

Controle de estoque de peças de reposição: uma revisão da literatura

José Roberto do Rego^{a*}, Marco Aurélio de Mesquita^b

^a*jrrego@eseg.edu.br, USP, Brasil

^bmarco.mesquita@poli.usp.br, USP, Brasil

Resumo

Estoques de peças de reposição atendem necessidades de manutenção e reparo de produtos de consumo, veículos, máquinas e equipamentos industriais, acarretando frequentemente altos custos de capital e forte impacto no nível de serviço aos clientes. A grande multiplicidade de componentes, com ciclos de vida mais curtos e baixas demandas dificultam a gestão destes estoques. Este artigo apresenta revisão da literatura sobre modelos de controle de estoques de peças de reposição em local único, abordando tanto a previsão de demanda quanto o controle de estoques nos diferentes estágios do ciclo de vida das peças. A partir do levantamento bibliográfico, identificam-se algumas lacunas referentes à decisão de estocagem ou não de um item, elaboração de pedidos iniciais e finais, na integração de modelos de previsão de demanda com o controle de estoque e também de estudos de caso na aplicação prática dos modelos.

Palavras-chave

Estoque. Peças de reposição. Demanda esporádica.

1. Introdução

Estoques de peças de reposição possuem características distintas de outros estoques nas empresas. Cohen e Lee (1990), Cohen, Zheng e Agrawal (1997), Muckstadt (2004), Kumar (2005) e Rego (2006) apontam alguns fatores importantes para a gestão destes estoques:

- Clientes têm expectativas cada vez maiores quanto à qualidade dos produtos e serviços associados. A ocorrência de falhas já é um transtorno e a demora nos reparos por falta de peças agrava a percepção negativa do cliente;
- Há itens com demanda elevada (em geral itens de maior desgaste e manutenção preventiva), mas a grande maioria tem demanda esporádica; e
- O aumento da complexidade dos produtos e a redução dos ciclos de vida geram aumento da quantidade de códigos ativos e risco de obsolescência.

Inicialmente, é importante diferenciar peças descartáveis de reparáveis. Para alguns segmentos,

peças de reposição são extremamente caras e seu reparo (ao invés do descarte) é vantajoso; unidades danificadas podem ser substituídas tanto por peças novas quanto por peças recuperadas. Neste caso, os modelos de controle de estoque devem considerar também custos e tempos de reparo. Sherbrooke (2004) discute o caso de peças reparáveis.

Outra dimensão do problema está associada à existência de um único ou múltiplos locais de estocagem (KENNEDY; PATTERSON; FREDENDALL, 2002). Este artigo concentra-se na revisão da literatura relacionada à gestão de estoques de peças descartáveis em local único.

Inicia-se com métodos de previsão específicos para demandas esporádicas. A previsão de demanda é utilizada tanto na parametrização do controle do estoque quanto, em alguns casos, na própria decisão de quanto repor nos estoques.

Em seguida, são revistas algumas formas de classificação dos itens para diferenciar o controle

de estoques quanto ao tipo de controle, nível de serviço desejado e custos associados. Os aspectos usualmente considerados nestas classificações incluem valor, criticidade, demanda e a fase do ciclo de vida do produto.

O ciclo de vida das peças de reposição está associado ao ciclo de vida dos produtos finais que a empregam (FORTUIN; MARTIN, 1999). Sua demanda é afetada por diversos fatores: tamanho e idade da “população” dos produtos finais (vendas, frota circulante, parque instalado, etc), características da manutenção desses produtos (preventiva, corretiva, etc) e características das peças e de suas falhas (desgaste, acidente, envelhecimento, etc). Fortuin (1980) divide o ciclo de vida das peças em três fases: inicial, normal ou repetitiva e fase final. Ao longo destas fases diferentes decisões devem ser tomadas:

- Estocar ou não: demandas muito baixas no início do ciclo de vida (e também no seu final) levam o gestor a questionar se a peça deve ou não ser estocada. Para muitos itens, a demanda é tão baixa que a decisão de não estocar, atendendo a demanda circunstancialmente após a entrada do pedido, pode ser a melhor decisão;
- Pedidos iniciais: a incerteza quanto ao crescimento da demanda dificulta o planejamento dos pedidos iniciais;
- Controle dos estoques: decidido que a peça deve ser estocada, necessita-se de rotina para reposição dos estoques, considerando objetivos diversos (custo e/ou nível de atendimento) e o comportamento da demanda (crescente, estável, decrescente); e
- Pedidos finais: altos custos de produção e manutenção dos processos produtivos, associados às baixas demandas e fim da vida útil esperada dos produtos levam as empresas a descontinuar a produção de peças em determinado momento. Em alguns casos, pode-se “aproveitar” a última batelada de produção para formar estoque final de peças.

Estas diferentes decisões em cada fase do ciclo de vida das peças são abordadas nas seções seguintes deste artigo.

2. Previsão de demanda

A maioria das peças de reposição apresenta demanda esporádica, ou seja, ocorrem em determinados momentos, seguidos por intervalos longos e variáveis de ausência de demanda. Demandas esporádicas são particularmente difíceis de prever e as faltas podem ter custos extremamente elevados (HUA et al., 2007).

Segundo Love (1979), previsões de demanda são pré-requisitos absolutos para o planejamento dos níveis de estoque. Ainda que as previsões estejam sujeitas a erros, o conhecimento destes erros permite a definição dos estoques de segurança necessários. Makridakis, Wheelwright e Hyndman (1998) constitui referência clássica em previsão de demanda. Uma revisão dos últimos 50 anos da literatura de previsão de demanda voltada para gestão de estoques encontra-se em Syntetos, Boylan e Disney (2009).

Um aspecto pouco discutido na literatura é a escolha da “janela” de tempo (*time bucket*) que caracteriza as demandas. Evidentemente, as demandas serão mais esporádicas quanto menor for o *time bucket* adotado. Estudos comparativos feitos por Eaves e Kingsman (2004) e Teunter e Duncan (2009) utilizam dados mensais; Ghobbar e Friend (2003) baseiam-se em dados semanais e Gutierrez, Solis e Mukhopadhyay (2008), em demandas diárias.

Uma abordagem mais precisa para o tratamento de demandas intermitentes foi desenvolvida por Krever et al. (2005) para cálculo da demanda média durante o *lead-time* e sua variância. Nesta abordagem denominada *SDA - Single Demand Approach* (em oposição aos métodos tradicionais que adotam algum *time bucket - PDA - Periodic Demand Approach*), são utilizadas três variáveis aleatórias: quantidades demandadas durante o *lead-time*, intervalos de tempo entre ocorrências de demanda e o próprio *lead-time*.

