

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

MATEUS SCHÜLER VOLFF

**CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DE ESTOQUE DE PEÇAS DE MANUTENÇÃO – ESTUDO DE
CASO EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

PATO BRANCO

2019

MATEUS SCHÜLER VOLFF

**CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DE ESTOQUE DE PEÇAS DE
MANUTENÇÃO – ESTUDO DE CASO EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL**

Trabalho de Conclusão de Curso Especialização, apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Especialista em Engenharia de Produção, da Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Gilson Adamczuk
Oliveira

PATO BRANCO

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

CLASSIFICAÇÃO DE CRITICIDADE DE ESTOQUE DE PEÇAS DE MANUTENÇÃO – ESTUDO DE CASO EM EMPRESA AGROINDUSTRIAL

Mateus Schüler Volff

Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização apresentado no dia 29/10/2019 como requisito parcial para a obtenção do Título de Especialista em Engenharia de Produção, do curso de Especialização do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas (PPGEPS) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Pato Branco (UTFPR-PB). O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora julgou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. Dalmarino Setti

(UTFPR - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas)

Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

(UTFPR - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas)

Prof. Dr. Gilson Adamczuk Oliveira

(UTFPR - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas)
Orientador

Prof. Dr. Marcelo Gonçalves Trentin

Responsável pelo TCCE do Curso Especialização em Engenharia de Produção

*A Folha de Aprovação assinada encontra-se na coordenação de curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador, Professor Gilson, pelo apoio e compreensão, aos meus colegas de trabalho, pela ajuda no desenvolvimento e inspiração, à minha família pelo amor e energia, que não vê limites.

EPÍGRAFE

Who lives in harmony with himself lives in harmony with the universe.

Aquele que vive em harmonia consigo mesmo vive em harmonia com o universo.

Marco Aurélio

RESUMO

VOLFF, Mateus. Classificação de criticidade de estoque de peças de manutenção – estudo de caso em empresa agroindustrial. 2019.34f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização – Especialização em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2019.

Este trabalho apresenta um estudo de caso da aplicação das técnicas de Árvore de Decisão e *Analytic Hierarchy Process* (AHP) na classificação de criticidade de itens usados em Manutenções, Reparos e Operações (MRO) que atualmente fazem parte do estoque em uma fábrica do ramo agroindustrial. São definidos os passos dos modelos de decisão para classificação, os critérios usados na classificação (de natureza técnica e logística), a definição da escala de criticidade e a classificação de cada um dos itens em uma destas classes. Também são analisados os valores dos critérios individualmente, concluindo-se que as características esperadas de peças de reposição (e.g. demandas intermitentes, longos *lead times*) refletem o comportamento real da maioria dos itens analisados.

Palavras-chave: árvore de decisão, AHP, peças de reposição, MRO

ABSTRACT

VOLFF, Mateus. Spare parts inventory criticality classification - case study in an agro industrial company. 2019.34f. Trabalho de Conclusão de Curso de Especialização – Especialização em Engenharia de Produção, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco. 2019.

This work presents a case study of the application of Decision Tree and Analytic Hierarchy Process (AHP) techniques in the criticality classification of items used in Maintenance, Repair and Operations (MRO) that are currently part of inventory in an agro industrial plant. The steps of the decision model for classification, the criteria used for classification (of a technical and logistic nature), and the definition of the criticality scale and the classification of each item in one of these classes are defined. The criteria values are also analyzed individually, concluding that the expected characteristics of spare parts (e.g. intermittent demands, long lead times) reflect the actual behavior of most analyzed items.

Keywords: decision tree, AHP, spare parts, MRO

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 GESTÃO DE ESTOQUES TRADICIONAL.....	9
2.2 GESTÃO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO	10
2.2.1 Classificação dos SKUs	11
3 METODOLOGIA	12
3.1 A ORGANIZAÇÃO	13
3.2 MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ITENS POR CRITICIDADE	14
3.2 DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO.....	14
3.2.1 Criticidade do Equipamento	15
3.2.2 Classe de Distribuição de Demanda	15
3.2.3 Demanda Prevista.....	17
3.2.4 Lead Time de Reposição.....	18
3.2.5 Número de Potenciais Fornecedores	19
3.3 CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO	19
3.3.1 Determinação da escala VED	19
3.3.2 Avaliação via Árvore de Decisão.....	21
4 Resultados e discussões	22
4.1 CRITICIDADE DO EQUIPAMENTO.....	23
4.2 PADRÃO DE DEMANDA	24
4.3 NÚMERO DE POSSÍVEIS FORNECEDORES	24
4.4 LEAD TIME DE ENTREGA	25
4.5 CLASSE DE CRITICIDADE	26
5 CONCLUSÕES	26

1 INTRODUÇÃO

O bom funcionamento dos ativos fabris, em condições de operação que garantam a segurança dos operadores, e a qualidade do produto, depende fortemente da disponibilidade de peças de reposição para o uso das manutenções corretivas e preventivas dos equipamentos. A gestão do estoque de peças de reposição se torna então atividade crucial para garantir que o *downtime* (e os custos associados) seja o mínimo possível.

Peças de reposição para uso de manutenção possuem certas características que tornam o planejamento e controle de seus estoques especialmente complexo. Alta diversidade em termos de valor agregado, velocidade de movimentação em estoque, intermitência da demanda e *lead time* de entrega tornam a determinação da política correta de estoque (e.g. nível mínimo de estoque, tamanho de lote de compra).

Esta alta diversidade de componentes evidencia a necessidade da classificação destes, simplificando a gestão dos estoques, uma vez que diferentes estratégias podem ser aplicadas às diferentes classes (que compõe vários itens).

