

Gestão de Inventário de Materiais de Manutenção de Equipamentos

O caso da Zagope

Liliana Raquel Gomes Peixoto Ferreira

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia e Gestão Industrial

Orientadora: Prof.^a Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa

Júri

Presidente: Prof.^a Mónica Duarte Correia de Oliveira
Orientadora: Prof.^a Ana Paula Ferreira Dias Barbosa Póvoa
Vogal: Prof.^a Susana Isabel Carvalho Relvas

Novembro 2014

Resumo

A crise económica portuguesa tem afetado todas as atividades económicas, e a construção não é exceção. Como forma de ultrapassar este problema as construtoras portuguesas têm expandido as suas operações além-fronteiras. A Zagope é um destes exemplos.

A Zagope é uma empresa de construção internacional com especificação no desenvolvimento de obras públicas, que opera predominantemente em África. A manutenção de equipamentos é uma das atividades que garante a execução contínua das operações de construção. O presente estudo foca no tipo de inventário mais importante na manutenção dos equipamentos (*spare parts*) e pretende melhorar a gestão deste tipo de materiais. Para tal começa por caracterizar as atividades logísticas da Zagope e as suas limitações. Depois, é desenvolvida uma revisão bibliográfica que sustenta a metodologia de gestão de inventário a desenvolver. Esta metodologia permite aumentar a eficiência de inventário e reduzir os custos de inventário em três das atuais obras em desenvolvimento pela Zagope.

A metodologia desenvolvida é constituída por três dos mais importantes passos no controlo de inventário: classificação de inventário, métodos de previsão e políticas de controlo de *stocks*. Tipicamente as *spare parts* são caracterizadas como itens de baixa rotação e/ou itens com procura intermitente. Assim, são aplicados os métodos de previsão de procura mais comuns na literatura, desenvolvidos para procura intermitente. Pelo facto de ser impossível estimar com precisão o ajustamento exato de uma distribuição e determinar os níveis de inventário ótimos, são aplicados procedimentos heurísticos para uma melhor gestão de inventário. Estas heurísticas são políticas de controlo de *stock* periódicas que permitem determinar os níveis de inventário mais adequados.

Palavras-Chave: procura intermitente, classificação, previsões, heurísticas de controlo de *stocks*.

Abstract

Portugal's financial crisis has affected all economic activities and the construction sector is no exception. As a way to overcome this, Portuguese construction companies have extended their activities beyond borders. Zagope is one of these enterprises.

Zagope is an international Portuguese construction company specialized in developing public constructions that operates predominantly in Africa. The equipment's maintenance is a crucial aspect to ensure a continuous execution of the construction operations. The present study focuses on the most important type of inventory concerning equipment's maintenance (spare parts) and aims to improve its inventory management. For that, a characterization of the Zagope's logistic activities and its constraints is performed. After that a literature review is done to sustain the developed inventory management methodology. This methodology aims to improve the inventory efficiency and, more important, to reduce inventory costs in three current Zagope's constructions.

The methodology developed entails the three most important steps of inventory control: inventory classification, forecasting methods and stock control policies. Typically spare parts are characterised by being slow moving items and/or items with intermittent demand. Thus, the forecasting methods employed were the most frequently found in the academic literature, specifically for intermittent demand. Due to the impossibility of estimating with accuracy the exact fitting distribution and determining the optimal inventory levels, heuristic procedures were applied to improve the inventory management. These heuristics are periodic stock control policies that provide the most adequate inventory levels.

Keywords: intermittent demand, classification, forecasting, stock control heuristics.

Agradecimentos

Aos meus pais e ao meu irmão, que mesmo estando longe fisicamente sempre foram a razão da minha força ao longo destes cinco anos. Sem perceberem, apenas confiaram em mim, e proporcionaram-me tudo para que este ciclo se concluísse na minha vida.

À Professora Ana Póvoa pela constante disponibilidade, mas principalmente, pelo apoio, sincero interesse e preocupação. O meu grande obrigado por me ter acompanhado de perto e ajudado tanto.

Ao meu namorado Fábio pelo apoio constante, pelo incentivo e pela paciência. À sua família pela enorme ajuda.

À Geisa e à Adriana pela presença e amizade. A todos os meus amigos pelos bons momentos e compreensão.

Ao Engenheiro João Marques dos Santos pela oportunidade, confiança e disponibilidade. A todos os colaboradores da Zagope pela receptividade mas principalmente ao Engenheiro Luís Lopes pela paciência e por todos os conhecimentos que me transmitiu.

A todas pessoas, Professores e colegas que fizeram parte desta etapa da minha vida, um muito obrigado.

Índice

| | | |
|---------|--|----|
| 1 | – Introdução..... | 1 |
| 1.1 | - Contextualização do Problema..... | 1 |
| 1.2 | - Objetivos do Trabalho | 2 |
| 1.3 | - Metodologia | 3 |
| 1.4 | - Estrutura do Trabalho | 4 |
| 2 | - Caso de Estudo..... | 5 |
| 2.1 | - Introdução à Zagope | 5 |
| 2.2 | - Caracterização do Problema/Caso de Estudo | 5 |
| 2.2.1 | - A Operação da Zagope | 6 |
| 2.2.2 | - Planeamento das Compras | 6 |
| 2.2.3 | - Fluxo de Materiais e Inventário | 7 |
| 2.2.3.1 | - Fluxo de Materiais de Manutenção através da utilização do Sistema SAP pela Obra ou pelos Aprovisionamentos Corporativos..... | 8 |
| 2.2.4 | - Problemas e Restrições no Planeamento e Controlo de Inventário dos Materiais de Manutenção de Equipamentos..... | 11 |
| 2.2.4.1 | - Tempos de Abastecimento..... | 11 |
| 2.2.4.2 | - Avarias Inesperadas e Variabilidade dos Intervalos entre Manutenções | 12 |
| 2.2.4.3 | - Constrangimento Logístico..... | 12 |
| 2.2.5 | - Critérios para Definição das Possíveis Estratégias de Segmentação dos Mercados e Itens a Analisar..... | 13 |
| 2.3 | - Conclusões do Capítulo | 15 |
| 3 | - Revisão Bibliográfica | 16 |
| 3.1 | - Introdução..... | 16 |
| 3.2 | - Cadeia de Abastecimento da Construção..... | 17 |
| 3.3 | - Gestão de Inventário | 18 |
| 3.3.1 | - Classificação de Inventário | 19 |
| 3.3.1.1 | - Análise ABC Tradicional | 19 |
| 3.3.1.2 | - Análise ABC com Múltiplos Critérios..... | 21 |
| 3.3.2 | - Políticas de Controlo de Inventário | 23 |
| 3.4 | - Peças de Reparação – <i>Spare Parts</i> | 25 |
| 3.4.1 | - Classificação de Inventário de <i>Spare Parts</i> | 26 |
| 3.4.2 | - Sistema de Controlo de Inventário de <i>Spare Parts</i> | 27 |
| 3.4.2.1 | - Previsão da Procura | 28 |
| 3.4.2.2 | - Modelo de Controlo de Inventário | 31 |
| 3.5 | - Conclusões do Capítulo | 32 |
| 4 | - Metodologia para a Gestão de <i>Stocks</i> | 34 |
| 4.1 | - Caracterização da Metodologia de Gestão de Inventário..... | 34 |
| 4.1.1 | - Classificação de Inventário | 35 |
| 4.1.2 | - Previsão de Procura | 36 |

| | |
|---|-----|
| 4.1.3 – Indicadores de Performance | 39 |
| 4.1.4 – Políticas de Controlo de <i>Stocks</i> | 40 |
| 4.2 – Conclusões do Capítulo | 43 |
| 5 – Resolução do Caso de Estudo | 44 |
| 5.1 - Caracterização da Amostra..... | 44 |
| 5.2 – Tratamento de Dados e Desenvolvimento da Metodologia | 47 |
| 5.2.1 - Classificação de Inventário | 49 |
| 5.2.1.1 - Classificação segundo critérios relevantes à gestão de inventário da empresa | 49 |
| 5.2.1.1.1 – Análise ABC – Critério Valor em Inventário | 50 |
| 5.2.1.1.2 – Análise ABC – Critério Rotatividade..... | 50 |
| 5.2.1.1.3 – Análise ABC – Critério Tempo de Abastecimento | 54 |
| 5.2.1.1.4 – Resultados obtidos na classificação ABC multicritério e classes a analisar..... | 54 |
| 5.2.1.2 – Classificação Segundo o Padrão de Procura | 55 |
| 5.2.2 – Previsão da Procura | 59 |
| 5.2.3 – Políticas de Controlo de <i>Stocks</i> | 63 |
| 5.2.3.1 – Resultados usando as Políticas de Controlo de <i>Stocks</i> | 65 |
| 5.2.4 – Conclusões do Capítulo | 68 |
| 6 – Análise de Sensibilidade | 70 |
| 6.1 – Constante de Alisamento α | 70 |
| 6.2 – Tempo de Abastecimento | 72 |
| 6.3 – Custos de encomenda..... | 73 |
| 6.4 – Conclusões da Análise de Sensibilidade | 74 |
| 7 - Conclusões Finais e Desenvolvimento Futuro..... | 76 |
| 8 - Bibliografia..... | 80 |
| Anexo 1 – Apresentação das Obras em Execução pela Zagope (Dezembro 2013) | 86 |
| Anexo 2 – Portefólio de Itens de Manutenção de Equipamentos em Inventário na Zagope (Exemplo) | |
| | 86 |
| Anexo 3 – Resultados da Análise do Critério Rotatividade..... | 87 |
| Anexo 4 – Resultados da Análise do Critério Tempo de Abastecimento | 88 |
| Anexo 5 – Número de Referências Com Ocorrência de Procura ao Longo de x Meses | 90 |
| Anexo 6 – Caracterização das Classes Bicritério das Peças de Manutenção em Inventário a 27 de fevereiro de 2014..... | 91 |
| Anexo 7 – Resultados das Estatísticas Descritivas à Amostra..... | 92 |
| Anexo 8 – Resultados da Performance das Previsões de Procura dos Itens da Classe Bicritério AA e Procura Intermitente | 92 |
| Anexo 9 – Resultados da Performance das Previsões de Procura dos Itens da Classe Bicritério AA e Procura Não Intermitente | 96 |
| Anexo 10 – Previsão de Procura aplicada aos <i>Sporadic Itens</i> (com uma ocorrência de procura) pertencentes à classe bicritério AA | 99 |
| Anexo 11 – Resultados dos Níveis de Inventário Calculados..... | 102 |

| | |
|--|-----|
| Anexo 12 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos Itens Intermitentes e Não Intermitentes da Classe AA | 102 |
| Anexo 13 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos Itens Intermitentes e Não Intermitentes da Classe Bicritério AA em termos de eficiência de inventário | 103 |
| Anexo 14 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos <i>Sporadic Items</i> da Classe Bicritério AA..... | 103 |
| Anexo 15 – Análise de Sensibilidade realizada sobre os Resultados da Metodologia Aplicada aos <i>Sporadic Items</i> | 105 |

Lista de Figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Carteira de obras da Zagope em 2012 (Zagope, 2012) | 1 |
| Figura 2 - Evolução do volume de negócios da Zagope desde 2008 (Zagope, 2012) | 1 |
| Figura 3 - Metodologia seguida nesta dissertação | 3 |
| Figura 4 - Representação geográfica da Zagope nos mercados internacionais (Zagope, 2012)..... | 5 |
| Figura 5 - Diagrama do fluxo de materiais de manutenção quando o processo de compra é realizado através do sistema SAP pela obra ou pelos aprovisionamentos corporativos | 10 |
| Figura 6 - Níveis de inventário de materiais de manutenção de equipamentos nas obras angolanas a analisar ao longo desta dissertação | 13 |
| Figura 7 - Níveis de inventário total de materiais e matérias-primas nas obras angolanas a analisar ao longo desta dissertação..... | 14 |
| Figura 8 - Análise ABC multicritério usando como critérios rotatividade e valor em inventário por referência de item | 15 |
| Figura 9 - Fases operacionais da metodologia de gestão de inventário desenvolvida | 34 |
| Figura 10 - Esquema de classificação do padrão de procura enfrentado por cada item em inventário | 35 |
| Figura 11 - Evolução do valor (USD) de inventário médio mensal de peças de manutenção de equipamentos nas três obras em estudo | 46 |
| Figura 12 – Esquematização da metodologia e do processo de cálculo utilizados | 48 |
| Figura 13 - Representação esquemática do funcionamento do contador cumulativo | 52 |
| Figura 14 - Cenários sobre os quais se vai realiza a análise de sensibilidade..... | 70 |

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Quantificação unitária e monetária dos <i>stocks</i> de peças de manutenção nas três obras em análise no dia 27 de fevereiro de 2014 | 45 |
| Tabela 2 - Tipos de movimentos transacionais de itens relevantes no armazém | 46 |
| Tabela 3 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra BMX..... | 50 |
| Tabela 4 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra NGOL | 50 |
| Tabela 5 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra MECC | 50 |
| Tabela 6 - Características chave e nomenclatura dos grupos de rotatividade obtidos | 53 |
| Tabela 7 - Representatividade do valor em inventário (USD) de cada classe bicritério em relação ao valor total presente no <i>stock</i> de cada obra à data de 27 de fevereiro de 2014 | 55 |
| Tabela 8 - Quantificação de <i>sporadic items</i> e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de BMX..... | 58 |
| Tabela 9 - Quantificação de <i>sporadic items</i> e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de NGOL | 58 |
| Tabela 10 - Quantificação de <i>sporadic items</i> e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de MECC | 58 |

| | |
|---|----|
| Tabela 11 - Número de referências de peças de manutenção pertencentes à classe A no critério rotatividade por padrão de procura em cada obra | 58 |
| Tabela 12 - Número de referências de peças de manutenção pertencentes à classe bicritério AA por padrão de procura em cada obra | 58 |
| Tabela 13 - Resultados da aplicação da fórmula x do ponto 4.1.2 aos dados históricos das 3 obras analisadas, considerando um α igual a 0,5 e um p encontrado a partir da distribuição com melhor ajustamento à procura de cada obra (utilizando o <i>software EasyFit</i>) | 63 |
| Tabela 14 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário seleccionados: h/b=1%; h=13%; k=20% | 67 |
| Tabela 15 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário seleccionados: h/b=20%; h=13%; k=20% | 68 |
| Tabela 16 - Valores anuais demonstrativos da eficiência de inventário com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA da obra de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário seleccionados: h/b=1% e 20%; h=13%; k=20% | 68 |
| Tabela 17 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro α | 71 |
| Tabela 18 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro tempo de abastecimento | 73 |
| Tabela 19 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro custos de encomenda | 74 |

Lista de Abreviaturas

ADI - Average Inter-Demand Interval

AHP – *Analytic Hierarchy Process*

ANN – *Artificial Neural Network*

CI – *Composite Indicators*

DEA – *Data Envelopment Analysis*

EM – *Eigenvalue Method*

ERP - *Enterprise Resource Planning*

GA – *Genetic Algorithm*

IDEA – *Imprecise Data Envelopment Analysis*

MACBETH – *Measuring Attractiveness by a Category Based Evaluation Technique*

MCIC – *Multi-Criteria Inventory Classification*

MRP – *Material Requirement Planning*

SAP - *Systems, Applications and Products*

SBA – *Syntetos-Boylan Approximation*

SES – *Simple Exponential Smoothing*

SKU – *Stock Keeping Units*

WMS – *Warehouse Management System*

1 – Introdução

1.1 - Contextualização do Problema

Os projetos de construção e/ou os seus *outputs* afetam significativamente a sociedade moderna. De tal forma que a importância de uma indústria de construção civil eficaz é inquestionável (Cheung, et al., 2001). Prova disto passa pela sua contribuição ao elevado número de empregos que gera em muitos países. Já em 1998 existiam mais de 111 milhões de trabalhadores da construção civil em todo o mundo (Geneva, 2001).

Em Portugal, o setor económico da construção representava cerca de 5,1% do Produto Interno Bruto no ano de 2012 (INE, 2013). Ou seja, apesar das quebras acumuladas que se têm verificado nos últimos cinco anos no setor da construção civil devido à instabilidade financeira vivida, esta indústria tem ainda um significativo impacto na economia e estabilidade social de Portugal.

Porém, tem-se assistido a uma grande aposta das empresas construtoras portuguesas nos mercados externos como forma de superar os constrangimentos que o setor da construção enfrenta internamente. O sucesso que têm alcançado é representativo e desde 2000 que o setor da construção tem vindo a incrementar a sua presença no exterior, sendo assinalável uma taxa de crescimento médio anual da expansão de 29,8% (Marcelino, 2013).

A Zagope é um dos exemplos de empresas construtoras que como forma de contornar as adversidades tem-se baseado numa estratégia seletiva e de diversificação geográfica. Ao longo dos últimos anos, esta expansão tornou-se tão significativa que entre o total de carteiras de obras que a Zagope possuiu em 2012, apenas uma percentagem menor do que 10% correspondeu a obras portuguesas, tal como se pode ver na Figura 1.

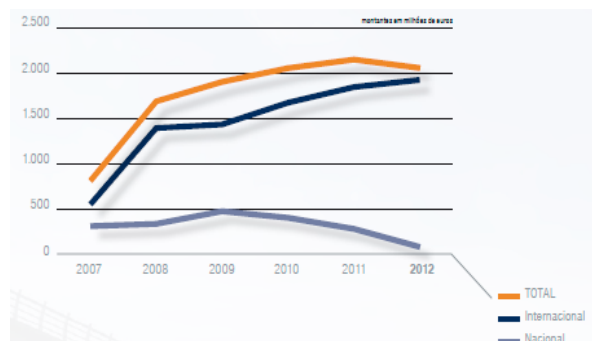


Figura 1 - Carteira de obras da Zagope em 2012 (Zagope, 2012)

Volume de Negócios (Milhares de Euros)

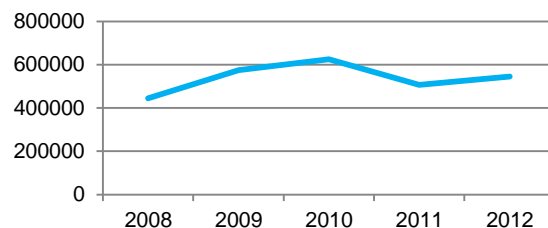


Figura 2 - Evolução do volume de negócios da Zagope desde 2008 (Zagope, 2012)

Associado a este crescimento da atividade operacional externa assistiu-se não só ao incremento tendencial nos resultados (Figura 2), como também à ampliação significativa da complexidade da cadeia logística da construtora.

Ademais, a conjuntura recessiva das economias mundiais, que tem levado à priorização do reequilíbrio das finanças públicas, e a crise de confiança que afeta todos os setores económicos portugueses têm contribuído para uma necessidade de restrição do investimento pela Zagope nas suas operações de expansão.

Deste modo, a combinação destes fatores tornou fulcral o aumento da eficiência nas operações da Zagope, buscando a redução dos custos e a maior precisão das operações. Uma estratégia de simplificação, padronização e uniformização de processos cada vez mais apoiada em tecnologia desenvolvida, foi o caminho escolhido para seguir este objetivo de otimização global. Os exemplos desta estratégia estão na implementação, durante o ano de 2012, de vários sistemas de apoio à gestão, nomeadamente, o *Balanced Scorecard*, o sistema de C.R.M (*Customer Relationship Management*) e um novo ERP (*Enterprise Resource Planning*), o SAP (acrónimo de *Systems, Applications and Products*) (Zagope, 2012).

Contudo, neste processo de melhoria contínua, em implementação pela Zagope, há problemas que ainda persistem e que se pretendem solucionar.

Ao longo da gestão de materiais, quer ao nível do planeamento quer ao nível de inventário, existem lacunas típicas que são apontadas ao setor da construção. Também na Zagope, foram identificadas lacunas a este nível. Atualmente a Zagope tem cerca de 4800 equipamentos, e nos seus componentes de manutenção, por influência de diversos fatores, entre eles as falhas no controlo, tem-se assistido a um investimento excessivo em inventário que por vezes acaba por se tornar obsoleto após o desmantelamento das obras pelas quais foi adquirido.

Desta forma, a elevada criticidade de alguns destes itens, o grande capital investido que representam, a instabilidade dos mercados africanos (onde a Zagope opera maioritariamente), os longos tempos de abastecimento das entregas e a natureza incerta da procura destas peças para a manutenção, tornam o controlo do inventário dos materiais de manutenção dos equipamentos fulcral para atingir uma redução nos custos dos projetos.

É neste sentido que surge o presente trabalho. O objetivo passa por reduzir os custos em peças de manutenção de equipamentos através da construção de uma metodologia de controlo de inventário. Pretende-se então rever e analisar as políticas de planeamento de inventário destes itens de maneira a definir procedimentos e métricas que conduzam ao ganho significativo de eficiência neste segmento logístico da cadeia de abastecimento da Zagope.

1.2 - Objetivos do Trabalho

Com este trabalho teve-se como objetivo principal o desenvolvimento de uma metodologia de controlo de inventário adaptável às restrições operacionais da Zagope, e capaz de aumentar a eficiência e reduzir os custos de inventário.

Assim, os objetivos delineados para atingir este objetivo principal foram:

- Contextualização e identificação da relevância do problema em estudo
- Caracterização da Zagope e do problema em análise com incidência na rede logística da Zagope e nas principais atividades que esta inclui no que refere aos itens de manutenção dos equipamentos: planeamento das compras e fluxo de materiais (incluindo entidades, estruturas e ferramentas) desde a identificação da necessidade até à receção no armazém da obra
- Identificação dos principais problemas e restrições no planeamento e controlo de inventário dos materiais de manutenção dos equipamentos

- Caracterização sucinta do portfólio de itens e identificação dos possíveis critérios para segmentação dos mercados e para classificação dos itens de manutenção de equipamentos
- Revisão bibliográfica das principais fases operacionais características de um sistema de gestão de inventário: métodos e critérios de classificação, procura e políticas de controlo
- Definição de uma metodologia de planeamento e controlo de *stocks* de peças de manutenção de equipamentos
- Implementação da metodologia apontando os diferentes cenários/pressupostos, e apresentação/análise dos resultados obtidos
- Variação dos principais parâmetros aplicados na metodologia e análise destas alterações nos resultados finais

1.3 - Metodologia

Neste ponto é caracterizada a metodologia que se seguiu na abordagem do problema em análise ao longo deste trabalho.

Tal como é possível ver na Figura 3, esta metodologia é constituído por 5 fases.

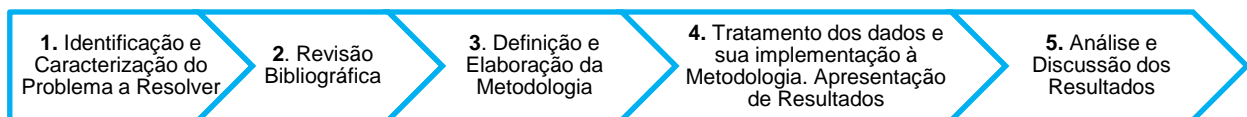


Figura 3 - Metodologia seguida nesta dissertação

1ª Fase - Identificação e Caracterização do Problema a Resolver

Nesta primeira etapa pretende-se descrever a rede logística da Zagope, e as principais atividades que esta inclui no que refere às peças de manutenção dos equipamentos. Assim, os processos de compra destes itens e os seus fluxos, desde que são encomendados até que são entregues no local onde são necessários, serão caracterizados. As entidades, estruturas e ferramentas envolvidas nestes fluxos serão identificadas, e os fatores que potencialmente influenciam a gestão de *stocks* serão enunciados. Ainda nesta etapa, serão identificados os principais problemas no planeamento e controlo de inventário das peças de manutenção dos equipamentos. O portfólio destes itens em *stock* será sucintamente caracterizado, e os possíveis critérios de seleção das obras e de caracterização dos itens a analisar serão assinalados de forma a traçar os possíveis segmentos de estudo.

2ª Fase – Revisão Bibliográfica

Nesta segunda fase o objetivo passa por procurar informações provenientes de pesquisas científicas que sustentem a análise do problema estudado neste trabalho. Assim, pretende-se selecionar a revisão bibliográfica relevante para o problema identificado na primeira fase. Temas como: classificação de inventário, políticas de inventário, decisões e métricas de controlo de inventário e ferramentas de análise de peças de reparação de equipamentos serão analisados nesta revisão, na tentativa de encontrar considerações aplicáveis ao estudo do problema focado neste trabalho.

3ª Fase - Definição e Elaboração da Metodologia

Na terceira fase tem-se como objetivo a construção de uma metodologia de controlo de *stocks* de peças de manutenção de equipamentos fundamentada na informação recolhida na segunda fase.

4ª Fase – Tratamento dos dados e sua implementação à Metodologia. Apresentação de Resultados

Nesta fase realiza-se um levantamento e análise dos dados necessários à implementação da metodologia definida na fase anterior. Ainda nesta etapa, procede-se à implementação da metodologia a estes dados, caracterizando-se os pressupostos, descrevendo e discutindo também os resultados que daí resultaram.

5ª Fase - Análise e Discussão dos Resultados

O objetivo desta fase passa pela realização de uma análise comparativa dos resultados obtidos aquando da variação de certos parâmetros em relação aos resultados obtidos na etapa anterior.

1.4 - Estrutura do Trabalho

A estrutura seguida neste trabalho é a seguinte:

- No presente capítulo apresenta-se a contextualização e a importância do problema em estudo, assim como, a metodologia a seguir na sua abordagem e os objetivos que se pretendem alcançar neste projeto;
- No segundo capítulo é descrito o problema em estudo. Como tal o processo logístico dos materiais de manutenção dos equipamentos é caracterizado, focando o planeamento das compras e o fluxo de materiais desde a identificação da necessidade até à sua receção no armazém da obra. Os principais problemas no planeamento e controlo de inventário das peças de manutenção dos equipamentos são também assinalados. Por fim, são indicados os critérios para definição da possível estratégia de segmentação dos mercados e itens analisar;
- No terceiro capítulo procede-se à revisão bibliográfica dos principais tópicos identificados no capítulo anterior. Deste modo, os temas sobre os quais se incide são: métodos de classificação das peças de manutenção a analisar aquando da definição de políticas de controlo de inventário, principais políticas de inventário, métricas de controlo de inventário;
- No quarto capítulo caracteriza-se a metodologia desenvolvida, e descreve-se a ligação das suas diferentes fases com o problema em análise;
- No quinto capítulo apresentam-se e caracterizam-se os dados a aplicar à metodologia desenvolvida no ponto anterior, descreve-se a sua aplicação e os resultados que daí advêm;
- No sexto capítulo variam-se os parâmetros mais importantes do modelo e analisa-se a sua influência nos resultados em termos de custos e eficiência de inventário;
- No sétimo e último capítulo apresentam-se as principais conclusões do trabalho, bem como possíveis considerações para trabalho futuro.

2- Caso de Estudo

2.1 - Introdução à Zagope

Este trabalho propõe-se a estudar a metodologia de controlo de inventário das peças de manutenção dos equipamentos da Zagope - Construções e Engenharia S.A., a maior exportadora no setor da construção em Portugal no ano 2013, e a sétima empresa portuguesa que mais exportou neste mesmo ano (Marcelino, 2013). Presente em mais de 22 países representados na Figura 4, a Zagope é a terceira maior empresa de construção portuguesa especializada em Obras Públicas. A sua fundação data a 1967, e atualmente reúne mais de 8000 colaboradores. A Zagope tem-se dedicado à construção de estradas, ETAR's, caminho de ferro, infraestruturas, pontes, viadutos, barragens, condutas, portos, metros, aeroportos e túneis. A sede desta empresa localiza-se em Oeiras.



| | |
|------------------|--------------------|
| Alemanha | Índia |
| Angola | Irão |
| Arábia Saudita | Iraque |
| Argélia | Líbia |
| Azerbaijão | Mali |
| Camarões | Mauritânia |
| China | Moçambique |
| Emirados Árabes | Nigéria |
| Unidos | Portugal |
| Espanha | Qatar |
| Gana | República da Guiné |
| Guiné Equatorial | República do Congo |
| Grécia | Rússia |
| Ucrânia | |

Figura 4 - Representação geográfica da Zagope nos mercados internacionais (Zagope, 2012)

Desde 1988 a Zagope pertence ao grupo brasileiro Andrade Gutierrez (AG). Fundado em 1948, em Minas Gerais no Brasil, o Grupo Andrade Gutierrez iniciou a sua atividade no setor da construção civil. No início dos anos 90, seguindo uma política de diversificação de negócios, o grupo Andrade Gutierrez envolveu-se em diferentes áreas, e hoje atua em setores como o das Telecomunicações, Concessões, Geração de Energia, Fundos de Investimento e Serviços de Saúde, para além da Engenharia e Construção. Em 2012, o Grupo Andrade Gutierrez reunia 207289 colaboradores e encontrava-se entre as 100 maiores empresas brasileiras (91ª posição) (Exame, 2012).

As áreas de Engenharia e Construção no Grupo Andrade Gutierrez são da responsabilidade da Construtora Andrade Gutierrez e da Zagope. Nos mercados da América Latina quem opera é a Construtora Andrade Gutierrez, e nos mercados da Europa, África e Ásia quem atua é a Zagope.

Foi desde o ano de 2004, que a Zagope perspetivando uma conjuntura económica pouco favorável para o setor da construção em Portugal, optou por seguir a estratégia de internacionalização que a caracteriza nos dias de hoje. Em 2012, cerca de 86% da faturação da Zagope correspondeu à sua ação internacional.

2.2 - Caracterização do Problema/Caso de Estudo

Neste capítulo pretende-se caracterizar o problema em análise. Esta descrição é feita com base nas informações e dados recolhidos em entrevistas com o responsável e outros colaboradores da área de manutenção de equipamentos, e ainda com o apoio do responsável do departamento logístico da Zagope, em visitas ao estaleiro de Palmela e à sede da Zagope em Oeiras.

2.2.1 - A Operação da Zagope

A Zagope executa obras públicas essencialmente no continente africano e os seus clientes são na sua maioria as entidades estatais dos respetivos países.

Quando visualiza uma oportunidade de desenvolvimento de projeto, o Departamento Técnico da Zagope inicia o processo de execução do orçamento a apresentar ao concurso. Esta fase pode dar-se, consoante o projeto, de dois modos: se o cliente fornecer o plano de conceção do projeto, no qual todas as diretrizes de planeamento estão delineadas, o Departamento Técnico ocupa-se essencialmente da orçamentação a apresentar na proposta técnica; se o cliente apenas dá informação do objetivo da construção a executar, o Departamento Técnico, tem a responsabilidade de planejar o projeto de conceção e só depois então orçamentar o mesmo. Para avançar com a candidatura, ou seja, apresentar a proposta técnica, o conjunto de recursos *inputs* que a Zagope perspetiva para o projeto tem de perfazer um valor mínimo de 80 milhões de euros.

Após apresentar a proposta técnica, esta vai a concurso. No caso do cliente ficar interessado em contratar a Zagope para executar o projeto, ambas as entidades entram em fase de negociação.

A obra apenas é adjudicada quando a Zagope apresenta uma garantia bancária ao cliente. A fase de execução da obra inicia-se assim quando a consignação é dada pelo cliente à Zagope.

É após esta consignação que o Departamento de Produção passa a desenvolver o projeto de execução a apresentar à Direção. Nesta fase, as condições da área onde o projeto será desenvolvido são analisadas, as fases do projeto e os objetivos de cada uma delas são delineados e as curvas de produção e de *cash-flows* são previstas. Assim que o planeamento do projeto está completamente definido, a sua execução inicia-se.

A maturidade dos projetos depende dos objetivos definidos à partida e das características das obras. Em média, os projetos desenvolvidos pela Zagope duram cerca de dois anos, podendo para os projetos de grandes dimensões atingir os sete anos.

A Zagope, empresa contratada, instala-se nas zonas de desenvolvimento da obra e dá início à execução da mesma. É nesta etapa que as atividades logísticas começam a ganhar mais importância pois, dado que os locais onde as obras se desenrolam – essencialmente, continente africano - são pouco desenvolvidos, a garantia de que todas as condições básicas de qualidade de vida estão reunidas é essencial para a sobrevivência das pessoas que lá vão trabalhar. Esta fase é ainda importante para reunir todos os suprimentos necessários à iniciação e desenvolvimento dos projetos.

2.2.2 – Planeamento das Compras

A disponibilidade de todas as peças de manutenção dos equipamentos nos armazéns das obras em desenvolvimento pela Zagope é assegurada pela articulação entre as diferentes entidades da cadeia logística. Esta articulação funciona na maioria das vezes na base de um sistema *ad hoc*, cujo reconhecimento da necessidade do material na obra origina o seu fluxo.

No projeto de execução existe um planeamento de fases que permite quer a projeção dos equipamentos necessários a cada fase do projeto quer a delineação dos respetivos planos de manutenção preventivos. Estes planos baseiam-se na previsão dos momentos de manutenção de

todos eles, que por seu turno, assenta no cruzamento das horas de trabalho previstas para os equipamentos e das recomendações fornecidas pelos seus fornecedores.

Contudo, dada a influência de vários fatores (caracterizados no desenvolvimento do ponto 2.2.4.2), esta projeção quase sempre se afasta das necessidades reais. A fim de se tentar garantir a disponibilidade dos equipamentos necessários às operações da obra, verifica-se um controlo das compras das peças de manutenção, realizado pelos responsáveis das obras ou pelos responsáveis da área de manutenção dos equipamentos. Estas entidades identificam periodicamente, ao longo do desenvolvimento do projeto, a fase em que o projeto se encontra e os respetivos objetivos delineados no projeto de execução. Assim, programam as tarefas a executar no futuro próximo, determinando as necessidades de compra de peças de manutenção para os equipamentos de forma empírica.

Uma das ferramentas utilizadas para este controlo, pelo gerente de obra e pelo responsável pela área da manutenção de equipamentos, foi criada pela Zagope. Esta ferramenta consiste num *software*, no qual as horas que cada máquina trabalha durante a execução da obra são registadas. Por comparação, este *software* alerta para a aproximação do momento de manutenção dos equipamentos quando as horas de trabalho por equipamento estão próximas de igualar o limite recomendável para nova vistoria pelo fornecedor.

Para além da identificação da necessidade de equipamentos e materiais de manutenção via planeamento e controlo de operações, a outra forma de iniciar o fluxo destes itens pode surgir de uma necessidade operacional, que aparece inesperadamente no decorrer da execução da tarefa que suscita a necessidade. Estas carências são consideradas necessidades urgentes e são usadas na manutenção corretiva de falhas inesperadas nos equipamentos.

2.2.3 – Fluxo de Materiais e Inventário

Na Zagope, os itens em inventário dividem-se em três grupos:

- **Matérias-primas:** elementos adquiridos pela empresa que são sujeitos a transformação ou processamento antes da aplicação dos mesmos.
 - Exemplos: Cimento, Areia, Brita, Madeira.
- **Materiais:** Elementos que se podem incorporar ou interagir diretamente com as atividades da obra sem ser necessária a sua transformação ou processamento, incluindo ferramentas.
 - Exemplos: Tijolos, Vidros, Loiça Sanitária, Peças para a manutenção de equipamentos (Rodas, Rolamentos, Juntas, *Orings*, Filtros, Amortecedores de suspensão, Pneus, etc.)
- **Equipamento:** São os bens adquiridos e inventariados que são identificados como património da empresa.
 - Exemplos: Escavadoras, Camiões, Geradores, Buldózers, Carrinhas *Pick-ups*, etc.

Os processos de compra e o respetivo fluxo das matérias-primas e dos materiais desenrolam-se segundo a mesma sequência de fases, enquanto que a aquisição de equipamentos caracteriza-se por um conjunto de procedimentos diferente.

Em 2013 a Zagope iniciou o processo de implementação de um ERP, o SAP, no qual incluiu 4 módulos diferentes: Contabilidade, Contabilidade Analítica, Financeira e Logística (não incluindo WMS - sistema de gestão de armazéns). A fase de introdução do SAP nos mercados onde a Zagope opera tem sido progressiva (tendo iniciado em Angola em janeiro/fevereiro 2013), e como tal, no decorrente ano esta ferramenta ainda não se encontra instalada em todas as obras da Zagope.

A implementação do SAP veio influenciar os processos de aquisição de itens. Assim, pela dispersão das suas obras e pela necessidade de compra de materiais em diversos locais, a empresa passou a caracterizar diferentes tipos de fluxos de materiais em função do tipo de processo de compra e do tipo de itens adquiridos:

- Fluxo de materiais e matérias-primas quando o processo de compra é realizado através do Sistema SAP pela obra;
- Fluxo de materiais e matérias-primas quando o processo de compra é realizado através do Sistema SAP pelos Aprovisionamentos Corporativos;
- Fluxo de materiais e matérias-primas quando o processo de compra é realizado sem Sistema SAP pela obra – obras sem o ERP instalado;
- Fluxo de equipamentos quando o processo de compra é realizado pela obra com auxílio do sistema SAP;
- Fluxo de materiais e matérias-primas quando as compras são realizadas pela obra no próprio mercado - Compras por caixa.

As compras por caixa têm-se tornado cada vez mais representativas porém não entram na contabilização de *stocks* do sistema SAP. Estas compras realizam-se aos fornecedores locais e a aplicação dos itens adquiridos por este meio deve ser direta na obra que os requer. Utilizam-se para as necessidades urgentes (descritas acima) e para aquisição de itens de valor monetário pouco representativo, daí a autoridade que autoriza a compra poder ser um gerente de área/obra (baixos níveis da alçada de aprovações de compras).

