-time.

O método PHA começa com a criação de uma matriz de comparação entre pares. Para criação dessa matriz, para cada par de critérios é atribuída uma importância relativa, conforme escala apresentada na Tabela ??.

intensidade de importância em uma escala absoluta	definição
1	importância igual
3	importância moderada de uma sobre a outra
5	importância forte
7	importância muito forte
9	extrema importância
2, 4, 6, 8	valores intermediários (quando necessário)

Tabela 1.5: Escala fundamental. Fonte: adaptada de ?.

A Tabela ?? apresenta uma matriz de comparação entre pares criada para esse exemplo.

1.3. FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

critério	custo-volume	criticidade	obsolescência	lead-time
custo-volume	1			
criticidade		1		
obsolescência			1	
lead-time				1

Tabela 1.6: Matriz de comparação entre pares.

1.3 Formulação matemática

Considere um inventário com I itens que devem ser classificados de acordo com J critérios. A medida do i -ésimo item de acordo com o j -ésimo critério é representada por y_{ij} . Nesse cenário deseja-se ordenar os itens, ou seja

Capítulo 2

Identificação de padrões de demanda

A previsão de demanda é essencial para o bom planejamento em qualquer empresa. Através de uma boa previsão é possível, entre outras coisas, controlar melhor os níveis de estoque, reduzindo custos e oferecendo um melhor nível de serviço aos clientes.

Conforme mostra ?, a literatura apresenta uma grande variedade de metodologias que podem ser utilizadas para previsões de demanda, sendo que a performance dos distintos modelos de previsão varia de acordo a natureza dos dados e um modelo que gera bons resultados para determinada classe de itens de uma empresa pode gerar previsões ruins para outros itens dessa mesma empresa.

Uma estratégia natural utilizada para identificar o modelo de previsão adequado pra cada item consiste em comparar a performance dos distintos modelos candidatos utilizando dados históricos de vendas do item (?). Contudo, como geralmente as empresas produzem e/ou comercializam uma grande variedade de itens, essa estratégia acaba se tornando um esforço considerável.

De acordo com ?, uma opção viável consiste em agrupar os itens de acordo com seus padrões de demanda, para posteriormente identificar o modelo de previsão adequado pra cada grupo e não mais para cada item individual. Esse capítulo apresenta, de forma bem detalhada, algumas das principais metodologias utilizadas para identificação de padrões de demanda e agrupamento dos itens de acordo com os padrões identificados.

2.1 Classificação ABC

O princípio de Pareto atenta para o fato de que, em muitas circunstâncias, um pequeno número de fatores são responsáveis pela maior parte impácto nos resultados (?). Este princípio é geralmente descrito como a regra 80-20, ou seja, quando 20% dos fatores são responsáveis por 80% do resultado.

2.2 Padrões de demanda

'Os padrões de demanda são resultados da variação da demanda com o tempo, ou seja, do crescimento ou declínio de taxas de demanda, sazonalidades e flutuações gerais causadas por diversos fatores' (? apud ?).

De acordo com ?, quando a demanda apresenta comportamento regular, os padrões de demanda podem ser divididos em componentes de tendência, sazonais ou aleatórios. Já nos casos em que a demanda de determinados itens é intermitente, em função do baixo volume geral e da incerteza quanto a quando e em que nível essa demanda ocorrerá, a série de tempo é chamada de incerta, ou irregular.

? distribuem os padrões de demanda entre normais, onde a demanda pode ser representada por uma distribuição normal, e não normais, no caso em que isso não é possível. De acordo com os autores, os padrões de demanda não normais podem ser classificados da seguinte forma:

- um item de *demanda intermitente (intermittent)* é um item com ocorrências de demanda pouco frequentes;
- um item de *demanda de movimento lento (slow moving)* é um item cuja demanda média por período é baixa. Isso pode ser devido a ocorrências de demanda pouco frequentes, tamanhos médios de demanda baixos ou ambos;
- um item de *demanda errática (erratic)* é um item cujo tamanho de demanda é altamente variável;
- um item de *demanda esporádica (lumpy)* é um item intermitente para o qual a demanda, quando ocorre, é altamente variável.; e
- um item de *demanda agregada (clumped)* é um item intermitente para o qual a demanda, quando ocorre, é constante (ou quase constante).