O objetivo deste trabalho é apresentar um estudo de caso da aplicação de um método de classificação por criticidade de itens identificados como MRO (Manutenção, Reparos e Operações), utilizando Árvore de Decisão e o método AHP.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 GESTÃO DE ESTOQUES TRADICIONAL

A gestão eficiente dos estoques é tema prioritário na agenda de gestores de operações e financeiros, visto que estes envolvem grande volume de recursos (CORRÊA, CORRÊA, 2019), além de gerarem custos como aluguéis, depreciação, deterioração, obsolescência, seguros, salários e despesas de conservação (DIAS, 2005). Sendo assim, do ponto de vista econômico, é evidente a importância estratégica de gerir de modo eficiente os estoques. A correta gestão dos estoques implica, logicamente, em responder a questões pertinentes pelos tomadores de decisão. Slack, Brandon-Jones e Johnston (2018) apontam três tipos de decisão importantes na gestão de estoques:

- Quanto pedir (decisão de volume) – qual o volume do pedido de reposição do estoque;
- Quando pedir (decisão de *timing*) – em que momento no tempo ou em qual nível de estoque deve ser emitido o pedido de reposição;
- Como controlar o sistema – quais devem ser as rotinas que devem ser implantadas de modo a responder estas questões; quais itens do estoque devem ser priorizados; como armazenar as informações.

Visto que raramente estoques possuem apenas um item, o número de itens chega em geral à casa dos milhares (GOIC; BOSCH; CASTRO, 2015), não é prático tomar as decisões com relação as questões acima citadas para cada SKU (*Stock Keeping Unit*) individualmente, sendo muito mais simples determinar as políticas de gestão e acompanhar a performance de indicadores para classes de SKUs (YANG et al., 2017). Assim, a classificação dos SKUs é uma das atividades que compõem a gestão de estoque eficiente.

As decisões de quanto deve ser mantido em estoque em um SKU, bem como do tamanho do lote dos pedidos de reposição e da frequência que devem ser emitidos, estão pautados na previsão do consumo para este item (DIAS, 2005). Harris (1913) foi um dos primeiros a atacar a questão de determinação do tamanho de lote de compra, desenvolvendo o modelo conhecido como Lote Econômico de Compras (*Economic Order Quantity* – EOQ), tornando-se o modelo de estoque mais conhecido e utilizado pelas empresas e gerando grande volume de pesquisas em seu aprimoramento e extensão (TALEIZADEH; KHANBAGLO; CÁRDENAS-BARRÓN, 2016).

2.2 GESTÃO DE ESTOQUES DE PEÇAS DE REPOSIÇÃO

Dada a diversidade de tipos diferentes de estoques (e.g. em tamanho, tipos itens, padrões de demanda, finalidades dos itens ao longo da cadeia de suprimentos), vários pesquisadores se dedicam a atacar situações específicas neste campo. Neste trabalho, foca-se no problema de gestão de estoque de peças de reposição utilizadas na operação e manutenção de equipamentos industriais. Este tipo de estoque é peculiar, com características que implicam em uma maior complexidade em sua gestão. Hu *et al.* (2018) citam quatro pontos de especial importância nesta diferenciação:

- A demanda por peças de reposição comumente apresenta alta intermitência, com períodos prolongados de demanda nula. Esta característica torna a previsão de demanda para estes itens especialmente difícil;
- A variedade de peças geralmente é muito grande (na casa dos milhares), tornando difícil especificar uma política única de gestão que atenda às necessidades (logística e operacional) para todas;
- A demanda para peças de reposição se mantém durante a vida útil do equipamento em que são empregadas, assim, para evitar obsolescência das peças, uma quantidade limitada deve ser mantida em estoque (por outro lado, níveis de estoque muito baixos aumentam o risco de indisponibilidade da peça quando surgir uma demanda, e por consequências, indisponibilidade do equipamento no processo produtivo);
- A demanda por peças é intimamente ligada ao regime de manutenção dos equipamentos. Assim, a criticidade de um item no estoque está ligada não somente as suas características logísticas, como também à sua criticidade no funcionamento do equipamento e na criticidade do equipamento no processo produtivo.

Outro ponto que aponta para a importância da gestão racional de peças de reposição é seu valor agregado e a parcela que representa nos custos operacionais. Atividades de manutenção e suporte operacional podem chegar à 60% do custo total de uma planta industrial típica, sendo as peças de reposição por si só responsáveis por 25-30% (HU et al., 2015).

No estudo de caso apresentado neste trabalho, são abordadas especificamente duas etapas no processo de tomada de decisão de políticas de gestão de estoque, a classificação dos SKUs e a previsão de demanda para cada um. A seguir é apresentada uma revisão de literatura, apresentando as diferentes abordagens adotadas pela comunidade científica.

2.2.1 Classificação dos SKUs

Um dos métodos mais comumente usados sistemas de classificação de itens de estoque é o modelo ABC, que usa o Princípio de Pareto (ou regra 80/20), assumindo que (tipicamente) 20% dos itens correspondem a 80% do valor do estoque