Apenas existem dados históricos dos materiais de manutenção de equipamentos em inventário (informaticamente compilados) para as obras onde a ferramenta SAP já está instalada. Para além disto, o objetivo da empresa passa por implementar esta ferramenta de gestão em todas as suas obras. Assim, os fluxos relevantes para análise são os que se referem: às compras de materiais de manutenção de equipamentos através do Sistema SAP pelas obras e pelos Aprovisionamentos Corporativos. De seguida passar-se-á à descrição destes fluxos.

2.2.3.1 – Fluxo de Materiais de Manutenção através da utilização do Sistema SAP pela Obra ou pelos Aprovisionamentos Corporativos

Após a identificação da necessidade do material de manutenção, um dos colaboradores da obra emite a Solicitação de Material, que deve ter aprovação do responsável da área de manutenção dos equipamentos, e entrega-a ao responsável do armazém para este dar seguimento do processo em sistema. A Solicitação de Material é o documento utilizado pelo colaborador que identifica a necessidade de compra de um material que interage com a obra, não incluindo artigos de baixo valor, e descreve: número da solicitação de material; quantidade e unidade; código SAP; descrição;

solicitação “atendida” (via *stock*) ou “para compra”; data para a entrega; natureza (normal, urgente ou máquina parada); indicação se é necessária aprovação do cliente, quando aplicável; anexos; observações; a sugestão do local da Compra (Interna, quando se trata de compra no mercado; ou Exterior, via Portugal ou Brasil); Financiamento (mencionar se existe e sua identificação); a sugestão do tipo de transporte (aéreo / marítimo / transportador); no caso de peças, refere sempre se deve ser original ou não original; dados do equipamento; aplicação / plano de contas / elemento PEP.

Após a emissão e entrega da Solicitação de Material ao armazém, o responsável da obra tem de dar a sua aprovação.

Assim que a aprovação se concretiza, o responsável de armazém verifica se o material requisitado está registado em sistema e se não existe em *stock*. Quando não existe em *stock*, o responsável de armazém procede à emissão da Requisição de Compra de material.

De seguida, o comprador SAP (que pode ser o responsável de armazém) seleciona no mínimo três fornecedores, que podem estar ou não estar registados em sistema. Aquando da seleção destas entidades, são emitidas Solicitações de Cotação no Sistema. Estas solicitações correspondem aos pedidos de propostas de orçamento aos fornecedores selecionados. Para além das Solicitações de Cotação enviadas aos fornecedores, podem ser enviadas Solicitações de Cotação para os dois departamentos de compras corporativos que existem para além do departamento interno (compra no mercado da obra), localizados em Portugal e no Brasil.

Nos departamentos de compra localizados no Brasil e em Portugal, verifica-se novamente a Requisição de Compra no SAP, mas desta feita pelas entidades em questão. De seguida, selecionam-se três fornecedores, no mínimo, diferentes dos já selecionados pelo comprador SAP, e cuja proximidade negocial é mais significativa, e emitem-se as Solicitações de Cotação para os fornecedores escolhidos. Logo que as propostas destas entidades estão reunidas, as mesmas são enviadas para os compradores das obras.

Assim que as diversas propostas estão inseridas e consolidadas no SAP, o comprador SAP ou o responsável da obra/área decide qual o fornecedor que responderá à necessidade.

Dependendo de qual o fornecedor selecionado as fases do processo de compra que se seguem adotam características diferentes, tal como se pode ver na Figura 5. Se o fornecedor escolhido provém de uma das propostas dos departamentos de compras corporativos não internos, o respetivo departamento tem de emitir o Pedido de Compra e esperar pela aprovação do mesmo. Esta aprovação é dada, em função do orçamento da compra, por uma das entidades da alçada: Gerente de área, Gerente de obra, Gerente de operação de obras, Superintendente, COO/Presidente ou VP. Quando a aprovação é conseguida, o Pedido de Compra é enviado ao fornecedor escolhido e verifica-se o arquivo da documentação da compra.

Por outro lado, se o fornecedor escolhido provém de uma das propostas do departamento interno, então este inicia a fase da Negociação Comercial, emite o Pedido de Compra no sistema, e após a aprovação por uma das entidades da alçada, o Pedido de Compra ao Fornecedor é-lhe enviado e verifica-se o arquivo da documentação da compra.

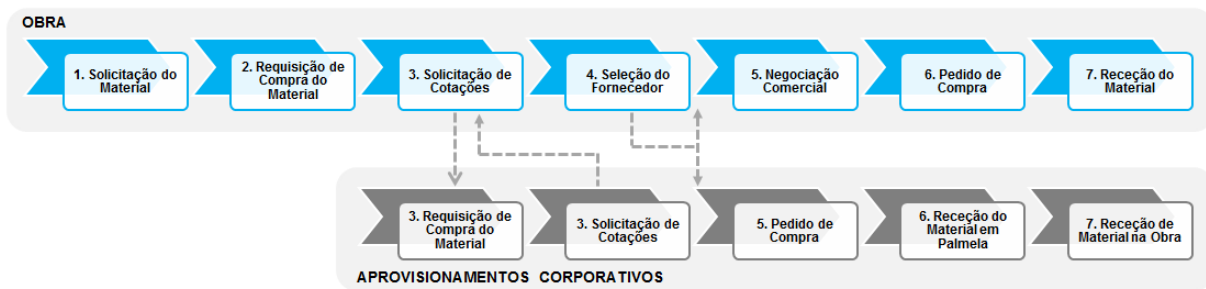


Figura 5 - Diagrama do fluxo de materiais de manutenção quando o processo de compra é realizado através do sistema SAP pela obra ou pelos aprovisionamentos corporativos

Conforme as distâncias aos fornecedores, os custos e condições de transporte que estes apresentam, a presença ou não de distribuidores com rotas para os países destino onde as obras decorrem e a entidade que tratou da compra, os materiais de manutenção dos equipamentos são sujeitos a diferentes trajetos.

Se a compra dos materiais de manutenção dos equipamentos for feita apenas pelos compradores do mercado, a receção pode ser direta na obra, no entreposto central do mercado (apenas para mercados que têm entreposto, apenas Angola tem) ou no entreposto em Palmela.

Se a compra envolver o departamento corporativo de Portugal, verifica-se sempre uma receção em Palmela (centro EXPT - Exportação) e só depois outra receção no mercado.

A Zagope tem uma configuração física permanente reduzida dado que as estruturas de armazenamento dos materiais que vai desenvolvendo junto às obras são de carácter temporário. Em termos de armazéns fixos, a Zagope possui um entreposto em Palmela, Portugal, e um entreposto em Angola. Por seu turno, o número de armazéns temporários iguala-se ao número de obras que a Zagope está a executar.

O entreposto em Palmela funciona como um ponto de consolidação das cargas que têm o mesmo destino. Assim, os materiais apenas permanecem neste armazém o tempo necessário para que a quantidade total de cargas com o mesmo destino perfaça o montante necessário ao seu despacho, ou o intervalo de tempo pré-determinado entre contentores enviados via marítima (10 em 10 dias) seja atingido.

O entreposto de Angola funciona como um centro de distribuição *cross-docking*, e ainda como central de compras para todas as obras em Angola. Neste mercado, os processos de compras de todas as obras são maioritariamente realizados por esta central de compras pois na capital há mais recursos. Os materiais que são rececionados neste armazém são transferidos para as respetivas obras de solicitação.

Desta forma, as duas principais rotas dos materiais são: partem do local de fornecimento diretamente até ao local da obra por meio de um ou vários meios de transporte; partem do local de fornecimento até ao estaleiro de Palmela da Zagope, onde permanecem temporariamente até serem enviados para as obras requerentes via marítima ou via aérea.

Excecionalmente para os materiais cujo destino são obras localizadas em Angola, as principais rotas que se definem são: itens vão diretamente do fornecedor para a obra ou para o estaleiro central, onde depois são distribuídas pelas obras; os itens partem do local de fornecimento até ao estaleiro de

Palmela, são enviados para Angola via marítima ou aérea e rececionados no estaleiro central, a partir de onde são depois distribuídos pelas obras.

Cada vez que os materiais de manutenção dos equipamentos são rececionados em algum dos pontos físicos da Zagope, esta informação é introduzida em sistema SAP.

Contudo, no que refere às compras realizadas pela entidade exportadora do Brasil, visto que esta entidade não tem acesso ao sistema SAP implementado na Zagope, o registo das diferentes fases do fluxo destes itens em sistema são realizadas pelo departamento interno da obra. Assim, os dados dos fluxos dos itens comprados ao Brasil estão agregados (e sem ressalva de diferenciação) com os dados dos fluxos dos itens comprados internamente.

O fluxo dos materiais e equipamentos conclui-se quando há receção na obra e colocação do respetivo item em *stock* no SAP.

2.2.4 - Problemas e Restrições no Planeamento e Controlo de Inventário dos Materiais de Manutenção de Equipamentos

A rede logística da Zagope e as principais atividades que esta inclui no que refere aos materiais de manutenção de equipamentos não se tem mostrado suficientemente eficiente e robusta. Por consequência tem conduzido a custos elevados de inventário, devido a peças que acabam por se tornarem obsoletas aquando do desmantelamento de cada obra. Assim, neste ponto pretende-se descrever alguns dos problemas e restrições detetados no atual planeamento de compras e fluxos destes itens, tentando perceber em que medida estes fatores poderão condicionar a definição das políticas de controlo de inventário.

2.2.4.1 – Tempos de Abastecimento

Na Zagope o tempo decorrente desde a perceção da necessidade do material de manutenção de algum equipamento até à receção do respetivo item em armazém nunca foi precisamente calculado. Contudo, prevê-se que este valor se aproxime dos quatro meses quando se trata de um fluxo de materiais de manutenção cujo processo de compra é realizado através do Sistema SAP pelos Aprovisionamentos Corporativos.

A existência em inventário de materiais de manutenção de equipamentos em excesso, que conduz a custos afundados aquando do desmantelamento das obras, deve-se em grande parte ao longo tempo de abastecimento (*lead time*) que os responsáveis perspetivam para a chegada dos seus pedidos. A insegurança do continente africano em termos de infraestruturas rodoviárias e estado social acrescenta-se a isto, de tal modo que o *stock* de segurança dos itens em análise aumenta na tentativa de assegurar a disponibilidade de todos os materiais e consequentemente de todos os equipamentos para que estes servem.

Sempre que um material de manutenção falha no armazém da obra e um dado equipamento crítico para a operação da obra o exige para funcionar, a insegurança aumenta e os *stocks* de segurança incrementam para níveis exagerados.

Os fatores que se descrevem como maiores contribuintes para o grande valor dos tempos de abastecimento são: o tempo de transporte – frete de navio ou avião; a necessidade de crédito para a

aquisição de um dado item, que por implicar aprovação pode atrasar bastante o processo de compra; tempo decorrido durante a aprovação dos membros das alçadas aquando de algumas fases do processo de compra; tempo de resposta dos fornecedores na resposta aos pedidos; tempo do despacho alfandegário (para o frete oceânico) que varia de país para país de importação mas que pode sustentar as cargas no porto por períodos longos que já chegaram a atingir os três meses.

O cálculo do tempo de abastecimento e a sua análise podem ser realizados, uma vez que, a data de cada uma das fases do fluxo dos materiais de manutenção, quando o processo de compra é realizado através do Sistema SAP pela obra ou pelos Aprovisionamentos Corporativos, é registada no ERP implementado. A sua contabilização poderá contribuir para a definição de medidas de controlo de inventário adequadas às necessidades e operações da Zagope.

2.2.4.2 – Avarias Inesperadas e Variabilidade dos Intervalos entre Manutenções

Para além dos fatores descritos no ponto anterior, existem outros fatores que influenciam os níveis de inventário de materiais de manutenção de equipamentos em cada obra.

Como descrito no ponto 2.2.2 existe um plano de manutenção dos equipamentos, delineado a partir do projeto de execução, no início de cada obra que permite prever algumas das necessidades de materiais de manutenção de equipamentos com antecedência. Porém, devido a fatores como: avarias inesperadas dos equipamentos (não consideradas no plano de manutenção preventivo realizado), e condições ambientais ou de crédito financeiro que exigem alterações nos turnos, e que podem conduzir à sobreutilização ou subutilização dos equipamentos, este plano de manutenção normalmente afasta-se das necessidades reais dos equipamentos ao longo do decorrer da obra.

Deste modo, verifica-se a existência de agentes incontornáveis como: a variabilidade dos intervalos entre manutenções e a probabilidade de avarias inesperadas que acrescentam aleatoriedade à procura de peças de manutenção de equipamentos pelas obras.

A Zagope reconhece esta incerteza nas necessidades de peças de manutenção como umas das causas para a ineficiência do controlo de inventário destes itens em cada obra. Todavia, não existem metodologias desenvolvidas pela Zagope no sentido de prever estas possíveis falhas.

2.2.4.3 – Constrangimento Logístico

A dispersão geográfica que se verifica entre as obras da Zagope impossibilita a troca de itens entre obras, dado que o custo de transporte resultante desta troca não compensaria. Assim, quando materiais de manutenção de equipamentos são detetados tardiamente em excesso no inventário de uma dada obra, tornam-se obsoletos. A exceção a este constrangimento acontece em mercados onde a Zagope tem mais do que uma obra a decorrer e a separação geográfica entre elas não se revela grande. Desta forma, a dispensa de um dado material de manutenção, em excesso numa obra, para outra obra cujo material está em falta, torna-se possível. O custo destes materiais, que com grande probabilidade tornar-se-iam obsoletos, é tomado pela obra que os adquire.

Este constrangimento realça a importância de um controlo de inventário mais eficiente e restritivo.

2.2.5 - Critérios para Definição das Possíveis Estratégias de Segmentação dos Mercados e Itens a Analisar

A maior representatividade da Zagope em países do continente africano é um fato adquirido. Dado o subdesenvolvimento deste continente e outros fatores já descritos nos pontos anteriores, a gestão de materiais torna-se bastante complicada e o risco de custos afundados em inventário aumenta significativamente. Deste modo, interessa focar este estudo nas obras em execução neste continente. Entre estas, uma vez que os dados para análise só estão disponíveis nas construções cujo sistema SAP já está implementado há tempo suficiente para a recolha de informações, as obras que são potenciais alvos de estudo estão representadas na Tabela A1 – Anexo 1.

Cada uma destas obras tem inventário de materiais de manutenção de equipamentos em armazém. Porém, como foi referido anteriormente, para além dos armazéns temporários em cada obra, existe inventário nos estaleiros de Palmela e de Angola. Mas nestes locais a permanência dos itens é passageira, tornando o controlo menos relevante.

Um dos objetivos do aumento da eficiência no controlo de inventário passa pela deteção antecipada de itens em excesso que possam ser escoados do armazém da obra sem prejuízo para a mesma. Deste modo, pretende-se que seja possível identificar estes itens com antecipação e vendê-los a outras obras da Zagope ou aos próprios fornecedores. Assim, a análise de obras que estejam próximas geograficamente (no mesmo mercado) possibilitará uma troca de materiais de manutenção de equipamentos entre elas atingindo este objetivo mais rapidamente.

A presença da Zagope em Angola é relevante, e como tal, este é o país que mais se adequa à aplicação desta estratégia de segmentação do mercado a analisar. Por entre as obras possíveis neste mercado (apresentadas na Tabela A1 - Anexo 1) optou-se por analisar as obras denominadas por: BMX, NGOL e MECC.

De forma a perceber quais os níveis de inventário que aproximadamente se analisarão neste estudo tendo em conta a seleção destes mercados, contabilizaram-se os itens em armazém em cada uma das 3 obras seleccionadas em Angola em 4 datas diferentes. Como se pode auferir a partir das Figuras 6 e 7, em termos médios, os materiais de manutenção de equipamentos representavam cerca de 66%, 58% e 77% do valor monetário total de itens (materiais e matérias-primas) em inventário respetivamente nas obras BMX, NGOL e MECC, a 10 de dezembro de 2013.

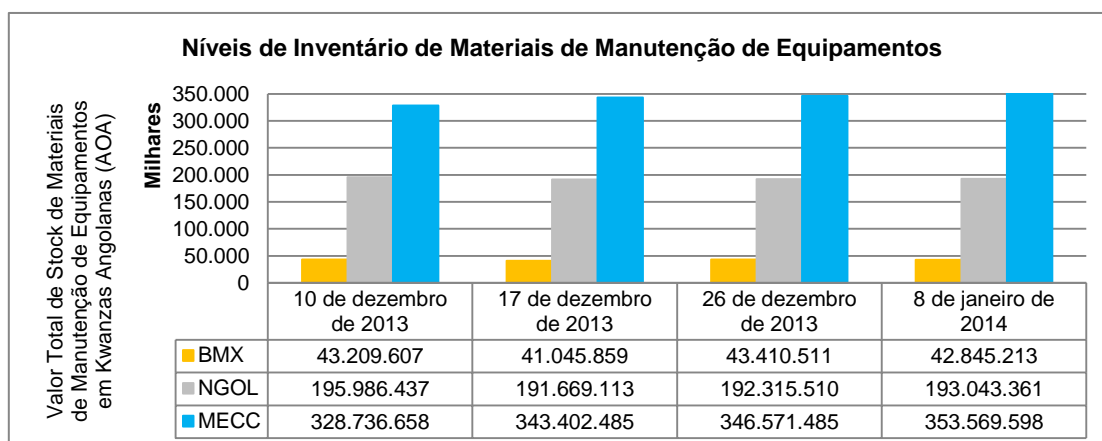


Figura 6 - Níveis de inventário de materiais de manutenção de equipamentos nas obras angolanas a analisar

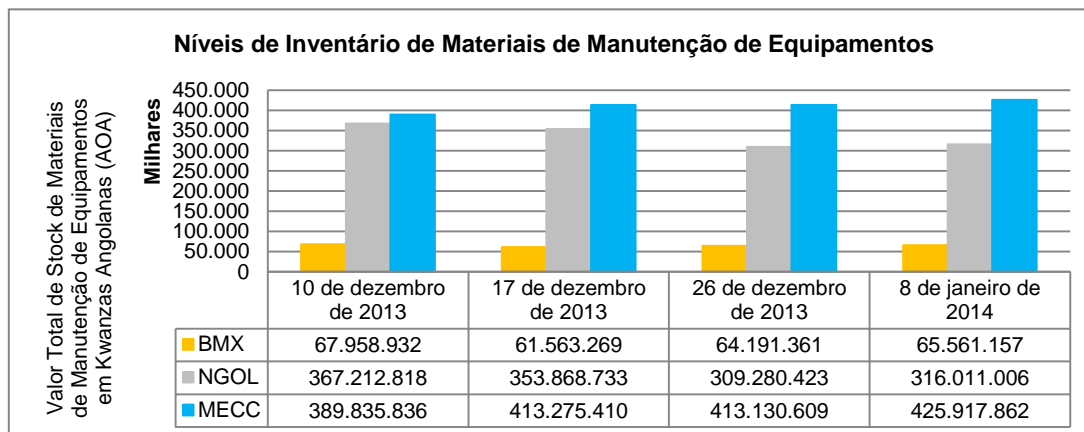


Figura 7 - Níveis de inventário total de materiais e matérias-primas nas obras angolanas a analisar ao longo desta dissertação

Os departamentos de compras da Zagope identificam mais de 90 grupos de mercadorias em todos os armazéns. No que refere aos materiais de manutenção de equipamentos contabilizam-se cerca de 55 grupos de materiais, sendo que cada um deles inclui no mínimo 2 tipos de materiais. Deste modo o total de materiais de manutenção perfaz no mínimo uma quantidade superior a 110 itens. Cada 'Grupo de Mercadorias das Compras' tem um número correspondente começando no B01 até B90, B91,...., e assim por diante.

Para além do atributo 'Grupo de Mercadorias das Compras', a Zagope considera outros atributos na caracterização dos materiais de manutenção de equipamentos. Entre eles destacam-se: 'Classificação do Item' (peças; materiais de consumo; combustíveis, desgaste, material rodante, lubrificantes); Referência de Fabricante; Grupo de Mercadorias (marca e outras denominações quando o item não tem marca associada); valor monetário por item – Preço Médio Móvel; 'Stock' (quantidade do item em inventário). O atributo 'Grupo de Mercadorias' é importante, pois as peças de manutenção dos equipamentos tendem a ter de ser da marca dos equipamentos a que se destinam.

A título de exemplo, apresentam-se no Anexo 2 algumas das principais características do inventário presente na obra BMX a 10 de Dezembro de 2013. Nesta tabela consideram-se os principais 'Grupos de Mercadorias' presentes e para cada caso o 'Número de Referências' existentes em cada grupo, o número de itens de cada grupo (representado na coluna Stock), o tipo de itens em cada grupo (coluna 'Classificação do Item').

Dado que o objetivo da Zagope passa por reduzir os custos e aumentar a eficiência no controlo de inventário, os critérios que numa primeira análise se consideram fundamentais para conseguir segmentar os materiais de manutenção de equipamentos a analisar são: rotatividade e valor monetário em inventário por referência de item (código de identificação de um item em *stock*). Exemplo: a referência do parafuso CAT 8T4189 é o número 1051957).

Desta forma, pretende-se analisar todos os materiais de manutenção de equipamentos existentes no armazém das obras consideradas. Para tal, e à partida, proceder-se-á à segmentação dos mesmos através de uma análise ABC multicritério (Figura 8). Sendo que para o critério da rotatividade analisar-se-ão com mais detalhe os itens com maior rotatividade (para evitar *stockouts*). Quanto ao critério do valor em inventário por item, considerar-se-á como itens pertencentes à classe A, os que

corresponderem a um valor em *stock* mais elevado. Assim, os itens pertencentes à classe AC representarão os materiais que suscitam maior controlo dado risco de obsolescência, a par com os itens pertencentes à classe AA cujo risco se associa à maior probabilidade de rutura de *stock*.

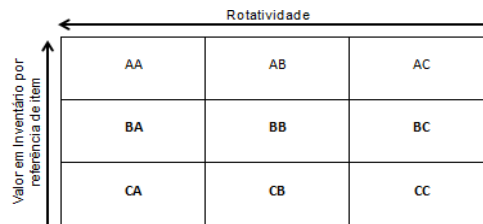


Figura 8 - Análise ABC multicritério usando como critérios rotatividade e valor em inventário por referência de item

2.3 – Conclusões do Capítulo

Neste capítulo caracterizou-se a empresa Zagope, e identificou-se o problema a estudar com detalhe na futura dissertação de mestrado.

A Zagope executa obras públicas na Europa, África e Ásia, e cerca de 86% do volume de negócios desta empresa portuguesa durante o ano de 2012 proveio da sua operação internacional.

O problema a estudar assenta na ineficiente gestão de inventário de peças de manutenção dos milhares de equipamentos que construtora contabiliza no seu ativo.

Os fluxos de materiais de manutenção de equipamentos focados nesta dissertação são aqueles cujo processo de compra é realizado através do SAP pela obra ou pelos Aprovisionamentos Corporativos.

São várias as fases que constituem estes fluxos. Cada uma destas fases é registada no ERP (SAP) utilizado pela empresa sempre que há uma entrada ou saída dos respetivos itens de um dos pontos físicos da rede logística da Zagope.

Existem diferentes problemas e restrições no planeamento de compras e fluxos de materiais de manutenção de equipamentos que condicionam a definição das políticas de gestão de inventário das peças de reparação dos equipamentos. Destes fatores realçam-se: o longo tempo de abastecimento; as avarias inesperadas dos equipamentos e a variabilidade dos intervalos entre manutenções; constrangimento logístico relacionado com a grande distância entre obras.

Por fim, com vista ao estudo que se desenvolverá ao longo desta dissertação propuseram-se critérios de seleção das obras e materiais de manutenção de equipamentos a analisar. As obras de BMX, NGOL e MECC, localizadas em Angola, foram as seleccionadas. No que refere aos materiais de manutenção dos equipamentos sugeriu-se o estudo de todos os itens em inventário, categorizando-os e priorizando as medidas de controlo dos seus *stocks* em função de dois critérios: rotatividade e valor monetário presente em inventário por referência de item.

É neste contexto que o presente trabalho se insere. Pretende-se confirmar ao longo desta dissertação qual a viabilidade destes critérios de seleção. Posteriormente medidas de classificação, planeamento e controlo dos *stocks* dos materiais de manutenção dos equipamentos serão definidas, e analisadas com detalhe de forma a otimizar os resultados da sua implementação.

3 – Revisão Bibliográfica

3.1 – Introdução

Nos trabalhos de construção pesada, como a execução de obras públicas, existe um uso intensivo dos equipamentos. Este facto conduz ao incremento da importância de uma gestão da manutenção dos equipamentos eficiente (Yip, et al., 2014). Peurifoy e Schexnayder (2002) indicam que entre os custos adjacentes ao ciclo de vida de uma máquina, cerca de 37% correspondem a custos com reparações. Deste modo, os custos com a manutenção dos equipamentos são indicados como o componente mais representativo do equipamento e dos custos operacionais. Porém, dada a natureza aleatória do sistema de falhas, este componente é difícil de prever, complicando a tarefa de tomada de decisões (Yip, et al., 2014).

Associados à manutenção dos equipamentos estão os custos com os inventários de materiais de manutenção/reparação, que são foco deste trabalho. Segundo Wang (2012), os custos de manutenção de qualquer sistema estão relacionados com a disponibilidade de peças de reparação e com o custo associado à indisponibilidade das peças no momento em que são necessárias. Este custo traduz-se no tempo de inatividade dos equipamentos, enquanto esperam pelas peças de reparação, e nos custos de expedição rápida com o objetivo de acelerar a entrega das peças necessárias.

A procura de peças de reparação é normalmente gerada pela necessidade de manutenção preventiva ou por falhas (manutenção corretiva). Estas procuras são difíceis de prever com base nos dados históricos do uso das peças, e desta forma, a política de controlo de inventário ótima para estes itens é difícil de obter (Wang, 2012).

Neste contexto e tendo em conta o problema que se objetiva tratar neste trabalho, nomeadamente, definição de uma metodologia de controlo de inventário de materiais de manutenção/reparação de equipamentos, pretende-se explorar neste capítulo os conceitos e métodos já estudados e publicados nesta área. Assim:

Na secção 3.2 é feita uma breve caracterização da cadeia de abastecimento geral do setor da construção.

Na secção 3.3 são revistos os pontos relevantes na gestão de inventário. Para tal, explicitam-se os principais estudos no âmbito geral da classificação e políticas de controlo de inventário.

Na secção 3.4 uma análise à literatura existente de gestão de inventário de *spare parts* é apresentada. Assim, nesta parte as três principais vertentes de gestão deste género de inventário (foco do problema em estudo) são analisadas: classificação de inventário, previsão de procura e políticas de controlo, são estudadas.

Para terminar o capítulo, as principais conclusões das pesquisas já realizadas e apresentadas são enunciadas, assim como a sua aplicabilidade no estudo desta dissertação.

3.2 – Cadeia de Abastecimento da Construção

Os projetos de construção envolvem geralmente um número muito elevado de empresas, materiais, componentes, e também um vasto conjunto de serviços de construção. Desta forma, em grandes projetos, onde o número de organizações de abastecimento diferentes ronda centenas ou até milhares de empresas, as cadeias de abastecimento são extremamente complexas (Dainty, et al., 2001).

A cadeia de abastecimento da construção engloba todos os processos e organizações que constituem um projeto. Os processos começam pela procura do cliente que pretende desenvolver o projeto, desenrolando-se ao longo da fase conceptual, de *design* e de construção até às fases de manutenção, substituição e desativação da construção. Já as entidades que os executam englobam o cliente, *designer*, contratado principal, subcontratado, fornecedor e consultor. Nesta cadeia de abastecimento a rede de relações não é apenas *business-to-business* mas sim uma rede de múltiplas organizações que inclui o fluxo de informação, de materiais, de serviços ou produtos, e o fluxo de capital entre as entidades que a constituem (Xue, et al., 2007).

O cliente do projeto é o cliente final enquanto os fornecedores finais são aqueles que prestam mão-de-obra, materiais e equipamentos. O contratado principal é o fornecedor do cliente do projeto (Meng, 2012).

A indústria da construção é uma indústria orientada pelo projeto (Wegelius-Lehtonen, 2001). Segundo Vrijhoef e Koskela (2000), as cadeias de abastecimento da construção, salvo raríssimas exceções, são normalmente temporárias devido aos contratos *on-off* dos projetos que se desenvolvem. Ou seja, quando os contratos acabam as relações entre as várias entidades que os compõem também tendem a terminar. Assim, sendo estas cadeias de abastecimento também *make-to-order*, para todos os projetos são criados novos protótipos ou produtos que conduzem a uma rede que tende a ser única para cada contrato específico, embora alguns fornecedores e processos referentes a projetos semelhantes possam ser repetidamente aplicáveis (Briscoe, et al., 2001).

Por outro lado, apesar da natureza temporária das equipas dos projetos, a indústria da construção tem tradições bastante enraizadas no que diz respeito à forma através da qual todos os projetos são abordados (Wegelius-Lehtonen, 2001). Tradicionalmente, a logística da construção e o manuseamento dos materiais concentram-se predominantemente nas atividades que ocorrem em cada fase. Desta forma, a cooperação entre os fornecedores e os contratantes para melhoramento do fluxo de materiais não é prioritariamente zelada (Johnston J. , 1981). Jarnbring (1994) concluiu que do tempo total do fluxo de materiais ao longo da cadeia de abastecimento da construção, apenas durante 0,3-0,6% desse tempo é que existe valor acrescentado, e que só na fronteira entre o principal contratado e os fornecedores de materiais existe um potencial médio de redução de custos com materiais de 10% a partir do desenvolvimento dos procedimentos logísticos.

Além de tudo isto, por influência de fatores de incerteza na cadeia de abastecimento como: variação das condições onde o projeto se desenrola; variação das condições de capacidade, entre outros; a produtividade e desempenho da cadeia de abastecimento diminuem (O'Brien, 1995; O'Brien,1998). Deste modo, esta cadeia é tipicamente caracterizada pela existência de instabilidade, fragmentação

e, especialmente, pela separação entre a conceção e a construção do objeto edificado (Briscoe, et al., 2001).

Pode-se dizer que o uso de equipamentos na execução de obras no setor da construção é normalmente intensivo. Associado a este facto, a ocorrência de falhas destes sistemas é um fenómeno em parte aleatório e os fatores de incerteza característicos da cadeia de abastecimento da construção verificam-se repetidamente. Assim, as dificuldades na gestão de inventário dos materiais necessários à manutenção dos equipamentos são frequentes e exigem um notório controlo para evitar custos excessivos.

3.3 – Gestão de Inventário

Uma gestão de inventário eficiente e eficaz ajuda qualquer empresa a manter vantagem competitiva, especialmente neste tempo de globalização acelerada (Silver, et al., 1998). Hoje em dia, todas as organizações competem no mercado global, e como tal as empresas têm de oferecer um nível de serviço ao cliente superior permanecendo competitivas e lucrativas. Uma das chaves para atingir estes objetivos inclui a disponibilidade de bens, traduzida numa eficaz gestão das decisões de inventário em três áreas: custo, nível de serviço e *turnover ratio* (Zeng & Hayya, 1999).

Nas cadeias de abastecimento na área da construção o número de SKUs (*Stock Keeping Units*) que as grandes empresas têm em inventário pode facilmente atingir as dezenas de milhares. Desta forma, torna-se claro que não é possível a delineação de uma política de gestão de inventário para cada SKU individual. A acrescentar a isto, diferentes SKUs representam papéis diferentes no negócio da empresa e, como tal, necessitam de uma gestão com diferentes níveis de atenção (Chen, et al., 2008).

Um grande número de itens em inventário complica o processo de controlo de inventário (Mohammaditabar, et al., 2012). O objetivo da gestão de inventário passa pois pela tomada de decisões com vista à definição dos níveis de inventário apropriados. Na prática, os itens em inventário não podem ser controlados com igual atenção (Chu, et al., 2008). Neste sentido, de maneira a implementar um esquema de controlo de inventário consistente, é necessário decompor este problema em dois subproblemas: classificação dos itens em inventário, agrupando os SKUs em categorias possíveis de gerir e com representatividade, e definição das estratégias/políticas apropriadas de controlo para cada grupo, de acordo com a sua importância para a empresa (Chakravarty, 1981; Mohammaditabar, et al., 2012).

Entre a pesquisa que aborda a otimização da gestão de inventário, os estudos que existem dividem-se em dois grupos principais: pesquisas que estudam apenas as questões de classificação de inventário e as pesquisas que para além deste tópico abordam as políticas de controlo a aplicar às categorias definidas (Millstein, et al., 2014). Porém, acrescentam-se ainda os autores que abordam apenas as políticas de controlo de inventário apropriadas a cada grupo como, por exemplo: *reorder point*, *two-bin systems* e *material requirement planning (MRP)* (Hautaniemi & Pirttilä, 1999).

3.3.1 - Classificação de Inventário

No que refere a esta primeira etapa para definição do esquema de controlo de inventário, existem vários autores que têm estudado o processo de classificação e proposto vários métodos exatos e heurísticos para classificar os inventários satisfazendo diversos critérios (Mohammaditabar, et al., 2012). Pode-se afirmar que entre estes métodos destacam-se: o método de classificação ABC tradicional e os métodos de classificação com múltiplos critérios.

3.3.1.1 - Análise ABC Tradicional

O método cuja implementação da ideia que guia a classificação do inventário é mais conhecida e praticada é o método da classificação ABC, largamente utilizado na indústria. Este foi desenvolvido pela primeira vez por GE em 1950s (Flores & Whybark, 1986; Guvenir & Erel, 1998) e baseia-se no Princípio de Pareto (Ramanathan, 2006).

No século dezoito, Vilfredo Pareto, num estudo de distribuição da riqueza em Milão, observou que 20% das pessoas controlavam 80% da riqueza. Esta lógica dos poucos que têm grande importância e dos muitos que têm uma pequena importância é denominada por Princípio de Pareto (Chu, et al., 2008). Embora os valores exatos variem de indústria para indústria, a regra 80-20, representativa deste princípio, pode ser aplicada em muitas situações do mundo real (Chen, et al., 2008). Uma destas aplicações verifica-se nos sistemas de inventário onde poucos itens representam a maioria do investimento (Chu, et al., 2008).

A análise ABC é fácil de usar e simples de perceber por um gestor de materiais médio. Normalmente, os itens são classificados com base no valor de utilização anual que representa a procura anual do produto e o seu preço médio unitário. Os itens da classe A são relativamente poucos em número mas constituem uma relativamente grande quantidade de valor de utilização anual, enquanto que os itens da classe C estão relativamente em grande número mas constituem uma pequena quantidade de valor de utilização anual. Entre os itens pertencentes às duas classes acima descritas encontram-se os itens que constituem a classe B (Ramanathan, 2006).

De forma sucinta, este método resume-se pela divisão dos itens em inventário nos três grupos seguintes (Chu, et al., 2008):

- Itens A (itens de grande valor que exigem maior esforço e atenção pela gestão de inventário): 15-20% dos itens contabilizam 75-80% do valor de inventário anual total;
- Itens B (itens de valor médio): 30-40% dos itens contabilizam aproximadamente 15% do valor de inventário anual total;
- Itens C (itens de valor baixo com menor importância): 40-50% dos itens contabilizam 10-15% do valor de inventário anual total.

Estas classificações podem não ser sempre exatas, mas encontram-se perto das ocorrências que se verificam nas empresas com precisão notável (Swamidass, 2000).

Apesar de tudo isto, ao método de classificação ABC clássico são apontadas algumas desvantagens que tornam a sua aplicação ineficiente para a gestão de inventário de algumas empresas. Entre estas desvantagens destacam-se:

- Não existência de uma diretriz bem definida na literatura para determinar o nível de serviço a atribuir a cada grupo (Teunter, et al., 2010a) após a definição dos mesmos.
- Não exploração da correlação entre as decisões de agrupamento tomadas e as posteriores decisões do nível de serviço a atribuir a cada grupo. O que se traduz em decisões subótimas (Millstein, et al., 2014).
- Como o orçamento disponível não é considerado na aplicação do método ABC e consequente abordagem de controlo, não existe garantia de que os agrupamentos e/ou as decisões de nível de serviço tomadas sejam possíveis (Millstein, et al., 2014).
- A sua aplicação resulta quando o inventário é bastante homogéneo e a principal diferença entre os itens passa pelo seu valor de utilização anual (Ramanathan, 2006). Na prática uma organização mesmo de tamanho moderado tem um controlo de milhares de itens em inventário que tendem a não ser muito homogéneos (Ramanathan, 2006). Para além disto, embora o custo ou valor do inventário seja um critério de importância determinante para classificação dos SKUs no sistema de inventário, existem muitos outros critérios que podem também merecer a atenção da gestão, e afetar a classificação dos SKUs. Por exemplo, nas indústrias tecnológicas, algumas partes/componentes tornam-se obsoletas num curto espaço de tempo, e como tal o seu controlo em inventário deve ser apertado (Chen, et al., 2008).