Apesar da importância da identificação dos padrões de demanda para identificação dos métodos adequados de previsão, poucos autores tratam deste assunto e poucas técnicas são apresentadas na literatura para essa finalidade.

? aplicam um sistema de agrupamento de itens utilizando um diagrama de plotagem em estrela considerando oito características dos dados de séries temporais: coeficiente de variação, número de zeros, tendência, picos (outliers), sazonalidade, corridas, assimetria e autocorrelação.

O coeficiente de variação (CV) informa a variabilidade em relação à média. Essa medida adimensional informa o nível de dispersão: quanto mais alto for o (CV), mais alta é a dispersão:

$$CV = \frac{s}{\bar{i}} \quad (2.1)$$

onde:

\bar{i} é a média dos valores considerados, e

s é o desvio padrão

$$s = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (i - \bar{i})^2} \quad (2.2)$$

O número de zeros (NZ) é uma medida que indica o número de períodos com demanda zero (nula) dentro de determinado intervalo de tempo.

$$NZ = \sum_{i=1}^N I(y_i = 0) \quad (2.3)$$

Onde $I(A) = 1$, se A é verdadeiro, e $I(A) = 0$, se A é falso.

Essa medida é, em alguns casos, associada à intermitência. Sendo BP um valor de corte, se $(NZ \geq BP)$ então a demanda é considerada intermitente (?).

A tendência (T) apresenta um padrão de variação suave e temporário na demanda. Para cálculo da tendência, ? dividem os dados avaliados em terços e calculam a tendência usando a seguinte expressão:

$$T = \frac{(Y_U - Y_L)}{(Y_{(\frac{5}{6})} - Y_{(\frac{1}{6})})} \quad (2.4)$$

Onde Y_U e Y_L representam as medianas dos terços extremos, sendo L o terço inferior, e U o terço superior. Observe que $-1 \geq T \leq 1$.

Picos (P) é uma característica que informa sobre padrões nos dados temporais que podem representar anomalias ou dados súbitos.

$$P = \sum_{i=1}^N I(d_i > 2) \quad (2.5)$$

onde:

$$d_i = \frac{y_i - y_T}{s_T} \quad (2.6)$$

sendo y_T e s_T , respectivamente, a média e o desvio padrão aparados (i.e., após retirar 20% dos dados da amostra, sendo 10% referente aos menores valores e 10% referente aos maiores valores).

A sazonalidade informa comportamentos que se repetem a cada ciclo (normalmente de 3 meses). ? representam a sazonalidade através da seguinte medida adimensional:

$$SS = 1 - \frac{ss_w}{ss_T} \quad (2.7)$$

onde:

$$ss_w = \sum_{i=1}^4 \sum_{j=i}^{n_i} x_{ij} \quad (2.8)$$

e

$$ss_T = \sum_i \sum_j (x_{ij} - \bar{x})^2 \quad (2.9)$$

sendo:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \quad (2.10)$$

e

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^4 n_i \bar{x}_i \quad (2.11)$$

tal que:

y_i^w representa os dados winsorizados (i.e. após retirar 20% dos dados da amostra, sendo 10% referente aos menores valores e 10% referente aos maiores valores, substituindo esses dados, respectivamente, pelo menor e pelo maior valor dentro do intervalo de dados restantes (%80 dos dados));