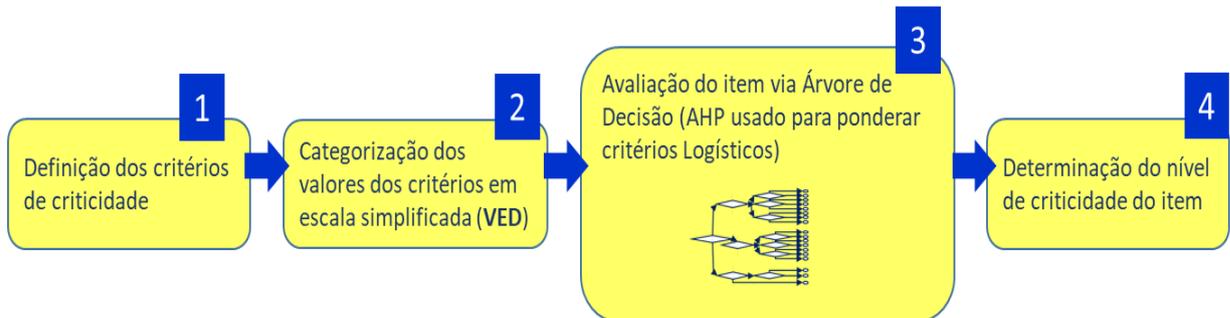
(SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2018). Esta técnica tradicionalmente tem como foco o valor monetário em estoque (ou seu fluxo) como critério de classificação. Quando se trata de peças de reposição, múltiplos critérios entram em jogo na formação da política de estoque. Assim, método de classificação multicritério tem sido largamente estudado para este caso. Muitos trabalhos têm focado em estender o método ABC para o caso específico da gestão de peças de reposição, utilizando diferentes métodos para levar em consideração os diversos fatores para decidir em qual das três classes (A, B ou C) o item deve se encaixar. Teunter, Babai e Syntetos (2009) propuseram um novo critério de custo para a classificação ABC, levando em consideração quatro parâmetros: taxa de demanda, preço de compra, custo devido a indisponibilidade (criticidade) e quantidade média dos pedidos. Baseado nos resultados da classificação, os níveis de serviço para cada uma das classes (A, B ou C) foram fixados, com os itens classe A tendo o maior nível de serviço exigido. Syntetos, Keyes e Babai (2009) incorporaram o padrão de demanda como critério para divisão em classes (sugerindo inclusive a divisão dos SKUs em mais de três classes). Mohammaditabar, Ghodsypour e Obrien (2012) propuseram um modelo integrado que ao mesmo tempo classifica os itens de estoque e seleciona as políticas apropriadas para cada grupo de produtos com o objetivo de obter um desempenho de estoque eficiente. Flores, Olson e Dorai (1992) utilizaram o método AHP para classificar itens de estoque, sendo cada item pertencente a cada classe dependendo do valor gerado em uma escala. Cebi, Kahraman e Bolat (2010) e Kabir e Hasin (2012) utilizaram a versão com lógica Fuzzy do método AHP para realizar a classificação ABC utilizando critérios como demanda anual, durabilidade e preço. Yu (2011) utilizou Redes Neurais (*Neural Networks*) para gerar as classificações ABC, sugerindo que sistemas de gestão de estoque (ERPs) poderiam ser melhorados usando esta técnica. Todas as iniciativas recentes citadas mostram a evolução e aperfeiçoamento da ideia básica da classificação ABC.

3 METODOLOGIA

A metodologia para este trabalho se inspira em Molenaers *et al.* (2012), que conduziram um estudo de caso em uma planta de processamento químico na Bélgica. Porém pontos importantes, como os critérios de classificação, foram escolhidos (entre outros motivos) de acordo com a disponibilidade de informações da empresa.

A Figura 1 ilustra os passos do processo de classificação. Primeiramente, são definidos os critérios de classificação de criticidade.

Figura 1 Passos do processo de classificação



Fonte: Autor

3.1 A ORGANIZAÇÃO

O estudo de caso foi conduzido em uma empresa do ramo agroindustrial, em uma de suas plantas fabris no sudoeste do Paraná. A gestão do estoque de peças é de responsabilidade do Setor de Almoarifado, que faz a conferência de estoque e, notando-se que nível se encontra abaixo do estoque mínimo, faz uma Requisição de Compra ao setor de Suprimentos da Unidade, que negocia e encaminha o Pedido de Compras ao fornecedor. Os clientes internos do Almoarifado (entre eles a Manutenção) retiram materiais do estoque via reservas feitas pelo sistema SAP/ERP. Caso o Setor de Manutenção demande um item que esteja com estoque zero, este informa o Planejamento e Controle de Manutenção, que procura alternativas (e.g. transferência do item de outras plantas, compra direta com o fornecedor).

A motivação para o trabalho surge da observação de recorrentes problemas cadeia de suprimentos de componentes de uso da Manutenção:

- Frequente indisponibilidade de itens no almoarifado (estoque zerado) ao surgir a demanda pelo setor de Manutenção;
- Dificuldade de determinar quais itens devem estar em estoque e quais devem ser adquiridos via compra direta pelo Planejamento e Controle de Manutenção, com desacordos entre os setores de Manutenção e Suprimentos, visto o *trade off* entre disponibilidade dos equipamentos da fábrica (que deseja-se maximizar) e o valor total parado em estoque (que deseja-se minimizar).

Atualmente, a determinação de quais itens são mantidos em estoque e a definição da política de compra (quando e quanto comprar) são baseados principalmente no valor da movimentação (i.e. giro) do item no estoque. Dizemos “principalmente” pois há itens de movimentação lenta (baixo giro) que hoje são mantidos no estoque por indicação do setor de Manutenção, baseado na experiência de seus líderes/especialistas.

3.2 MODELO DE CLASSIFICAÇÃO DOS ITENS POR CRITICIDADE

O cerne do estudo de caso é apresentar um modelo alternativo de classificação de SKUs, baseado na criticidade do item a invés de usar apenas seu consumo como princípio guia. Portanto, primeiramente, precisamos definir o que significa criticidade, bem como determinar uma forma de quantificá-la.

O modelo de processo de decisão multicritério adotado se baseia em duas ferramentas: Árvore de Decisão e o método AHP, usando uma escala do tipo VED (Vital, Essencial e Desejável).

O método AHP (*Analytic Hierarquic Process*) foi escolhido devido a sua facilidade de assimilação e uso, uma vez que utiliza de comparações par-a-par. O método foi usado para determinar os pesos dos critérios na formação do Índice Logístico, uma vez que o julgamento da importância de cada um dos critérios que o formam não era tão evidente na análise. Assim, para os critérios *Lead-time*, Padrão de Distribuição e Número de **Fornecedores**, foram calculados pesos, com base no julgamento de especialistas da área de manutenção com experiência em compras de peças.

3.2 DETERMINAÇÃO DOS CRITÉRIOS DE CLASSIFICAÇÃO

A classificação dos itens em nível de criticidade visa facilitar o trabalho de gestão do estoque de peças, dado que o grande número de SKUs que o compões impossibilitaria geri-los individualmente. Com os itens separados por classes, é muito mais fácil determinar a política de estoque que melhor atende aos múltiplos objetivos

dos gestores (e.g. atendimento das demandas da equipe de manutenção, minimização de custo, prevenção de obsolescência das peças).