Diversos autores tratam também da previsão de demanda esporádica (“*lumpy*”) de peças de reposição, dentre os quais se destacam: Croston (1972), Syntetos e Boylan (2001), Ghobbar e Friend (2003), Eaves e Kingsman (2004), Willemain, Smart e Schwarz (2004), Regattieri et al. (2005), Hua et al. (2007), Gutierrez, Solis e Mukhopadhyay (2008), Gomez (2008), Teunter e Duncan (2009).

O trabalho pioneiro de Croston (1972) mostra que o uso de métodos clássicos de suavização exponencial em itens de demanda esporádica gera altos erros de previsão e, por decorrência, estoques de segurança desnecessariamente elevados. Croston propõe um método alternativo que separa a estimação dos intervalos entre demandas da estimação dos volumes demandados em cada ocorrência. Johnston e Boylan (1996) comparam previsões feitas por suavização exponencial e pelo método de Croston, concluindo que este último se mostra superior quando o intervalo médio entre demandas é maior que 1,25 períodos de tempo (*time bucket*). Syntetos e Boylan (2001) apontam um viés no modelo original de Croston e propõe uma correção, dando origem ao modelo *SBA (Syntetos-Boylan Approximation)*.

Ghobbar e Friend (2003) comparam 13 técnicas de previsão de demanda de peças de aeronave e constataam a superioridade das técnicas: média móvel ponderada, suavização exponencial dupla (Holt) e Croston. Resultados semelhantes são apresentados em Regattieri et al. (2005). Eaves e Kingsman (2004) avaliam técnicas de previsão de demanda de peças de reposição para a força aérea britânica, incluindo os métodos de Croston e SBA, demonstrando a superioridade do método SBA para um dado nível de serviço.

Willemain, Smart e Schwarz (2004) desenvolvem modelos de previsão para demandas esporádicas, utilizando a técnica de reamostragem (*bootstrapping*) para estimar a distribuição da demanda durante o *lead-time*, considerando autocorrelação e introduzindo pequenas variações de demanda nas séries originais (*jittering*). Comparando o novo modelo com a suavização exponencial e o método de Croston, concluem que o primeiro fornece melhores resultados, especialmente em séries históricas pequenas. Hua et al. (2007) utilizam a reamostragem em conjunto com regressão na previsão de demanda de peças na indústria petroquímica e apontam vantagens do modelo proposto.

Gutierrez, Solis e Mukhopadhyay (2008) apresentam modelo de previsão baseado em redes neurais, que se mostrou superior aos métodos de suavização exponencial, Croston e SBA. Li e Kuo (2008) desenvolvem o modelo *EFNN (Enhanced Fuzzy Neural Network)* que utiliza uma lógica *fuzzy*, em conjunto com o *AHP (Analytical Hierarchical Process)* e de algoritmos genéticos. Li e Kuo (2008) mostram que o modelo gera resultados melhores utilizando 14 séries de 12 meses.

Gomez (2008) analisou 24 séries temporais classificadas como esporádicas fortes (critério de BOYLAN; SYNTETOS; KARAKOSTAS, 2008), utilizando técnicas de auto-ajuste sobre modelos clássicos de previsão (Suavização Simples, Croston, SBA) e um modelo original baseado em Filtro de Kalman. Para esta amostra, o modelo com Filtro de Kalman apresentou menor MAPE (erro absoluto percentual médio) em 21 séries temporais, enquanto o modelo SBA auto-ajustado foi melhor em três.

Teunter e Duncan (2009) comparam os métodos de Média Móvel, Suavização Exponencial Simples, Croston, SBA e Reamostragem (*bootstrapping*). Inicialmente, discute-se a inadequação de medidas de erro de previsão tradicionais (MAD, MSE, MAPE) e recomenda adoção de medidas baseadas no nível de serviço e estoque. O estudo feito com 5000 peças de reposição para a Força Aérea Britânica comprovou a superioridade das técnicas de Croston,

SBA e Reamostragem. Os autores propõem ajustes na previsão de demanda durante o *lead-time*, para que pedidos sejam disparados nos períodos em que há demanda, obtendo resultados melhores que os originais.

Grande parte dos trabalhos citados são estudos comparativos por simulação que consideram a previsão de demanda isoladamente. Destaca-se que o estudo da demanda precede e orienta a definição das políticas de controle dos estoques (FOOTE, 1995).

É importante destacar que, até mesmo nos modelos “reativos” (SANTORO; FREIRE, 2008), que não utilizam diretamente previsões de demanda para colocação dos pedidos, necessitam-se estimativas da demanda de médio prazo para definição de seus parâmetros. Tais estimativas devem ser revistas conforme novos dados históricos surgem e a frequência em que isto deve ocorrer é uma questão pouco explorada.

Babai et al. (2009) apresentam um modelo de controle de estoque dinâmico (revisão dos parâmetros do modelo a cada intervalo de tempo) baseado em previsões e comparam seu desempenho com um modelo estático tradicional. Os resultados obtidos mostram similaridade quanto aos níveis de serviço e superioridade em custos de estocagem, quando se utiliza o procedimento dinâmico.

Na próxima seção, discute-se a classificação de peças para efetivo controle de estoque. Dentre os diversos critérios de classificação, estão características da demanda dos itens e sua previsibilidade.

3. Classificação das peças de reposição

Conforme Huiskonon (2001) e Boylan, Syntetos e Karakostas (2008), a classificação dos itens é parte essencial dos sistemas de gestão dos estoques, para: i) determinar o nível de atenção gerencial adequado; ii) permitir a escolha do método de previsão de demanda e controle dos estoques, e iii) estabelecer diferentes metas de desempenho nos níveis de serviço e giro de estoques entre categorias. No entanto, a maioria dos trabalhos levantados utiliza apenas a classificação das peças para escolha do modelo de previsão de demanda em detrimento do método de controle do estoque.

As organizações que mantêm estoque de peças de reposição comumente classificam estes itens por diferentes critérios, assumindo diferentes níveis de serviço para cada categoria (SYNTETOS; KEYES; BABAI, 2009). Recomenda-se que peças de reposição no segmento industrial sejam classificadas quanto à criticidade nas categorias VED - *Vital, Essential & Desirable* (GAJPAL; GANESH; RAJENDRAN, 1994),

enquanto produtos de consumo são usualmente classificados em gráficos de Pareto nas categorias ABC - alto, médio e baixo valor (SILVER; PYKE; PETERSON, 1998).

Williams (1984) propõe a partição da variância da demanda durante o *lead-time* em três componentes: variabilidade da frequência da demanda, variabilidade da quantidade por pedido e variabilidade do *lead-time*. A partir de cortes predefinidos, separaram os itens em três categorias: esporádicos, baixo giro e suaves (*smooth*).