Dado isto, a tradicional análise ABC tem sido geralmente reconhecida como não sendo capaz de fornecer uma boa classificação dos itens em inventário (Guenir & Erel, 1998; Partovi & Anandarajan, 2002; Huiskonen, 2001). Existem muitos exemplos de outros critérios de classificação que se tornam relevantes para além do valor de utilização anual (Guenir & Erel, 1998), e cuja aplicação depende da natureza da indústria (Flores & Whybark, 1986). Alguns dos critérios que têm sido considerados na literatura são: custo de inventário, criticidade da parte, tempo de abastecimento, vulgaridade, obsolescência, substituíbilidade, número de pedidos por item num ano, escassez, durabilidade, grau de reparabilidade, tamanho das encomendas requeridas, *stockability*, distribuição da procura e o custo de *stock-out* (Hautaniemi & Pirttilä, 1999; Guenir & Erel, 1998; Partovi & Anandarajan, 2002; Duchessi, et al., 1988; Flores & Whybark, 1986; Stonebraker & Leong, 1994).

Visto que a classificação obtida a partir da análise ABC é, por vezes, sujeita a ajustes adicionais que se traduzem numa reclassificação que suscita a aplicação de outros critérios (Chen, et al. 2008), Flores e Whybark (1986) propuseram um quadro de múltiplos critérios para lidar com a análise ABC e aplicá-la. Nesta abordagem qualitativa começa-se com a seleção de outro critério crítico, em adição ao valor de inventário (*dollar usage*). Depois, todas as SKUs são divididas em três níveis de importância, A, B e C, com respeito a cada um dos dois critérios. O modelo reclassifica as SKUs em 3 categorias, AA, BB e CC que representam os 3 grupos de controlo de inventário, de acordo com uma regra simples. A estrutura do modelo pode ser representada como uma matriz de combinação de critérios (*a joint criteria matrix*). A regra categoriza AB e BA com AA, AC e CA com BB e BC e CB com CC (Chen, et al., 2008).

Esta metodologia bi-critério (Ng, 2007) é relativamente difícil de usar quando existem mais critérios a ser considerados. Deste modo, surge a necessidade de aplicar ferramentas de tomada de decisão considerando múltiplos critérios.

3.3.1.2 – Análise ABC com Múltiplos Critérios

Cohen & Ernst (1988) e Ernst & Cohen (1990) usaram a análise *cluster* para agrupar itens semelhantes (Ramanathan, 2006). Esta metodologia, que minimiza o número de grupos e cuja formulação é linear (Millstein, et al., 2014), baseia-se na agregação estatística (*statistical clustering*) e tem como principal vantagem a possibilidade de acomodar grandes conjuntos de atributos. No entanto, esta abordagem requer dados substanciais, o uso de análise fatorial e um procedimento de agregação (*clustering procedure*) que pode torná-la impraticável nos *stocks* típicos (Chu, et al., 2008).

O *analytic hierarchy process* (AHP), desenvolvido por Saaty (1980) também tem sido aplicado a muitos estudos MCIC (*multi-criteria inventory classification*) (Ng, 2007). Gajpal et al. (1994), Partovi e Burton (1993) e Partovi e Hopton (1994) aplicaram o AHP à análise ABC (Mohammaditabar, et al., 2012). A vantagem do AHP é que pode incorporar muitos critérios e é fácil de usar num sistema de contabilidade e medição em massa. A sua desvantagem é que envolve uma quantidade significativa de subjetividade nas comparações entre pares de critérios (Chu, et al., 2008). Bana e Costa e Vansnick (2008) apontam que o método usado para obter os vetores prioritários (*eigenvalue method - EM*) no AHP viola uma condição de preservação da ordem, fundamental na tomada de decisão onde respeitar valores e juízos é essencial. Os autores concluem que esta fraqueza no EM é tão relevante que torna a ferramenta de suporte à decisão AHP bastante problemática.

Meta-heurísticas como *algoritmos genéticos* (GA) e *redes de inteligência neuronal* (ANN) (Ramanathan, 2006), têm também sido aplicadas neste tipo de problemas (Ng, 2007), respetivamente por Guvenir e Erel (1998) e Partovi e Anandarajan (2002). Contudo, estas meta-heurísticas são bastante complicadas de aplicar, difíceis de perceber pelos gestores de inventário (Ng, 2007) e não fornecem soluções ótimas para todos os ambientes (Ramanathan, 2006).

Neste sentido, surgiram métodos de otimização na literatura MCIC. Ramanathan (2006) propôs um método simples de otimização linear ponderada (*simple weighted linear optimization method*) (*R-model*). O *R-model*, equivalente ao modelo DEA (*data envelopment analysis*), tem múltiplos *outputs* e um *input* constante, o que dá a oportunidade de cada item em inventário escolher os pesos dos critérios que lhe são mais favoráveis aquando da determinação da pontuação do desempenho agregado. Contudo, tal método de ponderação pode atribuir pesos não confiáveis aos critérios. Por exemplo, quando o valor de um dado item num dado critério domina o valor dos outros itens nesse mesmo critério, este item será classificado como pertencente à classe A independentemente do seu desempenho nos outros critérios. Isto significa que um item com uma boa performance num critério não importante pode ser incorretamente classificado como pertencente à classe A (Torabi, et al., 2012).

No fundo, o que este modelo faz primeiro é converter todas as medidas dos critérios numa pontuação escalar que corresponde à soma ponderada das medidas de todos os critérios individuais. Para evitar subjetividade nos pesos atribuídos, os pesos são gerados através de uma otimização linear do tipo

DEA. A classificação é então realizada com base no agrupamento dos itens, efetuado a partir das classificações gerais encontradas. Esta otimização linear é requerida para cada item, e deste modo o tempo do processo pode ser muito longo quando o número de itens em inventário é muito grande (Ng, 2007).

Zhou e Fan (2007) aprofundaram o *R-model* para corrigir a provável deficiência na classificação dos itens descrita acima. No *ZF model* os pesos menos e mais favoráveis são determinados primeiro. Estes dois pesos extremos são agregados por um parâmetro de controlo chamado λ cujo valor é determinado pelo decisor. Contudo, dada a flexibilidade e subjetividade envolvidas na seleção de λ podem surgir dificuldades aquando da tomada de decisão final (Torabi, et al., 2012).

Mais recentemente, Chen (2011) melhorou o *ZF model*. Para tal passou a determinar em primeiro lugar quais os dois conjuntos comuns de critérios ponderados mais e menos favoráveis. Desta forma, as pontuações de desempenho mais e menos favoráveis são calculadas para cada item conseguindo então agregá-los sem qualquer subjetividade (Torabi, et al., 2012).

Ainda antes de melhorar o *ZF model*, Chen et al. (2008) propôs um *case-based distance model* para encontrar os limites da classificação ótima usando programação quadrática (Millstein, et al., 2014).

Um outro método de classificação simples de inventário ABC foi proposto por Ng (2007). Denominado por *NG-model*, auxilia os gestores de inventário a classificar os itens em inventário sem recorrer à otimização linear (Torabi, et al., 2012). O modelo converte todas as medidas dos critérios de um item em inventário e transforma-as numa pontuação escalar. A classificação baseada nas pontuações calculadas usando o princípio ABC é então aplicada (Ng, 2007). O *NG-model* é simples e fácil de perceber. É também muito flexível pois torna possível integrar informação adicional proveniente dos decisores na classificação de inventário (Hadi-Vencheh, 2010). Contudo, as pontuações calculadas por este modelo são independentes dos pesos de cada item obtidos a partir do modelo. Isto pode levar a uma situação onde um item é classificado inadequadamente (Torabi, et al., 2012), pois os pesos não têm qualquer papel na determinação da pontuação total de cada item (Hadi-Vencheh, 2010).

Hadi-Vencheh (2010) propôs um modelo de programação não linear que deriva do *NG-model* denominado por *HV-model* (Torabi, et al., 2012). Este modelo determina um conjunto comum de pesos para todos os itens, e não só incorpora múltiplos critérios para a classificação ABC, como também mantém os efeitos dos pesos na solução final. Esta última questão caracteriza o desenvolvimento deste modelo em relação ao *NG-model* (Hadi-Vencheh, 2010). Para além disto, há que realçar que ambos os modelos NG e HV necessitam de informação subjetiva dos decisores para se perceber qual a ordem de importância dos critérios (Torabi, et al., 2012).

Nos modelos baseados em otimização, acima mencionados, apenas critérios quantitativos são tidos em consideração. Desta forma somente valores numéricos de performance podem ser atribuídos aos itens em inventário. Por conseguinte, critérios qualitativos cujas performances não podem ser diretamente indicadas como números são eliminados destes estudos. Por exemplo, a classificação ABC nos estudos de Ramanathan (2006), Zhou e Fan (2007), Ng (2007), Hadi-Vencheh (2010) e Chen (2011) foi baseada em quatro critérios: custo médio unitário, custo ou valor do inventário, fator

crítico e tempo de abastecimento. Entre eles, o fator crítico é um critério qualitativo que tem três categorias: 1 para um item muito crítico, 0,01 para um item não crítico e 0,5 para um item moderadamente crítico. Contudo, Zhou e Fan (2007), Ng (2007), Hadi-Vencheh (2010) e Chen (2011) excluíram este critério qualitativo dos seus modelos de classificação de inventário ABC (Torabi, et al., 2012).

Uma análise ABC, incorporando critérios quantitativos e qualitativos ao mesmo tempo é essencial para a obtenção de resultados mais realísticos.

O AHP é um dos métodos capaz de incorporar critérios quantitativos e qualitativos simultaneamente no processo de tomada de decisão (Torabi, et al., 2012). Contudo, tem as desvantagens já indicadas antes.

Bana e Costa e Vansnick (1999) desenvolveram uma metodologia de apoio à tomada de decisão, alternativa ao AHP. Esta abordagem, denominada por MACBETH, permite avaliar opções tendo em conta múltiplos critérios, e baseando-se apenas em julgamentos qualitativos (sete categorias semânticas) sobre as diferenças de atratividade entre elementos. Desta forma, e recorrendo à verificação automática da consistência dos julgamentos enunciados pelo decisor, o sistema de suporte à decisão MACBETH gera escalas de pontuações numéricas para as opções em cada critério e pondera os critérios.

Bhattacharya et al. (2007) propuseram um método, chamado TOPSIS, para considerar vários critérios conflituosos e com medidas incomensuráveis (Millstein, et al., 2014).

Hatefi e Torabi (2010) desenvolveram um modelo do tipo DEA no qual propuseram um modelo personalizado através do qual as pontuações de desempenho agregadas dos itens em inventário podem ser calculadas na presença de critérios qualitativos e quantitativos. Este modelo é um modelo de otimização linear ponderada originalmente concebido para construir *Composite Indicators* – CIs. Quando comparado com os modelos DEA básicos tem duas vantagens principais: fornece resultados discriminados aos itens em inventário e são necessários poucos esforços computacionais aquando do cálculo dos CIs. Porém, apenas tem em consideração critérios quantitativos quando se constroem os *composite indicators* (Torabi, et al., 2012).

Para resolver este aspeto, existem muitos modelos IDEA (*imprecise* DEA) na literatura que permitem avaliar a pontuação de eficiência dos itens em inventário na presença de dados exatos e imprecisos (Cook, et al., 1993; Cook, et al., 1996; Zhu, 2003). Por exemplo, Zhu (2003) propôs um modelo que pode considerar informação imprecisa em forma de dados fracos ou fortemente ordinais, além dos dados exatos (Torabi, et al., 2012).

Usando também alguns dos conceitos dos modelos IDEA, Torabi et al. (2012) modificaram o modelo desenvolvido por Hatefi e Torabi (2010) garantindo algumas vantagens.

3.3.2 – Políticas de Controlo de Inventário

As políticas de controlo de inventário são regras de decisão que apontam as quantidades e os momentos de encomenda de cada SKU tendo em conta os *trade-offs* entre os custos e os benefícios das soluções alternativas. Estas políticas têm em consideração vários fatores, tais como: posição de

inventário, procura prevista, custos e níveis de serviço ao cliente (Kholidasari, 2013). Resumidamente, políticas de inventário podem ser classificadas como: políticas/sistemas de revisão contínua e as políticas/sistemas de revisão periódica (Silver, et al., 1998).

Segundo VanHorenbeek et al. (2013), numa política de revisão contínua, os níveis de inventário são verificados continuamente e quando uma certa condição é atingida (por exemplo, quantidade de peças de reposição desce abaixo de um determinado nível), as peças são encomendadas.

Duas das mais conhecidas e muitas vezes implementadas políticas de revisão contínua são: a política/sistema *order-up-to level* (s,S) e a política/sistema quantidade de encomenda (s,Q), ambos na vertente de sistemas orientados por pontos de encomenda.

Na política (s,S), a encomenda de uma determinada peça é colocada para atingir o *order-up-to level* (S), sempre que o nível de inventário desce abaixo de s.

Quando Q unidades são encomendadas cada vez que o inventário desce abaixo de s, pratica-se a política (s,Q). Quando há procura por unidade, ambos os sistemas dão o mesmo resultado se Q é igual a S-s.

Um caso especial de política de revisão contínua acontece principalmente para itens cujo custo é baixo e a procura é grande. Esta política denomina-se por política *two-bin* e consiste na colocação de encomendas de reabastecimento quando a primeira caixa está vazia. Neste momento, começa-se a usar a segunda caixa e uma nova caixa é encomendada (VanHorenbeek, et al., 2013).

Em sistemas/políticas de revisão periódica, a posição de inventário (inventário em mãos + inventário em encomenda - *backorders* – ordens aceites) apenas é revisto em momentos discretos no tempo, e uma encomenda é colocada se o nível de posição de inventário nesse momento está abaixo do ponto de encomenda (s) (Kholidasari, 2013).

O sistema/ política *order-up-to level* (R,S) – na vertente de revisão periódica - é um sistema de controlo periódico. Neste procedimento a cada R unidades de tempo, uma determinada quantidade é encomendada a fim de elevar a posição de inventário para o nível S. Neste sistema há a possibilidade de regularmente ajustar os *order-up-to levels*. Este facto concede a este modelo uma importante vantagem em situações cujo padrão de procura muda ao longo do tempo. A principal desvantagem apontada a este método passa pelos mais elevados *carrying costs* em comparação com os sistemas de revisão contínua.

Existe ainda um sistema que combina o sistema de revisão contínua (s, S) com o sistema de revisão periódica (R, S). Este sistema (R, s, S), reconhecido como um sistema de revisão periódica, caracteriza-se pela verificação da posição de inventário a cada R unidades de tempo. Se a posição de inventário estiver abaixo de s, uma encomenda é colocada de maneira a aumentá-lo para S. Se a posição de inventário estiver acima de s, nada é encomendado até à próxima revisão de inventário. A principal vantagem deste sistema passa pelos menores custos de inventário associados. Contudo, para além de menos intuitivo, o cálculo dos três parâmetros de controlo é mais complexo que o dos outros métodos (Kholidasari, 2013).

Na seleção da política de controlo de inventário é necessário saber qual o tipo de procura que os itens em inventário enfrentam (Mohammaditabar, et al., 2012). A procura pode ser: determinística ou estocástica, dependente ou independente e uniforme ou não uniforme.

Os sistemas *reorder point* são usados quando a procura é independente. Já os sistemas baseados no MRP, segundo Ibn-Homaid (2002), são usados quando a procura é dependente, descontínua e não uniforme. Quando a procura é contínua e dependente adequa-se o sistema JIT.

Mohammaditabar et al. (2012) afirma que quando os parâmetros de inventário (procura, tempo de abastecimento, etc.) são determinísticos as políticas de *reorder point* periódicas ou contínuas produzem resultados semelhantes (quantidade, *reorder level*, etc.). A única diferença estará nas complicações de gestão do sistema.

Em geral, quando existem parâmetros estocásticos no modelo de inventário, os sistemas de revisão contínua necessitam de manter menos *safety stock* do que os sistemas de revisão periódica. Isto normalmente resulta em menores custos de inventário, a não ser que o custo de ter revisão contínua no sistema seja muito maior do que ter revisão periódica (Mohammaditabar, et al., 2012).

3.4 – Peças de Reparação – *Spare Parts*

Na aplicação dos modelos de classificação de inventário enunciados acima verifica-se a necessidade de seleccionar os critérios que servem como base para a categorização dos itens. Dependendo do tipo de inventário em questão e do setor/atividade económica em que a empresa se enquadra os critérios seleccionados variam.

Para o desenvolvimento deste estudo, vale a pena analisar a gestão de materiais utilizados na manutenção de sistemas e os critérios de classificação que são apontados como relevantes na literatura para estes itens. Estes materiais, conhecidos na literatura por *spare parts*, constituem inventários que diferem dos outros tipos de inventário (intermédio e produto final) em vários sentidos. Em primeiro lugar, as funções são diferentes. A função do inventário de peças de reparação passa por assistir a manutenção de equipamentos, de maneira a mantê-los em condições de operar. Em segundo lugar, as políticas que administram os inventários de peças de reparação são diferentes das políticas aplicadas aos outros tipos de inventário. Isto porque, os níveis de inventário de peças de reparação dependem da forma como o equipamento é usado, e das suas características da manutenção (Kennedy, et al., 2002).

Kennedy et al. (2002) referem algumas das principais condições que distinguem os inventários de manutenção dos outros tipos de inventário: 1) O que dita a necessidade de inventário de peças de reparação são as políticas de manutenção e não a procura do cliente; 2) Normalmente não existe informação fiável disponível para prever o número de falhas; 3) Falhas em partes dos equipamentos podem ser dependentes. Este problema agrava-se quando esta relação de dependência é imprevisível; 4) A procura para algumas peças é por vezes conhecida através do canibalismo para outras partes ou unidades; 5) Os custos relacionados com a não existência de uma certa peça em inventário geralmente incluem os custos de qualidade e de produção perdida, que são difíceis de quantificar; 6) A obsolescência das peças de reparação pode ser um problema quando as máquinas

para as quais estas estão designadas são reconhecidas como obsoletas ou são substituídas; 7) Componentes de equipamentos são mais propensos a ser colocados em *stock* do que unidades completas se a principal unidade do equipamento é cara, e a reparação a ser possível é mais provável acontecer do que a substituição.

Porém, apesar destas diferenças, Wang (2012) aponta que a variável de decisão chave no que refere à gestão de todos os géneros de inventário é a mesma, e consiste em determinar qual o nível ótimo de *stock*.

Posto isto, é importante analisar com maior detalhe quais os principais desenvolvimentos na gestão de inventário de *spare parts*.

3.4.1 – Classificação de Inventário de *Spare Parts*

Huiskonen (2001) refere que as características de controlo mais importantes para este tipo de inventário são: criticidade, especificidade, procura e valor.

O impacto da escassez de uma peça crítica pode representar um custo superior ao seu valor comercial. Assim à criticidade de um item, reconhecida nas consequências causadas pela indisponibilidade imediata de alguma das peças no processo de substituição, dá-se o nome de criticidade do processo. Existe uma quantidade significativa de critérios que são usados para avaliar a criticidade destes itens na prática (Cohen, et al., 1997). Teoricamente, poder-se-ia avaliar a criticidade dos itens a partir dos custos da inatividade que estes causam nos sistemas, contudo este cálculo é difícil na prática. Huiskonen (2001) sugere uma abordagem prática que tem em conta a criticidade do tempo em que a falha tem de ser corrigida. Por exemplo, três graus do processo de criticidade podem ser determinados com base: 1) a falha tem de ser corrigida e as peças deverão estar disponíveis de imediato, 2) A falha pode ser tolerada com arranjos temporários até a peça estar disponível, 3) A falha não é crítica para o processo e pode ser corrigida, podendo as peças ser fornecidas depois de um longo período de tempo.

Além disto, podem-se ainda analisar outros aspetos da criticidade que não são relativos às consequências das falhas ou escassez das peças mas sim às possibilidades de controlar a situação. Este tipo de criticidade reconhece-se como criticidade de controlo e inclui, a previsibilidade das falhas, a disponibilidade dos fornecedores das peças de reparação, tempos de abastecimento, etc. Estes parâmetros podem ser tidos em conta quando se efetua a análise de uma situação de controlo excecional (Huiskonen, 2001).

A especificidade das peças é outra característica de controlo específica que pode ser utilizada como critério de classificação. Por entre o vasto conjunto de peças de reparação existentes em inventário existem tipicamente: peças *standard*, que se caracterizam por serem muito usadas e reabastecidas num curto espaço de tempo por vários fornecedores; e as peças mais personalizadas, cuja utilização é reduzida e adequada a um tipo de equipamentos. Segundo Huiskonen (2001), a disponibilidade das peças *standard* é normalmente boa, os *stocks* destas peças existem aos mais vários níveis e os fornecedores colaboram com os clientes proporcionando o usufruto de economias de escala. Quanto

às peças específicas, os fornecedores não estão dispostos a ter *stocks* passando a responsabilidade da disponibilidade e controlo para o cliente.

O padrão de procura das peças de reparação inclui aspetos de volume e de previsibilidade. Tipicamente existe uma grande quantidade de peças de reparação cuja procura é baixa e irregular. Este facto a juntar a outras características como: grande criticidade e grande preço, pode conduzir ao aumento do *stock* de segurança necessário para acautelar situações imprevisíveis. A previsibilidade da procura relaciona-se com o processo de falhas das peças e a possibilidade de estimar estes padrões e taxas de falha por meios estatísticos. Do ponto de vista do controlo, Huiskonen (2001) mais uma vez sugere que se dividam as peças de reparação em duas categorias: peças cujas falhas são estocásticas e peças cujo padrão de falhas é previsível. A previsibilidade da procura tem efeito na escolha do princípio de controlo entre o aprovisionamento e o serviço periódico e manutenção. Para além desta sugestão de caracterização, Syntetos (2001) sugeriu uma análise do padrão de procura baseando-se em duas variáveis chave: a média do intervalo entre procuras (ADI) e a variabilidade do tamanho das procuras (expressa tipicamente através do cálculo do quadrado do coeficiente de variação do tamanho das procuras – CV^2).

Por fim, tem-se o valor das peças de reparação. Um grande valor das peças de reparação associa-se a uma solução que tenta reduzir o *stock* destes itens (Huiskonen, 2001).

3.4.2 – Sistema de Controlo de Inventário de *Spare Parts*

Segundo Waters (2003), existem dois tipos diferentes de sistemas de controlo de inventário com base na caracterização da procura: métodos de procura dependente e métodos de procura independente. Nos métodos de procura independente, onde a procura de um item é independente da procura de qualquer outro item, o controlo de *stock* baseia-se em modelos quantitativos que relacionam previsões de procura, custos e outras variáveis, para encontrar os valores ótimos das quantidades a encomendar e dos períodos em que fazê-lo. Estes modelos podem ser de quantidade de encomenda fixa ou de revisão periódica.

Dentro da procura independente tem-se a procura intermitente, que se caracteriza por ser uma procura aleatória com uma grande proporção de valores nulos (Silver, 1981). Este tipo de procura verifica-se nos casos em que sistemas de controlo de inventário são requeridos infrequentemente (Croston, 1972). Para além da aleatoriedade relacionada com os períodos em que não ocorre qualquer procura, o número de itens pedidos nos momentos de procura intermitente não tem um tamanho constante ou unitário (Syntetos & Boylan, 2006).

Segundo Willemain et al. (2004), a procura intermitente acontece em vários cenários, tais como: maquinaria pesada e respetivas peças de manutenção, partes de serviço de aviões, partes de reparação eletrónicas ou marítimas, etc.

As *spare parts* apresentam por vezes uma procura intermitente (Johnston, et al., 2003). Ghobbar e Friend (2003) observaram que com frequência as empresas mantêm *stock* excessivo deste tipo de itens devido às imprecisas expectativas de procura, não atingindo os níveis de serviço desejados na

maioria das vezes. Estas imprecisões podem relacionar-se com a magnitude ou com o tempo da procura.

Neste sentido, são vários os estudos que tratam a procura intermitente focando o controlo de inventário, assumindo que é necessário um método de previsão apropriado para estimar os requisitos de procura futura. Porém, a previsão das procuras intermitentes é uma tarefa que tem sido reconhecida como bastante difícil de executar pelos fatores aleatórios que lhe estão associados (Syntetos & Boylan, 2006).

3.4.2.1 – Previsão da Procura

Nesta secção os procedimentos de previsão aplicados, ao nível do controlo de inventário, nas situações de procura intermitente serão analisados.

Tradicionalmente, métodos estatísticos clássicos como: alisamento exponencial ou regressão linear, eram usados na previsão da procura de *spare parts*. Porém, Croston (1972) aponta que um simples alisamento exponencial conduz a níveis de *stock* não apropriados quando se trata de dados referentes a uma procura intermitente, pois ignoram o facto dos padrões de procura intermitente serem constituídos por dois elementos: tamanho da procura e probabilidade desta (ou o inverso, intervalos de procura) (Teunter, et al., 2011). Croston (1972) argumenta ainda que o enviesamento associado à atribuição da maioria do peso aos dados de procura mais recentes, leva a uma procura estimada que tende a ser maior logo após a ocorrência da mesma e menor antes desta. No sentido de solucionar este problema, Croston propôs um novo método de previsão de procura intermitente.

No método original de Croston (1972), o tamanho da procura e o tempo entre procuras são considerados. Neste modelo determinístico, que usa dados históricos, as séries temporais são divididas e previstas nos seus elementos constituintes: o tempo entre transações (procuras) consecutivas p_t e a magnitude das transações individuais não nulas z_t . No período de revisão t , se nenhuma procura ocorre então as estimativas destas variáveis permanecem inalteradas, e apenas se verifica um incremento na contagem do período de tempo desde a última procura sem atualização ($q = q + 1$). Se ocorre procura $y_t > 0$, então as estimativas destas variáveis são atualizadas, a partir de um alisamento exponencial simples:

$$z'_t = z'_{t-1} + \alpha(y_t - z'_{t-1}) \quad (1)$$

$$p'_t = p'_{t-1} + \alpha(q - p'_{t-1}) \quad (2)$$

$$q = 1 \quad (3)$$

Onde:

y_t é a procura por um item no instante t

y'_t é a estimativa da procura média por período

z'_t é a estimativa do tamanho da procura de um item no instante t

p'_t é a estimativa do valor atual do tempo entre transações no instante t

q é o intervalo de tempo desde a última procura

α é a constante de alisamento entre 0 e 1, comum às estimativas de ambos os elementos, e usada para atualizar os intervalos entre procuras.

Por fim, a previsão da procura para um dado período de tempo é dada por:

$$y'_t = \frac{z'_t}{p'_t} \quad (4)$$

Neste modelo assume-se ainda que a procura ocorre como um processo de Bernoulli. Os intervalos entre procuras tornam-se independentes e identicamente distribuídos, enquanto que os tamanhos de procura são também assumidos como independentes e distribuídos com base numa distribuição normal.

O método de Croston é muitas vezes aplicado na prática, estando até incorporado em soluções do tipo ERP, como o SAP, e em pacotes de *software* especializado em previsões, como o *Forecast Pro* (Teunter, et al., 2011).

Ademais, vários foram os estudos desenvolvidos em torno deste método (Schultz, 1987; Willemain et al., 1994; Johnston & Boylan, 1996; etc.), contudo a contribuição que mais se destaca advém de Syntetos & Boylan (2001). Estes autores mostraram que o método de Croston conduz a uma estimativa positivamente enviesada da procura por unidade de tempo, em todos os pontos do tempo e em pontos isolados. Como tal, propuseram uma modificação do método de Croston e explicitaram a melhoria obtida a partir de uma experiência de simulação.

Este modelo de Syntetos & Boylan (2001), que contorna o erro no tamanho da procura esperada calculada a partir do método de Croston, é considerado por diversos autores como o modelo derivativo com melhor performance, por entre as diversas variações ao método de Croston apresentadas em vários estudos (por exemplo, Eaves & Kingsman, 2004; Gutierrez et al., 2008).

Com base no modelo de Croston, o método de aproximação de Syntetos-Boylan (SBA) emprega um fator de correção à procura média por unidade de tempo y_t estimada por Croston.

$$y'_t = \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right) \times \frac{z'_t}{p'_t} \quad (5)$$

Syntetos & Boylan (2005) aplicaram quatro modelos de previsão: *simple moving average*, alisamento exponencial simples, método de Croston e SBA, à procura mensal histórica de 3000 SKUs da indústria automóvel ao longo de dois anos. A conclusão, retirada a partir do cálculo do *geometric root-mean-square error* como *ordering criterion*, destacou a melhor performance do método SBA em relação aos outros três métodos aplicados.

Contudo, tal como certos autores provam (por exemplo, Wallström & Segerstedt, 2010; Teunter & Sani, 2009a), para além de alguns enviesamentos (negativos) permanecerem no método de aproximação SBA, existem ainda casos em que o método apresenta maior enviesamento quando comparado com o método de Croston original.

Teunter et al. (2011) vai mais além, e aponta ainda outra desvantagem relacionada com o método de Croston e os seus modelos derivantes. Nestes procedimentos o risco de obsolescência dos itens para os quais a procura é prevista são desprezados. Isto porque, as procuras só são atualizadas depois de

períodos com procura positiva, não sendo atualizadas depois de muitos períodos de procura nula. Deste modo, estes modelos não podem ser usados para estimar o risco de obsolescência nem lidar com excesso de *stock* ou *stock* sem finalidade de utilização.

Consequentemente Teunter et al. (2011) propuseram um modelo de previsão de procura intermitente, método TSB, que atualiza a probabilidade da procura e não a probabilidade do intervalo de procura, como o método de Croston. Assim, a probabilidade da procura pode ser atualizada em todos os períodos, ao contrário dos intervalos de procura que apenas podem ser atualizados depois da ocorrência de uma procura positiva. Ademais, usando a probabilidade da procura é possível eliminar o enviesamento da previsão quando se considera um instante arbitrário no tempo. Usando constantes de alisamento diferentes para o tamanho e probabilidade da procura, o método torna-se mais flexível. Desta forma, o TSB lida com a obsolescência entre milhares de itens de movimento lento em inventário.

Se $p_t = 0$:

$$p'_t = p'_{t-1} + \beta(0 - p'_{t-1}) \quad (6)$$

$$z'_t = z'_{t-1} \quad (7)$$

$$y'_t = p'_t \times z'_t \quad (8)$$

Se $p_t = 1$:

$$p'_t = p'_{t-1} + \beta(1 - p'_{t-1}) \quad (9)$$

$$z'_t = z'_{t-1} + \alpha(1 - z'_{t-1}) \quad (10)$$

$$y_t = p'_t \times z'_t \quad (11)$$

Onde:

y_t é a procura por um item no instante t .

y'_t é a estimativa da procura média por período.

z'_t é a estimativa do tamanho da procura de um item no instante t .

p_t é o indicador de ocorrência de procura para o período t ; igual a 1 se ocorre procura no período t e igual a zero caso contrário.

p'_t é a estimativa da probabilidade da ocorrência de procura para o período t .

α, β são as constantes de alisamento entre 0 e 1.

Os métodos ARMA, ARIMA e S-ARIMA consistem numa forma iterativa de gerir a previsão da procura de *spare parts*, e são vastamente utilizados hoje em dia. Os métodos Box-Jenkins constituem-se por duas partes: a parte autoregressiva e a parte média móvel. Porém, estes métodos requerem uma grande quantidade de dados para se conseguirem obter bons resultados (Callegaro, 2010).

Vários outros métodos de previsão de procura intermitente são utilizados no prognóstico da procura de *spare parts*. Neste sentido, Ghobbar & Friend (2003) avaliaram a aplicação destes métodos, e de

alguns dos métodos referidos antes, à previsão de procura intermitente de peças de manutenção de aeronaves, concluindo que o alisamento exponencial e os métodos de Croston têm melhores performances do que todos os outros métodos analisados.

Além destes algoritmos, alguns métodos baseados na distribuição de Poisson têm sido estudados no campo das *spare parts* (Manzini, et al., 2007). Porém, tal como Hill et al. (1996) referem, estes métodos de séries temporais tradicionais podem subestimar a forma funcional em relação às variáveis independentes e dependentes. Estes métodos tradicionais podem ainda falhar nas transformações de dados necessárias.

De destacar ainda o modelo *Gtrey Prediction* (Grey Prediction Model) e o método *Bootstrap*. O modelo *Gtrey Prediction*, requer como único *input* os dados históricos da procura, e baseia-se no uso da procura cumulativa e no método dos mínimos quadrados para minimizar os erros. Este modelo, ideal para os casos em que existem poucos dados históricos, apenas permite obter boas previsões de procura para pequenos períodos de tempo, não resultando nas previsões de médio e longo-prazo. O método *Bootstrap*, modelo probabilístico de reamostragem, é um método moderno de inferência estatística que se adapta a casos de dados históricos limitados mas por vezes conduz a previsões extremamente enviesadas (Callegaro, 2010).

Por fim, Gutierrez et al. (2008) referem que os métodos tradicionais de séries temporais não permitem por vezes detetar padrões não-lineares nos dados. Deste modo, como forma de ultrapassar esta limitação, estes autores sugerem a modelação de redes de inteligência neuronal (ANN) ou simplesmente de redes neurais (NN). Estas meta-heurísticas não são modelos matemáticos, e embora permitam aprender automaticamente as conexões entre os *outputs* e os *inputs* (previsões), não só requerem uma grande quantidade de dados históricos para obtenção de bons resultados, como não são fáceis de validar.

3.4.2.2 – Modelo de Controlo de Inventário

O controlo de inventário referente a padrões de procura intermitente é gerido tipicamente por sistemas de revisão periódica (Sani, 1995; Silver, et al., 1998). A adaptabilidade de sistemas periódicos (T,s,S) no contexto de procura intermitente tem sido provada através de argumentos teóricos (Porteus, 1985; Silver, et al., 1998), simulações de dados reais (Sani & Kingsman, 1997; Babai, et al., 2010) e casos e estudo (Porrás & Dekker, 2008).

São vários os algoritmos (R, s, S), alguns exatos (Veinott & Wagner, 1965) e outros heurísticos (Naddor, 1975; Wagner, 1975; Ehrhardt & Mosier, 1984; Ehrhardt, 1979; Porteus, 1985), que têm vindo a ser desenvolvidos na literatura. Neste sentido, dada a complexidade associada ao cálculo dos níveis ótimos (R, s, S) e a impossibilidade de estimar com exatidão a distribuição de procura enfrentada na prática, a aplicação de heurísticas para estimar os níveis de controlo de stocks tem recebido maior atenção na literatura académica (Babai, et al., 2010).

Por entre estas heurísticas, as que mais têm atraído a atenção nos estudos académicos são: *Power Approximation* (Ehrhardt R., 1979), Heurística de Naddor (Naddor, 1975) e Aproximação à Normal (Wagner, 1975). Sani & Kingsman (1997) realizaram um estudo comparativo de entre estas três heurísticas (T, s, S) e concluíram que as diferenças de performance entre estes procedimentos é

pequena. Assim, recomendam o uso de qualquer uma delas no caso de itens que enfrentem uma procura intermitente.

A heurística *Normal Approximation* foi desenvolvida por Wagner (1975), e consiste num sistema heurístico (s, S) que simplifica o algoritmo ótimo desenvolvido por Veinott & Wagner (1965) ao assumir que a procura segue uma distribuição normal. A desvantagem desta heurística surge quando a distribuição da procura se afasta da normal. A vantagem consiste no facto de não ser necessário apurar qual a exata distribuição da procura.

A heurística de Naddor é uma heurística periódica (s, S) que requer apenas o conhecimento da média e da variância da procura. Esta heurística, desenvolvida por Naddor em 1975, baseia-se nos seguintes factos: os níveis de reabastecimento R e S dos sistemas (T, R) e (s, S) respetivamente, são essencialmente iguais; os níveis de re-encomenda r e s dos sistemas (Q, r) e (s, S) são essencialmente iguais (Sani & Kingsman, 1997).

A heurística *Power Approximation* é um novo sistema periódico que usa os métodos de aproximação de Roberts (1962), tal como a *Normal Approximation*. Esta heurística aproxima as soluções do ótimo mas ao contrário das Aproximações de Roberts (aproximações aos valores ótimos s e S , derivadas a partir da teoria da renovação), não exige nenhuma distribuição de procura específica, requerendo apenas o conhecimento da média e da variância da procura. Por se verificarem dificuldades na convergência nesta fórmula original, Ehrhardt & Mosier (1984) modificaram um pouco a heurística, retificando os problemas.

Por outro lado, Babai et al. (2010) conduziu um estudo similar mas com uma grande base de dados, e concluiu que as heurísticas *Power Approximation* e Heurística de Naddor apresentam melhores resultados em termos de custo médio de inventário.

Ultimamente, a tendência na literatura tem passado pela integração da previsão da procura com o controlo de *stock*. Teunter & Sani (2009b) aplicaram as previsões de Croston no cálculo dos *order-up-to-levels*, Teunter et al. (2010b) calculou os *order-up-to-levels* para uma procura binomial composta, Strijbosch et al. (2011) investigou a integração das previsões de procura com o controlo de *stock* quando a procura é não estacionária.

3.5 – Conclusões do Capítulo

Neste capítulo realizou-se uma revisão bibliográfica sobre os temas necessários ao enquadramento teórico do problema em análise e ao desenvolvimento de possíveis soluções para o problema identificado. Para além da breve caracterização das cadeias de abastecimento da construção, investigou-se num sentido *bottom-up*, e com principal enfoque, a literatura existente sobre gestão de inventário nas suas duas vertentes: classificação e políticas de controlo de inventário. Assim, de um âmbito geral seguiu-se para uma análise focada no tipo de *stocks* que o estudo trata – *spare parts*.