Primeiramente, os critérios de criticidade devem ser determinados. Huiskonen (2001) classifica os critérios de criticidade de peças de reposição em dois tipos:

- Criticidade de Processo: a peça é considerada crítica caso sua falha implique em grandes perdas para a planta (e.g. vidas humanas, danos ambientais, perdas produtivas);
- Criticidade de Controle: a peça é considerada crítica caso seja difícil controlar sua disponibilidade em vista do surgimento de demanda.

Os possíveis critérios foram listados e submetidos por um processo de filtragem baseados na opinião de especialistas (gestores/técnicos da área de Manutenção) e de acordo com a disponibilidade de informações para cada critério (visto que se tem em vista a implementação desta metodologia na rotina de gestão de estoques de peças de reposição da empresa). A empresa utiliza já alguns anos software ERP com os módulos de Gestão de Manutenção e Gestão de Materiais integrados, o que possibilitou identificar com facilidade quais dados sobre a demanda/consumo das peças estavam disponíveis com em quantidade/qualidade suficientes para serem usadas na classificação. A seguir discute-se em detalhes cada um dos critérios escolhidos.

3.2.1 Criticidade do Equipamento

O sistema de Gestão de Manutenção utilizado pela empresa classifica cada Equipamento com níveis de criticidade A, B ou C, dependendo das consequências de seu mau funcionamento (e.g. efeitos sobre a qualidade do produto, parada total do processo produtivo, diminuição do ritmo de produção etc.);

3.2.2 Classe de Distribuição de Demanda

Em geral estoques de peças de reposição contém itens com um padrão de demanda com altos níveis de intermitência (vários períodos como demanda igual a zero) e variabilidade (LENGU; SYNTETOS; BABAI, 2014), o que aumenta

consideravelmente a dificuldade da previsão. A classificação dos padrões de demanda de peças de reposição foi estudada por vários autores (e.g. Syntetos, Babai e Altay (2012, *apud* Costantino et al., 2018), Heinecke, Syntetos e Wang (2013), van Kampen, Akkerman e van Donk (2012, *apud* Costantino et al., 2018)), e as conclusões convergem para o uso de dois parâmetros para mensurar a irregularidade do padrão de demanda:

- **ADI** (sigla para *Average inter-Demand Interval*) - o intervalo médio entre duas demandas diferentes de zero (Equação 1):

$$ADI = \frac{\sum_{n=1}^{N_p} t^n}{N_p} \quad (1)$$

onde t^n é o n-ésimo intervalo com demanda diferente de zero e N_p é o número de intervalos de demanda diferente de zero.

CV (Coeficiente de Variação) – o desvio padrão da demanda s_d dividido pela demanda média \bar{d} (Equação 2).

$$CV = \frac{s_d}{\bar{d}} \quad (2)$$

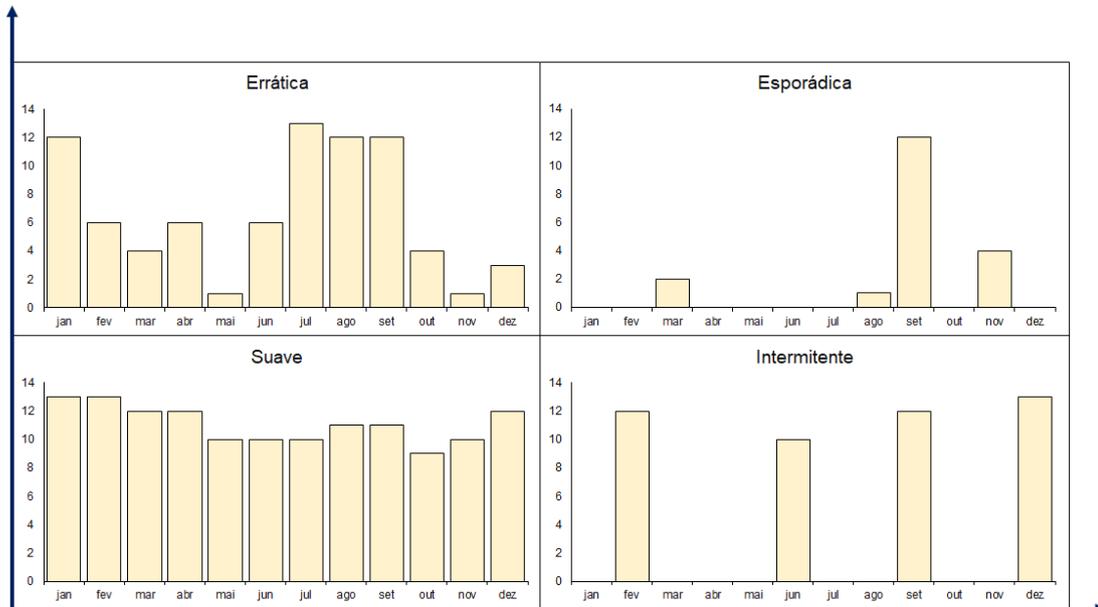
De acordo com a análise estatística feita por Syntetos, Boylan e Croston (2005) e Verhagen e Curran (2014), pode-se classificar os padrões de demanda em quatro classes:

- Suave (*Smooth*) – demanda regular no tempo com baixa variação em magnitude;
- Intermitente (*Intermittent*) – demanda esporádica, com baixa variação em magnitude;
- Errática (*Erratic*) – demanda regular no tempo, com alta variação em magnitude;
- Esporádica (*Lumpy*) – demanda esporádica, com alta variação em magnitude.

A Figura 2 mostra, de forma qualitativa os diferentes tipos de padrão de demanda segundo a classificação acima. A literatura apresenta diferentes esquemas de classificação de padrões de demanda (e.g. Bacchetti e Sacconi (2012)) bem como valores de corte para os parâmetros ADI e CV (e.g. Boylan, Syntetos e Karakostas (2008)). Adotou-se neste trabalho utilizar o esquema de classificação apresentado

acima, e os valores de corte comumente usados $CV^2 = 0,49$ e $ADI = 1,32$ por refletirem de forma concisa as diferenças de aplicação entre diferentes métodos de previsão (SYNTETOS; BOYLAN; CROSTON, 2005).