$n = 4k + r$ representa o número total de períodos para $r = 0, 1, 2, 3$, sendo o período (n_i), é definido por:

$$n_i = \begin{cases} 4k, & \text{se } r = 0 \\ 4k + i, & \text{se } r > 0 \end{cases} \quad (2.12)$$

$$x_{ij} = y_{i+4(j-1)}^w \quad i = 1, \dots, 4 \quad j = 1, \dots, k \quad (2.13)$$

e

$$x_{i(k+1)} = y_{n_i}^w \quad i = 1, \dots, r \quad r > 0 \quad (2.14)$$

De acordo com ?, a característica corrida representa um intervalo no qual observações sucessivas ocorrem todas no mesmo lado da mediana do processo. ? utilizam o número de corridas acima e abaixo da mediana. Os autores afirmam que um valor baixo para o número total de corridas pode confirmar uma tendência; enquanto que um valor alto sugere agrupamento ou outro comportamento oscilatório.

$$Run = \frac{|R - E[R]|}{\sqrt{Var(R)}} \quad (2.15)$$

onde:

R representa a soma dos números de corridas abaixo e acima da mediana (após exclusão dos valores iguais à mediana),

$$E[R] = 1 + \frac{2n_1 n_2}{n_1 + n_2} \quad (2.16)$$

$$Var(R) = \frac{2n_1n_2(2n_1n_2 - n_1 - n_2)}{(n_1 + n_2)^2(n_1 + n_2 - 1)} \quad (2.17)$$

sendo:

n_1 o número total de observação acima da mediana; e

n_2 o número total de observação abaixo da mediana.

A assimetria (A) é a razão entre a média aritmética (\bar{y}) e a mediana (m).

$$A = \frac{\bar{y}}{m} \quad (2.18)$$

Valores de A maiores que 1, indicam uma assimetria positiva, e valores de A menores do que 1, indicam uma assimetria negativa.

A correlação CR indica a relação entre dois semestres subsequentes:

$$CR = \frac{|RVN - 2|}{\sigma} \quad (2.19)$$

onde:

$$\sigma^2 = \frac{4(n-2)(5n^2 - 2n - 9)}{5n(n+1)(n-1)^2} \quad (2.20)$$

$$RVN = \frac{12NM}{n(n^2 - 1)} \quad (2.21)$$

$$NM = \sum_{i=1}^{n-1} [r_i - r_{i+1}]^2 \quad (2.22)$$

r_i representa o rank de y_i .

Após calculadas, as características coeficiente de variação, número de zeros, tendência, picos (outliers), sazonalidade, corridas, assimetria e autocorrelação são utilizadas por ? para agrupamento dos itens, sendo então identificado qual modelo ARIMA é mais adequado para cada grupo.

? apresenta um esquema para classificação da demanda em suave (smooth), de movimento lento, ou esporádica, particionando a variabilidade da demanda durante um lead time (C_{LTD}^2) em suas partes causais constituintes: variabilidade dos números de pedidos ($\frac{C_n^2}{L}$), variabilidade dos tamanhos dos pedidos ($\frac{C_x^2}{\bar{n}L}$) e variabilidade dos prazos de entrega (C_L^2).

$$C_{LTD}^2 = \frac{C_n^2}{L} + \frac{C_x^2}{\bar{n}L} + C_L^2 \quad (2.23)$$

onde:

n representa os números de pedidos que chegam em unidades de tempo sucessivas (variáveis randômicas independentes e identicamente distribuídas (IIDRVs), com média \bar{n} e variância $var(n)$),

CAPÍTULO 2. IDENTIFICAÇÃO DE PADRÕES DE DEMANDA

x representa os tamanhos dos pedidos (IIDRVs, com média \bar{x} e variância $var(x)$),

L representa os prazos de entrega (IIDRVs, com média \bar{L} e variância $var(L)$), e

C_i representa o coeficiente de variação de i .

Tal esquema foi posteriormente revisado por ?, considerando também o padrão de demanda irregular. A classificação adaptada por pelos autores é apresentada na tabela a seguir.

$\frac{C_n^2}{L}$	$\frac{C_x^2}{\bar{n}L}$	C_L^2	padrão de demanda
baixo	baixo		suave
baixo	alto		irregular
alto	baixo		de movimento lento
alto	alto	baixo	intermitente
alto	alto	alto	atadamente intermitente

Tabela 2.1: Classificação dos padrões de demanda de acordo com ?.