A partir da revisão bibliográfica realizada, foi possível verificar que as cadeias de abastecimento da construção são normalmente reconhecidas pela complexidade adjacente ao grande número de entidades e materiais envolvidos. Para além disto, dada a natureza orientada para o projeto e o

estabelecimento típico de contratos *on-off*, estas cadeias tendem a repetir as mesmas falhas de projeto para projeto. No que refere ao fluxo de materiais, a visão miópica no planeamento de *stocks* de cada fase conduz a um reconhecimento típico da sua ineficiência.

Visto que o controlo individual de itens em *stock* é insustentável, a gestão de inventário define-se pela execução de duas fases: caracterização do inventário e aplicação de políticas de controlo.

A análise ABC clássica é o método de classificação de inventário que categoriza os itens em 3 classes com base no Princípio de Pareto, e que representa uma maior aplicação prática. Para além deste método, surgiram na literatura um conjunto de ferramentas de classificação que partilham o facto de assumirem múltiplos critérios, quantitativos, qualitativos ou ambos.

Entre as políticas de controlo de *stocks* destacam-se dois grupos principais: sistemas de revisão contínua e sistemas de revisão periódica. Para situações cujo padrão de procura apresenta mais incertezas, as políticas de revisão periódica (R, S) e (R, s, S) são as mais indicadas.

O inventário de *spare parts* caracteriza-se: pelo género de procura, na maior parte dos casos intermitente; pela especificidade do emprego das *spare parts* (podem ter uso específico apenas para uma dada função), o que aumenta o risco de obsolescência; grande valor unitário.

Segundo Huiskenen (2001), os critérios que mais se adequam ao inventário de peças de reparação/manutenção são: a criticidade, a especificidade, o padrão de procura e o valor.

A classificação de inventário das *spare parts* tem como finalidade auxiliar a decidir quais os métodos de previsão e políticas de controlo de inventário a aplicar a cada categoria, de forma a perceber as necessidades do futuro e decidir as ações de reabastecimento, respetivamente. Por consequência, o *output* do processo de previsão constitui o *input* dos sistemas de controlo de *stocks*.

Existem diferentes métodos de previsão de procura quantitativos adaptados à procura intermitente. Entre eles destacam-se, o método de Croston, SBA e TSB.

No que respeita às políticas de controlo de inventário, dada a incerteza associada ao tipo de procura comumente enfrentada pelas *spare parts*, a aplicação de heurísticas de controlo periódico é indicada como mais apropriada. Entre estas heurísticas, as que mais têm merecido atenção literária são: *Power Approximation*, *Normal Approximation* e Heurística de Naddor.

4 – Metodologia para a Gestão de Stocks

O estudo da possível redução dos *stocks* de materiais de manutenção dos equipamentos da Zagope assentará no desenvolvimento de uma metodologia de gestão de inventário que será apresentada ao longo deste capítulo. Assim, o presente capítulo organiza-se em três secções onde se expõem: as fases que constituem a metodologia, a sua ligação com o problema em estudo e a fundamentação teórica em que estas se baseiam.

4.1 - Caracterização da Metodologia de Gestão de Inventário

No problema em estudo verificou-se não existir qualquer sistema de gestão de *stocks* de peças de manutenção de equipamentos, sendo a quantificação das compras feita de forma intuitiva e baseada em juízos subjetivos dos engenheiros mecânicos. Desta forma os níveis atuais deste tipo de inventário prevêem-se elevados; e a obsolescência de alguns dos itens em *stock* perspectiva-se inevitável e representativa de potencial redução de custos.

Neste contexto, e tendo em conta as restrições ao planeamento de *stocks* das peças de manutenção dos equipamentos apresentadas no ponto 2.2.4, desenvolveu-se uma metodologia de gestão dos *stocks* cujo objetivo passa por: controlar os níveis de inventário alinhando-os com as verdadeiras necessidades de manutenção dos equipamentos, diminuindo quer as ruturas de *stocks* quer o excesso de itens em inventário. Para tal, considerar-se-ão duas etapas que tornam o sistema de controlo de inventário consistente. Uma primeira de classificação dos itens em inventário (agrupando-os em categorias possíveis de gerir e com representatividade), e uma segunda de definição das políticas de controlo apropriadas para cada grupo, de acordo com a sua importância para a empresa.

Deste modo, tendo como orientação os objetivos definidos e a literatura já existente em torno dos *stocks* de *spare parts*, desenvolveu-se a seguinte metodologia, dividida nas três fases operacionais representadas na Figura 9.

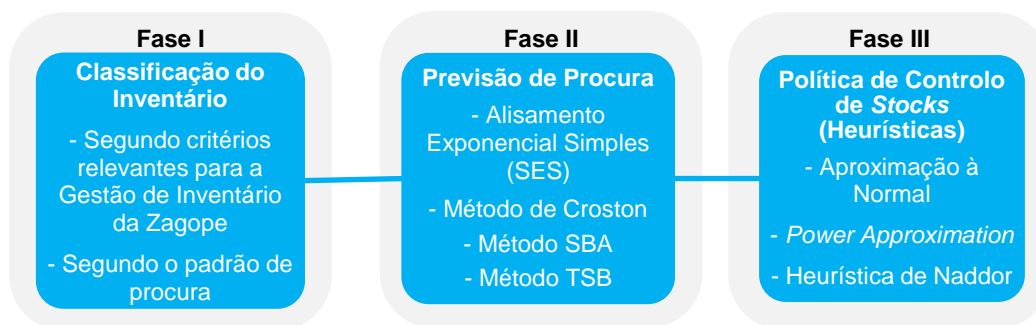


Figura 9 - Fases operacionais da metodologia de gestão de inventário desenvolvida

A Fase I, onde se procede à classificação de inventário (descrita no ponto 4.1.1), é comum a todos os itens. Nesta fase os itens são categorizados. Posteriormente métodos de previsão de procura (descrição no ponto 4.1.2) são aplicados na Fase II às classes selecionadas, para estimação dos parâmetros de procura. Estes valores são por fim aplicados nas políticas de controlo de *stocks* (descrição no ponto 4.1.3) empregues na Fase III.

De seguida descrevem-se cada uma das etapas constituintes das três fases da metodologia de gestão de inventário desenvolvida.

4.1.1 – Classificação de Inventário

A fase de classificação de inventário, e os seus resultados funcionam como *inputs* às suas consequentes fases. Esta etapa considera:

- Agregação das peças de manutenção em inventário por classes. Face ao elevado número de peças existente em *stock* o controlo individual de cada uma delas é insustentável, tal como se concluiu no ponto 3.5. A sua agregação em classes, segundo critérios considerados relevantes para a gestão do inventário da Zagope, permite identificar os itens com mais riscos (de rotura de *stock* ou de obsolescência) e assim priorizá-los na aplicação e definição do seu planeamento e políticas de controlo.

O alcance deste processo passa pela aplicação de uma análise multicritério aos itens em inventário.

- Identificação do padrão de procura das peças em inventário. Dada a grande aleatoriedade associada a este tipo de inventário, que se caracteriza por uma procura intermitente tipicamente de grande incerteza, a estimativa de uma distribuição de procura exata ou proximamente exata é impossível. Assim, utilizam-se métodos de previsão para definir os parâmetros de procura a aplicar nas políticas de controlo de *stocks*. Diferentes *spare parts* estão associadas a diferentes padrões de procura. Como tal, classificam-se primeiro as peças de manutenção, segundo o padrão de procura que enfrentam, para depois se concluir qual o método de previsão que mais se ajusta a cada uma delas.

Tendo como base os trabalhos de Syntetos et al. (2005) e Velagić (2012) o esquema de classificação que será considerado para caracterizar o padrão de procura das peças em inventário define-se na Figura 10.

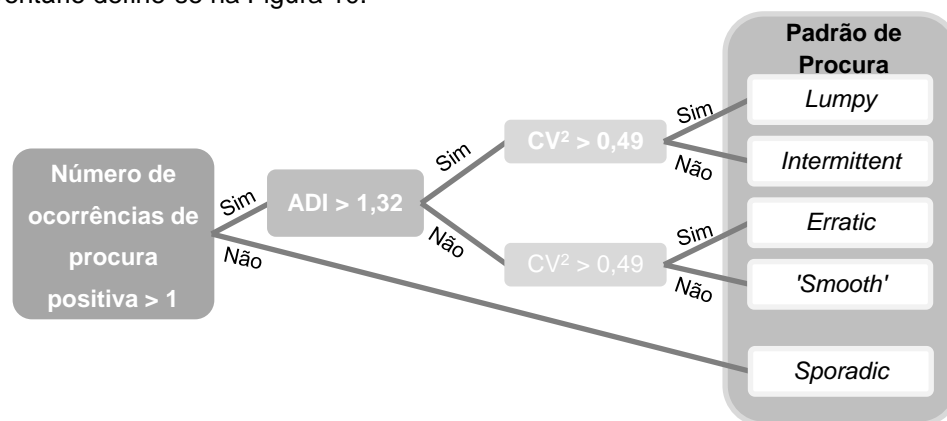


Figura 10 - Esquema de classificação do padrão de procura enfrentado por cada item em inventário

Neste esquema de classificação os parâmetros de corte são o CV (coeficiente de variação dos tamanhos da procura), que mede a variabilidade dos tamanhos da procura, e o ADI (*average inter-demand interval*).

No que refere aos tipos de padrão de procura, estes caracterizam-se por:

- *Lumpy Demand*: ocorre aleatoriamente, com muitos períodos de tempo sem ocorrência de procura, e quando ocorre, é altamente variável. Quer o momento da procura quer o tamanho da mesma são incertos.

- *Erratic Demand*: muito variável quer em termos do tamanho da procura quer em termos da ocorrência de procura por unidade de tempo. A quantidade da procura é incerta enquanto que o momento da procura não é incerto.

- *Intermittent Demand*: aleatória, com muitos períodos de tempo sem procura. Ou seja, o momento da procura é incerto, mas a quantidade de procura não é incerta.

- *Smooth Demand*: ocorre aleatoriamente, com muitos períodos de tempo sem procura. A procura quando ocorre é numa unidade ou em muito poucas unidades. Ou seja, não existe grande variação nos intervalos entre procuras e no tamanho da procura.

- *Sporadic Demand*: itens com grandes médias de intervalos de tempo entre procuras, pois apenas se verifica uma ocorrência de procura.

É importante referir que os valores atribuídos aos parâmetros de corte como marcas limite ($CV^2=0,49$ e $ADI=1,32$) foram determinados em Syntetos et al. (2005), para servir de orientadores na escolha de um método de previsão entre os dois principais estimadores de procura intermitente: método de Croston e *Syntetos-Boylan Approximation* (método de Croston para a *smooth demand* e SBA para a *erratic, lumpy e intermittent demand*) (Syntetos, et al., 2005).

Para além desta classificação, pode-se restringir ainda mais os padrões se se passar a agregar principalmente em função do intervalo médio entre ocorrências de procura. Itens com uma ADI maior do que 1,32 (*intermittent and lumpy demand*) têm um grande intervalo médio entre ocorrências de procura e baixa frequência de procura, então agregam-se num grupo, itens intermitentes. Por outro lado, itens com uma ADI menor do que 1,32 (*erratic and smooth demand*) têm pequenos intervalos médios entre ocorrências de procura e grande frequência de procura, agregam-se noutra grupo, e denominam-se por itens não intermitentes (Velagić, 2012).

A etapa de classificação de inventário está assim dividida em duas fases, a primeira em função dos critérios de classificação que se destacarem para a gestão de inventário de peças de manutenção da Zagope, e a segunda em função do padrão de procura dos itens em *stock*.

4.1.2 – Previsão de Procura

A etapa da previsão da procura segue-se à etapa da classificação. Esta etapa consiste na aplicação de quatro métodos de previsão (Alisamento Exponencial Simples, método de Croston, método de Aproximação de Syntetos-Boylan – SBA e método TSB) aos dados históricos da procura e tem como finalidade estimar os seus parâmetros. Três destes métodos, já abordados no ponto 3.4.2.1, são empregues nesta metodologia pelo facto de serem métodos de previsão quantitativos desenvolvidos com o intuito de responder às características especiais da procura intermitente (método de Croston, método de Aproximação de Syntetos-Boylan – SBA, e método TSB). O Alisamento Exponencial Simples (SES) é o único método de previsão tradicional de séries temporais entre os quatro seleccionados. Apesar de ser um método de previsão tradicional, Willemain et al. (2004) defendem que este talvez seja o método que mais se aplica no contexto de procura intermitente pelo facto de combinar simplicidade e robustez.

O método SES consiste na atribuição de pesos exponencialmente decrescentes às observações mais antigas, atualizando as estimativas em todos os períodos de revisão de inventário quer ocorra ou não ocorra procura durante esse período (Makridakis, et al., 1998). Se y_t é a procura por um item durante o período t , então a previsão da procura do item durante o período é dada por:

$$y'_t = y'_{t-1} + \alpha(y_t - y'_{t-1}) \quad (12)$$

Onde α é a constante de alisamento entre 0 e 1.

No entanto a este método de previsão são apontadas falhas quando aplicado a itens cuja procura é intermitente (um destes exemplos passa pela impossibilidade de obter separadamente a estimativa da probabilidade da procura e do tamanho da procura, apesar da importância destes fatores no controlo de inventário). Porém, tal como Teunter et al. (2011) apontam, o Alisamento Exponencial Simples responde rapidamente a situações em que há obsolescência repentina ou diminuição da procura. Daí se ter incluído este método de previsão na metodologia desenvolvida.

Como é possível ver no ponto 3.4.2.1, a aplicação dos métodos de previsão selecionados implica a definição das constantes de alisamento (α e β) e de valores de inicialização.

As constantes de alisamento refletem o peso atribuído aos dados de procura mais recentes. Assim, um valor mais alto destas constantes torna a previsão mais sensível a alterações da procura mais recentes, ou seja, o alisamento torna-se menor. Por outro lado, valores mais próximos de zero aumentam o efeito de alisamento.

Teunter et al. (2011) referem que um dos objetivos das previsões é atingir uma variância mínima, que implica um estimador não enviesado. Porém, isto apenas é alcançável quando o processo de procura é conhecido. Na prática, especialmente na procura intermitente, isto nunca se verifica. Consequentemente, não se sabe com clareza se o processo de procura é estacionário ou não estacionário. Quando se suspeita que o processo de procura é não estacionário, o método de previsão deve adaptar-se rapidamente. Isto atinge-se através da escolha de constantes de alisamento “suficientemente grandes”.

O mesmo autor propõe duas formas de escolher as constantes de alisamento sem conhecer o processo de procura:

- Otimização heurística baseada em dados históricos. Esta opção é de difícil aplicação no caso da procura intermitente dada a falta de dados históricos;
- Uso de valores fixos para as constantes com base em conclusões de estudos realizadas pelos *experts* destes métodos de previsão. Para o Alisamento Exponencial Simples, assim como para o Método de Croston e o SBA, o intervalo de valores recomendado para a constante α é entre 0,05 e 0,2.

No que refere ao Método TSB, os valores das constantes de alisamento devem depender do comprimento do período. Por exemplo, constantes de alisamento com valores no intervalo acima indicado devem ser aplicadas para períodos mensais, enquanto que para períodos diários os valores atribuídos às constantes de alisamento devem ser significativamente menores (Teunter, et al., 2011).

Teunter et al. (2011) referem que de forma a aplicar o método TSB e se atingir uma redução da variância em relação ao método de Croston pode utilizar-se a expressão simplificada:

$$\beta \leq \frac{2 \times p \times \alpha}{2 - \alpha \times (1 - p)} \quad (13)$$

Onde p representa a probabilidade da procura ser maior do que zero.

Os métodos de previsão seleccionados partilham o facto de serem recursivos, e como tal necessitam de valores iniciais para arrancarem. O cálculo destes valores de iniciação pode ser feito a partir de diversos métodos (Gardner, 1985).

Com base na situação em estudo e na literatura, seleccionaram-se duas metodologias de cálculo dos valores de iniciação: uma baseada na média (Velagić, 2012) e outra baseada nas fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP. Métodos tradicionais como, o método dos mínimos quadrados ou o método da decomposição foram excluídos pelo facto de não se adaptarem à situação em estudo. No método dos mínimos quadrados, por exemplo, o ajustamento dos dados históricos a uma função revelou-se bastante complexo dado o comportamento pouco tendencial da procura intermitente.

Segundo Velagić (2012), os valores de iniciação para os métodos de previsão são dados por:

$$y'_t = \frac{1}{n} \sum_1^n y_t \quad (14)$$

$$k'_t = \frac{n}{|T|} \quad (15)$$

$$p'_t = \frac{|T|}{n} \quad (16)$$

$$z'_t = \frac{1}{|T|} \sum_{t \in T} y_t \quad (17)$$

No que refere ao ERP, SAP, o cálculo dos valores iniciais a aplicar nos métodos de previsão calculam-se segundo (SAP SE, 2014):

$$\text{Se } y_1 \neq 0 \Rightarrow z'_0 = y_1 \wedge k'_0 = 1 \quad (18)$$

$$\text{Se } y_1 = 0 \Rightarrow z'_0 = 1 \wedge k'_0 = 2 \quad (19)$$

Onde:

y_t é a procura por um item no instante t

y'_t é a estimativa inicial da procura média por período

k'_t é a estimativa inicial do valor atual do tempo entre transações no instante t

p'_t é a estimativa inicial da probabilidade da ocorrência de procura para o período t

z'_t é a estimativa inicial do tamanho da procura de um item no instante t

n é o número de meses que constituem a amostra de dados históricos em análise

T é o número de meses entre os n meses com procura positiva

Em suma, nesta etapa da metodologia aplicam-se os diferentes métodos de previsão tantas vezes quantos são os diferentes cenários, distintos em relação: ao método de previsão de procura, ao valor das constantes de alisamento e aos valores de iniciação, na tentativa de se determinar quais os melhores cenários e quais os parâmetros que os caracterizam nessa condição.

Como referido, uma das fases da etapa de classificação de inventário na metodologia definida passa pela caracterização do padrão de procura de cada item, para posteriormente se identificar o método e abordagem de previsão que melhor se adequa a cada produto. Bacchetti & Sacconi (2011) defendem que com base nesta classificação não existe ainda nesta fase nenhuma indicação prática e conclusiva sobre qual o melhor método de previsão. Por outro lado, o esquema de classificação apresentado no ponto 4.1.1 apenas conduz à seleção de dois métodos de previsão de procura intermitente. Neste contexto, e tentado tornar esta metodologia de gestão de inventário mais robusta, não se aplicará apenas um método de previsão a cada item, mas sim todos os quatro métodos de previsão já referidos.

Na mesma perspetiva, optou-se por aplicar valores fixos às constantes de alisamento numa lógica de tentativa-erro. Isto é, aplicar-se-ão vários valores às constantes de alisamento nos quatro métodos de previsão, analisando *à posteriori* a performance dos resultados dos métodos que daí advêm.

No que respeita aos valores de iniciação, optou-se pela aplicação das duas metodologias de cálculo descritas em cima: uma baseada na média (Velagić, 2012) e outra baseada nas fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP.

Após a aplicação dos quatro métodos de previsão aos dados históricos, com as referidas variações dos valores das constantes de alisamento e do cálculo dos valores de iniciação, os resultados de cada um dos cenários são comparados. Desta forma, o cenário que permite alcançar melhores resultados, ou seja, previsões com melhor desempenho, é selecionado.

4.1.3 – Indicadores de Performance

Para comparação dos resultados, e com base no estudo de (Velagić, 2012), optou-se pelo uso de duas medidas de performance neste modelo: uma que estima a variância do método de previsão – Erro Quadrático Médio (*Mean Square Error* – MSE) e outra que mede o enviesamento do mesmo – Erro Médio (*Mean Error* – ME).

$$MSE = (y'_t - d_t)^2 \quad (20)$$

$$ME = y'_t - d_t \quad (21)$$

Onde d_t representa a procura por item no instante t.

Apesar de existirem medidas de performance mais sofisticadas, o MSE pode ser definido quer para procura positiva quer para procura nula, o que se revela importante num contexto de procura intermitente, liga-se com o controlo de inventário e é uma medida bastante usada (Velagić, 2012).

Chase (2009) defende que um modelo de previsão de procura pode ajustar-se muito bem aos dados históricos, apresentando um erro perto de zero, e no entanto fazer uma má previsão da procura atual.

No sentido de contornar este facto, o autor propõe: a divisão da procura histórica num conjunto de modelação inicial (*in-sample dataset*) e num conjunto de dados teste (*out-of-sample data*); a estimação dos parâmetros, incluindo constantes de alisamento, e a inicialização do método, a partir do *in-sample dataset*; o cálculo e a comparação das previsões de procura com o conjunto de dados teste (*out-of-sample*); medição dos erros de previsão a partir do conjunto de dados teste. Chase (2009) explica que deste modo o conjunto de dados teste não é usado no ajustamento da iniciação do modelo, e as previsões são projeções atuais criadas sem usar os valores das observações. Assim, as previsões podem “estabilizar” durante o estado de atualização da iniciação.

No mesmo sentido, Chase (2009) recomenda que na formação dos conjuntos se use um terço dos dados históricos mais recentes como dados teste (*out-of-sample*), e dois terços da procura histórica mais antiga para ajustar os diferentes modelos.

Ao longo do desenvolvimento da metodologia proposta teve-se sempre como foco o problema que se pretende resolver, e com ele a possibilidade de análise de dados disponíveis na Zagope. Visto que o sistema SAP apenas foi implementado no mercado de Angola no início do ano de 2013, apenas existe histórico da procura de peças de manutenção de equipamentos correspondente ao período de tempo decorrido desde então. A juntar a isto, é conhecido que os itens em análise enfrentam uma procura intermitente, e como tal, os dados históricos são insuficientes para tomar o procedimento sugerido por Chase (2009). Assim, assume-se o risco dos resultados da aplicação desta metodologia de controlo de *stocks* não serem tão próximos do real quanto se desejaria.

4.1.4 – Políticas de Controlo de Stocks

Como se concluiu no ponto 3.4.2.2, o controlo de inventário referente a padrões de procura intermitente é gerido tipicamente por sistemas de revisão periódica. Dada a dificuldade de calcular os níveis de inventário ótimos e de estimar com exatidão a distribuição de procura enfrentada por este tipo de itens, o recurso a heurísticas de controlo de *stocks* parece a opção mais adequada.

No modelo desenvolvido, optou-se por aplicar três das heurísticas mais reconhecidas na literatura para este género de inventário: Aproximação à Normal, *Power Approximation* e Heurística de Naddor. Nestas heurísticas calculam-se valores aproximados para os parâmetros da política de controlo de inventário periódica (s , S), onde s e S representam respetivamente o nível de encomenda (*reorder point*) e o nível de reabastecimento (*replenishment level*).

Considerando a seguinte notação:

k representa os *ordering costs*

h representa os *holding costs* unitários

b representa os *backlogging costs* unitários

y'_t representa a procura média estimada por período de tempo (obtida na fase anterior)

y_t representa a procura média histórica por período de tempo

α representa a constante de alisamento ($0 \leq \alpha \leq 1$)

L representa o tempo de abastecimento (*lead time*)

μ_{L+1} e σ_{L+1} representam a média e o desvio padrão da procura ao longo de L+1 períodos respetivamente calculados a partir das equações 22 e 23

$$\mu_{L+1} = y'_t \times (L+1) \quad (22)$$

$$\sigma_{L+1} = \sigma_t \times \sqrt{L+1} \quad (23)$$

σ_t representa o desvio padrão da procura por período de tempo estimado a partir da equação 24

$$\sigma_t = MSE_t = \alpha(y'_{t-1} - y'_t)^2 + (1-\alpha) \times MSE_{t-1} \quad (24)$$

Assumindo-se um MSE_0 dado por:

$$MSE_0 = (y_0 - y'_0)^2 \quad (25)$$

$I_N(.)$ representa a *standardized normal loss integral*

$\Phi(.)$ representa a distribuição normal padrão cumulativa

Definiram-se os passos a seguir na aplicação da heurística Aproximação à Normal, a partir de Babai et al. (2010) e de Altay & Litteral (2011):

$$\text{Passo 1: } Q = \sqrt{\frac{2 \times k \times y'_t}{h}} \quad (26)$$

$$\text{Passo 2: } R_N = \frac{h \times Q}{b \times \sigma_{L+1}} \quad (27)$$

$$\text{Passo 3: Encontrar valor de } \mu_s \text{ tal que: } I_N(\mu_s) = R_N \quad (28)$$

$$\text{Passo 4: Calcular } \left(\text{Se } y'_t < 0,8888 \frac{k}{h} \right) \text{ então: } s = y'_t(L+1) + \mu_s \times \sigma_{L+1} \quad (29)$$

$$S = s + Q \quad (30)$$

Caso contrário: ir para o passo 5

$$\text{Passo 5: Se } R = \frac{b}{b+h} \quad (31)$$

$$\text{Encontrar o valor de } v_s \text{ tal que: } \varphi(v_s) = R \quad (32)$$

$$\text{Passo 6: } \omega_s = \min\{\mu_s, v_s\} \quad (33)$$

$$s = y'_t(L+1) + \omega_s \times \sigma_{L+1} \quad (34)$$

$$S = y'_t(L+1) + \min\left\{ \mu_s \times \sigma_{L+1} + Q, v_s \times \sigma_{L+1} \right\} \quad (35)$$

Já a heurística *Power Approximation*, definida a partir de Babai et al. (2010) e de Ehrhardt & Mosier (1984), caracteriza-se pelos seguintes passos:

Passo 1: Considerando $\lambda = \frac{b}{b+h}$ como o índice de disponibilidade ou nível de serviço.

$$Q = 1,3 \times y'_t^{0,494} \times \left(\frac{k}{h} \right)^{0,506} \times \left(1 + \frac{\sigma_{L+1}^2}{y'^2_t} \right)^{0,116} \quad (36)$$

$$z = \sqrt{\frac{h \times Q}{\sigma_{L+1} \times b}} \quad (37)$$

$$\text{Passo 2: } s_p = 0,973 \times \mu_{L+1} + \sigma_{L+1} \times \left(\frac{0,183}{z} + 1,063 - 2,192 \times z \right) \quad (38)$$

$$S_0 = y'_t (L+1) + \varphi^{-1}(\lambda) \times \sigma_{L+1} \quad (39)$$

$$\text{Passo 3: Se } \left(\frac{Q}{y'_t} > 1,5 \right) \text{ então: } s = s_p \quad (40)$$

$$S = s_p + Q \quad (41)$$

$$\text{Caso contrário: } s = \min\{s_p, S_0\} \quad (42)$$

$$S = \min\{s_p + Q, S_0\} \quad (43)$$

Por último, a heurística de Naddor, definida a partir de Babai et al. (2010) e de Kurtulus (2008), caracteriza-se pelos passos abaixo indicados, tendo em conta também a notação que se segue:

T_0 representa o período de revisão

Q_0 representa o tamanho de encomenda

\bar{y} e σ_y representam a média e o desvio padrão da procura ao longo do período $L+t$, respetivamente

t representa o número de períodos decorridos desde a última vez em que a posição de inventário foi menor ou igual ao nível de encomenda e uma ordem foi colocada

ω representa o período de revisão

$$N = \varphi^{-1}(\lambda) \quad (44)$$

$P(0)$ representa a não existência de procura por unidade de tempo. Com base em Teunter et al. (2011), a distribuição Gama é a escolha natural para aplicação no controlo de *stocks*. Assim, para ajustar esta distribuição à procura histórica por período têm de se calcular os valores dos parâmetros α (forma – equação 46) e β (escala – equação 47) da distribuição Gama item a item a partir da relação dos mesmos com a média (equação 45) e da variância da procura histórica do período analisado de cada um.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (45)$$

$$VAR(X) = \alpha \times \beta^2 \Leftrightarrow \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X}^2 = \alpha \times \frac{\bar{X}^2}{\alpha^2} \Leftrightarrow \alpha = \frac{\bar{X}^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i^2 - \bar{X}^2} \quad (46)$$

$$\bar{X} = \alpha \times \beta \Leftrightarrow \beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad (47)$$

Passo 1: Considerando $\lambda = \frac{b}{b+h}$ como o índice de disponibilidade ou nível de serviço.

$$T_0 = \sqrt{\frac{2 \times k}{y'_t \times h \times \lambda}} \quad (48)$$

$$Q_0 = \sqrt{\frac{2 \times k \times y'_t}{h \times \lambda}} \quad (49)$$

$$\text{Passo 2: } N = \varphi^{-1}(\lambda) \quad (50)$$

Tomando a unidade básica da procura igual a um, sem perda de qualquer generalidade:

$$\text{Passo 3: } \bar{y} = \bar{y}(Q_0) = \left(L + \frac{\omega}{2} \right) \times y'_t + \frac{(Q_0 - 1)}{2} \quad (51)$$

$$\text{Passo 4: } \sigma_y = \sigma_y(Q_0) = \sqrt{\left[\left(L + \frac{\omega}{3} \right) \times \sigma_t^2 + \frac{\omega \times y_t'^2}{12} + \frac{1 - P(0)^\omega}{6} + \frac{Q_0 - 1}{12} \right]} \quad (52)$$

$$\text{Passo 5: } \sigma_y = \sigma_y(T_0) = \sqrt{\left[\left(L + \frac{T_0}{3} \right) \times \sigma_t^2 + \frac{(T_0 \times y_t')^2}{12} + \frac{1 - P(0)^{T_0}}{6} \right]} \quad (53)$$

$$\text{Passo 6: } s_0 = \bar{y}(Q_0) + N \times \sigma_y(Q_0) - Q_0 \quad (54)$$

$$s_0 = \bar{y}(T_0) + N \times \sigma_y(T_0) \quad (55)$$

4.2 – Conclusões do Capítulo

Ao longo deste capítulo caracterizou-se a metodologia de gestão de inventário desenvolvida como resposta ao problema da Zagope (identificado no capítulo 2). Com base na revisão bibliográfica realizada no capítulo 3, sustentou-se o desenvolvimento da metodologia aqui descrita. Esta metodologia compõe-se por três fases principais: a fase I de caracterização do inventário, a fase II de previsão da procura e a fase III de aplicação de políticas de controlo de inventário. Os resultados consequentes de cada uma destas fases aplicam-se na fase seguinte, tornando os resultados encadeados até atingir os resultados finais da metodologia (níveis de inventário a praticar).

Posto isto, segue-se no capítulo 5 a implementação da metodologia descrita ao longo deste capítulo aos dados históricos da Zagope.

5 – Resolução do Caso de Estudo

Neste capítulo descreve-se a resolução do problema da gestão de inventário identificado na Zagope e descrito anteriormente. Para tal, utiliza-se a metodologia descrita no capítulo anterior. Numa primeira secção caracteriza-se a amostra dos dados disponíveis e numa segunda secção, dividida pelas fases da metodologia desenvolvida, expõem-se as características e os pressupostos assumidos na sua aplicação, descrevendo e discutindo também os resultados que daí resultaram.

5.1 - Caracterização da Amostra

Como já foi referido, as obras cujos *stocks* serão analisados e estudados através da aplicação da metodologia desenvolvida pertencem ao mercado de Angola e possuem o sistema SAP instalado desde janeiro de 2013. Estas obras são: BMX, NGOL e MECC. As três obras em questão BMX, NGOL e MECC são obras de construção de estrada apresentando características semelhantes em termos de operações de construção civil.

A obra de BMX é uma obra localizada a norte de Luanda, numa cidade pequena, isolada e pouco desenvolvida, na província de Bingo e tem um ambiente socialmente instável. Distingue-se por ser, entre as três obras, aquela que tem uma estrutura física mais pequena.

A obra de NGOL foi uma obra iniciada há já alguns anos pela Zagope (mais de quatro anos) e ao longo do desenvolvimento da qual vários contratos têm vindo a ser assinados. É uma obra de cidade, localiza-se em Luanda e tem uma estrutura física de elevadas dimensões.

A obra de MECC foi a primeira obra que a Zagope iniciou em Angola. Está preparada com uma estrutura física também bastante grande quer pela dimensão da obra quer pela localização desfavorecida que a caracteriza. Esta obra está situada em Menongue, interior sul de Angola.

Os dados para análise dos *stocks* foram retirados do sistema desde o dia 10 de dezembro de 2013. O período de análise de *stocks* neste estudo compreende 14 meses, de janeiro de 2013 a 27 de fevereiro de 2014 (última data em que se retiraram dados do sistema).

O tipo de *stock* em foco nesta dissertação são as peças de manutenção de equipamentos, como tal, houve necessidade de proceder à filtragem dos dados fornecidos. Desta operação pode-se concluir, corroborando a informação apresentada no ponto 2.2.5, que este tipo de inventário tem uma grande representatividade quer em termos do número de referências de peças existentes quer em termos de valor em inventário. Na Tabela 1, onde está representada a informação sumária da amostra que se analisará, é possível verificar este facto.

Estima-se que esta tão elevada representatividade do *stock* de peças de manutenção de equipamentos se relacione com a já elevada obsolescência de vários itens em inventário nos armazéns das obras em análise. Este argumento será explorado com detalhe no ponto 5.2.1.1.2 ao desenvolver a etapa de classificação de inventário segundo o critério rotatividade.

No mercado de Angola existe um entreposto por onde algum material passa antes de chegar às obras da Zagope. Já nesta instalação, o material está afeto à obra a que se destina desde que dá entrada. Neste sentido, é importante referir que a informação apresentada na Tabela 1, e todo o

estudo em desenvolvimento, tem em consideração apenas o material presente fisicamente nos armazéns de cada obra, ignorando o material em trânsito por transferências de centro, por passagem pelo entreposto ou em transporte.

Tabela 1 - Quantificação unitária e monetária dos *stocks* de peças de manutenção nas três obras em análise no dia 27 de fevereiro de 2014

| Obra | BMX | NGOL | MECC |
|---|---------|-----------|-----------|
| Número de referências totais de itens (1) | 1.174 | 4.397 | 5.221 |
| Número de referências de peças (2) | 873 | 3.925 | 4.856 |
| Representatividade do número de peças em stock (2)/(3) | 74,36% | 89,27% | 93,01% |
| Valor em stock total (USD) (3) | 473.418 | 3.453.724 | 4.127.793 |
| Valor em stock de peças (USD) (4) | 383.080 | 2.130.768 | 3.400.551 |
| Representatividade do valor de peças em stock (4)/(3) | 80,92% | 61,69% | 82,38% |

A inexistência de um sistema de controlo de inventário reflete-se na falta do tratamento pela Zagope de dados relacionados. A juntar, a ferramenta SAP não permite a recolha de informação de *stock* anterior ao próprio dia. Assim, dados sobre os níveis de *stock* anteriores à data de 10 dezembro de 2013 (quando surgiu a necessidade destes dados para desenvolvimento deste trabalho) são inexistentes.

Com o intuito de se analisar a evolução dos níveis de inventário nos armazéns das obras de BMX, MECC e NGOL ao longo do período em análise, procedeu-se a uma reconstituição do inventário para os meses anteriores a dezembro de 2013. Para tal adotaram-se os seguintes passos:

Passo 1- Escolheu-se a informação do *stock* à data de 10 de dezembro de 2013 (primeira data à qual se tiraram dados para estudo nesta tese) como base para o cálculo dos níveis de inventário mensais ao longo do ano de 2013.

Passo 2 – Entre os itens deste *stock* seleccionaram-se apenas os materiais de manutenção de equipamentos (foco deste estudo) identificados em sistema com a categoria das “Peças”. Em termos práticos, filtraram-se os itens da categoria “Peças” a partir de um dos atributos que a Zagope utiliza para caracterizar o seu inventário, “Tipo de Material”.

Passo 3 – Utilizando outra base de dados fornecida pela Zagope, e relativa aos movimentos históricos dos itens por data, centro, quantidade, valor e tipo de movimento, quantificaram-se os movimentos totais de entradas e de saídas correspondentes a cada item por mês e ano. Por entre os diferentes tipos de movimentos registados seleccionaram-se os 10 representados na Tabela 2. Estes movimentos partilham o facto de conduzirem à alteração do número de peças fisicamente disponíveis na prateleira de cada armazém.

Passo 4 - Calcularam-se os níveis de inventário no início e no final de cada mês. Começando com o *stock* do dia 10 de dezembro de 2013, somaram-se as saídas ocorridas durante o respetivo mês (entre 1 e 10 de dezembro de 2013) e subtraíram-se as entradas também ocorridas durante esse período, item a item, concluindo-se qual o inventário no início do mês de dezembro de 2013. O procedimento repetiu-se mês a mês, até ao mês de janeiro de 2013.

Tabela 2 - Tipos de movimentos transacionais de itens relevantes no armazém

| Entradas do Armazém da Obra | | Saídas do Armazém da Obra | |
|-----------------------------|--|----------------------------|---|
| Identificação do Movimento | Descrição do Movimento | Identificação do Movimento | Descrição do Movimento |
| 101 | Entrada de itens na obra provenientes do entreposto, outras obras/outros | 102 | Estorno das entradas do tipo 101 |
| 109 | Entrada de itens na obra provenientes de exportação | 110 | Estorno das entradas do tipo 109 |
| 222 | Estorno das saídas do tipo 221 | 221 | Saídas para consumo na obra (equipamentos) |
| 352 | Estorno do movimento 351 | 351 | Saída de itens para um armazém de outra obra da Zagope (em transferência) |
| 701 | Ganhos (por erros na contagem de inventário) | 702 | Perdas (por erros na contagem de inventário ou outros) |

Passo 5 – Apenas para esta análise de evolução do inventário médio de peças de manutenção calcularam-se os níveis de inventário no início e no final de cada mês também para os itens que não estavam no *stock* base de 10 de dezembro de 2013 mas que registaram movimentos ao longo do ano de 2013/2014, considerando-se que o *stock* destes itens à data base era nulo.