Figura 2 Classes de distribuição de demanda



Fonte: adaptado de Costantino et al. (2018)

3.2.3 Demanda Prevista

Tradicionalmente, a previsão da demanda para controle de estoque tem sido feita utilizando a técnica de Suavização Exponencial Simples (*Simple Exponential Smoothing*) (WILLEMAIN; SMART; SCHWARZ, 2004). Entretanto, para padrões de demanda com alta intermitência, esta técnica mostrou precisão insuficiente (STRIJBOSCH; HEUTS; SCHOOT, 2000). Croston (1972) apresentou um método em que a Suavização Exponencial é aplicada separadamente para a demanda e para o número de intervalos cuja demanda é diferente de zero, conforme as Equações 3, 4 e 5. É calculada então a estimativa para a demanda média, está sendo atualizada apenas para os períodos cuja demanda é diferente de zero.

$$\text{Se } X_t \neq 0 \begin{cases} Z_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)Z_t \\ V_{t+1} = \alpha q + (1 - \alpha)V_t \\ Y_{t+1} = \frac{Z_{t+1}}{V_{t+1}} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{Se } X_t \neq 0 \begin{cases} Z_{t+1} = \alpha X_t + (1 - \alpha)Z_t \\ V_{t+1} = \alpha q + (1 - \alpha)V_t \\ Y_{t+1} = \frac{Z_{t+1}}{V_{t+1}} \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{Se } X_t = 0 \begin{cases} Z_{t+1} = Z_t \\ V_{t+1} = V_t \\ Y_{t+1} = Y_t \end{cases} \quad (5)$$

Apesar do avanço apresentado pela metodologia, Syntetos e Boylan(2005) demonstraram que a estimativa Y_t é tendenciosa, uma vez que

$$E[Y_t] = E\left[\frac{Z_t}{V_t}\right] \neq E[Z_t] \cdot \frac{1}{E[V_t]} \quad (6)$$

Os autores demonstram que é possível corrigir a estimativa Y_t , obtendo outra (aproximadamente não tendenciosa) e com maior precisão que a obtida por Croston(1972) ao incluir um fator de correção

$$Y'_{t+1} = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \frac{Z_{t+1}}{V_{t+1}} \quad (7)$$

Este método é hoje conhecido na literatura com SBA (*Syntetos-Boylan Approximation*) (REGO; MESQUITA, 2015) e é o utilizado neste trabalho para a previsão da demanda média mensal dos itens avaliados.

3.2.4 Lead Time de Reposição

Tempo entre a data de criação do pedido de compras para o fornecedor até a entrada do item em estoque;

3.2.5 Número de Potenciais Fornecedores

Número de fornecedores aptos a atender a demanda para o item especificado, baseado no histórico de compra do item;

3.3 CLASSIFICAÇÃO MULTICRITÉRIO

3.3.1 Determinação da escala VED

De modo a simplificar a análise de criticidade, os diversos possíveis valores de cada parâmetro de criticidade foram classificados em uma escala VED – Vital, Essencial e Desejável, sendo o nível Vital o de maior criticidade e o Desejável o de menor criticidade. O critério **criticidade do equipamento**, com três níveis (A,B e C) foi associado, de modo decrescente em criticidade, aos níveis VED. Para o critério **valor da previsão para demanda mensal** foi feita análise de Pareto, em que os itens com demanda maior ou igual à 50 unidades (que correspondem aos 80% maiores valores) foram classificados na classe Vital, entre 50 e 13 unidades na categoria Essencial (próximos 10% maiores) e igual ou menor à 13 unidades Desejável (10% menores).

A fim de deixar a Árvore de Decisão menos complexa (apenas com 3 níveis), os critérios **Classe de distribuição de demanda**, **lead time médio** e **número de potenciais fornecedores** foram agrupados em um **Índice Logístico**, conforme a Equação 8.

$$EIL = W_{PD}V_{PD} + W_{LT}V_{LT,n} + W_{NF}V_{NF,n} \quad (8)$$

onde V_{PD} é um valor numérico representado a dificuldade relativa de previsão, de acordo com a padrão de demanda para o item (vide Tabela 1); $V_{LT,n}$ é valor normalizado para o *lead time* médio; $V_{NF,n}$ é valor normalizado para o número de potenciais fornecedores e, W_{PD} , W_{LT} e W_{NF} são os respectivos pesos. Para determinar o valor de cada peso, foi utilizado o método AHP, em que todos os critérios são comparados entre si (aos pares), via julgamento de especialistas no processo (as matrizes de decisão para cada especialista consultados são mostradas nas Tabelas 2 e 3). O valor dos pesos utilizado na Equação 8 foi determinado a partir da média dos

valores dos julgamentos dos especialistas consultados (resultados exibidos na Tabela 4).

Tabela 1 Valores atribuídos aos padrões de demanda

Suave	Errática	Intermitente	Esporádica
0,25	0,50	0,75	1,00

Fonte: Autor

Tabela 2 Matriz de decisão Especialista 1

	Padrão de Demanda	Lead time	Número de fornecedores	Autovetor normalizado
Padrão de Demanda	1,000	0,170	4,000	0,233
Lead time	6,000	1,000	4,000	0,659
Número de fornecedores	0,250	0,250	1,000	0,107

Fonte: Autor

Tabela 3 Matriz de decisão Especialista 2

	Padrão de Demanda	Lead time	Número de fornecedores	Autovetor normalizado
Padrão de Demanda	1,00	0,14	5,00	0,206
Lead time	7,00	1,00	7,00	0,723
Número de fornecedores	0,20	0,14	1,00	0,071

Fonte: Autor

Tabela 4 Pesos para os índices que formam o Índice Logístico

Critério	Peso
Padrão de Demanda	0,213
Lead time	0,707
Número de fornecedores	0,080

Fonte: Autor

Uma vez calculados os pesos, os valores para o Índice Logístico *IL* foram calculados para cada item. A classificação dos valores na escala VED foi realizada via análise de Pareto aos mesmos moldes do valor da previsão para demanda mensal. A Tabela 5 resume a classificação na escala VED para todos os critérios.