Botter e Fortuin (2000), Sharaf e Helmy (2001) e Suryadi (2003) aplicam o método AHP para categorização VED dos itens, utilizada na decisão de estocagem ou não de um item (Seção 4). Braglia, Grassi e Montanari (2004) aplicam o AHP em conjunto com RCM (*Reliability Centered Maintenance*) para classificar peças de reposição industriais e decidir entre diferentes políticas de estocagem.

Zhang, Hoop e Supatgiat (2001) desenvolvem modelo para minimização dos estoques de peças sujeito a restrições de nível médio de serviço e frequência de reposição. A solução é obtida a partir de uma classificação ABC modificada, calculando para cada item o valor de $[D_i / (c_i^2 \cdot L_p)]$, onde D_i representa a demanda anual média do item; c_i , seu custo unitário e L_p , o *lead-time* médio. Esta classificação permite a simplificação do modelo de otimização proposto com a adoção de níveis de serviço por categoria, ao invés de variá-lo item a item. No estudo de caso, obtiveram redução superior a 30% nos custos de estoques com a política proposta.

Eaves e Kingsman (2004) retomam o modelo de Williams (1984), reclassificando as peças de reposição em cinco categorias (Tabela 1): suave, irregular, baixo giro, esporádica leve e esporádica forte. No entanto, os critérios de classificação adotados são arbitrários, impedindo a generalização dos resultados. Foram avaliados os níveis de estoque de uma política de revisão contínua parametrizada com base em previsões obtidas por cinco modelos distintos (SBA, Croston, suavização exponencial simples, média móvel e média do ano anterior), e o método SBA

se mostrou consistentemente superior aos demais (gerando menores níveis médios de estoque).

Syntetos, Boylan e Croston (2005) classificam os itens em quatro quadrantes, considerando-se dois eixos: intervalo médio entre demandas (p) e o quadrado do coeficiente de variação da demanda (CV^2). Os pontos de divisão nos eixos ($p = 1,25$ e $CV^2 = 0,49$) foram estabelecidos teoricamente e comprovados em testes com 3.000 séries de demanda de auto-peças. O artigo compara 3 métodos de previsão (suavização exponencial simples, Croston e SBA) e recomenda o uso do método de Croston para o quadrante I ($p < 1,25$ e $CV^2 < 0,49$) e o método SBA nos demais.

Boylan, Syntetos e Karakostas (2008) apresentam uma aplicação do método acima em empresa de *software*. As peças são classificadas em: i) esporádica forte ($p > 1,25$ e $CV^2 > 0,49$); ii) esporádica leve ($p > 1,25$ e $CV^2 < 0,49$); e iii) não-esporádica ($p < 1,25$). Considerando uma política de revisão contínua, dois métodos de previsão (SBA e média móvel) e um nível de serviço mínimo, os resultados obtidos por simulação apontam menores estoques com o método SBA para a categoria esporádica leve. Já na categoria esporádica forte, nenhuma das políticas estudadas atingiu o nível de serviço mínimo.

As seções seguintes discutem modelos de controle dos estoques para cada fase do ciclo de vida das peças.

4. Decisão de estocagem (ou não)

Uma alternativa para redução dos níveis de estoque de peças de reposição consiste na revisão crítica da necessidade de manter ou não cada um dos itens ativos. Modelos desenvolvidos na premissa de que todos os itens serão estocados devem ser reavaliados. Vale a pena arcar com os custos de estocagem, ainda que de uma única unidade, ou seria melhor adquirir emergencialmente o item, na eventualidade de surgir uma demanda? Esta seção discute a questão sobre a decisão de estocar ou não um dado item.

Silver, Pyke e Petterson (1998) abordam o problema específico de estocar ou não, citando Johnson (1962), Popp (1965), Croston (1974), Shorrock (1978) e Tavares e Almeida (1983). Johnson (1962) propõe dois critérios: um para passar a estocar um item atualmente adquirido contra pedido, e outro para deixar de estocar um item de estoque. Popp (1965) comparou os custos das alternativas de produzir contra pedido (estoque zero), produzir para estoque e estratégias híbridas. O modelo despreza custos de adição do item ao sistema de gestão, trata a demanda como contínua

Tabela 1. Classificação proposta por Eaves e Kingsman (2004).

	Variabilidade da			Categoria
	Frequência	Quantidade	<i>Lead-time</i>	
Baixa	Baixa			Suave
	Alta			Irregular
Alta	Baixa			Baixo giro
	Alta	Baixa	Baixa	Esporádica leve
		Alta	Alta	

e considera custos de pedido e de estocagem constantes para as três estratégias. Shorrock (1978) operacionalizou um modelo de decisão baseado na formulação proposta por Popp (1965).

Croston (1974) elaborou um critério análogo em sistemas de revisão periódica com estoque máximo, *lead-time* desprezível, máximo de uma ocorrência de demanda em cada intervalo de revisão e distribuição normal da quantidade demanda por ocorrência.

Tavares e Almeida (1983) consideram o caso em que a demanda segue distribuição de Poisson e as opções de estoque zero ou um. O modelo orienta a escolha entre estas opções através da comparação de seus custos: para estoque “um”, considera os custos de manutenção e reposição normais; para estoque “zero”, elimina-se o custo de manutenção e amplia o custo de aquisição por se tratar de compras emergenciais (ocorrerão apenas quando houver já um pedido em espera). A opção pelo estoque “zero” será quando a demanda média do item for maior do que uma demanda limite calculada pela formulação específica.

Olthof e Dekker (1994 apud TRIMP et al., 2004) apresentam uma regra de decisão de estocagem para peças de reposição pela qual ao menos uma unidade deve ser mantida em estoque se seu custo de estocagem anual unitário for superior ao custo esperado anual decorrente da falta do item (compra emergencial e penalidades pelo tempo parado).

Silver, Pyke e Petterson (1998) modificaram o modelo original de Popp (1965) para considerar a existência de um custo de inclusão do item no sistema de controle de estoques, obtendo formulações alternativas para a decisão em duas condições: i) mantendo as demais premissas de Popp; e ii) relaxando as premissas de custos semelhantes para pedidos normais e emergenciais.

Botter e Fortuin (2000) aplicam o método AHP em estudo de caso realizado na indústria eletrônica. O estudo utiliza a classificação VED de criticidade dos itens, em conjunto com uma classificação de demanda (alta, média ou baixa) para a tomada de decisão de estocagem ou não do item. A metodologia AHP também foi adotada por Suryadi (2003) em modelo de decisão similar aplicado no controle de estoque de peças de manutenção na indústria petroquímica.