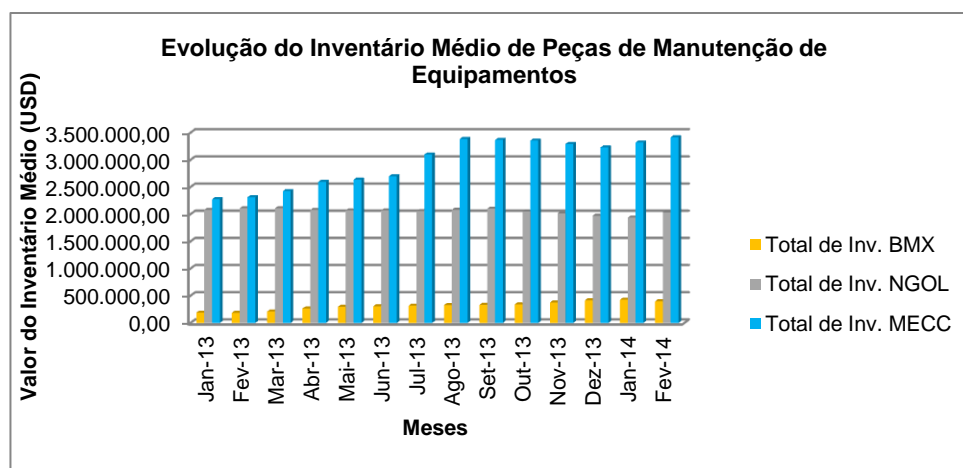


Figura 11 - Evolução do valor (USD) de inventário médio mensal de peças de manutenção de equipamentos nas três obras em estudo

Assim que os níveis de inventário mensais registados ao longo do ano 2013 e no início do ano de 2014 foram reconstituídos (ver Figura 11), foram validados pelo diretor de equipamentos da Zagope de forma genérica.

Para melhor perceber a evolução do número de peças de manutenção de equipamentos em inventário importa recordar as características das obras em estudo (ver início da secção).

Dadas estas características, os níveis de inventário apresentados na Figura 11 tornam-se relativamente compreensíveis. Os já vários anos de atividade da obra de MECC, as suas grandes dimensões e a sua localização no interior sul de Angola, induz a níveis de *stocks* muito representativos. Ademais, sendo a obra pioneira em Angola, MECC representa o projeto onde os erros cometidos por inexperiência operacional no continente africano mais aconteceram. Este facto verificou-se também nos processos de compra e na acumulação descontrolada de *stock*.

MECC foi ainda a obra que apresentou uma maior variação dos níveis de *stock* ao longo do período analisado. Esta variação baseia-se na também inexperiência de utilização do sistema SAP pelos

colaboradores. Quando se instalou o SAP na obra, migraram-se para o sistema todos os pedidos de compra feitos à entidade exportadora (Zagope Portugal) que à data estavam em aberto. Entretanto este material foi chegando à obra nos contentores de transporte e esteve à espera de ser introduzido em sistema até aos meses de agosto e julho de 2013. Dado o acumulado de material em contentores, o valor em inventário de junho de 2013 a agosto de 2013 aumentou quase 1 milhão de dólares.

No que refere a NGOL, dada a sua proximidade ao porto e os seus fáceis acessos seria de esperar que os níveis de inventário não fossem tão significativos. Porém, dada a já longa duração da obra, os efeitos de inexperiência e a instabilidade, verificou-se o aumento de *stock* de peças de manutenção. Apesar da não perecibilidade deste tipo de inventário, as peças podem já não ser adequadas a nenhum dos equipamentos existentes em obra.

Realça-se também que a diferença dimensional entre a obra de BMX e NGOL justifica o facto do valor em inventário de ambas as obras diferir bastante.

O tipo de inventário em questão é correlacionável com a manutenção dos equipamentos. Assim, a evolução do número de equipamentos por obra ao longo do período em análise permite também compreender a evolução dos níveis de inventário nas obras. Na obra de BMX o número de grandes equipamentos (aqueles que têm principal relevância em termos de operação da Zagope e de consumo de peças) diminuiu devido à redução dos trabalhos da obra que chegou mesmo a estar parada durante o verão de 2013. Sendo BMX uma obra isolada, a segurança dos equipamentos com a obra parada diminuiu. Desta forma, uma vez que NGOL tem uma grande estrutura para armazenar os equipamentos, e se encontra localizada em Luanda, onde a instabilidade social é menor e a segurança é maior, os equipamentos principais foram transportados para a capital de Angola até a obra de BMX ser retomada. Quanto à obra de NGOL, o número de grandes equipamentos aumentou, muito devido às transferências de equipamentos vindos de BMX. Porém, o inventário de peças de manutenção manteve-se praticamente constante devido à inatividade de muitos dos equipamentos que a obra possui. Isto porque, as obras de MECC e NGOL trabalharam com um ritmo abaixo do esperado e do verificado em anos anteriores. Deste modo, muitos dos equipamentos estiveram parados e os consumos de peças de manutenção não foram muito significativos.

Apresentada a amostra dos dados a aplicar à metodologia, descrita no capítulo anterior, segue-se a caracterização do tratamento dos mesmos ao longo da sua aplicação à metodologia e a apresentação de resultados obtidos em cada uma das fases da mesma.

5.2 – Tratamento de Dados e Desenvolvimento da Metodologia

Nesta secção são analisados os dados com base na metodologia caracterizada no capítulo 4 e são apresentados os pressupostos assumidos, assim como os resultados obtidos em cada uma das etapas da metodologia. Relembrando os passos da metodologia e ligando-os às secções seguintes tem-se: Classificação de Inventário (correspondente à fase I da metodologia) na secção 5.2.1; Previsão da Procura (correspondente à fase II da metodologia) na secção 5.2.2; Políticas de Controlo de *Stocks* (correspondente à fase III da metodologia) na secção 5.2.3. A metodologia utilizada bem como o processo de cálculo utilizado esquematizam-se na Figura 12.

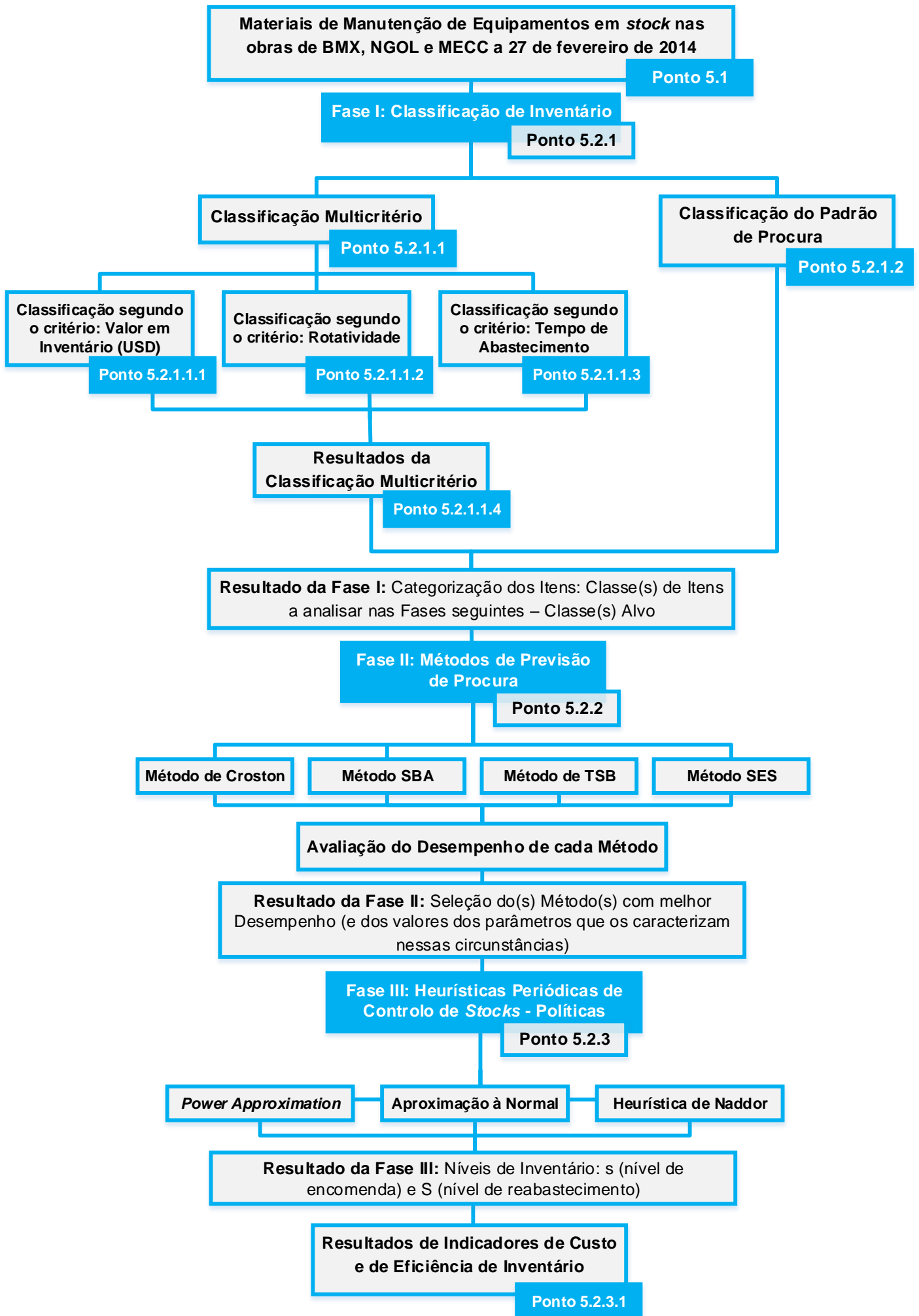


Figura 12 – Esquematização da metodologia e do processo de cálculo utilizados

5.2.1 - Classificação de Inventário

A classificação de inventário é a primeira das etapas a executar na resolução do problema identificado. O desenvolvimento desta etapa envolve dois tipos de classificação: uma primeira classificação das peças de manutenção de equipamentos em função dos critérios relevantes para a gestão deste inventário da Zagope; e uma segunda classificação, que pretende categorizar os itens no que refere ao seu padrão de procura durante o período em análise.

5.2.1.1 - Classificação segundo critérios relevantes à gestão de inventário da empresa

Huiskonen (2001) apontou os critérios: criticidade, especificidade, procura e valor, como os mais importantes a utilizar na categorização de *spare parts*.

Por outro lado, vários outros autores, num sentido de inventário mais genérico e não especificamente de *spare parts*, propuseram outros critérios de classificação de inventário como: custo de inventário, criticidade, tempo de abastecimento, vulgaridade, obsolescência, substituíbilidade, número de pedidos por item, escassez, durabilidade, grau de reparação, tamanho das encomendas requeridas, *stockability*, distribuição da procura e o custo de *rutura*.

São vários os possíveis critérios a aplicar na classificação do inventário, porém selecionaram-se apenas os 3 critérios que em conjunto com o diretor de equipamentos da Zagope se consideraram mais importantes: valor em inventário, rotatividade e tempo de abastecimento.

A escolha do valor de inventário relaciona-se com a representatividade em termos de inventário que as peças de manutenção apresentam nos armazéns das obras da Zagope. No que refere à rotatividade, é conhecida a perspetiva de um significativo número de itens obsoletos ou em risco de obsolescência em inventário, daí a relevância de integrar este critério na classificação do inventário. Por fim, o critério tempo de abastecimento surge pela sua relevância nos momentos de planeamento de inventário. Como descrito no ponto 2.2.4.1, prevê-se que este fator assumia valores elevados e que por isso a sua influência na política de controlo de inventário se torne representativa.

Acresce que a seleção dos critérios de classificação também esteve dependente da influência que estes poderão ter na obtenção de um melhor desempenho do controlo de inventário. Importa ainda referir que apesar de outros critérios terem sido considerados, tendo presente as limitações existentes em termos de dados, a seleção de outros possíveis critérios ficou limitada. A criticidade é um destes exemplos. Apesar de ser reconhecida como um dos critérios relevantes na classificação de inventário de *spare parts*, principalmente quando se perspetiva a aplicação dos resultados desta tarefa na política de controlo de *stocks*, a criticidade não poderia ser usada pois não existe um sistema de manutenção centralizado e integrado na Zagope que permitisse a recolha de dados para aplicação deste critério. Para além disso, a definição da criticidade das peças varia de obra para obra ou até dentro da mesma obra dependendo das características da mesma. Por exemplo, uma escavadora de arrastos pode estar: numa pedreira com um martelo hidráulico montado a partir pedra exigindo uma troca de óleo às 2000 horas; ou a movimentar terras tendo um balde no lugar do martelo hidráulico, exigindo uma troca de óleo apenas às 4000 horas, provocando menos desgaste. Esta mesma máquina, na mesma obra estaria sujeita a diferentes níveis de desgaste e a diferentes peças críticas. Deste modo, dada a ausência de um sistema de manutenção integrado, a definição da

criticidade de cada um dos mais de 4800 equipamentos e das peças que os constituem, de processo operacional para processo operacional, teria de ser toda feita manualmente com base no conhecimento empírico de um engenheiro mecânico e do fornecedor do equipamento, o que se relevou impossível de realizar.

De seguida, serão descritos os passos tomados, pressupostos assumidos e resultados obtidos na classificação de inventário tendo em conta os critérios selecionados. Para cada um destes critérios será realizada uma análise classificativa cujos resultados serão depois integrados numa classificação conjunta que considere todos os critérios (multicritério).

5.2.1.1.1 – Análise ABC – Critério Valor em Inventário

Para cada uma das obras em estudo, realizou-se uma análise ABC cujo critério utilizado foi o Valor em Inventário. Para tal, considerou-se o valor em inventário para cada referência de peças em *stock* como o produto entre a quantidade unitária fisicamente presente em armazém (no dia 27 de fevereiro de 2014 – último dia em que se tiraram dados do sistema) do respetivo item e o seu PMM (Preço Médio Móvel) no armazém da obra em dólares (USD - moeda utilizada pelo grupo no sistema SAP).

Após se recolherem os dados necessários ao cálculo do “Valor em *Stock* (USD)” de cada referência de peças em *stock* no dia 27 de fevereiro de 2014, fez-se o tratamento dos mesmos utilizando o *software Microsoft Excel* e os resultados da análise ABC segundo este critério estão representados nas Tabelas 3, 4 e 5 para cada uma das obras em estudo.

Tabela 3 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra BMX

| | Valor em Inventário (USD) | Percentagem da amostra | Número de itens | Percentagem da amostra |
|-----------------|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Classe A | 306.644,34 | 80,05% | 224 | 25,7% |
| Classe B | 58.519,31 | 15,28% | 264 | 30,2% |
| Classe C | 17.916,44 | 4,68% | 385 | 44,1% |
| Amostra | 383.080,09 | 100% | 873 | 100% |

Tabela 4 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra NGOL

| | Valor em Inventário (USD) | Percentagem da amostra | Número de itens | Percentagem da amostra |
|-----------------|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Classe A | 1.704.868,5 | 80,01% | 829 | 21,12% |
| Classe B | 344.098,2 | 16,15% | 1212 | 30,88% |
| Classe C | 81.801,7 | 3,84% | 1884 | 48,00% |
| Amostra | 2.130.768,4 | 100% | 3925 | 100% |

Tabela 5 - Resultados da Análise ABC - Critério Valor em Inventário na Obra MECC

| | Valor em Inventário (USD) | Percentagem da amostra | Número de itens | Percentagem da amostra |
|-----------------|---------------------------|------------------------|-----------------|------------------------|
| Classe A | 2.748.412,4 | 80,82% | 971 | 20,00% |
| Classe B | 510.080,67 | 15,00% | 1457 | 30,00% |
| Classe C | 142.057,39 | 4,18% | 2428 | 50,00% |
| Amostra | 3.400.550,5 | 100% | 4856 | 100% |

5.2.1.1.2 – Análise ABC – Critério Rotatividade

A rotatividade foi outro dos critérios aplicados na classificação de inventário. A análise da rotatividade para cada referência de peças em *stock* nos 14 meses precedentes à data em análise, baseou-se no

número de ocorrências de procura por unidade de tempo ao longo do período estudado (14 meses). Apesar do indicador mais comumente utilizado, para análise da rotatividade, ser o *inventory turnover*, no caso em estudo a sua aplicação verificou-se inviável. O cálculo do *inventory turnover*, encontrado pelo quociente entre o consumo da peça e o seu inventário médio, resultou num número impossível dado o domínio nulo do denominador de alguns dos itens analisados, para os quais o inventário médio mensal é igual a zero.

Para se analisar a rotatividade dividiram-se os itens em quatro grupos em função do seu perfil de saídas de armazém para consumos. Na definição deste perfil para as referências em *stock* tiveram-se em atenção aspetos como: mês de entrada de uma dada referência em *stock* (um item que apenas entra em *stock* em dezembro de 2013 e que desta data até 27 de fevereiro de 2014 não é consumido não pode ser considerado como um item em risco de obsolescência por ter um indicador de rotatividade igual a zero, dado o histórico de ocorrências de procura nulo); existência ou não de itens de uma dada referência em inventário (quando o *stock* de uma dada referência é igual a zero, não se registam consumos desta por inexistência em *stock*. Assim, nos períodos em que o *stock* é nulo não interessa considerar a rotatividade).

A fim de se encontrar os quatro grupos de rotatividade utilizou-se um contador cumulativo calculado ao longo de uma análise em retrospectiva dos movimentos em inventário. Por exemplo, analisando os movimentos de inventário, quer de entradas quer de saídas para consumos, das referências em *stock* a 27 de fevereiro de 2014 durante este mês, encontra-se o inventário de cada referência no início de fevereiro de 2014. Neste momento o contador pode tomar um dos seguintes valores:

- Valor de 1 se o inventário no início do mês de fevereiro de 2014 é diferente de zero e o número total de saídas para consumos desta referência for igual a zero
- Valor de 0 se o inventário no início do mês de fevereiro de 2014 é igual a zero
- Valor de 0 se o número total de saídas para consumo desta referência for diferente de zero

Repetindo este procedimento para o mês de janeiro de 2014, e considerando o inventário no final do mês de janeiro de 2014 igual ao inventário no início do mês de fevereiro de 2014 (encontrado antes), atinge-se o inventário no início do mês de janeiro de 2014 e torna-se a atualizar o valor do contador. Deste feita, este indicador pode tomar os seguintes valores:

- Valor da soma: $1 + \text{valor do contador no início do mês de fevereiro de 2014}$, se o inventário no início do mês de janeiro de 2014 é diferente de zero e o número total de saídas para consumo da obra desta referência for igual a zero
- Valor da soma: $0 + \text{valor do contador no início do mês de fevereiro de 2014}$, se o inventário no início do mês de janeiro de 2014 é igual a zero ou se o número total de saídas para consumos desta referência for diferente de zero

Aplicando este procedimento a todos os meses até janeiro de 2013, obtém-se o valor do contador para todos os períodos. Para um item que está em *stock* desde dezembro de 2012 e não foi consumido desde então (até à data de 27 de fevereiro de 2014), o contador atinge o valor de 14 no início do mês de janeiro de 2013, como se pode ver na Figura 13.

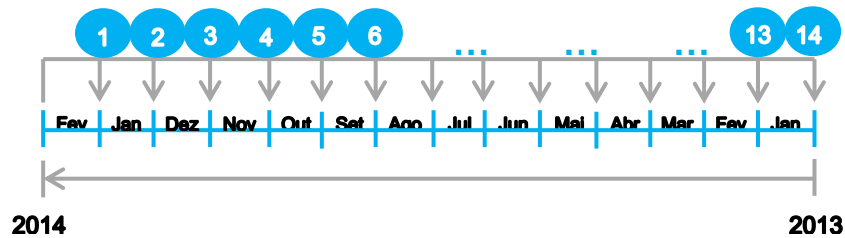


Figura 13 - Representação esquemática do funcionamento do contador cumulativo

Conhecidos os valores dos contadores, distribuem-se os itens pelos quatro grupos de rotatividade que se passam a descrever.

Grupo 1

O grupo 1 inclui os itens que estão em *stock* há x meses e que não saem desde então. Nos meses para trás do considerado podem ter saído ou até terem atingido um nível de inventário igual a zero. O número total de saídas contabilizadas para os itens que constituem este grupo (durante o período em análise) não tem de ser necessariamente igual a zero, com exceção dos itens cujo contador atinge o valor de 14 no início do mês de janeiro de 2013.

No grupo 1 incluem-se os itens que tal como se apontou no ponto 4.1.1 podem ser considerados *slow moving itens* e até mesmo obsoletos.

Itens com o contador igual a 14 (no início do mês de janeiro de 2013), nunca tiveram procura de janeiro de 2013 a 27 de fevereiro de 2014 (inclusive) – estão em *stock* há 14 meses.

Itens com o contador igual a 13 (no início do mês de fevereiro de 2013), não tiveram procura desde fevereiro de 2013 a 27 de fevereiro de 2014 (inclusive) – estão em *stock* há 13 meses. Estes itens podem estar em *stock* há 14 meses, porém durante o mês de janeiro de 2013 podem ter sido consumidos.

Itens que atingiram um valor de 6 no contador no início de setembro de 2013, dada a ausência de consumos desde setembro de 2013 (inclusive), estão em *stock* pela certeza desde o início de setembro de 2013 (tendo entrado apenas em agosto de 2013) e de lá até 27 de fevereiro de 2014 nunca foram consumidos.

Para o caso da Zagope incluem-se neste grupo os itens que não registam qualquer consumo entre 6 a 14 meses.

Grupo 2

Este grupo inclui os itens que entraram pela primeira vez no mês x (que podem ter entrado também em meses posteriores a este) e que nunca foram consumidos desde então. Neste grupo, o número total de saídas contabilizadas para os itens que o constituem é igual a zero.

Neste grupo incluem-se os itens que não registam histórico de procura. Alguns dos conjuntos considerados neste grupo aproximam-se do comportamento de *slow moving itens* e representam elevado risco de se tornarem obsoletos, como é o exemplo do conjunto descrito no parágrafo que se segue.

O primeiro conjunto de itens que se considerou no grupo 2 caracteriza-se pelo facto da primeira data de entrada de itens em *stock* ter acontecido em setembro de 2013. Desta data até fevereiro de 2014

não se registou qualquer procura deste item. Estes itens têm o contador igual a 5 (no início do mês de outubro de 2013).

Este grupo contém ainda os itens que nunca registaram entradas nem saídas em armazém até janeiro de 2014 inclusive. Ou seja, os itens que apenas entraram em armazém em fevereiro de 2014 mas que durante este mês não tiveram procura também se incluem neste grupo.

Grupo 3

Este grupo inclui os itens que registaram saídas de *stock* para consumo há mais de 6 meses, mas que desde a última saída até ao dia 27 de fevereiro de 2014 registaram valores de inventário nulos em alguns meses (o que impediu a soma cumulativa do contador) e que registaram entradas em inventário em alturas mais próximas do dia 27 de fevereiro de 2014.

Este grupo deve incluir itens que visto não registarem saídas há mais de 6 meses devem existir em *stock* em quantidades bastante reduzidas (unitárias), ou dependendo do seu valor monetário, nem sequer existirem em *stock*.

Deste modo, visto que possuem baixa rotatividade devem ser analisados ao nível de controlo de *stocks* como itens em risco de obsolescência, pois não têm consumos há bastante tempo e mesmo assim registaram compras.

Grupo 4

Este grupo inclui os itens que registaram saídas nos últimos 3 e/ou 6 meses antes do dia 27 de fevereiro de 2014. É neste grupo que se incluem os itens com rotatividade, ou seja, com saídas para consumos em histórico em número suficiente para análise. Assim, é a estes itens que serão aplicados os métodos de previsão de procura e as heurísticas de controlo de *stocks* das fases II e III da metodologia de gestão de inventário desenvolvida.

À definição destes grupos de rotatividade segue-se a atribuição a cada um deles de uma nomenclatura clara e elucidativa. Deste modo, perante as características de cada grupo definiu-se a nomenclatura apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Características chave e nomenclatura dos grupos de rotatividade obtidos

| Grupos | Observações | Nomenclatura |
|----------------|--|--------------|
| Grupo 1 | Itens considerados <i>slow moving items</i> – obsoletos | D |
| Grupo 2 | Itens em risco de se tornarem <i>slow moving items</i> e em risco de obsolescência; Itens sem consumos ao longo dos 14 meses: Contador igual a 5 (no início do mês de outubro de 2013) e entrada em <i>stock</i> apenas em setembro de 2013; Contador igual a 4 (no início do mês de novembro de 2013) e entrada em <i>stock</i> apenas em outubro de 2013 | C |
| Grupo 2 | Itens que estão em <i>stock</i> há pouco tempo sem consumos: Contador igual a 3 (no início do mês de dezembro de 2013) e entrada em <i>stock</i> apenas em novembro de 2013; Contador igual a 2 (no início do mês de janeiro de 2014) e entrada em <i>stock</i> apenas em dezembro de 2013; Contador igual a 1 (no início do mês de fevereiro de 2014) e entrada em <i>stock</i> apenas em janeiro de 2014; Contador igual a 0 (no início do mês de fevereiro de 2014) e entrada em <i>stock</i> apenas em fevereiro de 2014 | B |
| Grupo 3 | Itens que podem tornar-se obsoletos dado o consumo inexistente nos últimos meses | C |
| Grupo 4 | Itens com saídas para consumo ao longo dos últimos 3 e/ou 6 meses. Itens para os quais interessa planear os níveis de <i>stock</i> no sentido de evitar ruturas de <i>stock</i> | A |

Aplicando esta análise às obras da Zagope em estudo, obtiveram-se os grupos apresentados nas Tabelas A3 – Anexo 3. A partir destes resultados, é possível concluir que os itens pertencentes ao grupo 1 do critério rotatividade (classe D) representam muito do valor de peças em inventário em cada obra (40,45%, 66,17% e 64,07% do valor em *stock* nas obras de BMX, NGOL e MECC, respetivamente), confirmando-se a suspeita da grande existência de itens obsoletos em inventário. Quanto aos itens pertencentes ao grupo 4 (classe A), também representam muito do valor em inventário em cada obra (38,92%, 26,71% e 22,65% do valor em *stock* nas obras de BMX, NGOL e MECC, respetivamente). Assim, concluiu-se que estas são as duas classes de rotatividade mais representativas em termos de valor em inventário.

5.2.1.1.3 – Análise ABC – Critério Tempo de Abastecimento

O critério tempo de abastecimento relaciona-se com o tempo decorrente desde a perceção da necessidade de um item até à receção desse mesmo item em armazém. O seu cálculo depende do fluxo de materiais em questão, pois a estimativa do tempo de abastecimento quando o processo de compra é realizado pela obra/mercado difere da estimativa do tempo de abastecimento do processo de compra realizado pelos Aprovisionamentos Corporativos.

Como referido no ponto 2.2.4.1, os tempos de abastecimento representados nas Figuras do Anexo 4 nunca foram precisamente calculados. Assim, para melhor entendimento do caso de estudo, foram analisar-se todos os processos de compra históricos existentes das obras em estudo no sentido de se encontrarem valores médios para os tempos de abastecimento e para as frações que os constituem a cada processo de compra de peças de manutenção de equipamentos. A partir desta análise detalhada apresentada no Anexo 4, verificou-se a inviabilidade de aplicação deste critério à classificação dos itens em inventário.

5.2.1.1.4 – Resultados obtidos na classificação ABC multicritério e classes a analisar

Por fim, e para finalizar esta classificação do inventário, cruzaram-se os resultados da classificação ABC segundo o critério valor em inventário com os resultados da classificação segundo o critério rotatividade.

Os itens dividiram-se em dois grandes grupos. Entre eles destaca-se:

- Os itens com grande valor em inventário e rotatividade – itens A na classificação ABC segundo o critério valor em inventário e itens A na classificação segundo o critério rotatividade (itens AA na análise bicritério caracterizados nas Tabelas A8 do Anexo 6);
- Os itens com grande valor em inventário e baixa rotatividade – itens A na classificação ABC segundo o critério valor em inventário e itens C e D na classificação segundo o critério rotatividade (itens AC e AD na análise bicritério caracterizados nas Tabelas A10 e A11 – Anexo 6 e Tabela A9 – Anexo 6, respetivamente).

No que refere aos itens AA, tal como é possível concluir por análise da Tabela 7, representam 20 a 30% do valor em inventário em cada obra analisada à data de 27 de fevereiro de 2014. Dado que para esta classe há histórico de consumos/procura, o objetivo da metodologia de controlo de *stocks* em relação a estes itens passa pelo planeamento de níveis de inventário que permitam: a não existência de rutura de *stock* e a encomenda de itens em função das necessidades e não apenas em

função do senso comum e das circunstâncias dos gestores de armazém. Estes itens apresentam consumos mas também representam grande valor em inventário, por isso, é importante que a sua representatividade em *stock* seja planeada e controlada por uma política de controlo de inventário por forma a não acentuar custos. Assim, estes são os itens que se analisarão nas fases II e III (“Previsão de Procura” e “Política de Controlo de *Stocks*”, respetivamente) da metodologia de gestão de inventário desenvolvida.

Quanto às classes AC e AD, é possível concluir pelos dados da Tabela 7, que representam uma significativa fração do valor total de inventário em de peças de manutenção de equipamentos à data de 27 de fevereiro de 2014. Estas classes incluem os itens que para além de terem um histórico de consumos/procura quase nulo e serem obsoletos ou estarem em risco de obsolescência, representam um elevado valor em inventário e custos associados. Assim, no futuro, estes itens deverão ser analisados numa perspetiva de despacho de inventário e controlo no seu planeamento.

Tabela 7 - Representatividade do valor em inventário (USD) de cada classe bicritério em relação ao valor total presente no *stock* de cada obra à data de 27 de fevereiro de 2014

| | Obras | | |
|------------------|--------|--------|--------|
| | BMX | NGOL | MECC |
| Classe AA | 31,53% | 22,85% | 19,75% |
| Classe AD | 33,01% | 51,74% | 50,35% |
| Classe AC | 4,29% | 0,10% | 3,99% |
| Classe AC | 0,49% | 0,67% | 0,23% |
| Total | 69,32% | 75,36% | 74,31% |

Classificados os itens em função dos critérios que se consideraram mais importantes, obtiveram-se as classes bicritério que serão aplicadas nas fases seguintes da metodologia desenvolvida. Observando os valores percentuais totais das classes encontradas, na Tabela 7, é possível concluir que: estudar-se-ão nas fases seguintes os itens que representam aproximadamente 1/5 do valor total em inventário em cada obra; cerca de 1/3 e aproximadamente 1/2 do valor em inventário nas obras de BMX e NGOL/MECC, respetivamente, está representado por itens obsoletos ou em risco de obsolescência com potencial de redução via despacho de inventário. Estes factos permitem considerar a análise que se segue suficientemente abrangente.

De seguida, a classificação do padrão de procura dos itens em inventário será descrita e os resultados da sua aplicação apresentados.

5.2.1.2 – Classificação Segundo o Padrão de Procura

A análise de inventário desenvolvida ao longo desta dissertação baseia-se nas procuras mensais de peças de manutenção de equipamentos nas três obras da Zagope em análise. A juntar a isto, é conhecido que a procura destas peças baseia-se em processos de manutenção essencialmente corretivos ao invés de processos de manutenção preventivos. Assim, a procura torna-se bastante incerta pois a sua origem depende essencialmente das falhas do equipamento.

Os dados fornecidos pela empresa e que são alvo de análise ao longo desta dissertação referem-se à procura histórica individual das 873, 3.925 e 4.856 referências de itens em *stock* nos armazéns das obras de BMX, NGOL e MECC, respetivamente, a 27 de fevereiro de 2014.

Por forma a melhor conhecer as características das amostras em estudo, procedeu-se ao cálculo de algumas estatísticas descritivas baseadas na procura dos itens em *stock* e representadas no Anexo 7.

Nestas estatísticas descritivas analisaram-se os seguintes parâmetros: “Tamanho da Procura”, “Intervalos entre Procuras” e “Procura entre Períodos”. Com base no estudo realizado por Babai et al. (2010) considerou-se: “Tamanho da Procura” como sendo o tamanho da procura quando esta acontece, ou seja, as estatísticas referem-se apenas aos períodos em que ocorre procura; “Procura por Período” como um parâmetro que compreende todos os períodos, ou seja, períodos em que ocorre procura e períodos em que não ocorre procura.

Uma vez que o tipo de inventário em análise é de natureza essencialmente intermitente, o número de itens com ocorrências de procura ao longo dos 14 meses em análise é nulo ou quase nulo para as três obras, tal como se pode observar na Tabela A7 – Anexo 5. A partir desta mesma observação é ainda possível concluir que, mais de 90% das referências de itens em *stock* à data de 27 de fevereiro de 2014 registaram ocorrências de procura em menos de 4 meses analisados. Esta constatação deve-se não só à natureza intermitente do inventário em questão mas ainda não elevado número de itens obsoletos que se encontram em *stock*.

Neste sentido, e visto que se pretendem aplicar as etapas “Previsão de Procura” e “Política de Controlo de *Stocks*”, das fases II e III da metodologia desenvolvida, à classe AA encontrada no ponto anterior, optou-se por calcular algumas estatísticas descritivas a esta classe. Assim, visto que esta classe se caracteriza pela inclusão dos itens com pelo menos uma ocorrência de consumo, ao longo dos 14 meses analisados, os resultados obtidos na Tabela A13 – Anexo 7 afastam-se dos resultados encontrados na Tabela A12 – Anexo 7 (influenciados pelo grande número de itens com um número de ocorrências de procura igual a zero).

De seguida, e com base no esquema de classificação do padrão de procura representado na Figura 10, procedeu-se à realização da última fase da etapa de classificação de inventário. Uma vez que o número de itens com zero ocorrências de procura ao longo do período em análise é bastante elevado para as três obras em estudo, a fração de referências de itens classificados como *sporadic items* revelou-se bastante grande. Tal como se pode ver nas Tabelas 8, 9 e 10, os *sporadic items*, que incluem ainda os itens com apenas um mês de ocorrência de procura, estão presentes em número significativo na amostra em estudo.

Tentando perceber como esta grande quantidade de itens com histórico de procura nulo se dilui ao longo das classes de itens encontradas no ponto anterior, classificou-se o padrão de procura dos itens pertencentes à classe A no critério rotatividade e à classe AA na análise bicritério.

Na obra de BMX, por análise das Tabelas 8, 11 e 12, verifica-se que: o número de *sporadic items* diminui em 516 unidades quando se considera a classe A no critério rotatividade em relação à amostra na sua totalidade, uma vez que se excluem os itens com consumos nulos; o número de *sporadic items* diminui em 97 unidades quando se considera a classe AA bicritério em relação à

classe A no critério rotatividade; o número de *sporadic items* diminui em 613 unidades quando se considera a classe AA bicritério em relação à amostra na sua totalidade.

Na obra de NGOL, por análise das Tabelas 9, 11 e 12, verifica-se que: o número de *sporadic items* diminui em 3170 unidades quando se considera a classe A no critério rotatividade em relação à amostra na sua totalidade, uma vez que se excluem os itens com consumos nulos; o número de *sporadic items* diminui em 192 unidades quando se considera a classe AA bicritério em relação à classe A no critério rotatividade; o número de *sporadic items* diminui em 3362 unidades quando se considera a classe AA bicritério em relação à amostra na sua totalidade.

Na obra de MEEC, por análise das Tabelas 10, 11 e 12, verifica-se que: o número de *sporadic items* diminui em 4054 unidades quando se considera a classe A no critério rotatividade em relação à amostra na sua totalidade, uma vez que se excluem os itens com consumos nulos; o número de *sporadic items* diminui em 183 quando se considera a classe AA bicritério em relação à classe A no critério rotatividade; o número de *sporadic items* diminui em 4237 unidades quando se considera a classe AA bicritério em relação à amostra na sua totalidade.

Assim, é possível concluir que a agregação dos itens por classes, efetuada no ponto 5.2.1.1, permitiu uma boa segmentação dos mesmos em relação aos critérios utilizados, principalmente no que refere ao critério de rotatividade analisado detalhadamente nos parágrafos anteriores.

Por fim, tendo como foco os restantes padrões de procura classificaram-se os itens com mais do que uma ocorrência de procura nos meses analisados. Mais uma vez consideraram-se as classificações em relação ao padrão de procura quer para os itens pertencentes à classe A no critério rotatividade quer para os itens constituintes da classe bicritério AA.

A distribuição dos itens de cada uma das classes (A no critério rotatividade e AA na análise bicritério) pelos diferentes padrões de procura é bastante semelhante. Porém importa realçar a representatividade dos itens classificados como *intermittent items*. Estes últimos em conjunto com os *lumpy items* englobam a grande maioria dos itens pertencentes às classes consideradas. Assim, é possível concluir, recorrendo aos dados apresentados no ponto 4.1.1, que a maioria dos itens analisados têm um ADI (*average inter-demand interval*) maior do que 1,32, ou seja, têm um grande intervalo médio entre ocorrências de procura e baixa frequência de procura, podendo ser agregados num grupo denominado por, grupo dos itens intermitentes.