Tabela 5 Escala VED para os Critérios de Criticidade

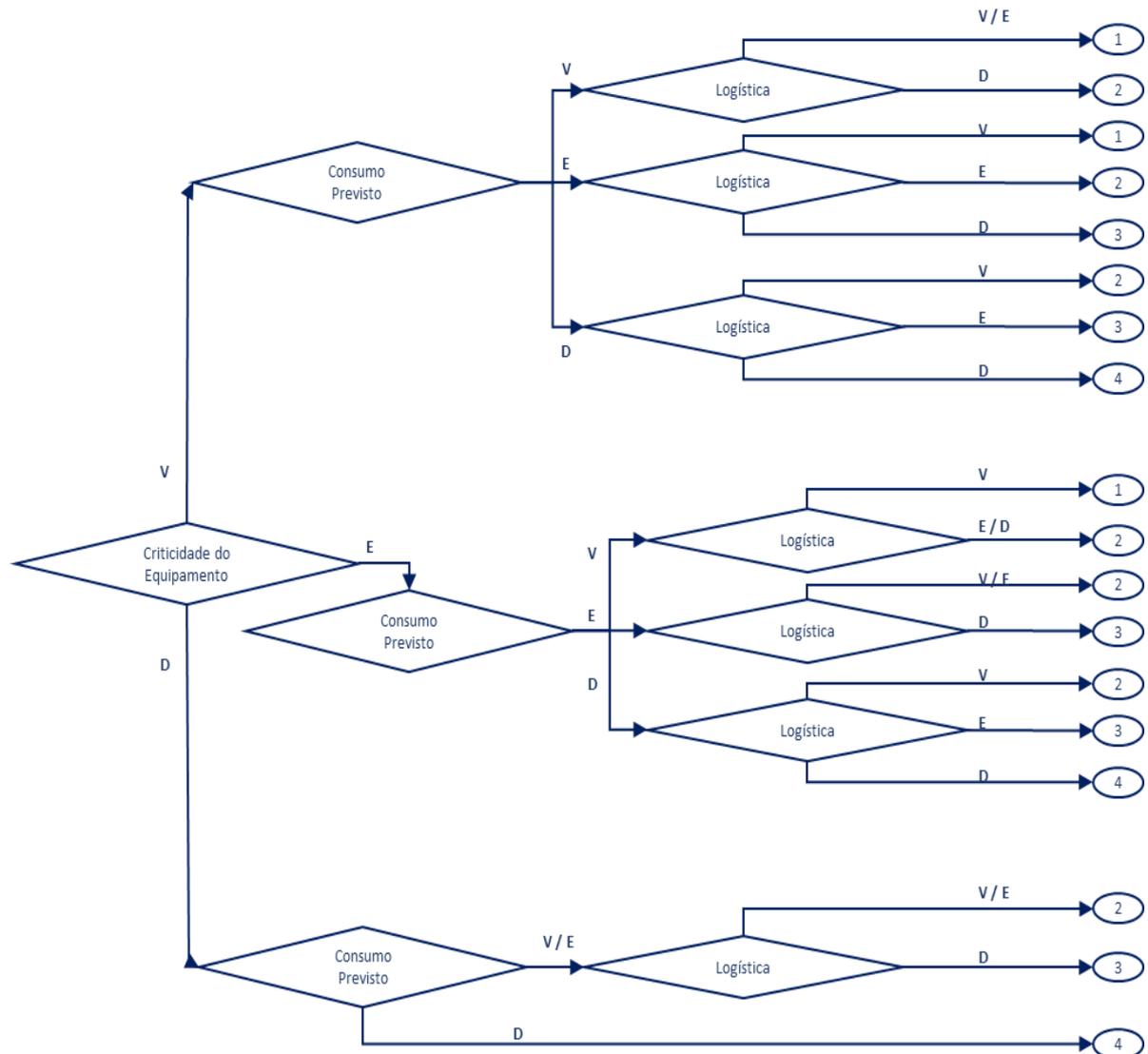
Critério	Vital	Essencial	Desejável
Criticidade Equipamento	A	B	C
Valor da previsão para demanda	$D \geq 50$	$13 < D < 50$	$D \leq 13$
Índice Logístico (IL)	$IL \geq 0,2367$	$0,2115 < IL < 0,2367$	$IL \leq 0,2115$

Fonte: Autor

3.3.2 Avaliação via Árvore de Decisão

Uma vez determinadas as classes de valores dentro da escala VED, o próximo passo consiste em fazer os julgamentos via Árvore de Decisão, ilustrada na Figura 3. As decisões são tomadas em cada nó da árvore, passando para o próximo nível, a começar pelo critério Criticidade do Equipamento, Consumo Previsto e Índice Logístico. As decisões são tomadas em cada nó da árvore, baseadas na classificação na escala VED.

Figura 3 Árvore de Decisão



Fonte: adaptado de Molenaers et al. (2012)

Ao final do processo decisório, é atribuído ao item um índice de criticidade, de 1 (mais crítico) à 4 (menos crítico). A descrição de cada um dos níveis de criticidade é apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 Critérios de criticidade

1 Alta	A indisponibilidade do item causa uma condição inaceitável, seja operacional ou em relação à segurança ou ao meio ambiente.
	O fornecimento deve ser imediato.
	Risco no processo de compras/estocagem não é tolerado.

2 Média	A indisponibilidade do item causa uma condição inaceitável, seja operacional ou em relação à segurança ou ao meio ambiente, mas as consequências podem ser corrigidas ou controladas.
	O fornecimento deve ser feito em curto período
	Há um risco calculado no processo de compras/estocagem.
3 Baixa	A indisponibilidade do item causa uma condição aceitável, seja operacional ou em relação à segurança ou ao meio ambiente.
	O fornecimento pode ser feito em um longo período
	O risco no processo de compras/estocagem pode ser justificado
4 Não crítico	Indisponibilidade não causa nenhum efeito no processo, segurança ou meio ambiente
	O fornecimento pode ser feito em um longo período
	O risco no processo de compras/estocagem é normal

Fonte: adaptado de Molenaers et al. (2012)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir são apresentados os resultados do processo de classificação de criticidade. Foram avaliados os critérios de classificação individualmente, bem como o índice de criticidade dos itens.