Em estudo de múltiplos casos em concessionárias do setor automotivo brasileiro, Rego (2006) relata uso de diferentes critérios empíricos para decisão de estocagem:

- Estocar somente peças que tiveram demanda em todos os 3 últimos meses;
- Estocar peças que tiveram demanda em 4 dos últimos 6 meses;

- Atribuir pesos decrescentes aos últimos seis meses (6, 5, 4, 3, 2 e 1). Para cada item é feita a soma ponderada dos meses em que houve demanda, nos seis meses anteriores. Se esta soma for menor ou igual a 6 pontos, o item não deve ser estocado e vice-versa; and
- Calcular a frequência mensal ponderada (FMP) do item ($90\% * FMP_{anterior} + 1,2 * X_i$), onde: $X_i = 1$ se ocorreu demanda no mês anterior, ou $X_i = 0$, caso contrário. Pela fórmula, a frequência varia entre 0 e 12, sendo estocáveis os itens com $FMP > 1,60$.

Não foram encontradas referências mais recentes sobre critérios de decisão deste tipo. Em alguns modelos, estocar ou não é uma decisão implícita na própria formulação (por exemplo, revisão contínua com ponto de pedido igual a zero e lote de compra unitário).

5. Pedidos iniciais

Diante da introdução de novos produtos nos mercados, os gestores de peças de reposição podem decidir antecipar-se à ocorrência de demanda, formando um estoque inicial de peças, ou deixar a demanda ocorrer e só então disparar os pedidos. Ainda que erros no pedido inicial possam ser corrigidos em futuros pedidos, há uma dificuldade em dimensionar este pedido inicial devido à ausência de históricos da demanda. Em alguns casos, na indústria automobilística, este estoque inicial é determinado arbitrariamente pelo fabricante do produto para sua rede de assistência técnica (REGO, 2006).

Walker (1996) elaborou gráficos para auxílio à decisão de compra inicial para itens reparáveis, baseada em uma quantidade finita de produtos no mercado e com a premissa que a distribuição do tempo entre falhas seja exponencial. Tal premissa é bastante restritiva, pois desconsidera características comuns em peças de reposição que são fases de mortalidade infantil (quando o taxa de falhas é decrescente) e posterior envelhecimento dos componentes (quando a taxa de falhas é crescente).

Haneveld e Teunter (1997) tratam das estratégias de estocagem de peças de baixo giro e alto custo baseadas no conceito de vida remanescente (V), a partir da qual não estocar (pedir somente quando houver demanda) é a melhor alternativa. Para vidas remanescentes maiores que “V”, demonstram que a política ótima é manter uma peça em estoque. Desenvolvem então uma formulação otimizante para o tamanho do pedido inicial das peças (n). O modelo é um caso em que a decisão de estocar ou não é resultado da própria política de controle do estoque, envolvendo também a questão do pedido inicial, neste caso, supostamente feito a um custo inferior, pois é feito simultaneamente com a

encomenda do equipamento que utilizará a peça de reposição.

Pérès e Grenouilleau (2002) elaboraram modelo para dimensionamento de pedido inicial de peças de reposição para o projeto da Estação Espacial Internacional, tendo como objetivo a minimização da probabilidade de adiamento de alguma operação de manutenção e considerando limitações orçamentárias.

Syntetos, Keyes e Babai (2009) propõem uma subcategoria dentro da classificação ABC, englobando as peças importantes de produtos recentemente lançados (itens D), estabelecidos subjetivamente, mantidos no estoque e nesta categoria durante os primeiros seis meses de “vida”.

Discutida a questão dos pedidos iniciais, considera-se a seguir a fase normal ou repetitiva do ciclo de vida das peças de reposição. O aspecto relevante a ser estudado na próxima seção é o controle dos estoques, basicamente respondendo às questões de quando e quanto repor cada peça.

6. Controle de estoque

Esta seção está subdividida em duas; a primeira trata de modelos clássicos de controle enquanto a segunda aborda os modelos específicos para demanda esporádica.

6.1. Modelos clássicos

O controle de estoque de produtos com demanda alta e independente é uma área consolidada dentro da gestão de operações. Partindo do trabalho original de Harris (1913) sobre o Lote Econômico de Compra (LEC), diferentes modelos foram desenvolvidos, dentre os quais se destacam:

- Reposição Contínua (R, Q) onde são estabelecidos dois parâmetros: o ponto de pedido “R” (quando o nível do estoque que é monitorado continuamente cai abaixo deste parâmetro um pedido é disparado) e lote de compra “Q” (lote econômico de compra);
- Reposição Periódica (T, S) onde também são estabelecidos dois parâmetros: o intervalo de revisão “T” (um período fixo de tempo entre as revisões do estoque e colocação dos pedidos) e um nível máximo de estoque desejado “S” (a cada revisão, faz-se um pedido para repor o estoque no nível máximo); e
- Estoque Base, que tem como parâmetro a base ou patamar de estoque “B”; a cada retirada do estoque, realiza-se um pedido de igual quantidade para repor a base, mantendo-se a posição do estoque (estoque em mãos + ordens em aberto) constante.

Os modelos clássicos podem ser utilizados também no controle de estoques de peças de reposição de alta demanda, entretanto, modelos específicos para demandas esporádicas foram desenvolvidos para o controle de estoques de peças de reposição (Seção 6.2). Love (1979), Silver, Pyke e Petterson (1998), Muckstadt (2004), Sherbrooke (2004) e Hopp e Spearman (2008) são algumas das referências que abordam o vasto tema do controle de estoques.

6.2. Modelos específicos para peças de reposição

Williams (1982) discute modelos de controle de estoque de itens com demandas esporádicas e propõe um modelo do tipo (R, Q), assumindo intervalo entre chegada de demandas conforme uma distribuição Gama e no máximo uma demanda durante o *lead-time*. Em artigo posterior, Williams (1984) estende a formulação anterior para itens de baixo giro e demanda suave.

Popovic (1987) elabora modelo de reposição periódica em que os níveis máximos são determinados a partir de uma distribuição da demanda estimada a priori e corrigida a posteriori usando inferência Bayesiana com informações históricas acumuladas. Inicialmente a taxa de demanda (λ) é suposta constante e, a seguir, apresenta-se um modelo alternativo para demandas variáveis ao longo do tempo especificamente na forma $\Lambda(t) = (k + 1)\lambda t^k$.

De forma análoga, Aronis et al. (2004) utilizam-se do método Bayesiano para prever as demandas e determinar o parâmetro “B” de uma política de estoques base para peças de reposição. Estimativas e históricos de falhas de itens similares são usados a priori, e daí obtém-se a distribuição das demandas e calculam-se os níveis de estoque requeridos.

