

APLICAÇÃO DO MÉTODO BOOTSTRAPPING COMO FERRAMENTA PARA PLANEJAMENTO DE DEMANDA E GESTÃO DE ESTOQUES DE REPOSIÇÃO: UM ESTUDO DE CASO

APPLICATION OF BOOSTRAPPING MODEL AS A TOOL FOR DEMAND PLANNING AND INVENTORY MANAGEMENT OF MAINTENANCE PARTS: A CASE STUDY

Tássia Bolotari Affonso¹
Eduardo Barone Leal¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais

Resumo

A previsão de demanda para peças MRO – também chamadas de peças de reposição – é um assunto pouco abordado na literatura brasileira e que evidencia-se como um desafio para gestores em todos os tipos de empresas. Dada as peculiaridades de demanda dessas peças em relação aos outros tipos de materiais, a previsão torna-se complexa, o que reflete em gestões de estoques quase sempre empíricas dentro das empresas. Assim, faz-se necessário a criação e aplicação de modelos de previsão específicos, que garantam a eficácia e eficiência das atividades de manutenção à que estas peças se destinam. Buscando dar luz à importância do conhecimento da demanda para a gestão eficiente destes estoques, o estudo de caso aplicou a técnica bootstrapping em peças de reposição de uma empresa brasileira como ferramenta para planejamento de demanda e gestão de estoque, a fim de constatar a teoria e os pontos relevantes sobre a dinâmica e demanda destas peças. Como resultado, foi-se pontuado os fatores que merecem atenção especial para a previsão coerente e os cuidados para que essa possa ser efetivamente aplicada.

Palavras-chave: *Bootstrapping; Previsão de demanda; Gestão de estoque; Itens MRO; Estoque de reposição.*

Abstract

The demand forecast for parts maintenance, repair and operation (MRO), as well as the need for replacement parts, are areas rarely focused on in Brazilian literature and represent managerial challenges in all businesses types. Given their specificity in relation to other materials, parts demand forecasting becomes complex, reflected by their generally empirical management within companies. What are instead required are specific forecasting models, ensuring the efficiency and effectiveness of the maintenance in which these demanded parts are utilized. Seeking to shed light on the importance of understanding demand for the effective management of these inventories, this paper looks at the case study of a private company and applies the bootstrapping model as a tool for demand planning and inventory management to verify the theory and relevant points of the dynamics and demand of these parts. Consequently, this paper marks factors deserving special attention for the effective prediction of parts required for maintenance and precautions that need to be observed for successful model application.

Key-words: *Bootstrapping; Demand forecast; Inventory management; MRO item; Maintenance inventory.*

1. Introdução

Peças de reposição são peças estocadas para atender necessidades de manutenção e reparo de produtos de consumo (REGO; MESQUITA, 2011), como máquinas e equipamentos. Segundo Kennedy, Patterson e Fredendall (2002), sua função básica é dar condições para que a equipe de manutenção consiga manter os equipamentos em condição de funcionamento.

Apesar de representar estoque expressivo dentro das empresas, as peças de manutenção, reparo e operação (MRO) são pouco exploradas em todo o mundo. No Brasil, a grande maioria das empresas não utilizam métodos e técnicas de controle adequados a esse tipo de peça, desconsiderando suas peculiaridades e gerindo-as a partir de métodos tradicionais quase sempre ineficazes (REGO; MESQUITA, 2014). Snyder e Beaumont (2011) ressaltam que decisões aplicadas em modelos clássicos levam a erros de previsão e níveis de estoque falhos para estoques de reposição.

Considerando que a simulação de previsões tradicionais ocorre de modo iterativo e sequencial, a utilização de tais técnicas para previsões de demanda com grandes quantidades de valores nulos, como a demanda MRO, gera médias superestimadas e variâncias subestimadas. Além disso, como a distribuição de demanda e consumo de peças de reposição não seguem uma distribuição normal, a utilização de técnicas tradicionais que utilizam tal característica como premissa são inviabilizadas, tornando a previsão de demanda dessas peças uma atividade mais

complexa que a habitual. A distribuição normal é constantemente citada como inapropriada para modelos de previsão nesse sentido, dando espaço para a distribuição Poisson e Gama. Além disso, métodos específicos para a previsão de peças de reposição são, muitas vezes, mais complexos e envolvem maior esforço técnico e gerencial, o que resulta em dificuldades de operacionalização (WINGERDEN et al., 2014).