Tabela 8 - Quantificação de *sporadic items* e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de BMX

| | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 0 | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 1 | Itens com um Número de Ocorrências de Procura > 1 | Total de Referências em Stock |
|--|--|--|---|-------------------------------|
| Amostra | 464 | 180 | 229 | 873 |
| Classe A no critério Rotatividade | 128 | 0 | 215 | 343 |
| Classe AA na análise Bicritério | 0 | 31 | 58 | 89 |

Tabela 9 - Quantificação de *sporadic items* e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de NGOL

| | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 0 | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 1 | Itens com um Número de Ocorrências de Procura > 1 | Total de Referências em Stock |
|--|--|--|---|-------------------------------|
| Amostra | 2 868 | 575 | 482 | 3 925 |
| Classe A no critério Rotatividade | 273 | 0 | 404 | 677 |
| Classe AA na análise Bicritério | 0 | 81 | 142 | 223 |

Tabela 10 - Quantificação de *sporadic items* e itens com mais do que uma ocorrência de procura na obra de MECC

| | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 0 | <i>Sporadic Items</i> com Número de Ocorrências de Procura = 1 | Itens com um Número de Ocorrências de Procura > 1 | Total de Referências em Stock |
|--|--|--|---|-------------------------------|
| Amostra | 3 721 | 597 | 538 | 4 856 |
| Classe A no critério Rotatividade | 264 | 0 | 403 | 667 |
| Classe AA na análise Bicritério | 0 | 81 | 149 | 230 |

Tabela 11 - Número de referências de peças de manutenção pertencentes à classe A no critério rotatividade por padrão de procura em cada obra

| Padrão de Procura dos Itens Classe A com um Número de Ocorrências de Procura > 1 | BMX | NGOL | MECC |
|--|-----|------|------|
| <i>Erratic Items</i> | 16 | 0 | 19 |
| <i>Intermittent Items</i> | 137 | 355 | 293 |
| <i>Lumpy Items</i> | 5 | 48 | 44 |
| <i>Smooth Items</i> | 57 | 1 | 47 |

Tabela 12 - Número de referências de peças de manutenção pertencentes à classe bicritério AA por padrão de procura em cada obra

| Padrão de Procura dos Itens Classe AA com um Número de Ocorrências de Procura > 1 | BMX | NGOL | MECC |
|---|-----|------|------|
| <i>Erratic Items</i> | 1 | 2 | 4 |
| <i>Intermittent Items</i> | 53 | 121 | 111 |
| <i>Lumpy Items</i> | 4 | 18 | 31 |
| <i>Smooth Items</i> | 0 | 1 | 3 |

Dada a quase insignificante representatividade dos '*smooth items*' na classe bicritério AA (Tabela 12), pode concluir-se, com base no estudo de Syntetos et al. (2005), que o método de estimação de procura que melhor se adapta aos itens da classe AA da análise bicritério, é o SBA.

Porém, tal como já se referiu no ponto 4.1.2, tentar-se-á tornar a metodologia de gestão de inventário mais robusta aplicando os quatro métodos de previsão indicados ao longo do mesmo ponto.

No ponto que se segue, aplicar-se-ão os dados da procura histórica mensal de cada uma das referências em *stock*, pertencentes à classe bicritério AA à data de 27 de fevereiro de 2014, aos quatro métodos de previsão de procura selecionados e descritos nos pontos 3.4.2.1 e 4.1.2.

5.2.2 – Previsão da Procura

Neste capítulo são apresentados os resultados da aplicação dos métodos de previsão, descritos nas secções 3.4.2.1 e 4.1.2, aos dados históricos da Zagope. O principal objetivo desta fase passa pela comparação dos resultados obtidos na aplicação dos quatro métodos de previsão de procura já referidos (método de Croston, método SBA, TSB e Alisamento Exponencial Simples), tentando perceber qual dos métodos apresenta melhor desempenho.

Tal como se descreveu no ponto 4.1.2, na aplicação dos métodos de previsão de procura definem-se diferentes cenários em função: das características do próprio método de previsão aplicado, das constantes de alisamento selecionadas e dos valores de iniciação escolhidos. Assim, o objetivo desta fase passa não só por se conseguir definir os métodos que apresentam melhor performance, mas ainda os valores dos parâmetros que os caracterizam nessas circunstâncias.

Deste modo, num sentido de otimização heurística baseada nos dados históricos (Teunter, et al., 2011), aplicam-se os quatro métodos de previsão tantas vezes quantas são as diferentes combinações das constantes de alisamento e métodos de iniciação considerados. Para tal, com base nos intervalos aplicados no estudo de Velagić (2012) fez-se variar a constante de alisamento α com incrementos de 0,05, entre 0,05 e 1, e para o caso particular do TSB, com o β a variar entre 0,01 e 0,04, com incrementos de 0,01, e a variar entre 0,1 e 1, com incrementos de 0,05. Todavia, dada a impossibilidade de apresentação dos resultados obtidos devido à restrição de espaço e tendo em conta estas curtas variações das constantes de alisamento, a apresentação dos mesmos ao longo desta tese expõe os resultados com a constante α a variar de 0,1 em 0,1, entre 0,05 e 1, e para o caso particular do TSB, com o β a variar entre 0,1 e 1, com incrementos de 0,1. Mesmo assim, para um melhor entendimento dos resultados obtidos, a análise dos dados tem em conta as variações das constantes de 0,05 em 0,05, e apresenta os resultados dos erros com quatro casas decimais (facto que também não acontece na apresentação dos resultados ao longo desta tese dada a limitação de espaço). No que refere aos valores de iniciação escolhidos, aplicaram-se as fórmulas médias (Velagić, 2012) para cada um dos cenários descritos no parágrafo anterior. Já no que toca às fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP, estas foram apenas aplicadas aos métodos de Croston e SBA, dada a inexistência deste tipo de fórmulas pela mesma fonte para os restantes métodos aplicados nesta metodologia.

De forma a avaliar a performance dos diferentes cenários aqui caracterizados calcularam-se as duas medidas de performance já descritas no ponto 4.1.3, o MSE e o ME, para todos os dados de séries temporais ao longo do tempo em análise e para os diferentes cenários nas três obras estudadas. Por fim, dividiram-se os itens por dois grupos: itens intermitentes (*intermittent and lumpy demand*) e itens não intermitentes (*erratic and smooth demand*), e calcularam-se as médias aritméticas dos MSE e dos ME dos itens que os constituem.

• Itens Intermitentes: Análise da Performance (com base no ME) dos métodos de previsão aplicados com utilização das fórmulas médias de iniciação

Nas Tabelas A14, A15 e A16 – Anexo 8 estão representados os resultados dos erros (ME) obtidos aquando da aplicação das fórmulas médias de iniciação aos métodos de previsão (Velagić, 2012). A partir dos dados apresentados no Anexo 8, com foco nos itens intermitentes (*intermittent and lumpy demand*), é possível concluir que: os resultados obtidos da aplicação dos métodos de Croston e TSB em todas as obras e do método SBA nas obras de BMX e NGOL contrariam um pouco o esperado. Tal como se referiu no ponto 4.1.2, quando se suspeita que o processo de procura é não estacionário, o método de previsão deve adaptar-se rapidamente através de constantes de alisamento “suficientemente grandes”. Assim, e apesar do processo de procura ser dificilmente conhecido quando se analisam itens intermitentes, o esperado seria que o processo de procura se aproximasse de um padrão de procura não estacionário, pois tal como referem Babai et al. (2011), a não estacionariedade é uma causa de intermitência e aleatoriedade adicional. Deste modo, com o aumento da constante α esperava-se que o erro médio das previsões diminuísse e não aumentasse. Esta tendência não se verifica nos resultados obtidos a partir dos métodos de Croston e TSB em todas as obras e do método SBA nas obras de BMX e NGOL. Porém, verifica-se quase na totalidade dos resultados da aplicação do método de Alisamento Exponencial Simples.

Como se viu no ponto 4.1.2 o SES é um método de previsão tradicional que responde com rapidez às situações de procura intermitente em que há obsolescência repentina ou diminuição de procura. É sabido que os itens aos quais se aplicaram os métodos de previsão pertencem à classe AA. Esta classe contém os itens caracterizados por representarem um grande valor em inventário e por terem registado pelo menos uma saída para consumo nos últimos 6 meses. Para além disto, a partir da Tabela A13 – Anexo 7, é possível verificar que a média da mediana do tamanho da procura das classes AA das três obras ronda as 1,5 e 2 unidades com desvios que não chegam a uma unidade. Como tal, se se considerar que os consumos destes itens possam ter ocorrido de forma decrescente ao longo do período em análise, uma das justificações para a boa performance do método SES passa pela sua rápida reação às circunstâncias em que há diminuição da procura. Com o aumento da constante de alisamento α , o peso atribuído à procura mais recente é maior, e a performance do SES aumenta.

No que refere à diminuição da performance das previsões obtidas com o aumento do α , a partir do método de Croston em todas as obras e do método SBA nas obras de BMX e NGOL, pode considerar-se que esta tendência se deve ao facto do comportamento dos itens que constituem a classe AA ser intermitente mas não o suficiente para que a adaptação do método de previsão tenha de ser assim tão rápida. Ou seja, a performance dos métodos de previsão não melhora pelo facto de se dar mais peso aos dados da procura mais recentes (aumentar o α). Este facto pode ser justificado recorrendo à informação mais uma vez das Tabelas A13 – Anexo 7, a partir de onde é possível verificar que: a média do valor máximo do intervalo entre procuras dos itens da classe AA é de 7,07 períodos mensais com um desvio padrão que pode no máximo aumentar este valor até 14 períodos mensais; a média da mediana do intervalo entre procuras dos itens da classe AA ronda os 3,5 períodos mensais com um desvio padrão que pode aumentar este valor até aos 6 períodos

mensais. Estes valores comprovam que os intervalos entre procuras destes itens existem e são “bastante” diferentes de zero, daí se estar perante padrões de procura intermitente, que não se revelam demasiado significativos, quer porque se está a analisar o histórico de apenas um ano, quer porque os itens em análise pertencem à classe A do critério rotatividade (pelo menos uma saída nos últimos 6 meses).

Para além disto, é possível constatar que: os enviesamentos obtidos a partir do método de Croston são maioritariamente positivos, tal como Syntetos & Boylan (2001) identificam; os enviesamentos obtidos a partir do método SBA são maioritariamente negativos, e por vezes maiores em módulo do que os que são obtidos a partir do método de Croston, tal como Wallström & Segerstedt (2010) e Teunter & Sani (2009b) identificaram.

O método TSB apresenta uma performance fraca em comparação aos restantes métodos, e isto pode dever-se essencialmente ao facto deste método fornecer previsões mais precisas quando existe obsolescência repentina dos itens, ou quando há um elevado risco de obsolescência. Pelo facto de o período em análise ser relativamente curto, e principalmente, pelo facto de se estar a analisar uma classe em que houve procura pelo menos uma vez por item nos últimos 6 meses, contribui para que o atributo chave deste método não se tornasse significativo e demonstrativo de boa performance.

Por fim, é possível concluir que os menores erros obtêm-se na aplicação dos métodos de Croston, SBA e SES. O método SES apesar de ser um método tradicional não desenvolvido com vista à procura intermitente, revela uma melhor performance (menor enviesamento) quando todos os pontos no tempo são considerados, tal como Teunter et al. (2011) constata.

A acrescentar, tal como Teunter et al. (2011) referem, enviesamentos positivos conduzem a maiores inventários e maiores custos. Deste modo, dadas todas as constatações acima referidas, e ainda este facto, prevê-se que os métodos que conduzam a uma maior redução de custos sejam: o SBA e o SES.

• **Itens Intermitentes: Análise da Performance (com base no ME) dos métodos de previsão aplicados com utilização das fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP**

Focando agora nos resultados obtidos quando os métodos de previsão de Croston e SBA são aplicados com as fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP, é possível concluir pelos dados apresentados no Anexo 8 (Tabela A17) que, regra geral, os valores mínimos de enviesamentos obtidos pela aplicação dos métodos de Croston e SBA quando se aplicam as fórmulas de iniciação do SAP são maiores do que os mesmos valores mínimos obtidos pela aplicação dos mesmos métodos de previsão quando se utilizam as fórmulas médias de iniciação.

• **Itens Não Intermitentes: Análise da Performance (com base no ME) dos métodos de previsão aplicados com utilização das fórmulas médias de iniciação**

Avaliando agora a performance da aplicação dos métodos de previsão ao grupo de itens não intermitentes, é possível concluir por observação Tabelas A22, A23 e A24 do Anexo 9 que, de forma geral, a tendência esperada em relação aos enviesamentos obtidos a partir da aplicação dos métodos de previsão aos itens não intermitentes também não se verificou, em todos os cenários, concordante

com o teoricamente previsto. Aos itens não intermitentes associa-se uma procura mais estacionária que não implica uma rápida adaptação do método de previsão, ou seja, grandes constantes de alisamento. Assim, a tendência esperada passaria por uma diminuição da performance com o aumento das constantes de alisamento.

• **Itens Não Intermitentes: Análise da Performance (com base no ME) dos métodos de previsão aplicados com utilização das fórmulas de iniciação utilizadas pelo ERP, SAP**

No que refere à performance da aplicação dos métodos de previsão de Croston e SBA com iniciação baseada nas fórmulas do SAP ao grupo de itens não intermitentes, representada na Tabela A25 – Anexo 9, é possível concluir que os enviesamentos obtidos são por norma maiores do que os enviesamentos obtidos a partir das fórmulas de iniciação médias.

Para terminar, os resultados obtidos na aplicação dos métodos de previsão são apresentados detalhadamente em termos da variância nos Anexos 9 e 10. A partir desta análise concluiu-se sumariamente que em todas as obras e nos dois grupos de itens em análise (intermitentes e não intermitentes), o método SES apresentou uma variância decrescente com o mínimo em $\alpha = 1$. Também em todas as obras e nos dois grupos de itens em análise, o método TSB apresentou uma variância a diminuir com o aumento do β , e com o mínimo no cenário de $\alpha = 0,05$ e $\beta = 0,01$.

Com base nesta análise, é possível mais uma vez verificar um desvio dos resultados expectáveis em relação aos resultados obtidos. Este efeito pode basear-se na ausência de mais dados históricos (ponto 4.1.2), os mesmos dados foram usados no ajustamento da iniciação do modelo e nas projeções atuais. Desta forma, as previsões estão a estabilizar durante o estado de atualização da iniciação e o modelo pode estar a ajustar-se bem aos dados históricos, apresentando erros perto de zero, e no entanto fazer uma má previsão da procura actual, tal como Chase (2009) refere. A este facto, acresce que: a procura histórica aplicada inclui os meses de implementação do SAP na empresa; e ainda que se está a analisar um conjunto de itens que apesar de representarem um padrão de procura intermitente pertencem à classe A no critério rotatividade.

Para além desta análise, a performance da aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádica com apenas uma ocorrência de procura que pertencem à classe AA foi igualmente analisada no Anexo 10.

Por fim, com vista à obtenção das previsões de procura a aplicar nas políticas de controlo de *stocks* periódicas do ponto que se segue, seleccionaram-se os métodos de previsão de procura que no geral apresentaram melhor performance. Assim, para os itens pertencentes à classe bicritério AA com mais do que uma ocorrência de procura nos últimos 6 meses, optou-se por obter as respetivas previsões de procura a partir dos métodos SBA e SES. No que refere aos itens também pertencentes à classe AA mas com um padrão de procura esporádica, optou-se por aplicar os métodos TSB e SES. Na aplicação destes métodos seleccionou-se o método de iniciação das médias dado que os resultados da utilização deste método revelaram-se melhores. Já no que toca às constantes de alisamento, dada a variabilidade e o desvio em relação aos resultados esperados, seleccionou-se um valor intermédio de 0,5 para a constante α , e um valor de 0,3 para a constante de alisamento β (calculado a partir da Equação 13 do ponto 4.1.2 e com os respetivos resultados na Tabela 13). Dada a proximidade dos

resultados obtidos nas 3 obras para o quociente da constante β da Inequação 13, optou-se por razões de simplicidade por um β igual a 0,3 para todas as obras.

Tabela 13 - Resultados da aplicação da fórmula x do ponto 4.1.2 aos dados históricos das 3 obras analisadas, considerando um α igual a 0,5 e um p encontrado a partir da distribuição com melhor ajustamento à procura de cada obra (utilizando o software *EasyFit*)

| Obras | BMX | NGOL | MECC |
|--------------|-------|-------|-------|
| α | 0,5 | 0,5 | 0,5 |
| p médio | 0,654 | 0,568 | 0,608 |
| $\beta \leq$ | 0,358 | 0,318 | 0,337 |

No próximo ponto os resultados obtidos nesta fase serão aplicados nas políticas de controlo de *stocks* escolhidas para posteriormente se concluir quais as consequências da aplicação desta metodologia no controlo de *stocks* na gestão de peças de manutenção de equipamentos da Zagope.

5.2.3 – Políticas de Controlo de Stocks

Esta é a última fase da metodologia de gestão de inventário desenvolvida nesta tese. Neste ponto expõem-se os pressupostos assumidos e os resultados obtidos na aplicação das políticas periódicas escolhidas.

Tal como se referiu no ponto 4.1.3 usaram-se três heurísticas de controlo de inventário periódicas: *Power Approximation*, Aproximação à Normal e Heurística de Naddor.

Nestas heurísticas aplicaram-se as previsões referidas no ponto anterior a dois grupos da classe AA: itens com mais do que uma ocorrência de procura nos últimos 6 meses e itens com um padrão de procura esporádica com apenas uma ocorrência de procura.

Para o desenvolvimento destas heurísticas recorreu-se ao software *Microsoft Excel* com ligações ao *Visual Basic*. Mais precisamente na heurística Aproximação à Normal onde a variável μ_s se define como o z para o qual $L(z)$ da função *standardized loss* é igual a R_N .

Outro dos aspetos a definir para desenvolvimento destas heurísticas assentou nos valores a considerar para os custos de inventário, nomeadamente, *backordering and ordering charges*. Para a Zagope os *holding costs* por item têm o valor de 13% do PMM desse mesmo item. Quanto aos restantes custos, dada a inexistência de informação para o cálculo, optou-se por assumir valores próximos da realidade da empresa (a partir de uma análise empírica). Neste sentido, e também com base no estudo de Teunter et al. (2011), definiram-se os *backordering costs* (b) em função dos *holding costs* (h) através do rácio h/b . Um grande valor atribuído a este rácio implica que para os mesmos *holding costs*, os *backordering costs* sejam menores. Como já foi explicado, uma mesma peça pode ser muito importante numa obra e nada importante noutra, conduzindo a *backordering costs* elevados numa obra e pouco significativos noutra, respetivamente. Para além disto, dentro da mesma obra, a importância de uma peça também pode variar em função da fase em que a obra se encontra conduzindo a alterações nos *backordering costs*, pois a paragem de uma máquina por falta de uma dada peça pode torna-se pouco significativa se a utilização desse equipamento não for fulcral às operações da obra durante o tempo em que a peça está a ser abastecida. Neste sentido, o valor para a relação h/b por item teria de ser atualizado a cada período pela obra de maneira a aproximar

os resultados das políticas de controlo de inventário das reais necessidades da obra. Dada a impossibilidade prática de calcular este valor, assumiram-se 4 valores para o rácio h/b iguais para todos os itens, $h/b=1\%$, $h/b=5\%$, $h/b=10\%$ e $h/b=20\%$. Em conjunto com o diretor de equipamentos concluiu-se que esta simplificação conduzirá ao aumento dos níveis de inventário em alguns itens e à sub-encomenda para outros itens. Porém, espera-se que estas duas falhas se possam compensar e que a sua influência nos custos de inventário se aproxime, quase se anulando. Por fim, quanto aos custos de encomenda, é possível apontar um conjunto de fatores que alteram estes valores, nomeadamente: processo de compra associado, ou seja, local ou com entidade exportadora; tipo de transporte associado, avião ou navio; tipo de pedido, urgente ou sem urgência; tipo de contrato logístico com o fornecedor. Deste modo, os custos de encomenda de um item podem mudar para um mesmo item, na mesma obra, de cada vez que se encomenda esse mesmo item. Para o pior dos cenários previu-se (em conjunto com o diretor de equipamentos) que este valor se aproxime de 20% do PMM do item. Sabe-se contudo que este valor pode ser exagerado para determinadas situações, e portanto, aponta-se este valor como um parâmetro a estudar na análise de sensibilidade.

Outro dos pressupostos assumidos passou pelo ajustamento da procura à distribuição probabilística Gama já analisada no ponto 4.1.4. Para tal, aplicou-se a função densidade probabilidade da distribuição Gama (DIST.GAMA()) do *Microsoft Excel* utilizando os parâmetros α e β , encontrados a partir das equações 46 e 47 respetivamente, encontrando-se a probabilidade da procura por período ser igual a zero para cada item - variável $P(0)$, necessária no desenvolvimento da heurística de Naddor.

Por fim, assumiu-se um tempo de abastecimento igual a 3, dados os valores encontrados no Anexo 4, e um período de revisão igual a 1 mês.

A partir daqui, calcularam-se os níveis de inventário s (nível de encomenda) e S (nível de reabastecimento) para todos os períodos de revisão assumidos ($T=1$ mês) ao longo do período em análise, para todas as referências de itens em análise e para os cenários considerados. Todavia, a necessidade de espaço para apresentação destes resultados verificou-se imensa, e de forma a contornar este problema, optou-se por apenas se apresentar um exemplo no Anexo 11. Importa referir que os efeitos destes resultados refletem-se nos indicadores apresentados no ponto 5.2.3.1. De seguida, passou-se ao cálculo dos seguintes valores em termos mensais: número de *backorders* esperado (Equação 57), quantidade de inventário em armazém (equação 59), nível de inventário (equação 60), posição de inventário (equação 61), quantidade de inventário em encomenda (equação 62) e quantidades a encomendar a cada período (equação 63).

$$z = \frac{S - \mu_{L+1}}{\sigma_{L+1}} \quad (56)$$

$$\text{Número de backorders no final de cada período} = L(z) \times \sigma_{L+1} \quad (57)$$

$$\text{Fill Rate} = 1 - \frac{\text{Número de backorders esperadas}}{\text{Procura esperada num período}} \quad (58)$$

$$\begin{aligned} \text{Inventário em armazém} &= S - \text{Procura esperada em } (L+1) \text{ períodos} + \\ &+ \text{Número de backorders esperadas} \end{aligned} \quad (59)$$

$$\text{Nível de Inventário} = \text{Inventário em armazém} + \text{Número de backorders esperadas} \quad (60)$$

$$\begin{aligned} \text{Posição de Inventário} &= \text{Quantidade esperada de inventário em encomenda} + \\ &+ \text{Nível de inventário} \end{aligned} \quad (61)$$

$$\begin{aligned} \text{Quantidade esperada de inventário em encomenda} &= \text{Procura esperada num} \\ &\text{período} \times \text{Tempo de} \\ &\text{Abastecimento} \end{aligned} \quad (62)$$

$$\text{Quantidade a encomendar} = S - \text{Posição de Inventário} \quad (63)$$

Acresce que no início deste estudo identificou-se o excesso de custos em inventário como um dos principais problemas da falta de um sistema de controlo de inventário das peças de manutenção de equipamentos na Zagope. Assim, torna-se fulcral perceber qual a consequência da implementação da metodologia de controlo de inventário aqui desenvolvida ao nível dos custos. Para tal, calcularam-se os custos de inventário que se prevêem reais com base nos valores de inventário assumidos e os custos de inventário que se prevêem acontecer se a metodologia de controlo de inventário fosse aplicada para cada um dos cenários apontados. O cálculo deste custo baseia-se na Equação 64:

$$\begin{aligned} \text{Custo de inventário} &= \sum_{i=1}^n \text{IM em armazém do item}_i \times \text{Ordering Charge} + \\ &+ \text{IM em armazém do item}_i \times \text{Holding Charge} + \\ &+ \frac{\text{IM em armazém do item}_i \times \text{Holding Charge}}{\text{Holding Charge}} \\ &+ \frac{\text{Backordering Charge}}{\text{Holding Charge}} \end{aligned} \quad (64)$$

Onde:

IM = Inventário Médio, calculado a partir da média do Inventário em Armazém (Equação 59) ao longo do período em análise para cada referência de itens

5.2.3.1 – Resultados usando as Políticas de Controlo de Stocks

Nos resultados finais obtidos fixaram-se todas as variáveis da forma que se foi descrevendo ao longo deste capítulo à exceção do rácio h/b. Os resultados finais variam então em função do rácio h/b considerado para determinação dos *backordering costs*. Os valores dos rácios considerados para distinção dos cenários finais foram: 1%, 5%, 10% e 20%. Tomaram-se os resultados obtidos quando

da aplicação do rácio h/b igual a 1% e a 20% como referências para análise dos resultados, dado que estes valores representam os extremos dos valores considerados. Assim, nas Tabelas 14 e 15 estão representados os resultados obtidos aquando da aplicação do rácio h/b igual a 1% e a 20%, e nas Tabelas A39 e A40 – Anexo 12, estão representados os resultados obtidos pela aplicação da metodologia aquando da aplicação do rácio h/ igual a 5% e a 10%.

Os resultados apresentados ao longo deste ponto baseiam-se na análise comparativa entre os custos e a eficiência de inventário que se atingiriam no caso da metodologia de gestão de inventário ser aplicada no período em análise, e os custos e a eficiência de inventário atingidos na situação real.

Acresce apontar que o cálculo dos indicadores comparativos apresentados ao longo deste capítulo, referentes aos custos e à eficiência de inventário, baseou-se nos níveis de inventário obtidos aquando da aplicação da metodologia de gestão de inventário que se foi descrevendo ao longo desta tese, e cujo exemplo se apresenta no Anexo 11.

Tal como é possível concluir pelos resultados apresentados nas Tabelas 14 e 15 abaixo apresentadas e nas Tabelas A39 e A40 – Anexo 12, na maioria dos cenários analisados prevê-se uma significativa redução de custos de inventário aquando da aplicação da metodologia de gestão de inventário desenvolvida ao longo desta tese. Esta redução de custos está representada nas colunas “Potencial de Redução” (calculado segundo a Equação 65) das tabelas indicadas.

$$\text{Potencial de Redução} = \frac{\text{Custo Previsto} - \text{Custo Real}}{\text{Custo Real}} \quad (65)$$

No que refere aos itens com padrão de procura intermitente e não intermitente, o potencial de redução (apresentado nas Tabelas 14 e 15 e nas Tabelas A39 e A40 – Anexo 12) que advém da aplicação do método de previsão SES às heurísticas de controlo de inventário é maior do que aquele que se verifica aquando da aplicação do método de previsão SBA às mesmas heurísticas.

A partir dos resultados obtidos para estes mesmos itens, é ainda possível verificar que o potencial de redução consequente da aplicação da metodologia de gestão de inventário em relação à situação atual, aumenta para todos os cenários com o aumento do rácio h/b. Este facto pode constatar-se: de forma direta e resumida por observação da coluna “Potencial de Redução” das Tabelas 14 e 15; e de forma mais progressiva, através da também observação das Tabelas A39 e A40 – Anexo 12. Por fim, conclui-se que este incremento de potencial de redução assenta na diminuição dos *backordering costs* aquando do aumento do rácio h/b, considerando *holding costs* constantes.

No que refere ainda aos itens com padrão de procura intermitente e não intermitente é possível referir a semelhança de resultados entre cenários obtidos quando o rácio h/b se fixa em 10% (ver Tabela A40 – Anexo 12). Ainda para estes itens, verifica-se que o mínimo de potencial de redução, em módulo, acontece no caso de aplicação da heurística *Power Approximation* quando o h/b=1% (Tabela 14), sendo igual a 31% para o método de previsão SES e 25,1% para o método de previsão SBA, na obra de BMX. Já no que refere ao máximo de potencial de redução, em módulo, encontrado para os

itens intermitentes e não intermitentes, este verificou-se na aplicação dos resultados do método de previsão SES à heurística de Naddor, e ronda os 84,7%, quando o h/b=20% na obra de NGOL (Tabela 15). Todos os outros cenários apresentam um potencial de redução entre estes dois valores (Tabelas A39 e A40 – Anexo 12).

Tabela 14 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionados: h/b=1%; h=13%; k=20%

| h/b=1%; h=13%; k=20% | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 44.580 | 594.246 | 64.579 | 860.838 | 266.592 | -31,0% |
| | SBA | 48.356 | 644.591 | 64.579 | 860.838 | 216.247 | -25,1% |
| Aproximação à Normal | SES | 35.918 | 478.782 | 64.579 | 860.838 | 382.056 | -44,4% |
| | SBA | 36.967 | 492.768 | 64.579 | 860.838 | 368.071 | -42,8% |
| Heurística de Naddor | SES | 32.299 | 430.549 | 64.579 | 860.838 | 430.289 | -50,0% |
| | SBA | 32.218 | 429.461 | 64.579 | 860.838 | 431.377 | -50,1% |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 144.773 | 1.929.822 | 303.846 | 4.050.268 | 2.120.447 | -52,4% |
| | SBA | 145.410 | 1.938.322 | 303.846 | 4.050.268 | 2.111.947 | -52,1% |
| Aproximação à Normal | SES | 117.044 | 1.560.195 | 303.846 | 4.050.268 | 2.490.073 | -61,5% |
| | SBA | 116.877 | 1.557.966 | 303.846 | 4.050.268 | 2.492.302 | -61,5% |
| Heurística de Naddor | SES | 101.853 | 1.357.695 | 303.846 | 4.050.268 | 2.692.573 | -66,5% |
| | SBA | 101.442 | 1.352.227 | 303.846 | 4.050.268 | 2.698.041 | -66,6% |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 283.311 | 3.776.536 | 514.449 | 6.857.608 | 3.081.072 | -44,9% |
| | SBA | 296.765 | 3.955.876 | 514.449 | 6.857.608 | 2.901.731 | -42,3% |
| Aproximação à Normal | SES | 227.030 | 3.026.304 | 514.449 | 6.857.608 | 3.831.304 | -55,9% |
| | SBA | 226.810 | 3.023.382 | 514.449 | 6.857.608 | 3.834.226 | -55,9% |
| Heurística de Naddor | SES | 195.821 | 2.610.289 | 514.449 | 6.857.608 | 4.247.319 | -61,9% |
| | SBA | 193.931 | 2.585.096 | 514.449 | 6.857.608 | 4.272.512 | -62,3% |

No que refere aos itens com padrão de procura esporádico, os resultados da aplicação da metodologia de gestão de inventário são detalhadamente analisados no Anexo 14.

Como conclusão, tem-se que para os itens intermitentes e não intermitentes, a heurística de Naddor permitiu alcançar de forma geral um maior potencial de redução de custos. Porém, os resultados obtidos a partir da heurística Aproximação à Normal aproximaram-se bastante dos resultados obtidos a partir da Heurística de Naddor.

É possível concluir por observação das Tabelas 16 (abaixo apresentada) e A41 – Anexo 13 que a razão pela qual a heurística de Naddor é aquela que apresenta custos totais mais reduzidos passa pela menor eficiência de inventário, pois a sua aplicação resulta num menor volume de inventário anual refletido num aumento de *backorders* em relação às outras duas heurísticas. Apesar de para todos os cenários considerados se verificar que o aumento do rácio h/b (que conduz ao menor custo de *backorders*) implica uma diminuição do volume de inventário e um aumento do número de *backorders*, é possível ver que o número de *backorders* obtido pela aplicação da heurística de Naddor é sempre maior do que nas outras duas heurísticas.

Tabela 15 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controle de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionados: h/b=20%; h=13%; k=20%

| h/b=20%; h=13%; k=20% | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|-----------------------------|-----------------------|---|----------------------------|---|------------------------|---|-------------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 18.491 | 18.122 | 64.579 | 63.287 | 45.166 | -71,4% |
| Approximation | SBA | 19.682 | 19.288 | 64.579 | 63.287 | 43.999 | -69,5% |
| Aproximação à Normal | SES | 17.846 | 17.489 | 64.579 | 63.287 | 45.798 | -72,4% |
| | SBA | 18.988 | 18.608 | 64.579 | 63.287 | 44.680 | -70,6% |
| Heurística de Naddor | SES | 14.797 | 14.501 | 64.579 | 63.287 | 48.787 | -77,1% |
| | SBA | 15.175 | 14.872 | 64.579 | 63.287 | 48.416 | -76,5% |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 59.892 | 58.694 | 303.846 | 297.769 | 239.075 | -80,3% |
| Approximation | SBA | 60.513 | 59.303 | 303.846 | 297.769 | 238.467 | -80,1% |
| Aproximação à Normal | SES | 58.332 | 57.165 | 303.846 | 297.769 | 240.604 | -80,8% |
| | SBA | 58.050 | 56.889 | 303.846 | 297.769 | 240.880 | -80,9% |
| Heurística de Naddor | SES | 46.557 | 45.625 | 303.846 | 297.769 | 252.144 | -84,7% |
| | SBA | 47.368 | 46.421 | 303.846 | 297.769 | 251.348 | -84,4% |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 116.298 | 113.972 | 514.449 | 504.160 | 390.189 | -77,4% |
| Approximation | SBA | 119.639 | 117.247 | 514.449 | 504.160 | 386.914 | -76,7% |
| Aproximação à Normal | SES | 110.964 | 108.744 | 514.449 | 504.160 | 395.416 | -78,4% |
| | SBA | 112.852 | 110.595 | 514.449 | 504.160 | 393.565 | -78,1% |
| Heurística de Naddor | SES | 88.674 | 86.901 | 514.449 | 504.160 | 417.260 | -82,8% |
| | SBA | 89.457 | 87.668 | 514.449 | 504.160 | 416.493 | -82,6% |

Tabela 16 - Valores anuais demonstrativos da eficiência de inventário com a aplicação da metodologia de controle de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA da obra de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionados: h/b=1% e 20%; h=13%; k=20%

| h=13%; k=20% | Método de Previsão | B. Q.* (h/b=1%) | Volume em Inventário (h/b=1%) | Custo Previsto (USD) (h/b=1%) | B. Q.* (h/b=20%) | Volume em Inventário (h/b=20%) | Custo Previsto (USD) (h/b=20%) |
|-----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 6 | 8.303 | 594.246 | 198 | 3.503 | 18.122 |
| Approximation | SBA | 5 | 9.028 | 644.591 | 163 | 3.657 | 19.288 |
| Aproximação à Normal | SES | 8 | 7.081 | 478.782 | 210 | 3.398 | 17.489 |
| | SBA | 7 | 6.953 | 492.768 | 191 | 3.386 | 18.608 |
| Heurística de Naddor | SES | 32 | 5.988 | 430.549 | 399 | 2.666 | 14.501 |
| | SBA | 23 | 5.895 | 429.461 | 334 | 2.686 | 14.872 |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 45 | 42.325 | 1.929.822 | 1.266 | 18.375 | 58.694 |
| Approximation | SBA | 42 | 40.933 | 1.938.322 | 1.201 | 17.784 | 59.303 |
| Aproximação à Normal | SES | 48 | 38.738 | 1.560.195 | 1.294 | 18.133 | 57.165 |
| | SBA | 46 | 37.322 | 1.557.966 | 1.239 | 17.446 | 56.889 |
| Heurística de Naddor | SES | 301 | 30.083 | 1.357.695 | 2.929 | 12.937 | 45.625 |
| | SBA | 216 | 29.517 | 1.352.227 | 2.470 | 12.876 | 46.421 |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 123 | 98.869 | 3.776.536 | 3.354 | 43.731 | 113.972 |
| Approximation | SBA | 114 | 95.084 | 3.955.876 | 3.126 | 41.804 | 117.247 |
| Aproximação à Normal | SES | 128 | 94.284 | 3.026.304 | 3.408 | 43.263 | 108.744 |
| | SBA | 120 | 89.421 | 3.023.382 | 3.197 | 41.129 | 110.595 |
| Heurística de Naddor | SES | 1.052 | 69.880 | 2.610.289 | 8.307 | 29.183 | 86.901 |
| | SBA | 664 | 67.379 | 2.585.096 | 6.967 | 28.392 | 87.668 |

*B. Q. = Backordered Quantities

5.2.4 – Conclusões do Capítulo

Ao longo deste capítulo foram-se apresentando os passos, pressupostos e principais resultados obtidos na aplicação aos dados históricos da Zagope de cada uma das fases da metodologia desenvolvida para a gestão de inventário.

Na fase I da metodologia concluiu-se que nas fases II e III se analisariam apenas os itens que constituem a classe AA e que representam cerca de 1/5 do valor (USD) em inventário em cada obra analisada. Nesta fase, verificou-se ainda que 1/3 e 1/2 do valor em inventário nas obras de BMX e NGOL/MECC, respetivamente, se fazem representar por itens obsoletos ou em risco de obsolescência. Constatou-se também que a quase totalidade dos itens da classe AA apresentam um padrão de procura intermitente (*intermittent e lumpy items*), sendo que o método de previsão que melhor se adaptaria a estes itens no desenvolvimento da fase II seria o *Syntetos-Boylan Approximation* (SBA).

Na fase II, os métodos de previsão de procura foram aplicados considerando diferentes cenários quanto ao método de iniciação e às constantes de alisamento. Para cada cenário foi analisada a sua performance utilizando duas medidas, o ME (*Mean Error*) e o MSE (*Mean Square Error*). Pôde-se concluir que os resultados obtidos se afastaram um pouco do esperado. No geral, o método SES e o SBA apresentaram uma melhor performance quando aplicados aos itens intermitentes e não intermitentes. Nos *sporadic items*, o método TSB revelou melhor performance quando comparado com o método de Croston e o seu derivativo (SBA). Estabeleceu-se então que as previsões a utilizar na fase III seriam calculadas com base nos métodos SES e SBA para os itens intermitentes e não intermitentes, com base nas fórmulas de iniciação médias e com um valor intermédio de 0,5 para a constante α e um valor de 0,3 para a constante de alisamento β . Dada a irregularidade dos resultados obtidos em termos da falta de padrão das medidas de performance aplicadas, não foi possível concluir qual o valor ótimo da constante α .