Schultz (1987) desenvolveu modelo de controle similar ao estoque base, incluindo previsões de demanda feitas de forma análoga às desenvolvidas por Croston (1974). Enquanto os modelos de estoque base pressupõem a colocação de pedidos tão logo ocorra uma retirada, o modelo de Schultz demonstra que existe benefício substancial em postergar esta colocação dos pedidos e desenvolve formulação para este atraso ideal.

Petrovic et al. (1990) argumentam que as decisões na gestão de peças precisam considerar aspectos subjetivos, além dos tradicionais dados de custos, prazos e demanda. Para gerenciar o estoque, desenvolvem um sistema especialista com a premissa de que a distribuição dos tempos entre falhas de um componente segue a distribuição exponencial (não contemplando, portanto, os casos de mortalidade

infantil e envelhecimento/desgaste). Os usuários estimam as taxas de falha dos componentes (ou a classificam em escala subjetiva) e depois respondem questões sobre a reparabilidade, tempos de reparo, custos dos componentes e grau de criticidade, tendo como resultado a lista de quantidades recomendadas ao estoque e um investimento total previsto. Não há comparação de resultados com outras políticas.

Dekker, Kleijn e De Rooij (1998) desenvolvem modelo para tratamento diferenciado de demandas nomeadas como críticas e não-críticas. Adotando *lead-time* determinístico e demanda Poisson, são apresentadas fórmulas para parametrização de uma política de reposição lote a lote (a cada demanda um pedido de igual tamanho é feito), onde parte do estoque fica “reservada” somente para atendimento das demandas críticas.

Jin e Liao (2009) desenvolvem uma formulação para sistema de reposição contínua (R, Q) no qual a demanda de peças de reposição atende um universo de produtos com crescimento estocástico (segundo uma distribuição Poisson), minimizando os custos de aquisição, estocagem, faltas e de revisão dos parâmetros de controle a cada intervalo de tempo. O modelo parte da premissa que os intervalos entre falhas seguem uma distribuição exponencial (taxa de falha constante). Liao et al. (2008) desenvolvem modelo similar (R, Q), com as premissas que o universo de produtos cresce a uma taxa constante e o intervalo entre falhas segue a distribuição de Weibull (abrangendo portanto amplo espectro modelos de falha).

Lonardo et al. (2008) elaboram um método para determinação dos níveis desejados de estoque para peças de reposição, minimizando somente os custos de estocagem sujeito à restrições de nível de serviço mínimo e supondo demanda com distribuição Normal. O modelo criado envolve a solução de problema de programação linear probabilística através da geração de múltiplas alternativas via simulação de Monte Carlo. A aplicação do modelo em um conjunto de 2704 itens industriais mostrou economia de aproximadamente 15% nos custos de estocagem observados para manter níveis semelhantes de atendimento.

Gomes e Wanke (2008) formulam heurística para obtenção dos parâmetros em sistema (s, S), utilizando cadeias de Markov para obtenção das probabilidades dos estados “estacionários” do estoque, assumindo determinados custos de falta, excesso e pedido, e considerando a demanda conforme distribuição Poisson. Através da heurística proposta, seus custos foram em média 2,65% piores que a solução ótima obtida por simulações.

Silva (2009) comparou resultados de simulações feitas com 338 peças de manutenção de uma indústria siderúrgica, baseado em histórico de sete anos de demanda. O método de previsão de demanda adotado seguiu o modelo de reamostragem de Willemain, Smart e Schwarz (2004). A média e variância da distribuição da demanda durante o *lead-time* foram obtidas conforme a abordagem SDA de Krever et al. (2005), utilizando as distribuições estatísticas de Laplace, Gama, Poisson e Normal. O modelo de controle adotado foi de reposição contínua e seus parâmetros foram obtidos visando minimização dos custos totais. Os resultados apontaram superioridade da distribuição de Laplace diante das demais, inclusive diante da distribuição Normal adotada anteriormente na empresa estudada, obtendo-se significativa redução de estoques e melhoria no nível de serviço.

7. Obsolescência e pedidos “finais”

O encerramento da produção de um produto faz com que o ciclo de vida das peças de reposição exclusivas desse produto entre numa fase decrescente e traz à tona questões importantes para os gestores: até quando repor os estoques de peças de reposição? Quanto pedir em uma última batelada? Após o último pedido (ou mesmo antes), dada uma quantidade excessiva de peças estocadas, quanto deve ser sucateado diante de demandas decrescentes?

No limite, não estocar pode ser a alternativa mais econômica para o gestor, e os modelos revistos na seção 4 são aplicáveis aqui também. Entretanto, alguns aspectos legais podem se sobrepor aos critérios econômicos nesta tomada de decisão. No Brasil, o CDC – Código de Defesa do Consumidor (BRASIL, 1990) obriga os fabricantes (e comerciantes) a suprirem peças de reposição durante a vida útil do produto, que é um conceito não muito definido.

Fortuin (1980) argumenta que mesmo quando as taxas de falhas e o universo de produtos são conhecidos, ainda é difícil prever a demanda pois outros fatores a influenciam:

- Consumidores preferem adquirir novos produtos ao invés de reparar os defeituosos;
- Consumidores preferem não reparar os produtos pois o defeito pode ser pouco importante;
- Peças não originais podem ser utilizadas no reparo dos produtos.

Dois artigos de Rosenfield (1989, 1992) tratam da questão da disposição de eventuais volumes excedentes de estoques. Rosenfield desenvolve uma série de modelos para determinar quando e

quanto dispor dos excedentes, diante de demandas probabilísticas, obsolescência e perecibilidade. Os modelos consideram o valor potencial das vendas do estoque menos os custos esperados de estocagem contra os possíveis valores recuperados (*salvage value*) na liquidação imediata. Boas referências neste tópico são listadas no artigo Rosenfield (1989).

Alguns autores abordam o problema dos pedidos finais, dentre os quais Fortuin (1980), Silver, Pyke e Petterson (1998), Teunter e Fortuin (1998, 1999), Hill, Omar e Smith (1999) e Teunter e Haneveld (2002).

Fortuin (1980) desenvolve uma formulação para quantificação dos pedidos finais a serem feitos quando a produção das peças de reposição for descontinuada, cobrindo portanto as necessidades para toda a vida remanescente destes itens. O modelo assume uma vida remanescente representada em números inteiros de anos, inexistência de autocorrelação entre as demandas anuais (tratadas como normais) e busca certo grau de disponibilidade, considerando os riscos de obsolescência (demanda menor do que a disponível através do pedido final) e riscos de falta (demanda maior do que a quantidade estocada).

Silver, Pyke e Petterson (1998) discutem o tamanho de pedidos finais diante de demandas probabilísticas decrescentes e argumentam que os custos envolvidos (estoque insuficiente vs. excesso de estoque) são de difícil estimativa. Como alternativa, modelam o nível máximo desejado (S) a ser atingido pelo pedido final com base no nível de serviço. O modelo baseia-se em estimativas da demanda total durante o período remanescente e seu desvio-padrão.