Nesse sentido, o conhecimento e análise da previsão de demanda específica para itens MRO torna-se essencial não somente para a gestão eficiente destes estoques como para a eficiência logística global da empresa, pois permite à organização se preparar, tanto operacional quanto estrategicamente, para as oscilações de demanda, reduzindo custos não somente de compra como de pedidos e armazenamento. Ainda, o planejamento de demanda e gestão de estoques de reposição a partir da aplicação de modelos específicos demonstra-se como importante alternativa para contrapor métodos baseados unicamente na experiência profissional dos gestores, podendo a consolidação de tais técnicas em uma área pouco explorada ser vista como oportunidade para eliminar ou diminuir a dependência exclusiva de funcionários.

Em resposta à lacuna tanto teórica quanto prática no que se refere à gestão destes estoques, o presente artigo expõe, a partir da aplicação da técnica bootstrapping em peças MRO de uma empresa privada brasileira, quais fatores devem ser considerados para a previsão efetiva de itens MRO bem como de qual modo as técnicas específicas podem ser utilizadas como ferramenta de planejamento de demanda e gestão destes estoques.

2. Referencial teórico

Substancialmente importantes no contexto industrial, as peças MRO são imprescindíveis para assegurar o funcionamento de equipamentos, sejam eles da planta, visando a continuidade do processo produtivo, ou para o reparo externo, em serviços de manutenção de equipamentos. A falta de materiais de reposição acarreta consequências financeiras e logísticas negativas, como a deterioração da imagem da empresa e perda de vendas e market share, aumento do risco físico para a equipe de manutenção devido ao desgaste de peças, pagamento de multas por não cumprimento de níveis de serviço estabelecidos e necessidade de reprogramação de atividades e uso de planos de contingência (SAGGIORO; MARTIN; LARA, 2008; KENNEDY, PATTERSON E FREDENDALL, 2002).

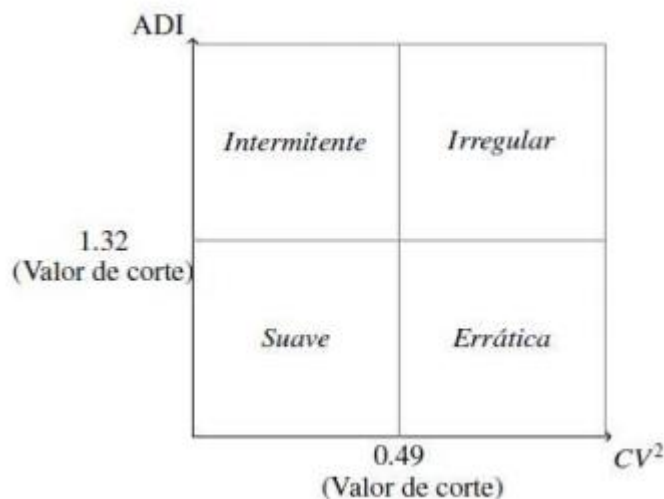
Diferentemente dos produtos acabados, semiacabados e matérias-primas, que possuem sua demanda direcionada pelos processos de produção, as peças MRO possuem características

que tornam sua gestão, estoque e previsão mais difíceis e complexos, dentre elas forte impacto no nível de serviço aos clientes, grande multiplicidade de componentes, ciclos de vida curtos, demandas esporádicas com alto tempo de reposição, baixo giro (slow-moving) e alto custo unitário (REGO; MESQUITA, 2011; SAGGIORO; MARTIN; LARA, 2008).

Em diversos casos, itens de reposição podem apresentar demanda elevada devido ao maior desgaste ou utilização em diversos equipamentos, mas, de forma geral, estas peças são caracterizadas por sua demanda esporádica, de baixo giro, com muitos períodos de demanda nula e picos aleatórios (GHOBBAR; FRIEND, 2003). Essa característica diferencia os itens de reposição de produtos acabados, que geralmente são regulares, com alto giro e mais previsíveis.

Segundo Ghobbar e Friend (2003), o padrão característico da demanda de itens MRO pode ser classificado em quatro categorias, segundo parâmetros fixos de intervalo médio entre as demandas (ADI) e variabilidade do tamanho das demandas (CV). Os valores de corte para cada categoria podem ser vistos na figura 1:

Figura 1 - Classificação de demanda MRO segundo parâmetros de intervalo médio entre as demandas (ADI) e do coeficiente de variação (CV).