Por fim, na fase III consideraram-se os resultados das previsões de procura da fase II (obtidos com base nos pressupostos assumidos) como *inputs* para as heurísticas de controlo de inventário periódicas considerando os *ordering costs* e os *holding costs* constantes, e variando o rácio h/b (no fundo os *backordering costs*) entre: 1%, 5%, 10% e 20%. Os resultados obtidos foram analisados em termos de potencial de redução (situação actual e situação prevista) e performance de inventário. Para todos os itens, com o aumento do rácio h/b aumentam as *backordered quantities*, diminuindo os volumes de inventário (dada a redução dos *backordering costs*) e o custo previsto. Assim, uma grande redução de custos associa-se a um decréscimo do nível de eficiência, e desta forma, cabe à empresa escolher o cenário que mais se adapte aos seus objetivos. Para os itens intermitentes e não intermitentes a heurística de Naddor apresentou um maior potencial de redução mas com menor desempenho na redução de inventário. Já para os itens com padrão de procura esporádico, a Aproximação à Normal foi a heurística que apresentou maior potencial de redução.

Por fim, de maneira a perceber de que forma a variação de alguns dos valores assumidos ao longo da implementação da metodologia de gestão de inventário influenciam os resultados finais, principalmente o potencial de redução de custo, apresenta-se no capítulo seguinte uma análise de sensibilidade aos principais valores assumidos.

6 – Análise de Sensibilidade

A fim de perceber a robustez dos resultados obtidos apresenta-se neste capítulo uma análise de sensibilidade aos parâmetros que se consideram mais incertos e relevantes na metodologia.

Esta análise irá avaliar a influência da variação de alguns parâmetros sobre os indicadores de custos e de eficiência de inventário apresentados no ponto 5.2.3.

Dado que a aplicação da Heurística de Naddor e da Aproximação à Normal aos itens intermitentes/não intermitentes e aos *sporadic items*, respetivamente, foram as heurísticas que conduziram a melhores resultados, ver capítulo 5, a análise de sensibilidade será realizada sobre estas políticas. Ademais, entre os métodos de previsão SES, SBA e TSB, aplicados no ponto 5.2.3, optou-se por aplicar a análise de sensibilidade sobre os resultados obtidos pelos métodos de procura intermitente, SBA e TSB. Por fim, o rácio h/b tomará os dois valores extremos também considerados em 5.2.3, 1% e 20%. Na Figura 14, apresentam-se esquematicamente os cenários sobre os quais será realizada a análise de sensibilidade desenvolvida neste capítulo.

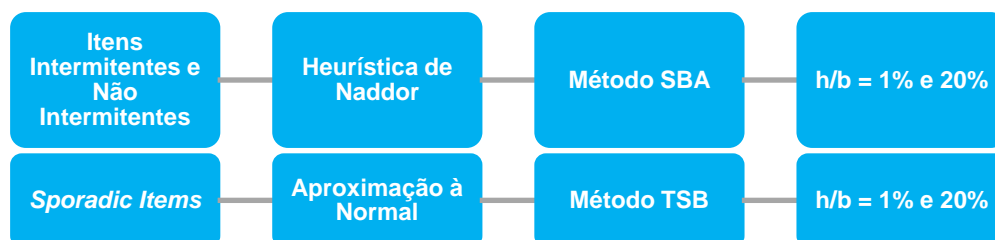


Figura 14 - Cenários sobre os quais se vai realiza a análise de sensibilidade

Nos pontos que se seguem é realizada uma análise de sensibilidade sobre os cenários acima apontados, fazendo variar os seguintes parâmetros: constante de alisamento α , tempo de abastecimento e custos de encomenda.

6.1 – Constante de Alisamento α

No ponto 5.2.2 definiu-se que as previsões de procura a aplicar nas heurísticas de controlo de *stocks* seriam calculadas assumindo um $\alpha=0,5$. Isto porque, pela otimização heurística realizada com base nos dados históricos (ponto 5.2.2), sugerida por Teunter et al. (2011), não se verificou um padrão que permitisse perceber qual o melhor valor a atribuir a esta variável. Apesar destes autores recomendarem o uso de valores fixos para a constante α entre 0,05 e 0,2, aquando da aplicação dos métodos SES, Croston e SBA, os mesmos defendem (ponto 4.1.2) que quando se suspeita de um padrão de procura não estacionário (recorrente na procura intermitente), o método de previsão deve adaptar-se rapidamente através de uma constante de alisamento “suficientemente grande”. Dadas estas incertezas, a constante de alisamento α é um dos parâmetros que se fez variar para perceber qual o seu impacto nos resultados finais.

Com base nos valores sugeridos pelos autores assim enunciados, optou-se por perceber as alterações aos resultados da metodologia aquando da variação deste parâmetro em $+0,2$ e $-0,2$ ($\alpha_0 - 0,2 = 0,5 - 0,2 = 0,3$ e $\alpha_0 + 0,2 = 0,5 + 0,2 = 0,7$).

Nos resultados apresentados na Tabela 17 é possível comparar para ambas as variações do parâmetro α_0 quais as variações em termos de inventário médio anual previsto, custo de inventário previsto, potencial de redução, *backordered quantities* e *inventory volume* em relação aos resultados finais apresentados no ponto 5.2.3 para os mesmos cenários.

Tabela 17 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro α

| | | Parâmetro Alterado: $\alpha_0 - 0,2 = 0,3$ | | | | | Parâmetro Alterado: $\alpha_0 + 0,2 = 0,7$ | | | | |
|-----------------|---------------------------|--|--|--|--------------------|--------------------------------------|--|--|--|--------------------|--------------------------------------|
| | | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume |
| Rácio h/b = 1% | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | 1,3% | 9,2% | -7,9% | 3,6% | 1,3% | 1,2% | 9,1% | -7,8% | -4,8% | 1,7% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | 1,8% | 1,8% | -0,9% | 11,9% | 1,5% | -1,4% | -1,4% | 0,7% | -10,6% | -0,9% |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | -0,4% | -0,4% | 0,2% | 12,0% | -3,7% | 0,3% | 0,3% | -0,2% | -8,5% | 5,5% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | 1,1% | 1,1% | -0,3% | 3,1% | 1,0% | 1,2% | 1,2% | -0,4% | -1,7% | 1,9% |
| Rácio h/b = 20% | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | 1,5% | 1,5% | -0,3% | 7,9% | 0,7% | -1,2% | -1,2% | 0,2% | -7,4% | 0,0% |
| | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor –SBA | -0,5% | -0,5% | 0,1% | 5,7% | -4,9% | 0,5% | 0,5% | -0,1% | -4,1% | 7,2% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

Assim, pela Tabela 17 pode verificar-se que: para a obra de BMX a variação do α_0 conduz a uma diminuição do indicador “Potencial de Redução”, devido ao aumento dos custos de inventário, confirmados pela variação positiva destes indicadores (“ δ I.M.A Previsto (USD)” e “ δ Custo Previsto (USD)”); quanto à eficiência de inventário, a variação dada por $\alpha_0 - 0,2$ faz aumentar as *backorders* e o *inventory volume* (em menor percentagem); já a variação dada por $\alpha_0 + 0,2$ faz diminuir as *backorders* e aumentar o *inventory volume*. Para a obra de NGOL, a variação do α_0 conduz a uma também redução do indicador “Potencial de Redução” mas apenas no caso da variação negativa do α_0 ; quanto à eficiência de inventário, a variação dada por $\alpha_0 - 0,2$ faz aumentar as *backorders* e o *inventory volume*; já a variação dada por $\alpha_0 + 0,2$ faz diminuir as *backorders* e o *inventory volume*. Para a obra de MECC, a variação do α_0 conduz a uma também redução do indicador “Potencial de Redução” mas apenas no caso da variação positiva do α_0 ; quanto à eficiência de inventário, a variação dada por $\alpha_0 - 0,2$ faz aumentar as *backorders* e diminuir o *inventory volume*; a variação dada por $\alpha_0 + 0,2$ conduz ao inverso, diminui as *backorders* e aumenta o *inventory volume*. De ressaltar que as tendências das variações aos resultados verificados são iguais para ambos os valores do rácio h/b: 1% e 20%. Por fim, as alterações do parâmetro α revelaram pouca influência sobre os resultados, relativos aos custos, da metodologia desenvolvida, à exceção das variações verificadas na obra de BMX (onde as variações dos custos se aproximaram de 10% para h/b=1%).

Pode-se então concluir que os resultados da metodologia em termos de custo e volume de inventário são robustos às variações do parâmetro α . Quanto aos resultados em termos do número de *backorders*, a sensibilidade da metodologia revela-se maior e menos robusta, porém pode dizer-se que este facto é compensado pela robustez dos outros indicadores (que têm em conta o custo das *backorders*). Por fim, resta acrescentar que o valor assumido para a constante de alisamento α (0,5), com o qual se desenvolveram os métodos de previsão da metodologia aplicada ao longo desta dissertação, permitiu obter previsões da procura bastante robustas dada a baixa influência da variação deste valor sobre os indicadores de inventário analisados.

6.2 – Tempo de Abastecimento

No ponto 5.2.3 assumiu-se um tempo de abastecimento igual a 3 para aplicação nas heurísticas de controlo de *stocks*. A escolha deste valor baseou-se no estudo dos processos de compra em histórico, apresentado no Anexo 4. Neste estudo verificou-se que dependendo de vários fatores, o tempo de abastecimento de uma requisição de material pode variar entre 8 e 135 dias. Assim, dada a inexistência de históricos de processos de compra para todos os itens e as incertezas inerentes a estes processos, assumiu-se, em conjunto com o diretor de equipamentos da Zagope, que a atribuição a cada item de um valor previsto de 3 meses para este parâmetro seria o mais indicado em termos gerais, visto que o número processos de compra históricos com entidade exportadora é mais representativo (e implica maior tempo de abastecimento). Porém dadas as incertezas associadas, o tempo de abastecimento (T.A.) foi outro dos parâmetros que se fez variar para perceber qual o seu impacto nos resultados finais.

Com base mais uma vez nos valores encontrados no estudo apresentado no Anexo 4, optou-se por perceber as alterações aos resultados da metodologia aquando da variação deste parâmetro em +1 mês e -1 mês ($T.A._0 - 1 = 3 - 1 = 2$ e $T.A._0 + 1 = 3 + 1 = 4$).

Por análise da Tabela 18, é possível concluir que quando se introduz uma variação positiva no tempo de abastecimento, passando de 3 para 4 meses, o potencial de redução diminui pelo aumento dos custos de inventário, confirmados pela variação positiva destes indicadores (“ $\bar{\delta}$ I.M.A Previsto (USD)” e “ $\bar{\delta}$ Custo Previsto (USD)”). Em termos de eficiência de inventário, para os cenários em que o valor do rácio h/b é igual a 1% e T.A. é igual a 4 meses, os custos previstos relacionam-se também com o aumento do volume de inventário, apesar da diminuição do número de *backorders*. Já para os cenários em que o valor do rácio h/b é igual a 20% e T.A. é igual a 4 meses, o incremento dos custos previstos está associado ao aumento do volume de inventário mas também ao aumento de *backorders*.

Nos resultados consequentes da variação negativa deste parâmetro (T.A. = 2 meses), é possível ver que o potencial de redução aumenta para todos os cenários, o que é compreensível uma vez que o tempo de abastecimento diminui, logo diminui a necessidade de muito volume em inventário. Quanto à eficiência de inventário, para os cenários em que o rácio $h/b=1\%$, a diminuição dos custos de inventário dá-se à custa da diminuição do volume em inventário e um aumento significativo do número de *backorders*. Já nos cenários em que o rácio $h/b=20\%$, a diminuição dos custos de inventário baseia-se na baixa do volume de inventário e do número de *backorders*. A razão pela qual

este último indicador apresenta uma variação negativa nos casos de $h/b=20\%$ e uma variação positiva nos casos do $h/b=1\%$ pode assentar no facto dos *backordering costs* serem menores no primeiro caso e como tal a diminuição do volume de inventário poder ser compensada pelo aumento do número de *backorders*.

Tabela 18 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro tempo de abastecimento

| | | Parâmetro Alterado: T.A. ₀ + 1 = 4 meses | | | | | Parâmetro Alterado: T.A. ₀ - 1 = 2 meses | | | | |
|--------------------|---------------------------|---|---|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|---|---|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| | | δ I.M.A.* ¹ Previsto (USD) | δ Custo Previs _{to} (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.* ² | δ Inven _{tory} Volume | δ I.M.A.* ¹ Previsto (USD) | δ Custo Previs _{to} (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.* ² | δ Inven _{tory} Volume |
| Rácio $h/b = 1\%$ | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 13,3% | 13,3% | -13,2% | -5,5% | 15,2% | -12,4% | -12,4% | 12,4% | 12,0% | -14,4% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 13,9% | 13,9% | -7,0% | -11,5% | 17,6% | -13,1% | -13,1% | 6,6% | 21,0% | -16,8% |
| Rácio $h/b = 20\%$ | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 14,6% | 14,6% | -8,8% | -13,5% | 19,1% | -13,7% | -13,7% | 8,3% | 24,2% | -18,3% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 12,5% | 12,5% | -3,8% | 7,2% | 14,7% | -11,6% | -11,6% | 3,6% | -5,7% | -13,7% |
| Rácio $h/b = 20\%$ | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 13,2% | 13,2% | -2,4% | 3,6% | 17,5% | -12,3% | -12,3% | 2,3% | -1,8% | -16,4% |
| | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | 14,0% | 14,0% | -2,9% | 2,1% | 19,4% | -13,0% | -13,0% | 2,7% | -0,1% | -18,3% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

Face às variações registadas nos resultados da metodologia em termos de custo e eficiência de inventário aquando da variação do parâmetro tempo de abastecimento, é possível concluir que a metodologia é sensível a este parâmetro. Ou seja, os resultados da metodologia são pouco robustos às variações deste parâmetro, principalmente aquando da variação positiva do parâmetro. Assim, a determinação exata do tempo de abastecimento por item e uma aposta em processos mais eficientes, poderia no conjunto de todas as obras conduzir uma maior redução dos custos de inventário.

6.3 – Custos de encomenda

No ponto 5.2.3 foram referidos alguns dos fatores que influenciam o valor dos custos de encomenda, e apontou-se empiricamente, com o auxílio do diretor de equipamentos, uma estimativa para o pior dos cenários (maior custo de encomenda) de 20% do PMM do item, aplicada nas heurísticas de controlo de *stocks* para todos os itens. Posto isto, dada a hipótese de se estar a assumir um valor exagerado para alguns itens, o custo total de encomenda foi outro dos parâmetros que se fez variar para perceber qual o seu impacto nos resultados finais.

Por análise da Tabela 19, é possível verificar que, da forma esperada, a variação negativa do parâmetro ($Ordering\ Costs_0 - 10\% = 10\%$) conduz a um aumento do potencial de redução induzido pelo menor volume em inventário, maior número de *backorders* (menor aumento para os casos em que o rácio $h/b=1\%$, pelo aumento dos *backordering costs*), e consequentemente, menores custos de

inventário. De forma inversa, a variação positiva do parâmetro ($Ordering\ Costs_0 + 10\% = 30\%$) conduz a uma diminuição do potencial de redução induzido pelo maior volume em inventário, menor número de *backorders*, e conseqüentemente, maiores custos de inventário. Isto porque, aumentando os custos de encomenda as heurísticas reagem ao aumento dos níveis de inventário para diminuir as encomendas.

Tabela 19 - Variação dos resultados da metodologia aos itens intermitentes e não intermitentes, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro custos de encomenda

| | | Parâmetro Alterado: $Ordering\ Costs_0 - 10\% = 10\%$ | | | | | Parâmetro Alterado: $Ordering\ Costs_0 + 10\% = 30\%$ | | | | |
|-----------------|---------------------------|---|--|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|---|--|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| h=13% | | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume |
| Rácio h/b = 1% | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -6,5% | -5,6% | 4,8% | 23,2% | -4,2% | 7,3% | 16,5% | -14,3% | -14,8% | 5,9% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -7,2% | -7,9% | 3,9% | 9,9% | -3,3% | 5,6% | 6,4% | -3,2% | -6,4% | 2,6% |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -6,3% | -7,0% | 4,2% | 5,5% | -1,9% | 4,9% | 5,7% | -3,4% | -3,6% | 1,5% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -9,6% | -18,8% | 5,8% | 14,4% | -6,5% | 9,8% | 21,0% | -6,5% | -8,4% | 7,8% |
| Rácio h/b = 20% | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -10,1% | -19,2% | 3,6% | 6,4% | -4,8% | 8,0% | 19,1% | -3,5% | -4,3% | 3,8% |
| | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Heurística de Naddor -SBA | -8,7% | -18,1% | 3,8% | 3,5% | -2,8% | 7,0% | 17,9% | -3,8% | -2,4% | 2,3% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

Mais uma vez, a determinação exata do valor deste parâmetro por item poderia conduzir a uma redução de custos de inventário significativa em termos globais. Uma vez que, face às variações registadas nos resultados da metodologia em termos de custo e eficiência de inventário, aquando da variação do parâmetro custos de inventário, é possível concluir que a metodologia é sensível a este parâmetro. Ou seja, os resultados da metodologia são pouco robustos às variações deste parâmetro.

6.4 – Conclusões da Análise de Sensibilidade

A partir da análise de sensibilidade realizada aos resultados da metodologia aplicada aos itens intermitentes e não intermitentes é possível tirar algumas conclusões.

Relativamente à constante de alisamento α , os resultados obtidos são relativamente robustos, uma vez que para variações negativas e positivas de 0,2 do α , o potencial de redução não chega a variar 1% na maioria dos cenários, à exceção do caso da obra de BMX quando o h/b=1%.

Quanto às variações do parâmetro – tempo de abastecimento, pôde-se concluir que estas têm impacto sobre os resultados ao nível dos custos e da eficiência de inventário. Este foi o parâmetro para o qual a metodologia se mostrou mais sensível, e os resultados menos robustos, principalmente

na variação positiva do parâmetro, atingindo-se variações do potencial de redução iguais a -13,2% e variações ao nível do volume de 19,1%.

Ao parâmetro – custos de encomenda, os resultados foram sensíveis. Os resultados a variações positivas e negativas deste parâmetro revelaram-se pouco robustos. A alteração dos custos de encomenda em mais 10% conduziu a uma diminuição do potencial de redução mínima de 3,2% em relação aos resultados obtidos em 5.2.3 e máxima de 14,3% em relação aos mesmos resultados.

Mais uma vez, no que refere à análise de sensibilidade realizada aos resultados da metodologia aplicada aos itens com padrão de procura esporádico, é possível ver o detalhe no Anexo 15.

7 - Conclusões Finais e Desenvolvimento Futuro

Nesta dissertação é estudada uma possível forma de aumentar a eficiência nas operações de gestão do inventário de materiais de manutenção da empresa Zagope. Para tal, foi desenvolvida e implementada uma metodologia de gestão de inventário que tenta dar resposta ao problema identificado e que se adapta às condições operacionais da empresa. No final, o objetivo deste estudo passa pela minimização dos custos de inventário salvaguardando um nível de eficiência aceitável.

Na contextualização do problema, verifica-se que grande parte do volume de negócios da Zagope se baseia nas suas operações ao longo do continente africano. Estas operações são de grande dimensão e a complexidade da cadeia de abastecimento da Zagope é clara. A juntar, observa-se uma conjuntura recessiva das economias mundiais que conduz à restrição do investimento pela Zagope e à consequente necessidade de aumentar a eficiência das suas operações. A manutenção dos equipamentos é um dos segmentos de operação da Zagope que implica custos avultados. Estes custos são proporcionais à não disponibilidade de materiais de manutenção aquando da necessidade dos mesmos. Assim, salienta-se a importância da gestão de inventário dos materiais de manutenção dos equipamentos. Na Zagope, esta operação ganha uma maior relevância dada a existência de cerca de 4800 equipamentos e de vários constrangimentos influentes no processo de gestão de inventário de materiais de manutenção de equipamentos. Entre estes constrangimentos realça-se: longos tempo de abastecimento, avarias inesperadas dos equipamentos, variabilidade dos intervalos entre manutenções, constrangimento logístico relacionado com a grande distância entre obras, e principalmente, a inexistência de um sistema de gestão de inventário.

Da revisão bibliográfica conclui-se que o problema em questão se relaciona com um tipo específico de inventário, nomeadamente, *spare parts*. Para este tipo de inventário a procura é determinada pelas necessidades de manutenção dos equipamentos. Como tal, a incerteza na previsão desta procura é grande. Para além disto, a procura das *spare parts* é normalmente intermitente, aumentando o risco de obsolescência. Para uma melhor gestão deste género de inventário identificaram-se métodos de classificação do padrão de procura, métodos de previsão de procura e políticas de controlo de *stocks*.

Neste sentido, optou-se por se desenvolver, baseada nestes métodos, uma metodologia de gestão de inventário adaptada aos materiais de manutenção dos equipamentos e às necessidades da Zagope. Esta metodologia divide-se em três fases encadeadas. Na primeira fase classificam-se os itens segundo dois critérios (bicritério), valor em inventário e rotatividade, e segundo o padrão de procura definido com base nos trabalhos de Syntetos et al. (2005) e Velagić (2012). A partir daqui, resultam categorias de itens que partilham não só a classificação bicritério, como também o padrão de procura. Por exemplo, itens intermitentes da classe bicritério AA (grande valor em inventário e grande rotatividade) ou *sporadic items* da classe bicritério AC (grande valor em inventário e pouca rotatividade). Na segunda fase, aplicam-se métodos de previsão de procura às classes que se pretendem estudar, avaliando os desempenhos de cada um dos métodos e concluindo qual aquele que conduz a melhores resultados. Entre os métodos de previsão aplicados, o método de Croston, o método *Syntetos and Boylan Approximation* (SBA) e o método TSB, partilham a especificidade da

previsão de procura para itens intermitentes. Já o método de Alisamento Exponencial Simples (*Simple Exponential Smoothing – SES*), pelo facto de ser robusto, é o único método tradicional aplicado. A partir destes métodos de séries temporais calculam-se os parâmetros da procura item a item, aplicando-os às políticas de controlo de *stocks* na fase seguinte da metodologia. Dada a grande incerteza associada à procura enfrentada pelos materiais de manutenção de equipamentos, o ajustamento de uma distribuição e o cálculo dos níveis de inventário a partir de uma política de otimização exata tornam-se difíceis de obter. Por isto, na terceira e última fase da metodologia desenvolvida, recorre-se à aplicação de heurísticas de controlo de inventário periódico que permitem obter valores próximos do ótimo. Estas heurísticas são: *Power Approximation* (Ehrhardt R., 1979), Heurística de Naddor (Naddor, 1975) e Aproximação à Normal (Wagner, 1975). Aplicam-se as três heurísticas no sentido de comparar os resultados obtidos de forma a identificar os níveis daquela que conduz a um melhor *trade-off* entre os custos e a eficiência de inventário.

Com a aplicação desta metodologia aos dados históricos da Zagope é possível avaliar a eficácia deste estudo, mas principalmente, analisar o potencial de redução dos custos em inventário de peças de manutenção de equipamentos. Ao longo desta implementação foram-se obtendo resultados intermédios correspondentes a cada uma das fases. Estes resultados conduziram à utilização de algumas simplificações e pressupostos, que influenciaram os resultados das fases seguintes da metodologia. Entre estas simplificações e pressupostos destacam-se: as classes de itens que se obtiveram na aplicação da primeira fase da metodologia e que se decidiram estudar nas duas fases consequentes foram as classes bicritério AA intermitentes, não intermitentes e com padrão de procura esporádico; a partir dos resultados consequentes da aplicação dos métodos de previsão de procura concluiu-se que as previsões a aplicar na fase seguinte da metodologia seriam as provenientes do método SES e SBA para os itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA, e do método SES e TSB para os *sporadic items* pertencentes à classe bicritério AA; dada a falta de padrão na avaliação de desempenho dos métodos de previsão e o não conhecimento do processo de procura, optou-se por selecionar um valor intermédio para a constante de alisamento α ; no desenvolvimento da terceira fase da metodologia, dada a inexistência de informação sobre os *ordering costs* e os *backlogging costs*, assumiram-se empiricamente quatro valores para a razão entre os *backlogging costs* e os *holding costs* (conhecidos – 13% PMM do item) – h/b , com base em Teunter et al. (2011).

A aplicação da metodologia permitiu obter os níveis de inventário: s (*reorder point* – nível de encomenda) e S (*replenishment level* - nível de reabastecimento), para cada um dos períodos de revisão (considerando $T=1$ mês) ao longo dos 14 meses analisados. Assim, foi possível calcular níveis de inventário e de serviço. Estes por sua vez, permitiram calcular os custos e os indicadores de eficiência de inventário (*backorders quantities* e volume em inventário) previstos aquando da aplicação da metodologia aos dados históricos da Zagope.

Por fim, verificou-se que a implementação da metodologia desenvolvida conduz a uma potencial redução dos custos atuais da Zagope. Na maioria dos cenários considerados (à exceção de três cenários aplicados a *sporadic items* quando $h/b=1\%$; $h=13\%$; $k=20\%$) o potencial de redução versus eficiência de inventário traduziram-se em valores próximos do objetivo da empresa e deste trabalho.

Todavia, uma grande redução de custos associa-se a um decréscimo do nível de eficiência, e desta forma, cabe à empresa escolher o cenário que mais se adapte aos seus objetivos. O maior potencial de custos atingiu-se na obra de NGOL, aquando da aplicação dos parâmetros resultantes do método de previsão SES à heurística de Naddor. Neste cenário em que se consideraram *ordering costs* e os *holding costs* constantes e um rácio h/b igual a 20%, o potencial de redução rondou os 84,7% (ou seja, os custos de inventário reduzem 84,7% com a aplicação da metodologia). Porém, este cenário revela-se fraco em termos de eficiência de inventário.

No final, foi ainda possível avaliar o desempenho das heurísticas. Para os itens intermitentes e não intermitentes, a heurística de Naddor permitiu alcançar de forma geral um maior potencial de redução de custos, apesar dos resultados obtidos a partir da heurística Aproximação à Normal se aproximarem bastante dos resultados obtidos a partir da heurística de Naddor. Ademais, foi ainda possível verificar que a razão pela qual a heurística de Naddor é aquela que apresenta custos totais mais reduzidos passa pela menor eficiência de inventário, pois a sua aplicação resulta num menor volume de inventário anual refletido num aumento de *backorders* em relação às outras duas heurísticas. No que refere aos itens com padrão de procura esporádico, a Aproximação à Normal foi a heurística que apresentou maior potencial de redução.

Por fim, realizou-se uma análise de sensibilidade a três parâmetros: constante de alisamento α , tempo de abastecimento e custos de encomenda. Entre este três, verificou-se que: a metodologia é relativamente robusta a alterações do parâmetro constante de alisamento α ; a metodologia é sensível aos parâmetros, custos de encomenda e tempo de abastecimento, sendo os seus resultados menos robustos à variação dos valores do tempo de abastecimento. Desta análise conclui-se ainda que dada a robustez dos indicadores de inventário à variação do parâmetro α , o valor assumido para este parâmetro (0,5) no desenvolvimento dos métodos de previsão da metodologia aplicada ao longo desta dissertação, permitiu obter previsões da procura bastante robustas.

Para desenvolvimento futuro indicam-se algumas oportunidades de melhoria ou esforços adicionais que a empresa possa considerar nos próximos tempos:

Em primeiro lugar, o enquadramento do critério tempo de abastecimento na classificação multicritério da fase I e na aplicação da heurística de controlo de inventário da fase III. Esta medida seria uma ótima oportunidade de contornar os efeitos deste parâmetro sobre os resultados obtidos (parâmetro para o qual os resultados da metodologia se mostraram pouco robustos).

Em segundo lugar, com a junção de mais dados históricos, aplicar os métodos de previsão de procura a diferentes conjuntos: conjunto de modelação inicial (*in-sample dataset*) e num conjunto de dados teste (*out-of-sample data*), tal como Chase (2009) propõe. Aumentando a fiabilidade e desempenho das séries temporais e dos resultados da metodologia conseqüentemente.

Em terceiro lugar, procurar avaliar a tendência do desempenho dos métodos de previsão de procura com a variação do parâmetro α na tentativa de otimizar este valor empiricamente (o que não foi conseguido ao longo deste estudo quer pelos poucos dados históricos com que este trabalho se desenvolveu quer pela pouca fiabilidade dos dados utilizados, oriundos de um ERP em fase de iniciação).

Em quarto lugar, para o caso da aplicação da heurística de Naddor, o cálculo da probabilidade da não ocorrência de procura para um dado item deveria ser encontrado a partir da distribuição que melhor que ajustasse à procura desse item e não a partir do ajustamento da distribuição Gama como pressuposto neste estudo.

Em quinto lugar, o cálculo dos custos reais de inventário item a item, ou de forma mais genérica por conjunto de itens, aproximaria os resultados previstos desta metodologia dos resultados reais. Dada a sensibilidade do modelo aos custos de encomenda, esta medida toma maior relevância.

Em conclusão, espera-se que o trabalho realizado seja uma ferramenta útil para sustentar as decisões de gestão de inventário de materiais de manutenção de equipamentos pela Zagope. Por fim, e como forma de complementar a metodologia aqui desenvolvida, sugere-se que os seguintes passos sejam adotados rumo à otimização da gestão de *stocks* da Zagope:

- Adjudicação de pessoas dedicadas exclusivamente à gestão de *stocks*. Apoiar esta equipa através de formações no sentido consciencializar todas as entidades da cadeia de abastecimento da Zagope para a importância desta área operacional.
- Contagem física dos itens em inventário para validação da existência dos mesmos. Dada a pouca experiência dos colaboradores responsáveis pela área de gestão de armazém em termos da operação do ERP instalado, e principalmente, pela pouca atenção dada à área gestão de inventário, prevê-se que as existências registadas se afastem das reais.
- Atualização dos dados em sistema.
- Análise dos itens categorizados como itens AD, AC e AA na classificação bicritério. Cruzamento desta análise obra a obra com a mesma análise em outras obras do mercado, identificando potenciais possibilidades de transferência de itens entre obras. Exemplo: itens AC ou AD na obra de BMX poderiam ser itens AA na obra de NGOL e como tal, serem transferidos para NGOL. No caso de não existir esta oportunidade, tentar desenvolver um mecanismo de venda ou desvalorização do *stock* obsoleto antes do desmantelamento da obra.
- Desenvolvimento da ferramenta informática que inclua a metodologia desenvolvida, tornando-a operacional de forma automática. Tornar a ferramenta integrada por mercado, tentando aumentar os dados históricos e assim melhorar a performance da metodologia.
- Desenvolvimento de um sistema de manutenção integrado que permita avaliar o sistema de falhas dos diversos equipamentos e assim confrontar as previsões de procura obtidas pela metodologia de gestão de inventário com as previsões do sistema de falhas.
- Implementação de indicadores de controlo de inventário para complementar esta metodologia: variação das saídas e entradas de inventário; variação do inventário médio anual; *inventory turnover* mensal do conjunto de itens em *stock* no mês; *inventory accuracy*.

8 - Bibliografia

- Altay, N., & Litteral, L. A. (2011). *Service Parts Management - Demand Forecasting and Inventory Control*. Dordrecht Heidelberg New York: Springer-Verlag London.
- Babai, M. Z., Syntetos, A. A., & Teunter, R. (2010). On the empirical performance of (T,s,S) heuristics. *European Journal of Operational Research*, 202, 466–472.
- Babai, M. Z., Syntetos, A., & Teunter, R. (2011). Intermittent demand estimators: Empirical performance and sensitivity to the smoothing constants used. *Working papers: No. 138-11, France: Centre de recherché de BEM Bordeaux Management School*.
- Bacchetti, A., & Sacconi, N. (2011). Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *OMEGA: International Journal of Management Science*, 40, 722-737.
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J.-C. (1999). *The MACBETH approach: Basic ideas, software and an application*. In: Meskens, N., Roubens, M. (Eds.), *Advances in Decision Analysis*. Dordrecht, 131– 157: Kluwer Academic Publishers.
- Bana e Costa, C. A., & Vansnick, J.-C. (2008). A critical analysis of the eigenvalue method used to derive priorities in AHP. *European Journal of Operational Research*, 187, 1422–1428.
- Bhattacharya, A., Sarkar, B., & Mukherjee, S. K. (2007). Distance-based consensus method for ABC analysis. *International Journal of Production Economics*, 46 (15), 3405–3420.
- Briscoe, G., Dainty, A. R., & Millett, S. (2001). Construction supply chain partnerships: skills, knowledge and attitudinal requirements. *European Journal of Purchasing & Supply Management*, 243-255.
- Callegaro, A. (2010). *Forecasting Methods for Spare Parts Demand*. Ph.D Thesis, Itália: Università DeGli Studi Di Padova - Facolta' Di Ingegneria.
- Chakravarty, A. K. (1981). Multi-item inventory aggregation into groups. *Journal of Operational Research Society*, 32(1), 19–26.
- Chase, C. (2009). *Demand-driven forecasting: A structured approach to forecasting*. New Jersey: John Wiley & Sons: Hoboko.
- Chen, J. X. (2011). Peer-estimation for multiple criteria ABC inventory classification. *Computers & Operations Research*, 38, 1784–1791.
- Chen, Y., Li, K. W., Kilgour, D. M., & Hipel, K. W. (2008). A case-based distance model for multiple criteria ABC analysis. *Computers & Operations Research*, 35, 776 – 796.
- Cheung, S.-O, S.-O., Lam, T.-I., & Leung, M.-Y. (2001). An analytical hierarchy process based procurement selection method. *Construction Management and Economics*, 19 (4), 427–437.
- Chu, C.-W., Liang, G.-S., & Liao, C.-T. (2008). Controlling inventory by combining ABC analysis and fuzzy classification. *Computers & Industrial Engineering*, 55, 841–851.
- Cohen, M. A., & Ernst, R. (1988). Multi-item classification and generic inventory stock control policies. *Production and Inventory Management Journal*, 29(3):6–8.
- Cohen, M., Zheng, Y., & Agrawal, V. (1997). Service parts logistics: A benchmark analysis. *IIE Transactions*, 29, 627-639.

- Cook, W. D., Kress, M., & Seiford, L. (1993). On the use of ordinal data in data envelopment analysis. *Journal of the Operational Research Society*, 44, 40–133.
- Cook, W. D., Kress, M., & Seiford, L. (1996). Data envelopment analysis in the presence of both quantitative and qualitative factors. *Journal of the Operational Research Society*, 47, 945–953.
- Croston, J. D. (1972). Forecasting and stock control for intermittent demands. *Operational Research Quarterly*, 23 (3), 289–303.
- Dainty, A. R., Briscoe, G. H., & Millett, S. J. (2001). New perspectives on construction supply chain integration, *Supply Chain Manage. an International Journal*, 6 (4).
- Duchessi , P., Tayi , G., & Levy , J. (1988). A conceptual approach for managing of spare parts. *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, 18 (5): 8–15.
- Eaves, A. C., & Kingsman, B. G. (2004). Forecasting for the ordering and stock-holding of spare parts. *Journal of the Operational Research Society*. 55, 431–437.
- Ehrhardt , R., & Mosier, C. (1984). A revision of the power approximation for computing (s, S) policies. *Management Science*, 30,5, 618-622.
- Ehrhardt, R. (1979). The power approximation for computing (s,S) inventory policies. *Management Science*, 25, 777–786.
- Ernst, R., & Cohen, M. (1990). Operations related groups (ORGs): a clustering procedure for production/inventory systems. *Journal of Operations Management*, 9(4):574–98.
- Exame. (2012). *As 100 Maiores Empresas do Brasil - 2012*. Obtido em 5 de 11 de 2013, de Exame.com: <http://exame.abril.com.br/negocios/empresas/melhores-e-maiores/ranking/2012/>
- Flores, B., & Whybark, C. (1986). Multiple criteria ABC analysis. *Int. J. Oper. Prod. Management*, 6(3), 38–46.
- Gajpal, P. P., Ganesh, L. S., & Rajendran, C. (1994). Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. *International Journal of Production Economics*. 35 (1-3), 293–297.
- Gardner, E. S. (1985). Exponential smoothing: the state of the art. *Journal of Forecasting*, 4, 1-28.
- Geneva, I. L. (2001). The construction industry in the twenty-first century: its image, employment prospects and skill requirements. *Tripartite Meeting on the Construction Industry in the Twenty-first Century: Its Image, Employment Prospects and Skill Requirements*. Geneva.
- Ghobbar, A. A., & Friend, C. H. (2003). Evaluation of forecasting methods for intermittent parts demand in the field of aviation: a predictive model. *Computers. & Operations Research* 30, 2097–2114.
- Gutierrez, R. S., Solis, A. O., & Mukhopadhyay, S. (2008). Lumpy demand forecasting using neural networks. *International Journal Production Economics*, n.111, 409-420.
- Gutierrez, Z. -G. (2012). *Relatório de Contas 2011*. Oeiras, Portugal.
- Guvendir, H., & Erel, E. (1998). Multicriteria inventory classification using a genetic algorithm. *European Journal of Operational Research*, . 105, 29–37.
- Hadi-Vencheh, A. (2010). An improvement to multiple criteria ABC inventory classification. *European Journal of Operational Research* 201, 962–965.
- Hatefi, S. M., & Torabi, S. A. (2010). A common weight MCDA–DEA approach to construct composite indicators. *Ecological Economics*, 70, 114–120.