Teunter e Fortuin (1998, 1999) relatam em dois artigos um desenvolvimento teórico e posterior aplicação do modelo de controle de estoque de peças de reposição na empresa Philips, em sua central de serviços localizada em Eindhoven (Holanda). Esta central fornece peças durante todo o período de assistência técnica da marca, sendo este período estabelecido para cada família de produto. O período de serviço em geral excede largamente o período de produção e um pedido final deve ser feito para a última batelada de reposição que ocorre simultaneamente ao encerramento do período de produção. O pedido final deve (com alta probabilidade) ser suficiente para todo o período de serviço restante.

A formulação desenvolvida equilibra os custos da falta de peças (levando à substituição do produto completo por um novo ou oferta de descontos aos clientes) e os custos de produzir/adquirir e estocar estas peças. Os autores utilizam programação dinâmica probabilística para solução ótima do

problema e também apresentam simplificações para uma solução próxima do ótimo.

Além do pedido final, o trabalho de Teunter e Fortuin (1999) discute a questão de quanto remover de estoques excedentes de peças de reposição a cada mês, durante período de serviço.

Hill, Omar e Smith (1999) tratam da situação em que novos lotes das peças de reposição podem ser produzidos/adquiridos e a decisão envolve minimizar os custos descontados de pedido, produção/compra, falta e descarte de estoque excedente, durante todo o período de serviço remanescente. Quando o estoque chega a zero (ou próximo disso), deve-se decidir se um novo lote deve ser produzido (e com que tamanho) ou lidar com as possíveis faltas que irão ocorrer. O artigo trata a demanda como um processo de Poisson cuja média decresce exponencialmente ao longo do tempo e apresenta solução usando programação dinâmica probabilística.

Teunter e Haneveld (2002) abordam o controle de estoque de peças de reposição na fase terminal (entre o término da produção dos equipamentos que utilizam a peça e o término dos contratos de manutenção). A modelagem considera a inexistência de custos de pedido, mas inclui o aumento de preços das peças caso os pedidos sejam feitos após o instante zero (quando se encerra a produção dos equipamentos). O objetivo é minimizar os custos (não-descontados) de reposição, manutenção dos estoques, atrasos e descarte (de peças não-utilizadas ao final do ciclo de vida). A política inicia com um pedido para completar o nível máximo desejado (S) e novos pedidos são eventualmente feitos considerando uma série decrescente de valores para (S), em vários intervalos dentro do horizonte de planejamento.

8. Conclusões

Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica sobre gestão de estoques de peças de reposição em local único, buscando caracterizar o estado da arte e identificar lacunas que possam orientar

Tabela 2. Classificação das peças de reposição com base no ciclo de vida.

Classe	Fase do ciclo de vida
1 - Nova	Peças em produção a menos de 6 meses para linha de montagem e reposição
2 - Ativa	Idem, com produção acima de 6 meses
3 - Órfã	Peças em produção apenas para reposição
4 - Terminal	Peças não mais produzidas, com estoque remanescente
5 - Inativa	Peças não mais produzidas, com estoque esgotado

futuros trabalhos. Inicialmente, destaca-se a carência de publicações de autores brasileiros sobre o tema, conforme constatado no levantamento bibliográfico. Há evidente lacuna também na comparação dos diferentes critérios para decisão de estocagem ou não em grandes amostras de dados.

A classificação dos itens em categorias constitui ferramenta importante para priorizar esforços gerenciais e definir os parâmetros no controle dos estoques. Na maioria dos estudos de casos encontrados, a classificação das peças é destacada, ainda que usualmente apenas aplicada à escolha do modelo de previsão. Com os recursos de *software* e *hardware* atuais, torna-se possível a classificação dinâmica dos itens, para aprimorar o controle de estoques.

A escolha do modelo de controle de estoque para determinada peça de reposição é uma atividade dentro do processo mais amplo da gestão de estoques com múltiplos itens. A classificação dinâmica dos itens conforme seu estágio no ciclo de vida deve direcionar os gestores na escolha dos modelos. Neste contexto, o termo “modelo” se aplica tanto aos procedimentos de controle de estoques quanto às decisões de pedidos iniciais, pedidos finais e descartes, incluindo os métodos de previsão de demanda.

Para classificação, além dos critérios de criticidade e aleatoriedade das demandas (intervalo médio entre demandas, coeficiente de variação etc), deve-se incluir a avaliação da fase do ciclo de vida da peça. A Tabela 2 mostra uma classificação sugerida com base nesta dimensão.

Os pedidos iniciais são necessários para os itens na classe “1” e nota-se que poucos trabalhos científicos abordam esta questão. A junção das áreas de previsão de demanda de peças de reposição com os estudos de confiabilidade (testes acelerados de durabilidade e ensaios com protótipos) parece campo promissor pouco explorado.

A avaliação da demanda futura é necessária nas classes “1” a “4”. Neste campo, alguns desenvolvimentos recentes (redes neurais, filtro de Kalmann) ainda devem ser extensivamente testados para que possam ser comparados com métodos tradicionais no controle de peças de reposição (SBA, Reamostragem). Neste caso, recomenda-se o uso de indicadores diretamente associados ao desempenho do sistema de estoques e não apenas os indicadores de erro de previsão.

A escolha do modelo de controle do estoque para cada peça se aplica nas classes “1” a “3”. Esforços foram empreendidos no desenvolvimento de modelos complexos específicos para gestão de peças de reposição, e, em alguns casos, com premissas que limitam muito a aplicação prática. Estudos

comparativos entre diferentes modelos sobre massas grandes de dados serão de grande relevância tanto do ponto de vista prático quanto teórico.

A decisão sobre pedido final ocorre na transição entre as classes “3” e “4”. Políticas de descarte de excessos de estoque podem ser aplicadas nas classes “2” a “4”. Modelos de apoio a estas decisões também se mostram um campo pouco explorado. Modelos desenvolvidos com premissas menos restritivas e testados em bases de dados reais devem trazer importante contribuição no tema.

Por fim, os estudos de aplicação de modelos e técnicas de controle de estoque nas empresas, onde as questões de compreensão, complexidade e esforço gerencial tornam-se evidentes, contribuem para a redução das lacunas entre teoria e prática. Exemplos deste tipo de estudo são encontrados em Cohen et al. (1990), Botter e Fortuin (2000), Srijbosch, Heuts e Schoot (2000), Trimp et al. (2004), Levén e Segerstedt (2004), Wanke (2005), Porras e Dekker (2008), Wagner e Lindemann (2008), Syntetos, Keyes e Babai (2009) e Silva (2009).