Fonte: Pham (2006).

A categoria de demanda errática é caracterizada por alta variabilidade no tamanho de demanda e baixa variabilidade no tempo médio e entre demandas, enquanto a intermitente possui comportamento contrário, com alta variabilidade no tempo médio entre demandas e baixa variabilidade no tamanho da demanda. A demanda suave caracteriza-se, também, pelo perfil aleatório e com períodos sem demandas, porém de itens individuais ou poucos itens. Já a demanda irregular diferencia-se pela demanda extremamente variável e com um número grande

de períodos sem demanda. Hua et al. (2007) expõem que “demandas esporádicas são particularmente difíceis de prever e as faltas podem ter custos extremamente elevados”. O desempenho de um método de previsão, nesse sentido, é altamente dependente do nível e tipo de irregularidade da demanda (PHAM, 2006).

Croston (1972) foi um dos primeiros autores a tratar sobre a modelagem específica para peças de reposição, apresentando um método de suavização exponencial para previsão para itens com demanda intermitente, na qual a previsão de demanda é calculada como a razão entre o tamanho da demanda e o intervalo de demanda. Posteriormente, Syntetos e Boylan (2001) criaram um modelo conhecido como SBA (Syntetos-Boylan Approximation), no qual é aplicada uma correção ao método de Croston, visando torná-lo menos tendencioso.

Willemain, Smart e Schwarz (2004), posteriormente, apresentaram a utilização do método de bootstrapping para a previsão de demanda para itens intermitentes. O método de reamostragem (bootstrapping), consiste em utilizar as séries de dados já coletadas como uma amostra mestre n , e criar milhares de “amostras fantasmas” através de uma amostragem com reposição. O principal objetivo é prover mais dados, considerando o alto número de demandas nulas em diversos períodos de tempo (TEUNTER; DUNCAN, 2009). Assim, são criadas amostras a partir da mesma amostra.

De uma forma geral, o método utiliza amostras de dados da demanda histórica para criar centenas de cenários realistas simulados que mostram a evolução da demanda acumulada ao longo de um lead time (WILLEMAIN; SMART; SCHWARZ, 2004). A grande lacuna do método bootstrapping clássico, proposto por Efron (1979), é que essa simples seleção aleatória de valores históricos não permite a aparição de novos valores, levando a uma auto-correlação e dados irreais, especialmente em amostras menores. Uma solução para tal problema é proposta por Mosteller e Rourke (1973). Nela, os valores não nulos passam por um processo de jittering, que nada mais é que uma pequena variação aleatória dos valores. Assim, um valor de demanda 7 pode vir a ser 7, 6 ou 8. É importante, no entanto, que a taxa de variação seja baixa para que não sejam criados dados muito dispersos dos reais. Assim, sendo X^* um dos valores de demanda histórica escolhido aleatoriamente e Z uma pequena variação aleatória, o processo de jittering pode ser representado como:

$$\text{JITTERED} = 1 + \text{INT}\{X^* + Z\sqrt{X^*}\}$$

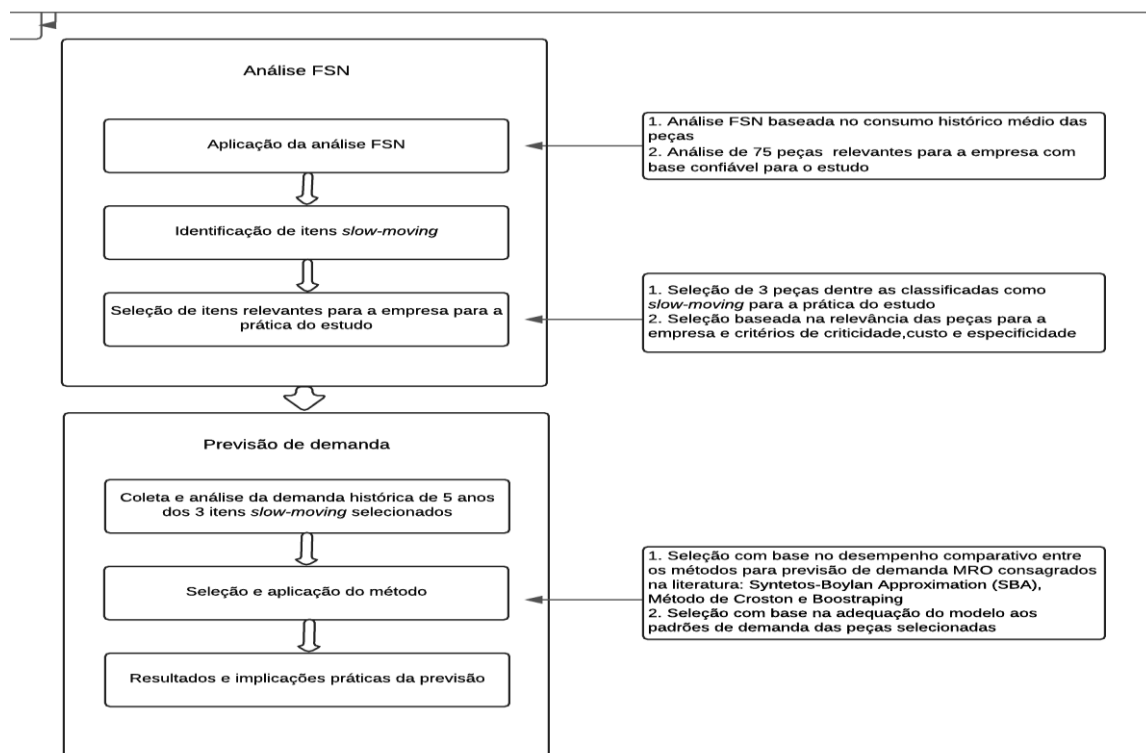
$$\text{SE } \text{JITTERED} \leq 0, \text{ ENTÃO } \text{JITTERED} = X^*$$

Através do bootstrapping, Willemain, Smart e Schwarz (2004) conseguiram resultados mais precisos que os métodos de suavização exponencial (Syntetos-Boylan Approximation) e de Croston, principalmente para demandas intermitentes e irregulares. Esta técnica contrasta com anteriores pois os métodos clássicos calculavam primeiramente a previsão de demanda com base nas demandas anteriores e a utilizavam como média, para então calcular a variabilidade com base nos erros de previsões anteriores (TEUNTER; DUNCAN, 2009).

3. Metodologia

O levantamento de dados inicial apresentou 558 itens de reposição ativos, dos quais 75 possuíam dados completos que servissem para consolidar um histórico confiável para o estudo. Para a aplicação do método bootstrapping, os dados referentes a estes 75 itens foram filtrados mediante classificação FSN das peças e consideração da importância das mesmas para a dinâmica da empresa a partir de parâmetros de criticidade, custo e especificidade. Posteriormente, foram coletados os dados de demanda histórica das peças selecionadas e essas foram analisadas conforme seu padrão de demanda para a aplicação do modelo. A metodologia do estudo prático está esquematizada na figura 2.

Figura 2 - Metodologia do estudo.



Fonte: Autoria própria (2016).

A análise FSN (fast, slow e no-moving) foi utilizada considerando o critério de consumo médio histórico apresentado por Wanke e Barbosa (2011), onde peças de baixo giro possuem demanda de 1 a 300 unidades por ano. Como os modelos de previsão específicos para peças de reposição consideram a característica slow-moving dos itens, a classificação FSN foi escolhida de modo a identificar os itens de reposição que possuem, efetivamente, característica de baixo giro e, conseqüentemente, aquelas que eventualmente fugiam ao padrão de reposição, seja não apresentando giro ou apresentando alto giro. A aplicação de um modelo de previsão de demanda específico para itens MRO, que considera tal característica, poderia gerar previsões extrapoladas e não confiáveis para os demais padrões de giro.

Assim, o estudo contemplou exclusivamente os itens de baixo giro de modo a evitar previsões incoerentes para os itens com os demais padrões. Dentre as 75 peças submetidas à classificação, 6 peças foram classificadas como fast-moving (8,0%), 13 como no-moving (17,3%) e 56 como slow-moving (74,7%). Entre as 56 peças com baixo giro, 3 se revelaram relevantes para o estudo e a empresa, apresentando alta criticidade, especificidade e custo. A classificação da demanda no período de 5 anos coletado foi feita conforme parâmetros fixos de intervalo médio entre as demandas (ADI) e do coeficiente de variação (CV), como pode ser vista na tabela 1:

Tabela 1 - Classificação de demanda das peças MRO selecionadas

Produto	24010002	020104M022	MEB61281101
ADI	3,53	3,05	3,05
CV²	0,37	0,62	0,41
Demand a	Intermitente	Irregular	Irregular