4.1 CRITICIDADE DO EQUIPAMENTO

A Tabela 7 mostra o percentual de itens classificados como em uso em Equipamentos com criticidade A, B e C. Observa-se que mais de 60% dos itens foram classificados como A, e mais de 30% com criticidade B. Relembramos que, ao associar o grau de criticidade do Equipamento ao item, quando o item era utilizado em mais de um equipamento, com diferentes graus de criticidade, a regra utilizada foi assumir a criticidade do equipamento no qual o item foi utilizado com maior frequência.

O alto número de itens associados à Equipamentos A pode sugerir que o método de associação talvez não seja o mais adequado, porém antes de chegar à essa conclusão, seria necessário avaliar o método de classificação dos equipamentos utilizado pela empresa.

Tabela 7 Classificação dos itens por Criticidade do Equipamento

Criticidade Equipamento	Número de itens	%
A	1.225	60,6%
B	736	36,4%
C	60	3,0%
Total Geral	2021	

Fonte: Autor

4.2 PADRÃO DE DEMANDA

A Tabela 8 mostra os resultados para o número de itens associados à cada um dos padrões de demanda utilizados. Mais de 90% dos itens foram classificados como ‘errático esporádico’ ou ‘intermitente’, e apenas 8,10% como ‘suave’, em concordância com o esperado para itens dessa natureza (MRO). Destaca-se também que mais de 80% são classificados, como ‘esporádico’ ou ‘intermitente’ i.e., possuem vários períodos de demanda nula, indicando a necessidade de uma política de gestão de estoque que leve as características de movimentação lenta e difícil previsibilidade em consideração.

Tabela 8 Classificação dos itens por Padrão de Demanda

Padrão de demanda	Num Itens	%
Errático	208	10,30%
Esporádico	723	35,80%
Intermitente	926	45,80%
Suave	164	8,10%
Total Itens Avaliados	2021	

Fonte: Autor

4.3 NÚMERO DE POSSÍVEIS FORNECEDORES

A Tabela 9 mostra os resultados para o número de possíveis fornecedores. Quase 50% dos itens avaliados possuem históricos de compras com único fornecedor (na grande maioria dos casos, o mesmo fornecedor do equipamento onde o item é usado). Mais de 80% dos itens tem registro de compra com até no máximo 3 fornecedores. Ter poucos fornecedores à disposição limita a disponibilidade do item

desejado (seja em quantidade como em *lead-time* mínimo de entrega), e deve ser levado em consideração na estratégia da gestão do estoque de peças.

Tabela 9 Classificação dos itens por Número de Fornecedores

Número de possíveis fornecedores	Num Itens	%
1	987	48,80%
2	457	22,60%
3	238	11,80%
4	153	7,60%
5	81	4,00%
6	52	2,60%
7	19	0,90%
8	17	0,80%
9	9	0,40%
10	4	0,20%
11	2	0,10%
12	1	0,00%
16	1	0,00%
Total Itens Avaliados	2021	

Fonte: Autor

4.4 LEAD TIME DE ENTREGA

A Tabela 10 mostra os resultados para o *lead time* médio de entrega calculado para cada item. Mais de 50% dos itens possuem *lead time* de entrega (médio) superior a 15 dias, e mais de 30% possuem *lead time* médio superior a 30 dias. Como é comum para peças de reposição, *lead times* longos são comuns, situação agravada pelo menor poder de negociação das empresas clientes junto aos fornecedores visto que a falta de opções para comprar peças específicas.

Tabela 10 Classificação dos itens por lead time médio

Lead time médio	Num Itens	%
+60 dias	242	12,00%
31-60 dias	390	19,30%
16-30 dias	464	23,00%
8-15 dias	757	37,50%
1-7 dias	168	8,30%
Total Itens Avaliados	2021	

Fonte: Autor

4.5 CLASSE DE CRITICIDADE

A Tabela 11 mostra os resultados para os níveis de criticidade obtidos após avaliação via árvore de decisão.

Tabela 11 Classificação dos itens por Classe de Criticidade

Criticidade	Num Itens	%
1	27	1,30%
2	1441	71,30%
3	280	13,90%
4	273	13,50%
Total Itens Avaliados	2021	

Fonte: Autor

Observa-se que mais de 70% dos itens foram classificados como categoria de criticidade 2, com os níveis de criticidade 3 e 4 com distribuição aproximadamente equilibrada. O nível de criticidade 1 teve a ele associado pouco mais de 1% dos itens.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um exemplo de aplicação de Árvore de Decisão e AHP na classificação de criticidade de itens MRO atualmente em estoque em uma empresa do ramo agroindustrial. Constatou-se que, como esperado para itens dessa natureza, padrões de demanda com alta intermitência (longos períodos com demanda nula) e variabilidade, altos *lead times* e poucos fornecedores, comprovando a necessidade de um sistema de gestão que leve em consideração a criticidade do item nas políticas de estoque e compras. Os resultados obtidos (níveis de criticidade para cada item), com base em parâmetros técnicos/logísticos, podem ser usados na determinação de parâmetros, além de servir de guia para os gestores e tomadores de decisão, indicando quais itens devem ser analisados com mais cuidado.

Um alto número de itens (mais de 70%) ficou concentrado em uma única categoria de criticidade. Uma possível causa para estes resultados seja a alta quantidade de máquinas e equipamentos classificados como nível A de criticidade pela empresa, o que pode indicar a necessidade de reavaliar o método de classificação de equipamentos.

6 REFERÊNCIAS

BACCHETTI, Andrea; SACCANI, Nicola. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. **Omega**, [s.l.], v. 40, n. 6, p.722-737, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>.

BOYLAN, J. E.; SYNTETOS, A. A.; KARAKOSTAS, G C. Classification for forecasting and stock control: a case study. **Journal Of The Operational Research Society**, [s.l.], v. 59, n. 4, p.473-481, abr. 2008. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602312>

CEBI, Ferhan; KAHRAMAN, Cengiz; BOLAT, Bersam. A multiattribute ABC classification model using fuzzy AHP. **The 40th International Conference On Computers & Industrial Engineering**, [s.l.], v. 1, n. 1, p.1-6, jul. 2010. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/iccie.2010.5668233>.