Estudos de caso, além de explorar os modelos de apoio à decisão, permitem discutir aspectos da implantação dos sistemas de controle (gerencial e da tecnologia de informação) que são de grande importância para aplicação prática dos desenvolvimentos acadêmicos.

Referências

- ARONIS, K. P. et al. Inventory control of spare parts using a Bayesian approach: A case study, *European Journal of Operational Research*, v. 154, p. 730-739, 2004.
- BABAI, M. Z. et al. Dynamic re-order point inventory control with lead-time uncertainty: analysis and empirical investigation. *International Journal of Production Research*, v. 47-9, p. 2461-2483, 2009.
- BOTTER, R., FOURTUIN, L. Stocking strategy for service parts – a case study. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 20-6, p. 656-674, 2000.
- BOYLAN, J. E.; SYNTETOS, A. A.; KARAKOSTAS, G. C. Classification for forecasting and stock control: a case study. *Journal of the Operational Research Society*, v. 59, p. 473-481, 2008.
- BRAGLIA, M.; GRASSI, A.; MONTANARI, R. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, v. 10-1, p. 55-65, 2004.
- BRASIL. Código de Defesa do Consumidor, Lei n.º 8.078, de 11 de setembro de 1990. *Diário Oficial da União, Poder Legislativo*, Brasília, DF, 12 set. 1990.
- COHEN, M. A. et al. Optimizer: IBM's Multi-Echelon Inventory System for Managing Service Logistics. *Interfaces*, v. 20-1, p. 65-82, 1990.
- COHEN, M. A.; LEE, H. L. Out of Touch with Customer Needs? Spare Parts and After Sales Service. *Sloan Management Review*, v. 31-2, p. 55-66, 1990.
- COHEN, M. A.; ZHENG, Y. S.; AGRAWAL, V. Service parts logistics: a benchmark analysis. *IIE Transactions*, v. 29, p. 627-639, 1997.

- CROSTON, J. D. Forecasting and Stock Control for Intermittent Demand. *Operational Research Quarterly*, v. 23-3, p. 289-303, 1972.
- CROSTON, J. D. Stock Levels for Slow-Moving Items. *Operational Research Quarterly*, v. 25-1, p. 123-130, 1974.
- DEKKER, R.; KLEIJN, M. J.; DE ROOIJ, P. J. A spare parts stocking policy based on equipment criticality. *International Journal of Production Economics*, v. 56-57, p. 69-77, 1998.
- EAVES, A. H. C.; KINGSMAN, B. G. Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. *Journal of the Operational Research Society*, v. 50, p. 431-437, 2004.
- FOOTE, B. On the implementation of a control-based forecasting system for aircraft spare parts procurement. *IIE Transactions*, v. 27-2, p. 210-216, 1995.
- FORTUIN, L. The all-time requirement of spare parts for service after sales: theoretical analysis and practical results. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 1-1, p. 59-70, 1980.
- FORTUIN, L.; MARTIN, H. Control of service parts. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 19-9, p. 950-971, 1999.
- GAJPAL, P.; GANESH, L.; RAJENDRAN, C. Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*, v. 35, p. 293-298, 1994.
- GHOBBAR, A. A.; FRIEND, C. H. Evaluation of Forecasting Methods for Intermittent Parts Demand in the Field of Aviation: a Predictive Model. *Computers & Operations Research*, v. 30, p. 2097-2114, 2003.
- GOMES, A. V. P.; WANKE, P. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. *Gestão & Produção*, v. 15-1, p. 57-72, 2008.
- GOMEZ, G. C. G. *Lumpy demand characterization and forecasting performance using self-adaptive forecasting models and Kalman Filter*. 2008. 121 f. Dissertação (Mestrado em Industrial Engineering) - The University of Texas, El Paso, 2008.
- GUTIERREZ, R. S.; SOLIS, A. O.; MUKHOPADHYAY, S. Lumpy demand forecasting using neural networks. *International Journal of Production Economics*, v. 111, p. 409-420, 2008.
- HANEVELD, W. K.; TEUNTER, R. H. Optimal provisioning strategies for slow moving spare parts with small lead times. *Journal of The Operational Research Society*, v. 48, p. 184-194, 1997.
- HARRIS, F. W. How many parts to make at once. *Factory: The Magazine of Management*, v. 10-2, p. 135-136, 1913. Reimpresso em *Operations Research*, v. 38-6, p. 947-950, 1990.
- HILL, R. M.; OMAR, M.; SMITH, D. K. Stock replenishment policies for a stochastic exponentially-declining demand process. *European Journal of Operational Research*, v. 116, p. 374-388, 1999.
- HOPP, W. J.; SPEARMAN, M. L. *Factory Physics*. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 720 p.
- HUA, Z. S. et al. A new approach of forecasting intermittent demand for spare parts inventories in the process industries. *Journal of the Operational Research Society*, v. 58, p. 52-61, 2007.
- HUISKONEN, J. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, v. 71, p. 125-133, 2001.
- JIN, T.; LIAO, H. Spare parts inventory control considering stochastic growth of an installed base. *Computers & Industrial Engineering*, v. 56-1, p. 452-460, 2009.
- JOHNSON, J. On Stock Selection at Spare Parts Sections. *Naval Research Logistics Quarterly*, v. 9-1, p. 49-59, 1962.
- JOHNSTON, F. R.; BOYLAN, J. E. Forecasting for Items with Intermittent Demand. *Journal of the Operational Research Society*, v. 47, p. 113-121, 1996.
- KENNEDY, W. J.; PATTERSON, J. W.; FREDENDALL, L. D. An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, v. 76-2, p. 201-215, 2002.
- KREVER, M. et al. Inventory control based on advanced probability theory, an application. *European Journal of Operational Research*, v. 162, p. 342-358, 2005.
- KUMAR, S. *Parts Management Models and Applications*. New York: Springer, 2005. 222 p.
- LEVÉN, E.; SEGERSTEDT, A. Inventory control with a modified Croston procedure and Erlang distribution. *International Journal of Production Economics*, v. 90, p. 361-367, 2004.
- LI, S. G.; KUO, X. The inventory management system for automobile spare parts in a central warehouse. *Expert Systems with Applications*, v. 34, p. 1144-1153, 2008.
- LIAO, H. et al. Spare parts management considering new sales, 2008. *Annual Reliability and Maintainability Symposium*, p. 502-507, 2008.
- LONARDO, P. et al. A stochastic linear programming approach for service parts optimization. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, v. 57, p. 441-444, 2008.
- LOVE, S. *Inventory Control*. New York: McGraw-Hill, 1979. 273 p.
- MAKRIDAKIS, S.; WHEELWRIGHT, S. C.; HYNDMAN, R. J. *Forecasting Methods and Applications*. 3rd ed. New Jersey: Wiley, 1998. 642 p.
- MUCKSTADT, J. A. *Analysis and Algorithms for Service Parts Supply Chains*. New York: Springer, 2004. 277 p.
- PÉRÈS, F.; GRENOUILLEAU, J. C. Initial spare parts supply of an orbital system. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, v. 74-3, p. 252-262, 2002.
- PETROVIC, D. et al. A microcomputer expert system for advising on stocks in spare parts inventory systems. *Engineering Costs and Production Economics*, v. 19, p. 365-370, 1990.
- POPOVIC, J. B. Decision making on stock levels in cases of uncertain demand rate. *European Journal of Operational Research*, v. 32-2, p. 276-290, 1987.
- POPP, W. Simple and Combined Inventory Policies, Production to Stock or to Order. *Management Science*, v. 11-9, p. 868-873, 1965.
- PORRAS, E.; DEKKER, R. An inventory control system for spare parts at a refinery: An empirical comparison of different re-order point methods. *European Journal of Operational Research*, v. 184, p. 101-132, 2008.
- REGATTIERI, A. et al. Managing lumpy demand for aircraft spare parts. *Journal of Air Transportation Management*, v. 11, p. 426-431, 2005.
- REGO, J. R. *A Lacuna Entre a Teoria de Gestão de Estoques e a Prática Empresarial na Reposição de Peças em Concessionárias de Automóveis*. Dissertação (Mestrado em Administração) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo - USP, 2006. 115 p.
- ROSENFELD, D. B. Disposal of Excess Inventory. *Operations Research*, v. 37-3, p. 404-409, 1989.
- ROSENFELD, D. B. Optimality of myopic policies in disposing excess inventory. *Operations Research*, v. 40-4, p. 800-803, 1992.
- SANTORO, M. C.; FREIRE, G. Análise comparativa entre modelos de estoques. *Produção*, v. 18-1, p. 89-98, 2008.