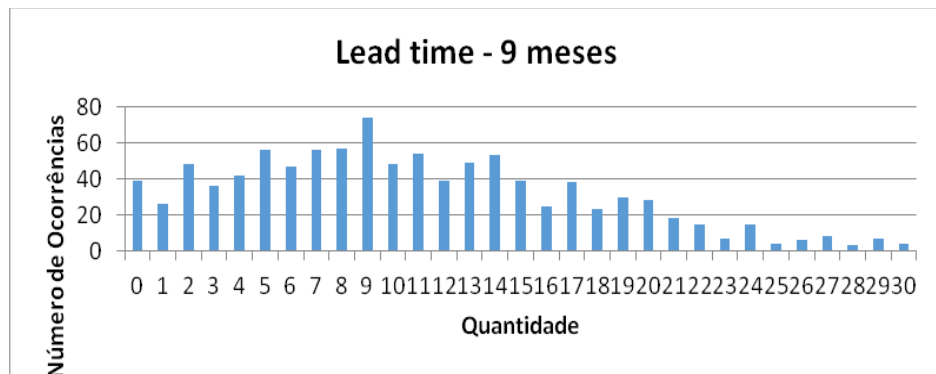
Fonte: Autoria própria (2016)

De posse dos dados referentes ao padrão de demanda das peças selecionadas, o método bootstrapping foi o método escolhido para a realização das previsões, considerando fatores coerentes com o estudo como: (1) melhores resultados históricos para previsão de demandas intermitentes e irregulares se comparado com os demais métodos específicos (Croston e SBA); (2) elevada precisão para lidar com demandas com vasto número de demandas nulas (alto intervalo médio entre demandas), como as do caso do estudo e (3) facilidade de replicação e previsões para diferentes lead times. O método clássico foi aplicado em Excel acrescido do processo de jittering para lead times de até 12 meses.

4. Discussão dos resultados

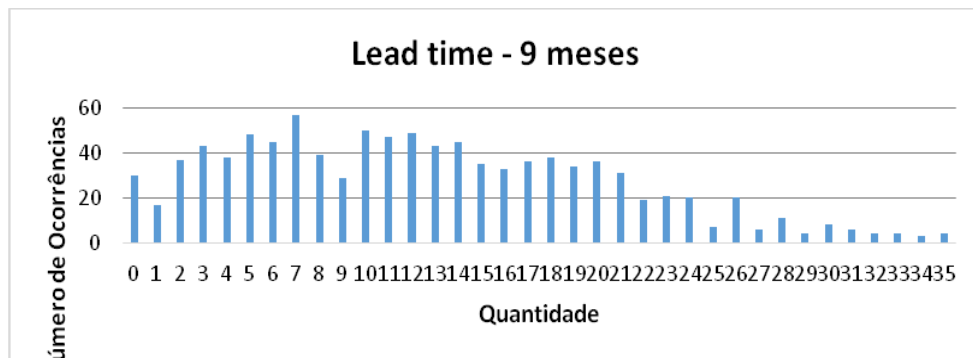
Os gráficos número de ocorrência *versus* quantidade gerados pelo bootstrapping para o lead time de 9 meses para as três peças podem ser vistos nas figuras 3,4 e 5.

Figura 3 - Demanda acumulada para lead time de 9 meses do produto 24010002



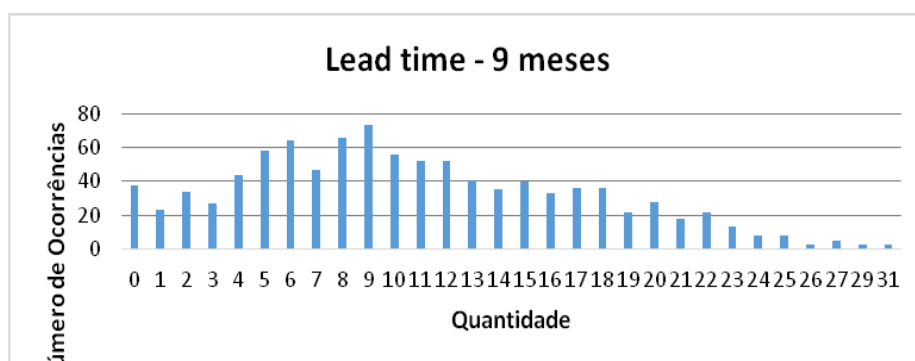
Fonte: Autoria própria (2016)