Observe que os valores dos critérios de corte definidos para diferenciar alto e baixo são arbitrários.

? sugerem um esquema de categorização contruído a partir da comparação do erro médio quadrado de três diferentes metodologias (método de Croston, método de Croton modificado e amortecimento exponencial simples). De acordo com esse esquema, os parâmetros quadrado do coeficiente de variação do tamanho da demanda (CV^2) e intervalo médio entre demandas (p) são usados para classificar a demanda entre errática, esporádica, suave e intermitente. A tabela a seguir apresenta a classificação proposta pelos autores.

CV^2	p	padrão de demanda
0.49	1.32	
baixo	baixo	suave
baixo	alto	intermitente
alto	baixo	errática
alto	alto	esporádica

Tabela 2.2: Classificação dos padrões de demanda de acordo com ?.

Observe que nesse esquema de classificação são definidos os pontos de corte $CV^2 = 0.49$ e $p = 1.32$.

Referências Bibliográficas

- Ballou, R.H. (2001). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos: Planejamento, Organização e Logística Empresarial*, 4. ed., Porto Alegre: Bookman.
- Ballou, R.H. (2006). *Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos / Logística Empresarial*, 5. ed., Porto Alegre: Bookman.
- Boylan, J.E., Syntetos, A.A., e Karakostas, G.C. (2008). 'Classification for forecasting and stock control: a case study'. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 59, pp. 473–481.
- Businger, M.P., e Read, R.R. (1999). 'Identification of demand patterns for selective processing: a case study'. *Omega, Int. J. Mgmt Sci.*, Vol. 27, pp. 189–200.
- Eaves A.H.C., e Kingsman B.G. (2004). 'Forecasting for the ordering and stockholding of spare parts'. *J. O. Opl. Res. Soc.*, Vol. 55, pp. 431–437.
- Flores, B.E., and Whybark, D.C. (1986). 'Multiple Criteria ABC Analysis'. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 6, No. 3, pp. 38–46.
- Fraga, T.B. (2019). 'Estudo de Métodos de Previsão de Demanda e Proposição de Metodologia Combinada no Contexto das Micro e Pequenas Empresas do Agreste Pernambucano'. Projeto de Pesquisa registrado em 09/11/2019, e aprovado pela Pró-reitoria de Pesquisa da UFPE em 11/02/2021 (Processo SIPAC 23076.057489/2019-21).
- Harvey, H.B., Sotardi, S.T. (2018). 'The Pareto Principle'. *Journal of the American College of Radiology*, Vol. 15 (6), pp. 931.
- Makridakis, S.G., Wheelwright, S.C., Hyndman, R.J. (1998). *Forecasting: Methods and Applications*, 3. ed., Wiley.
- Makridakis, S. e Hibon, M. (2000). 'The M3-Competition: results, conclusions and implications'. *International Journal of Forecasting*, Vol. 16, pp. 451–476.
- Saaty, R.W. (1987). 'The Analytic Hierarchy Process - what it is and how it is used'. *Mathl Modelling*, Vol. 9, No. 3-5, pp. 161–176.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Syntetos, A.A., Boylan, J.E., e Croston, J.D. (2005). 'On the categorization of demand patterns'. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 56 (5), pp. 495–503.
- Ulrich, M., Jahnke, H., Langrock, R., Pesch, R., e Senge, R. (2022). 'Classification-based model selection in retail demand forecasting'. *International Journal of Forecasting*, Vol. 38 (1), pp. 209–223.
- Werner, L, Lemos, F.O., Daudt, T. (2006). 'Previsão de demanda e níveis de estoque uma abordagem conjunta aplicada no setor siderúrgico'. *XIII SIMPEP*, Bauru, SP, Brasil.
- Williams, T.M. (1984). 'Stock control with sporadic and slow-moving demand'. *Journal of the Operational Research Society*, Vol. 35 (10), pp. 939–948.