COSTANTINO, Francesco et al. Spare parts management for irregular demand items. **Omega**, [s.l.], v. 81, p.57-66, dez. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2017.09.009>.

CORRÊA, Henrique Luiz; CORRÊA, Carlos Alberto. **Administração de Produção e Operações: Manufatura e Serviços: uma abordagem estratégica**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

DIAS, Marco Aurélio P.. **Administração de Materiais: Princípios, Conceitos e Gestão**.. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

FLORES, Benito E.; OLSON, David L.; DORAI, V.k.. Management of multicriteria inventory classification. **Mathematical And Computer Modelling**, [s.l.], v. 16, n. 12, p.71-82, dez. 1992. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0895-7177\(92\)90021-c](http://dx.doi.org/10.1016/0895-7177(92)90021-c).

GOIC, Marcel; BOSCH, Máximo; CASTRO, Juan P. Detecting inefficiently managed categories in a retail store. **Journal Of The Operational Research Society**, [s.l.], v. 66, n. 1, p.160-171, jan. 2015. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1057/jors.2013.146>.

HARRIS, Ford W.. How many parts to make at once. **Factory, The Magazine Of Management**, S.l, v. 10, n. 152, p.135-136, fev. 1913.

HEINECKE, G.; SYNTETOS, A.a.; WANG, W.. Forecasting-based SKU classification. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 143, n. 2, p.455-462, jun. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.11.020>.

HU, Qiwei et al. Modeling Spare Parts Demands Forecast under Two-Dimensional Preventive Maintenance Policy. **Mathematical Problems In Engineering**, [s.l.], v. 2015, p.1-9, 2015. Hindawi Limited. <http://dx.doi.org/10.1155/2015/728241>.

HU, Qiwei et al. Spare parts classification in industrial manufacturing using the dominance-based rough set approach. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 262, n. 3, p.1136-1163, nov. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.04.040>.

HU, Qiwei et al. OR in spare parts management: A review. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 266, n. 2, p.395-414, abr. 2018. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2017.07.058>.

HUISKONEN, Janne. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 71, n. 1-3, p.125-133, maio 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-5273\(00\)00112-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-5273(00)00112-2).

LENGU, D.; SYNTETOS, A.a.; BABAI, M.z.. Spare parts management: Linking distributional assumptions to demand classification. **European Journal Of Operational Research**, [s.l.], v. 235, n. 3, p.624-635, jun. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejor.2013.12.043>.

MAKRIDAKIS, S. et al. The accuracy of extrapolation (time series) methods: Results of a forecasting competition. **Journal Of Forecasting**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.111-153, abr. 1982. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1002/for.3980010202>

MAKRIDAKIS, Spyros; HIBON, Michèle. The M3-Competition: results, conclusions and implications. **International Journal Of Forecasting**, [s.l.], v. 16, n. 4, p.451-476, out. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2070\(00\)00057-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0169-2070(00)00057-1).

MOHAMMADITABAR, Davood; GHODSYPOUR, Seyed Hassan; O'BRIEN, Chris. Inventory control system design by integrating inventory classification and policy selection. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 140, n. 2, p.655-659, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.03.012>.

MOLENAERS, An et al. Criticality classification of spare parts: A case study. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 140, n. 2, p.570-578, dez. 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.013>.

REGO, José Roberto do; MESQUITA, Marco Aurélio de. Demand forecasting and inventory control: A simulation study on automotive spare parts. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 161, p.1-16, mar. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.11.009>.

STRIJBOSCH, L W G; HEUTS, R M J; SCHOOT, e H M van Der. A combined forecast—inventory control procedure for spare parts. **Journal Of The Operational Research Society**, [s.l.], v. 51, n. 10, p.1184-1192, out. 2000. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601013>.

SYNTETOS, A.a; BOYLAN, J.e. On the bias of intermittent demand estimates. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 71, n. 1-3, p.457-466, maio 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0925-5273\(00\)00143-2](http://dx.doi.org/10.1016/s0925-5273(00)00143-2).

SYNTETOS, Aris A.; BOYLAN, John E.. The accuracy of intermittent demand estimates. **International Journal Of Forecasting**, [s.l.], v. 21, n. 2, p.303-314, abr. 2005. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijforecast.2004.10.001>.

SYNTETOS A. A; BOYLAN, J.E; CROSTON, J.D. On the categorization of demand patterns. **Journal Of The Operational Research Society**, [s.l.], v. 56, n. 5, p.495-503, maio 2005. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2601841>.

TALEIZADEH, Ata Allah; KHANBAGLO, Mahboobeh Perak Sari; CÁRDENAS-BARRÓN, Leopoldo Eduardo. An EOQ inventory model with partial backordering and reparation of imperfect products. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 182, p.418-434, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.09.013>.

TEUNTER, Ruud H.; BABAI, M. Zied; SYNTETOS, Aris A.. ABC Classification: Service Levels and Inventory Costs. **Production And Operations Management**, [s.l.], v. 19, n. 3, p.343-352, 11 nov. 2009. Wiley. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1937-5956.2009.01098.x>.

VERHAGEN, Wim J.c.; CURRAN, Richard. Stochastic Forecasting of Lumpy-distributed Aircraft Spare Parts Demand. **Advances In Transdisciplinary Engineering**, [s.l.], v. 1, n. , p.706-715, 2014. IOS Press. <http://dx.doi.org/10.3233/978-1-61499-440-4-706>.

YANG, Liu et al. Integrated multi-period dynamic inventory classification and control. **International Journal Of Production Economics**, [s.l.], v. 189, p.86-96, jul. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2017.04.010>.

YU, Min-chun. Multi-criteria ABC analysis using artificial-intelligence-based classification techniques. **Expert Systems With Applications**, [s.l.], v. 38, n. 4, p.3416-3421, abr. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2010.08>