Figura 4 - Demanda acumulada para lead time de 9 meses do produto 020104M022



Fonte: Autoria própria (2016)

Figura 5 - Demanda acumulada para lead time de 9 meses do produto MEB61281101



Fonte: Autoria própria (2016)

A partir da análise dos gráficos, verifica-se, a partir do número de ocorrências, a demanda acumulada que tem a maior chance de ocorrer durante o lead time analisado. Para o primeiro e último produto, a demanda acumulada de 9 unidades apresenta a maior chance de ocorrer dentro o lead time de 9 meses, enquanto que para o segundo produto a demanda correspondente é de 7 unidades. Isso não significa, no entanto, que certamente tais demandas irão ocorrer, mas indica que estas possuem maior probabilidade de acontecer. Demandas com número de ocorrência elevados, próximos da ocorrência máxima, também são prováveis de acontecer, porém em probabilidade menor. Assim, em um lead time de 9 meses, considerando as três demandas com maiores chances de ocorrer, as previsões podem ser interpretadas da conforme a tabela 2

Tabela 2 - Interpretação dos resultados de demanda gerados pelo *bootstrapping*

Produto	Demandas mais prováveis	Probabilidade
24010002	5	5,7%
	8	5,8%
	9	7,5%
020104M022	7	5,8%
	10	4,9%
	12	4,8%
MEB61281101	5	6,2%
	8	6,5%
	9	7,3%

Fonte: Autoria própria (2016)

Desse modo, a ocorrência prevista pelo método bootstrapping revela tanto a chance geral de certo valor de demanda ocorrer durante um período estipulado bem como permite verificar prováveis frequências em períodos inferiores ao calculado pela análise combinada de diferentes lead times. Vale ressaltar que a decisão de quando tais demandas irão ocorrer é extremamente complexa, e sua determinação poderia levar a desvios enormes no planejamento de quando pedir de acordo com a variância do lead time das peças.

As previsões quantitativas podem, então, ser utilizadas em contraste aos métodos empíricos usuais, resultando em ganhos logísticos e principalmente financeiros. Considerando que cada peça é pedida quando seu estoque atinge um nível crítico, baseado na demanda prevista para ocorrer no lead time determinado, o levantamento do custo de manutenção de estoques, do custo de pedido e do custo de falta são essenciais para o cálculo dos ganhos financeiros advindo da nova metodologia. Tais cálculos, no entanto, demandam o levantamento de diversas variáveis e ocorrências - porém, em uma primeira análise de situações extremas, no caso de falta ou excesso de peças, é razoável afirmar ganhos relativos ao custo de pedido e de falta (uma vez que não haverá necessidade de novos pedidos nem prejuízos por falta de peças) e de manutenção de estoques (a quantidade a ser mantida em estoque será menor, ou por menor tempo), respectivamente.

Assim, a maior acuracidade da previsão de demandas futuras pode trazer benefícios como: diminuição dos custos de armazenamento, pois as peças podem ser armazenadas na quantidade ideal e não precisam ser estocadas por longos períodos, gerando diminuição dos custos de pedido, pois as peças podem ser compradas quando o estoque atinge seu nível mínimo e em quantidades ideais que evitem a colocação de novos pedidos e minimizem os custos relacionados; e diminuição dos custos de falta, uma vez que a previsão de demanda fornece a quantidade de peças necessárias para períodos futuros, prevenindo assim as quebras de estoque.

Na prática, a colocação de pedidos em conformidade com a previsão, considerando o lead time das peças, bem como o acompanhamento contínuo do comportamento da demanda, podem ser ferramentas gerenciais essenciais para a construção de um bom planejamento para a gestão de estoques. Tendo-se delineado a dinâmica de previsão, a atualização das previsões poderá acontecer de forma similar ao já realizado. Questões de periodicidade e expansão para os demais grupos de peças devem ser discutidos para operacionalização. Ademais, a utilização de um software integrado interno para a formalização das entradas e saídas de peças seria uma boa opção para a facilitação de resolução desta questão.