- SCHULTZ, C. R. Forecasting and Inventory Control for Sporadic Demand Under Periodic Review. *Journal of the Operational Research Society*, v. 38, p. 453-458, 1987.
- SHARAF, M. A.; HELMY, H. A. A classification model for inventory management of spare parts. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRODUCTION, INDUSTRIAL ENGINEERING, DESIGN AND CONTROL - PEDAC 2001, 7., 2001, Alexandria, Egypt. *Proceedings...* v. 1, p. 375-82.
- SHERBROOKE, C. C. *Optimal Inventory Modeling of Systems - Multi-Echelon Techniques*. 2nd ed. Boston: Kluwer, 2004. 332 p.
- SHORROCK, B. H. Some Key Problems in Controlling Component Stocks. *Journal of Operational Research Society*, v. 29-7, p. 683-689, 1978.
- SILVA, G. L. C. *Modelo de estoque para peças de reposição sujeitas à demanda intermitente e lead-time estocástico*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2009. 75 p.
- SILVER, E. A.; PYKE, D. F.; PETERSON, R. *Inventory Management and Production Planning and Scheduling*. 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1998. 754 p.
- STRIJBOSCH, L. W. G.; HEUTS, R. M. J.; SCHOOT, E. H. M. A combined forecast-inventory control procedure for spare parts. *Journal of Operational Research Society*, v. 51, p. 1184-1192, 2000.
- SURYADI, K. Decision Model for "Material Stock vs non Stock" using combination of AHP and Cut off Point Method. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE ANALYTIC HIERARCHY PROCESS - ISAHP, 7. 2003, Bali, Indonesia. *Proceedings...* p. 449-454.
- SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E. On the bias of intermittent demand estimates. *International Journal of Production Economics*, v. 71-1/3, p. 457-466, 2001.
- SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; CROSTON, J. D. On the categorization of demand patterns. *Journal of Operational Research Society*, v. 56, p. 495-503, 2005.
- SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E.; DISNEY, S. M. Forecasting for inventory planning: a 50-year review. *Journal of the Operational Research Society*, v. 60, p. S149-S160, 2009.
- SYNTETOS, A. A.; KEYES, M.; BABAI, M. Z. Demand categorization in a European spare parts logistics network. *International Journal of Operations & Production Management*, v. 29-3, p. 292-316, 2009.
- TAVARES, V.; ALMEIDA, L.T. A Binary Decision Model for the Stock Control of Very Slow Moving Items. *Journal of Operational Research Society*, v. 34-3, p. 249-252, 1983.
- TEUNTER, R. H.; DUNCAN, L. Forecasting intermittent demand: a comparative study. *Journal of the Operational Research Society*, v. 60-3, p. 321-329, 2009.
- TEUNTER, R. H.; FORTUIN, L. End-of-life service. *International Journal of Production Economics*, v. 59, p. 487-497, 1999.
- TEUNTER, R. H.; FORTUIN, L. End-of-life service: A case study. *European Journal of Operational Research*, v. 107, p. 19-34, 1998.
- TEUNTER, R. H.; HANEVELD, W. K. K. Inventory control of service parts in the final phase. *European Journal of Operational Research*, v. 137, p. 497-511, 2002.
- TRIMP, M. E. et al. *Optimise initial spare parts inventories: an analysis and improvement of an electronic decision tool*. Erasmus Universiteit Rotterdam, 2004. Report Econometric Institute EI:2004-52. Disponível em: <<http://publishing.eur.nl/ir/repub/asset/1830/ei200452.pdf>> Acesso em: 08 ago. 2009.
- WAGNER, S. M.; LINDEMANN, E. A case study-based analysis of spare parts management in the engineering industry. *Production Planning & Control*, v. 19-4, p. 397-407, 2008.
- WALKER, J. A graphical aid for initial purchase of insurance type spares. *Journal of the Operational Research Society*, v. 47, p. 1296-1300, 1996.
- WANKE, P. F. Metodologia para gestão de estoques de peças de reposição: um estudo de caso em empresa brasileira. *Revista Tecnológica*, p. 60-65, 2005.
- WILLEMANN, T. R.; SMART, C. N.; SCHWARZ, H. F. A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting*, v. 20, p. 375-387, 2004.
- WILLIAMS, T. M. Reorder Levels for Lumpy Demand. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 33-2, p. 185-189, 1982.
- WILLIAMS, T. M. Stock Control with Sporadic and Slow-Moving Demand. *The Journal of the Operational Research Society*, v. 35-10, p. 939-948, 1984.
- ZHANG, R. Q.; HOOP, W. J.; SUPATGIAT, C. Spreadsheet Implementable Inventory Control for a Distribution Center. *Journal of Heuristics*, v. 7, p. 185-203, 2001.