5. Considerações finais

No caso das peças de manutenção, reparo e operação, a previsão, seja ela qualitativa ou quantitativa, se mostra ainda mais complexa devido às características peculiares das peças. A fim de colaborar para a superação desta barreira e com o aprimoramento do planejamento e gestão de peças de reposição, este estudo de caso aplicou o modelo bootstrapping de previsão de demanda específico para itens MRO objetivando fornecer uma ferramenta de suporte para o planejamento de demanda e gestão de estoques de reposição. Tendo neste estudo considerado apenas os itens com maior impacto na dinâmica de manutenção da empresa, presumiu-se que, teoricamente, este número menor de itens represente as condições e limitações à que estão sujeitos os demais bem como represente as conclusões aqui obtidas. Mesmo com a aplicação em apenas uma amostragem de itens, atingiu-se valores e resultados significativos, que poderão ser expandidos para as demais peças mediante a metodologia seguida e proposta pelo estudo.

A aplicação de métodos específicos para previsão de itens MRO concretiza-se como ferramenta de suporte ao planejamento de demanda e a gestão de estoques de peças de reposição na medida em que fornece base não-empírica para a tomada de decisões de quando e quanto pedir. Porém, para isso, é preciso que a organização tenha conhecimento das particularidades das peças, sua dinâmica e seu padrão de demanda, para que almejem uma administração específica adequada para estes itens. Além disso, é substancialmente necessário conhecer o comportamento e características da demanda e entender os fatores que levam a estes padrões específicos. O conhecimento de tais variáveis permite a seleção e aplicação de um modelo condizente com este padrão e com o contexto no qual se insere.

Por fim, vale ressaltar que a previsão de demanda para estas não apresenta uma metodologia de implantação única e bem definida, visto que esta varia entre os particulares das peças e o contexto de inserção. Peças com padrão de demanda distintos, ou características distintas - como criticidade, especificidade e custo unitário – podem requerer aplicações de, também, métodos distintos. Nesse sentido, uma classificação de demanda, bem como de peças, torna-se interessante e essencial para a priorização de modelos adequados às características dos itens.

Para as empresas atuantes, destaca-se que a previsão de demanda representa um pequeno, mas vital, avanço para uma gestão de estoques robusta. A evolução do controle através da aplicação de outros métodos que considerem outras variáveis que não somente a característica slow-moving das peças pode render bons frutos para a organização, sendo um campo interessante para futuros estudos.

Referências

- CROSTON, J. D. **Forecasting and Stock Control for Intermittent Demand**. Operational Research Quarterly, v. 23-3, p. 289303, 1972.
- EFRON, B. **Bootstrap methods: Another look at the jackknife**. Annals of Statistics, 7, 1– 26, 1979.
- 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.
- 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.
- KENNEDY, W.; PATTERSON, J.; FREDENDALL, L. **An overview of recent literature on spare parts inventories**. International Journal of Production Economics, v.76, p. 201-215, 2002.
- MOSTELLER, F.; ROURKE, R. **Sturdy statistics**. Addison-Wesley, 1973.
- PHAM, H. **Springer handbook of engineering statistics**. Springer, 1120 p, 2006.
- REGO, J. R. D.; MESQUITA, M. A. D. **Controle de estoque de peças de reposição em local único: uma revisão da literatura**. Prod., São Paulo, 2011.
- REGO, J. R. D.; MESQUITA, M. A. D. **Demand forecasting and inventory control: a simulation study on automotive spare parts**. Int. J. Prod. Econ. 161, 1–16, 2014.
- SAGGIORO, E.; MARTIN, A.; LARA, M. **Gestão de estoques MRO: otimizando a logística de peças de reposição**. Revista Mundo Logística. São Paulo, v.1, n.04, p. 6-10, 2008.
- SNYDER, R., ORD, J. AND BEAUMONT, A. **Forecasting the Intermittent Demand for SlowMoving Items**. Center of Economic Research, George Washington University, 2011.
- SYNTETOS, A. A.; BOYLAN, J. E. **On the bias of intermittent demand estimates**. International Journal of ProductionEconomics, v. 71-1/3, p. 457-466, 2001.
- TEUNTER, R. H.; DUNCAN, L. **Forecasting Intermittent Demand: A Comparative Study**. The Journal of the Operational Research Society, Vol. 60, No. 3, pp. 321-329, 2009.
- WANKE P. F; BARBOSA, M. A. **Mapas de Estoque Aplicados à Gestão de Peças de Reposição**. Revista Tecnológica, São Paulo, , v. 180, p. 70 - 75, 31 maio 2011.
- WILLEMAIN, 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.
- WINGERDEN et al. **More grip on inventory control through improved forecasting: A comparative study at three companies**. Int. J. Production Economics 157, p. 220–237, 2014.