- Hautaniemi, P., & Pirttilä, T. (1999). The choice of replenishment policies in an MRP environment. *International Journal of Production Economics*, 59:85–92.
- Heinecke, G., Syntetos, A. A., & Wang, W. (2013). Forecasting-based SKU classification. *International Journal of Production Economics*, 143, 455–462.
- Hill, T., O'Connor, & Remus, W. (1996). Neural network models for time series forecasts. *Management Science*, 42, 1082-1092.
- Huiskonen, J. (2001). Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. *International Journal of Production Economics*, 71, 125-133.
- Ibn-Homaid, N. T. (2002). A comparative evaluation of construction and manufacturing materials management. *International Journal of Project Management* 20, 263-270.
- INE, C. N. (30 de Setembro de 2013). *Instituto Nacional de Estatística*. Obtido em 19 de Outubro de 2013, de Contas Nacionais: http://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=cn_quadros&boui=95375589
- Jarnbring, J. (1994). Material Flow Costs on the Building Site. Rapport 94:01, Lunds Tekniska Hogskola, Institutionen för Teknisk Logistik, Lund, Sweden.
- Johnston, F. R., & Boylan, J. E. (1996). Forecasting for items with intermittent demand. *Journal of the Operational Research Society*, 47, 113–121.
- Johnston, F. R., Boylan, J. E., & Shale, E. A. (2003). An examination of the size of orders from customers, their characterization and the implications for inventory control for slow moving items. *Journal of the Operational Research Society*, 54, 833–837.
- Johnston, J. (1981). Site Control of Materials. *Butterworths, London*.
- Kennedy, W., Patterson, J. W., & Fredendall, L. D. (2002). An overview of recent literature on spare parts inventories. *International Journal of Production Economics*, 76, 201–215.
- Kholidasari, I. (2013). *The implications of judgemental interventions into an inventory system*. Salford, UK: PhD Thesis, Salford Business School, College of Business & Law, University of Salford.
- Kurtulus, I. (2008). Naddor's Heuristic - Development and Results. *Decision Sciences Institute, Annual Meeting; 39th* (pp. 901-906). USA: Decision Sciences Institute.
- Makridakis, S., Wheelwright, S. C., & Hyndman, R. J. (1998). *Forecasting Methods and Applications, 3rd Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons Inc.
- Manzini, R., Regattieri, A., & Pareschi, A. (2007). *Manutenzione dei sistemi di produzione: modelli e metodi per la gestione della produttività, qualità e della sicurezza*. Bologna, Italy: Progetto Leonardo.
- Marcelino, I. (18 de Dezembro de 2013). *Jornal Económico*. Obtido em 10 de Janeiro de 2014, de Desafios de Portugal - As Maiores Exportadoras: http://economico.sapo.pt/public/uploads/especiais_sp/exportadoras18.pdf
- Meng, X. (2012). The effect of relationship management on project performance in construction. *International Journal of Project Management* 30, 188–198.
- Millstein, M. A., Yang, L., & Li, H. (2014). Optimizing ABC inventory grouping decisions. *International Journal of Production Economics*, 148, 71–80.

- Mohammaditabar, D., Ghodsypour, S. H., & O'Brien, C. (2012). Inventory control system design by integrating inventory classification and policy selection. *International Journal of Production Economics*, 140, 655–659.
- Naddor, E. (1975). Optimal and heuristic decisions on single and multi-item inventory systems. *Management Science*, 21, 1234–1249.
- Ng, W. L. (2007). A simple classifier for multiple criteria ABC analysis. *European Journal of Operational Research*, 177, 344–353.
- O'Brien, W. (1995). Construction supply-chains: case study, integrated cost and performance analysis. In: Alarcon, L. (Ed.), *Lean Construction.*, 187-222.
- O'Brien, W. (1998). *Capacity Costing Approaches for Construction Supply-chain Management*, Stanford University, Stanford, CA.
- Partovi, F., & Anandarajan, M. (2002). Classifying inventory using an artificial neural network approach. *Computers and Industrial Engineering*, 41, 389–404.
- Partovi, F. Y., & Hopton, W. E., W. E. (1994). The analytic hierarchy process as applied to two types of inventory problems. *Production and Inventory Management Journal*, 35 (1), 13–19.
- Partovi, F., & Burton, J. (1993). Using the analytical hierarchy process for ABC analysis. *Int. J. Oper. Prod. Manage*, 13(9), 29–44.
- Patch, W., & Wintle, F. (s.d.). *Slow Moving Inventory - "All dressed up and nowhere to go"*. North Sydney - Australia: Dawson Consulting - a Dawson Group company.
- Peurifoy, R. L., & Schexnayder, C. J. (2002). *Construction Planning, Equipment and Methods*, 6th ed. NY.: McGraw-Hill.
- Porras, E. M., & Dekker, R. (2008). An inventory control system for spare parts at a refinery: an empirical comparison of different reorder point methods. *European Journal of Operational Research*, 184, 101–132.
- Porteus, E. L. (1985). Numerical comparisons of inventory policies for periodic review systems. *Operations Research*, 33, 132–152.
- Ramanathan, R. (2006). ABC inventory classification with multiple-criteria using weighted linear optimization. *Computers & Operations Research*, 33, 695–700.
- Roberts, D. (1962). *Approximations to optimal policies in a dynamic inventory model studies*. Stanford, California, pp 207-229: In: Arrow K, Kardin S and Scarf H (eds). *Applied Probability and Management Science*. Stanford University.
- Saaty, T. L. (1980). *The analytic hierarchy process*. New York: McGraw-Hill.
- Sani, B. (1995). Periodic inventory control systems and demand forecasting methods for low demand items. *Unpublished Ph.D. Thesis*, Lancaster University, UK.
- Sani, B., & Kingsman, B. G. (1997). Selecting the best periodic inventory control and demand forecasting methods for low demand items. *Journal of the Operational Research Society*, 48, 700-713.
- SAP SE. (2014). *SAP Business Suite*. Obtido em 7 de Maio de 2014, de SAP Help Portal - Croston Method:

http://help.sap.com/saphelp_scm70/helpdata/en/ac/216b89337b11d398290000e8a49608/content.htm

- Schultz, C. R. (1987). Forecasting and inventory control for sporadic demand under periodic review. *Journal of the Operational Research Society*, 38, 453–458.
- Silver, E. A. (1981). Operations research in inventory management: a review and critique. *Operations Research*, 29, 628–645.
- Silver, E. A., Pyke, D. F., & Peterson, R. (1998). *Inventory Management and Production Planning and Scheduling, 3rd Edition*. New York: Wiley.
- Stonebraker, P., & Leong, G. (1994). *Operations strategy: focusing competitive excellence*. Allyn and Bacon: Boston.
- Strijbosch, L. G., Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Janssen, E. (2011). On the interaction between forecasting and stock control: the case of non-stationary demand. *International Journal of Production Economics*, 133, 470–480.
- Swamidass, P. M. (2000). *ABC analysis or ABC classification*. In P. M. Swamidass (Ed.). *Encyclopedia of production and manufacturing management (Vol. 1–2)*. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2005). The accuracy of intermittent demand estimates. *International Journal of Production Economics*, 21, 303–314.
- Syntetos, A. A. (2001). *Forecasting of Intermittent Demand*. Buckinghamshire Business School: Brunel University: Unpublished PhD Thesis.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2001). On the bias of intermittent demand estimates. *International Journal of Production Economics*, 71, 457–466.
- Syntetos, A. A., & Boylan, J. E. (2006). On the stock control performance of intermittent demand estimators. *International Journal of Production Economics*, 103, 36–47.
- Syntetos, A. A., Boylan, J. E., & Croston, J. D. (2005). On the categorization of demand patterns. *Journal of Operational Research Society*, 56(5), 495–503.
- Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214, 606–615.
- Teunter, R. H., Babai, M. Z., & Syntetos, A. A. (2010a). ABC classification: service levels and inventory costs. *Prod. Oper. Manage.* 19(3), 343–352.
- Teunter, R. H., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2011). Intermittent demand: Linking forecasting to inventory obsolescence. *European Journal of Operational Research*, 214, 606–615.
- Teunter, R., & Sani, B. (2009a). Calculating order-up-to levels for products with intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 118, 82–86.
- Teunter, R., & Sani, B. (2009b). On the bias of Croston's forecasting method. *European Journal of Operational Research*, 194, 177–183.
- Teunter, R., Syntetos, A. A., & Babai, M. Z. (2010b). Determining order-up-to levels under periodic review for compound binomial (intermittent) demand. *European Journal of Operational Research*, 203, 619–624.

- Torabi, S. A., Hatefi, S. M., & Saleck Pay, B. (2012). ABC inventory classification in the presence of both quantitative and qualitative criteria. *Computers & Industrial Engineering*, 63, 530–537.
- VanHorenbeek, A., Buré, J., Cattrysse, D., Pintelon, L., & Vansteenwegen, P. (2013). Joint maintenance and inventory optimization systems: A review. *International Journal of Production Economics*, 143, 499–508 .
- Velagić, A. (2012). Spare parts management improvement at KLM Equipment Services. *Series Master Theses Operations Management and Logistics*. Eindhoven: TUE. School of Industrial Engineering.
- Vrijhoef, R., & Koskela, L. (2000). The four roles of supply chain management in construction. *European Journal of Purchasing & Supply Management* 6, 169-178.
- Wagner, H. M. (1975). *Principles of Management Science (With Applications to Executive Decisions)* . NJ: Prentice-Hall, Inc ,Englewood Cliffs .
- Wallström, P., & Segerstedt, A. (2010). Evaluation of forecasting error measurements and techniques for intermittent demand. *International Journal of Production Economics*, 128, 625–636.
- Wang, W. (2012). A stochastic model for joint spare parts inventory and planned maintenance optimisation. *European Journal of Operational Research*, 216, 127–139.
- Waters, D. (2003). *Inventory Control and Management*. The Atrium, Southern Gate, Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Wegelius-Lehtonen, T. (2001). Performance measurement in construction logistics. *International Journal of Production Economics*, 69, 107-116.
- Willemain , T. R., Smart C.N., C. N., Shockor, J. H., & DeSautels, P. A. (1994). Forecasting intermittent demand in manufacturing: A comparative evaluation of Croston's method. *International Journal of Forecasting*, n.10, 529–538.
- Willemain, T. R., Smart, C. N., & Schwarz, H. F. (2004). A new approach to forecasting intermittent demand for service parts inventories. *International Journal of Forecasting* 20 (3), 375 – 387.
- Xue, X., Wang, Y., Shen, Q., & Yu, X. (2007). Coordination mechanisms for construction supply chain management in the Internet environment. *International Journal of Project Management* 25, 150–157.
- Yip, H.-l., Fan, H., & Chiang, Y.-h. (2014). Predicting the maintenance cost of construction equipment: Comparison between general regression neural network and Box–Jenkins time series models. *Automation in Construction* 38, 30–38.
- Zagope. (2012). *Relatório & Contas 2012*.
- Zeng, A. Z., & Hayya, J. C. (1999). The performance of two popular service measures on management effectiveness in inventory control. *International Journal of Production Economics*, 58, 147-158.
- Zhou, P., & Fan, L. (2007). A note on multi-criteria ABC inventory classification using weighted linear optimization. *European Journal of Operational Research*, 182,, 1488–1491.
- Zhu, J. (2003). Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and Imprecise data envelopment analysis (IDEA): A review and. *European Journal of Operational Research*, 144, 513–529.

Anexo 1 – Apresentação das Obras em Execução pela Zagope (Dezembro 2013)

Tabela A1 - Obras em Execução no Continente Africano pela Zagope (Dezembro de 2013)

| Identificação da Zagope | Construção | País | Identificação da Zagope | Construção | País |
|-------------------------|-------------------------------------|------------------|-------------------------|--------------------------------|------------|
| Obra AME | Auto-estrada Mongomeyen-Ebibyin | Guiné Equatorial | Obra TPD | Terminal Passageiros Dundo | Angola |
| Obra ENA | Extensão Norte Aeroporto Mongomeyen | Guiné Equatorial | Obra TPL | Terminal Passageiros Luena | Angola |
| Obra OYALA | - | Guiné Equatorial | Obra TPSL | Terminal Passageiros Saurimo | Angola |
| Obra SAMA | Estrada Santa Maria-Ebolowa | Guiné Equatorial | Obra TPSO | Terminal Passageiros Soyo | Angola |
| <u>Obra BMX</u> | Estrada entre Bela Vista-Muxaluando | Angola | Obra CADE | Estrada entre Oasse e Mocimboa | Moçambique |
| <u>Obra NGOL</u> | Estrada Ngola-Kiluange | Angola | Obra MAK | Estrada Makoua-Etoumbi | Congo |
| Obra GAUF | Conduas Adutoras Lubango | Angola | Obra RAV2 | - | Congo |
| <u>Obra MECC</u> | Estrada Caiundo-Menongue-Cutato | Angola | Obra MTLA2 | Reabilitação Estrada Matala | Angola |

Anexo 2 – Portefólio de Itens de Manutenção de Equipamentos em Inventário na Zagope (Exemplo)

Tabela A2 - Principais características do inventário na obra BMX a 10 de dezembro de 2013

| Grupo de Mercadorias | Stock | Classificação do Item | Nr. de Referências |
|-------------------------------------|-------|---|--------------------|
| ACESSORIOS PARA CABOS DE ACO | 34 | Consumo | 1 |
| ATLAS COPCO | 25 | Peças | 4 |
| BOMBAS HIDRAULICAS | 1 | Peças | 1 |
| CASE | 123 | Peças | 19 |
| CATERPILLAR | 5781 | Consumo (53,57%), Peças (35,71%), Material Rodante (0,40%), Desgaste (10,32%) | 252 |
| COLAS INDUSTRIAIS | 13 | Consumo | 1 |
| CORREIAS | 6 | Consumo | 1 |
| DYNAPAC/VIBRO/FLYGT | 18 | Peças | 6 |
| FACCHINI | 404 | Peças | 4 |
| FILTROS | 23 | Consumo | 1 |
| SCANIA VABIS | 20 | Peças | 9 |
| FORD | 11 | Peças | 5 |
| GASCON | 52 | Peças | 5 |
| NEW HOLLAND | 34 | Peças | 14 |
| HYUNDAI | 25 | Peças | 12 |
| MERCEDES-BENZ | 131 | Consumo (78%), Peças (22%) | 9 |
| VOLVO | 645 | Peças (94%), Desgaste (6%) | 158 |

Anexo 3 – Resultados da Análise do Critério Rotatividade

Tabela A3 - Caracterização sumária dos grupos obtidos na classificação segundo o critério rotatividade em BMX, NGOL e MECC

| Mercado | ANGOLA | | | | | | | | | |
|--|----------------|------------------|------------------|-------------|---------------------------------|-------------|---------------|--|---------------|------|
| | Obra | BMX | NGOL | MECC | Percentagem em relação ao grupo | | | Percentagem em relação aos valores totais da amostra | | |
| | | | | | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC |
| Grupo 1 de Rotatividade | | | | | | | | | | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 14 meses (1) | 37.388 | 1.254.918 | 1.105.382 | 24,1% | 89% | 50,7% | 9,76% | 58,90% | 32,51% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 13 meses (2) | 0 | 1.633 | 7.798 | 0,0% | 0,1% | 0,4% | 0,00% | 0,08% | 0,23% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 12 meses (3) | 4.059 | 7.207 | 11.692 | 2,6% | 0,5% | 0,5% | 1,06% | 0,34% | 0,34% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 11 meses (4) | 34.502 | 7.131 | 125.050 | 22,3% | 0,5% | 5,7% | 9,01% | 0,33% | 3,68% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 10 meses (5) | 13.792 | 5.166 | 157.698 | 8,9% | 0,4% | 7,2% | 3,60% | 0,24% | 4,64% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 9 meses (6) | 13.711 | 2.590 | 12.627 | 8,9% | 0,2% | 0,6% | 3,58% | 0,12% | 0,37% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 8 meses (7) | 17.908 | 15.195 | 132.940 | 11,6% | 1,1% | 6,1% | 4,67% | 0,71% | 3,91% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 7 meses (8) | 2.733 | 63.424 | 479.821 | 1,8% | 4,5% | 22% | 0,71% | 2,98% | 14,11% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que não são consumidos há 6 meses (9) | 30.866 | 52.704 | 145.708 | 19,9% | 3,7% | 6,7% | 8,06% | 2,47% | 4,28% | |
| Soma do valor (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7) + (8) + (9) | 154.959 | 1.409.968 | 2.178.716 | 100% | 100% | 100% | 40,45% | 66,17% | 64,07% | |
| Número de Referências em (1) | 66 | 2.490 | 1.941 | 21,1% | 85,1% | 55% | 7,56% | 63,44% | 39,97% | |
| Número de Referências em (2) | 0 | 7 | 24 | 0,0% | 0,2% | 0,7% | 0,00% | 0,18% | 0,49% | |
| Número de Referências em (3) | 17 | 16 | 31 | 5,4% | 0,6% | 0,9% | 1,95% | 0,41% | 0,64% | |
| Número de Referências em (4) | 45 | 17 | 191 | 14,4% | 0,6% | 5,4% | 5,15% | 0,43% | 3,93% | |
| Número de Referências em (5) | 40 | 16 | 181 | 12,8% | 0,6% | 5,1% | 4,58% | 0,41% | 3,73% | |
| Número de Referências em (6) | 56 | 14 | 37 | 17,9% | 0,5% | 1,1% | 6,41% | 0,36% | 0,76% | |
| Número de Referências em (7) | 30 | 33 | 187 | 9,6% | 1,1% | 5,3% | 3,44% | 0,84% | 3,85% | |
| Número de Referências em (8) | 16 | 229 | 732 | 5,1% | 7,8% | 20,7% | 1,83% | 5,83% | 15,07% | |
| Número de Referências em (9) | 43 | 103 | 208 | 13,7% | 35,2% | 5,9% | 4,93% | 2,62% | 4,28% | |
| Número de Referências Totais | 313 | 2.925 | 3.532 | 100% | 100% | 100% | 35,85% | 74,52% | 72,73% | |
| Grupo 2 de Rotatividade | | | | | | | | | | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em setembro de 2013 e que não são consumidos desde então (10) | 8.642 | 2.750 | 117.955 | 11,4% | 2,1% | 26,7% | 2,26% | 0,13% | 3,47% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em outubro de 2013 e que não são consumidos desde então (11) | 12.235 | 746 | 81.830 | 16,1% | 0,6% | 18,6% | 3,19% | 0,04% | 2,41% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em novembro de 2013 e que não são consumidos desde então (12) | 17.014 | 0 | 18.402 | 22,4% | 0% | 4,2% | 4,44% | 0,00% | 0,54% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em dezembro de 2013 e que não são consumidos desde então (13) | 10.382 | 2.155 | 1.193 | 13,7% | 1,6% | 0,3% | 2,71% | 0,10% | 0,04% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em janeiro de 2013 e que não são consumidos desde então (14) | 25.566 | 0 | 199.909 | 33,6% | 0% | 45,3% | 6,67% | 0,00% | 5,88% | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens que apenas entraram em fevereiro de 2013 e que não são consumidos desde então (15) | 2.260 | 127.022 | 21.839 | 3% | 95,7% | 5% | 0,59% | 5,96% | 0,64% | |
| Soma do valor (10) + (11) + (12) + (13) + (14) + (15) | 76.099 | 132.673 | 441.128 | 100% | 100% | 100% | 19,87% | 6,23% | 12,97% | |
| Número de Referências em (10) | 26 | 6 | 259 | 12,6% | 2,1% | 40,4% | 2,98% | 0,15% | 5,33% | |
| Número de Referências em (11) | 25 | 5 | 238 | 12,1% | 1,8% | 37,1% | 2,86% | 0,13% | 4,90% | |
| Número de Referências em (12) | 29 | 0 | 45 | 14% | 0% | 7% | 3,32% | 0,00% | 0,93% | |
| Número de Referências em (13) | 16 | 3 | 3 | 7,7% | 1,1% | 0,5% | 1,83% | 0,08% | 0,06% | |
| Número de Referências em (14) | 91 | 0 | 54 | 44% | 0% | 8,4% | 10,42% | 0,00% | 1,11% | |
| Número de Referências em (15) | 20 | 267 | 42 | 9,7% | 95% | 6,6% | 2,29% | 6,80% | 0,86% | |
| Número de Referências Totais | 207 | 281 | 641 | 100% | 100% | 100% | 23,71% | 7,16% | 13,20% | |
| Grupo 3 de Rotatividade | | | | | | | | | | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens com saídas há mais de 6 meses (16) | 2.943 | 18.944 | 10.589 | | | | 0,77% | 0,89% | 0,31% | |
| Número de Referências em (16) | 10 | 42 | 16 | | | | 1,15% | 1,07% | 0,33% | |
| Grupo 4 de Rotatividade | | | | | | | | | | |
| Valor em Inventário (USD) dos Itens pertencentes ao grupo 4 de rotatividade (17) | 149.078 | 569.176 | 770.110 | | | | 38,92% | 26,71% | 22,65% | |
| Média da Rotatividade do Grupo (17) | 3,99 | 2,09 | 1,67 | | | | | | | |
| Número de Referências Totais do Grupo (17) | 343 | 677 | 667 | | | | 39,29% | 17,25% | 13,74% | |

Anexo 4 – Resultados da Análise do Critério Tempo de Abastecimento

Quando o processo de compra é realizado pela obra/mercado (Figura A1), depois de emitido o pedido de compra ao fornecedor decorre o tempo de resposta do mesmo e o transporte dos itens até ao estaleiro de Angola ou até à obra diretamente. Dependendo destas duas possibilidades, o cálculo do tempo de abastecimento varia.

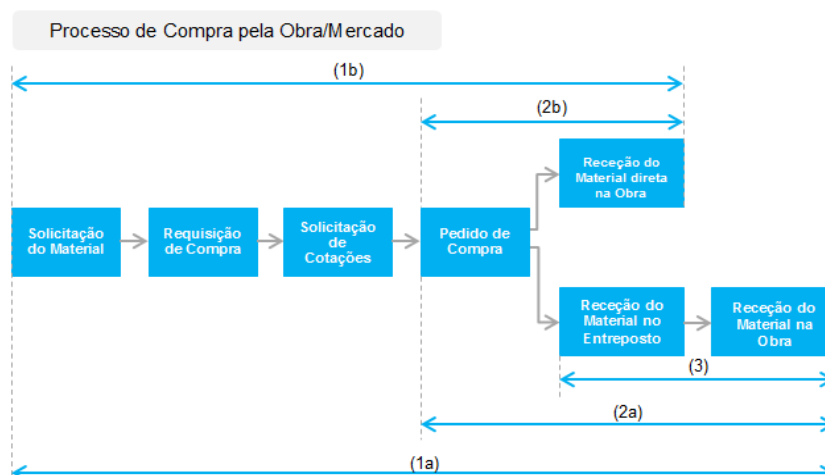


Figura A1 - Esquema das etapas do processo de compra realizado pela obra/mercado

Legenda da Figura A1:

(1a) Tempo de abastecimento para o processo de compra executado pela Obra/Mercado quando o item passa pela pelo entreposto de Angola

(2a) Tempo decorrente entre a ordem de compra da obra e a receção do item na obra, tendo passado pelo entreposto

(3) Tempo decorrente entre a receção no entreposto e a receção na obra

(1b) Tempo de abastecimento para o processo de compra executado pela Obra/Mercado quando o item é entregue diretamente na obra, sem passar pelo entreposto de Angola

(2b) Tempo decorrente entre a ordem de compra da obra e a receção do item na obra, não tendo passado pelo entreposto

Tabela A4 - Frações do tempo de abastecimento de peças de manutenção de equipamentos - Compra pela obra/mercado

| | Com passagem pelo entreposto de Angola | | | | Sem passagem pelo entreposto de Angola | | |
|--|--|------|------|--|--|------|------|
| | BMX | NGOL | MECC | | BMX | NGOL | MECC |
| Tempo 1a (dias) | 88 | 88 | 98 | Tempo 1b (dias) | 13 | 17 | 8 |
| Tempo 2a (dias) | 64 | 70 | 72 | Tempo 2b (dias) | 12 | 10 | 8 |
| Tempo 3 (dias) | 19 | 19 | 32 | | | | |
| Número De Processos de Compra Analisados | 454 | 755 | 575 | Número De Processos de Compra Analisados | 116 | 53 | 195 |

Na Tabela A4 encontram-se apresentadas as frações do tempo de abastecimento de peças de manutenção de equipamentos. Pela observação destas tabelas concluiu-se que, o tempo de abastecimento médio dos processos de compra de peças de manutenção de equipamentos, executados pelas obras/mercado quando há passagem dos mesmos pelo entreposto de Angola, é bastante superior ao tempo de abastecimento médio verificado nos processos de compra executados pelas obras/mercado quando os itens não passam pelo entreposto de Angola.

O tempo que os itens passam no entreposto e em transporte deste ponto até à obra contribui para esta diferença entre os tempos de abastecimento. Contudo, este aspeto prende-se essencialmente

com o facto de se incluírem os processos de compra realizados pelo Aprovisionamento Corporativo do Brasil nos processos de compra executados pelas obras. Como já foi referido, esta entidade exportadora (Brasil) não tem acesso ao sistema SAP instalado na Zagope, e como tal, os processos de compra que executa são inseridos no sistema pela própria obra. Ficando erroneamente identificados como processos de compra locais (da obra ou mercado), o incremento dos tempos de abastecimento médios calculados é inevitável. Este aumento verifica-se principalmente ao nível dos processos de compra que envolvem a passagem dos itens pelo entreposto de Angola, uma vez que as mercadorias provenientes de processos de compra realizados pelo Brasil chegam por frete de navio ou avião e são sempre primeiramente rececionadas no entreposto.

Pela Tabela A4, verifica-se que o tempo entre a última ordem de compra da obra e a receção da respetiva encomenda na obra representa a maior parte do tempo de abastecimento.

No que refere aos processos de compra com entidade exportadora, ou seja, processos de compra de peças de manutenção de equipamentos que envolvem o Aprovisionamento Corporativo de Portugal (representados esquematicamente pela Figura A2), os tempos médios de abastecimento por obra revelaram-se bastante superiores aos anteriormente analisados. Observando a Tabela A5, e tendo em conta que nos cálculos efetuados tiveram-se em conta todos os dias do mês e não apenas os dias úteis, os tempos médios de abastecimento rondam os 4 meses para este tipo de processo de compra. A partir desta informação, conclui-se que a inclusão do critério tempo de abastecimento no planeamento e controlo de *stocks* de peças de manutenção é relevante.

Quanto às frações de tempo que constituem o tempo de abastecimento, verifica-se sem surpresas que o tempo de transporte e despacho alfandegário do material (tempo 3) é um dos mais significativos. Este facto é justificável uma vez que o frete de navio é o meio de transporte mais utilizado, demorando em média 11 dias (se for direto – o que normalmente não acontece porque acarreta mais custos) para fazer o trajeto Portugal-Angola. Menos compreensível é o facto do tempo que decorre entre a entrada do material no entreposto de Angola e a sua entrega na obra (que inclui o transporte entreposto-obra) ser uma das frações temporais mais significativas do tempo de abastecimento, considerando o facto do tempo de viagem do entreposto aos armazéns das obras rondar: as 6 horas de transporte terrestre até BMX; 0 dias até NGOL (ocupam o mesmo espaço físico); 1 dia de transporte terrestre até MECC.

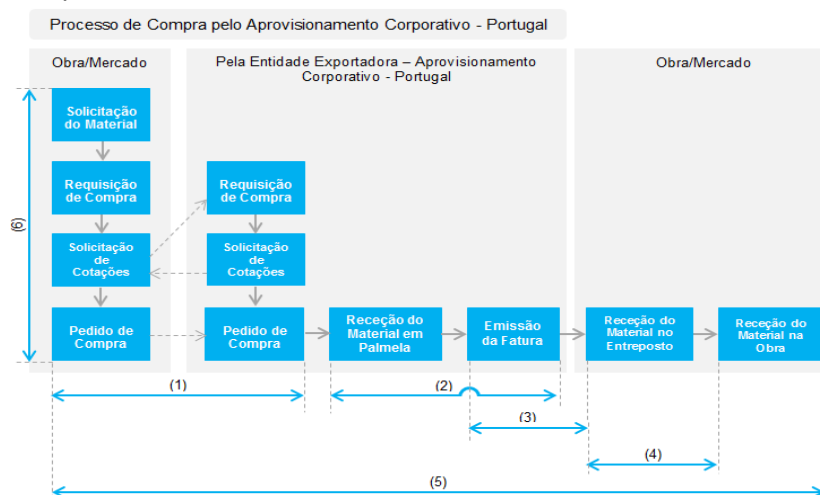


Figura A2 - Esquema das etapas do processo de compra realizado pelo Aprovisionamento Corporativo - Portugal

Legenda da Figura A2:

- (1) Tempo decorrente entre a ordem de compra da obra e a ordem de compra da exportadora (Aprovisionamento Corporativo - Portugal)
- (2) Tempo decorrente entre a receção do material em Palmela e a emissão da sua fatura – tempo que o material permanece no estaleiro de Palmela
- (3) Tempo de transporte e despacho alfandegário do material
- (4) Tempo que o material permanece no entreposto
- (5) Tempo entre a ordem de compra da obra e a receção do material em obra
- (5) + (6) Tempo de abastecimento para o processo de compra executado pelo Aprovisionamento Corporativo de Lisboa

Tabela A5 - Frações do tempo de abastecimento de peças de manutenção de equipamentos - Compra pelo Aprovisionamento Corporativo – Portugal

| | Tempo 1 (dias) | Tempo 2 (dias) | Tempo 3 (dias) | Tempo 4 (dias) | Tempo 5 (dias) | Tempo 5 + 6 (dias) | Número De Processos de Compra Analisados |
|-------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|---|
| BMX | 10 | 9 | 25 | 28 | 95 | 121 | 234 |
| NGOL | 15 | 5 | 34 | 27 | 108 | 131 | 753 |
| MECC | 16 | 4 | 26 | 24 | 97 | 135 | 979 |

Quanto à classificação do *stock* de 27 de fevereiro de 2014 segundo o critério tempo de abastecimento concluiu-se, após o tratamento dos dados, que é impossível aplicar este critério, pelo menos nesta fase. Tal facto relaciona-se com a falta de dados históricos. Dada a data de implementação do ERP e a pouca procura característica de determinadas peças de manutenção, existiam itens em *stock* à data de 27 de fevereiro que já constavam no *stock* quando o SAP foi instalado e que desde então não tiveram nenhum processo de compra associado. Desta forma, tal como se comprova pelos dados apresentados na Tabela A6, o número de referências de peças em análise, a ser classificadas, que não têm histórico de processos de compra é significativo e impeditivo da aplicação deste critério de classificação até que surjam dados históricos suficientes.

Tabela A6 - Quantificação dos processos de compra históricos por referências em *stock*

| | BMX | NGOL | MECC |
|---|-----|------|------|
| Número de Referências de Peças no <i>Stock</i> de 27/02/14 | 873 | 3925 | 4856 |
| Número de Referências de Peças com Processo de Compra em Histórico | 674 | 1196 | 1494 |
| Número de Referências de Peças no <i>Stock</i> de 27/02/14 sem processo de compra em histórico | 441 | 3344 | 3568 |

Anexo 5 – Número de Referências Com Ocorrência de Procura ao Longo de x Meses

Tabela A7 - Número de referências com ocorrências de procura ao longo de x meses

| | Número de referências com ocorrências de procura ao longo dos: | | | | | | | | | | | | | | | Total |
|-------------|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|------|-------|
| | 14 | 13 | 12 | 11 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 | 0 | |
| BMX | 0 | 0 | 0 | 1 | 4 | 5 | 6 | 7 | 12 | 20 | 30 | 44 | 100 | 180 | 464 | 873 |
| NGOL | 0 | 2 | 3 | 3 | 5 | 9 | 14 | 15 | 33 | 43 | 57 | 111 | 187 | 575 | 2868 | 3925 |
| MECC | 1 | 4 | 3 | 6 | 8 | 20 | 15 | 24 | 26 | 38 | 67 | 106 | 220 | 597 | 3721 | 4856 |

Anexo 6 – Caracterização das Classes Bicritério das Peças de Manutenção em Inventário a 27 de fevereiro de 2014

• Caracterização da Classe Bicritério AA:

Tabela A8 - Caracterização sumária dos itens pertencentes à classe bicritério AA nas três obras estudadas

| Mercado | ANGOLA | | | | | | |
|---|---------|---------|---------|--------|--|--------|------|
| | Obras | BMX | NGOL | MECC | Percentagem em relação aos valores totais da amostra | | |
| | | | | | BMX | NGOL | MECC |
| Valor em Inventário dos Itens Classe A no Critério Valor em Inventário e no Critério Rotatividade (1) | 120.798 | 486.989 | 671.565 | 31,53% | 22,86% | 19,75% | |
| Média da Rotatividade dos Itens (1) | 1,5 | 2,02 | 3,4 | | | | |
| Número de Referências em (1) | 89 | 223 | 230 | 10,19% | 5,68% | 4,74% | |

• Caracterização da Classe Bicritério AD:

Tabela A9 - Caracterização sumária dos itens pertencentes à classe bicritério AD nas 3 obras estudadas

| Mercado | ANGOLA | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------|-----------|--------|---------------------------------|-------|--------|--|--------|------|
| | Obras | BMX | NGOL | MECC | Percentagem em relação ao grupo | | | Percentagem em relação aos valores totais da amostra | | |
| | | | | | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 14 meses = (1) | 31.750 | 999.710 | 857.940 | 25,1% | 90,7% | 50,1% | 8,29% | 46,92% | 25,23% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 13 meses = (2) | 0 | 0 | 5.831 | 0,0% | 0,0% | 0,3% | 0,00% | 0,00% | 0,17% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 12 meses = (3) | 2.761 | 6.049 | 7.929 | 2,2% | 0,6% | 0,5% | 0,72% | 0,28% | 0,23% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 11 meses = (4) | 31.492 | 5.076 | 93.827 | 24,9% | 0,5% | 5,5% | 8,22% | 0,24% | 2,76% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 10 meses = (5) | 8.921 | 3.424 | 132.052 | 7,1% | 0,3% | 7,7% | 2,33% | 0,16% | 3,88% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 9 meses = (6) | 8.001 | 0 | 7.743 | 6,3% | 0,0% | 0,5% | 2,09% | 0,00% | 0,23% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 8 meses = (7) | 16.121 | 10.574 | 108.380 | 12,8% | 1% | 6,3% | 4,21% | 0,50% | 3,19% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 7 meses = (8) | 0 | 38.246 | 376.280 | 0,0% | 3,5% | 22% | 0,00% | 1,79% | 11,07% | |
| Valor em Inventário dos Itens que são Classe A no Critério Valor em Inventário e não são consumidos há 6 meses = (9) | 27.422 | 39.469 | 122.046 | 21,7% | 3,6% | 7% | 7,16% | 1,85% | 3,59% | |
| Soma do valor (1) + (2) + (3) + (4) + (5) + (6) + (7) + (8) + (9) | 126.468 | 1.102.548 | 1.712.028 | 100% | 100% | 100% | 33,01% | 51,74% | 50,35% | |
| Número Referências em (1) | 10 | 464 | 343 | 12,5% | 86,6% | 53% | 1,15% | 11,82% | 7,06% | |
| Número Referências em (2) | 0 | 0 | 5 | 0,0% | 0,0% | 0,8% | 0,00% | 0,00% | 0,10% | |
| Número Referências em (3) | 3 | 3 | 5 | 3,8% | 0,6% | 0,8% | 0,34% | 0,08% | 0,10% | |
| Número Referências em (4) | 24 | 3 | 32 | 30% | 0,6% | 5% | 2,75% | 0,08% | 0,66% | |
| Número Referências em (5) | 9 | 3 | 37 | 11,3% | 0,6% | 6% | 1,03% | 0,08% | 0,76% | |
| Número Referências em (6) | 11 | 0 | 4 | 13,8% | 0,0% | 0,6% | 1,26% | 0,00% | 0,08% | |
| Número Referências em (7) | 13 | 7 | 36 | 16,3% | 1,3% | 5,6% | 1,49% | 0,18% | 0,74% | |
| Número Referências em (8) | 0 | 29 | 135 | 0,0% | 5,4% | 20,9% | 0,00% | 0,74% | 2,78% | |
| Número Referências em (9) | 10 | 27 | 50 | 12,5% | 5% | 7,7% | 1,15% | 0,69% | 1,03% | |
| Número de Referências Totais | 80 | 536 | 647 | 100,0% | 100% | 100% | 9,16% | 13,66% | 13,32% | |

• Caracterização da Classe Bicritério AC:

Tabela A10 - Caracterização sumária dos itens pertencentes à classe bicritério AC nas três obras estudadas

| Mercado | ANGOLA | | | | | | | | | |
|---|--------|-------|---------|--------|---------------------------------|--------|-------|--|-------|------|
| | Obras | BMX | NGOL | MECC | Percentagem em relação ao grupo | | | Percentagem em relação aos valores totais da amostra | | |
| | | | | | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC |
| Valor em Inventário dos Itens que apenas entraram em setembro de 2013 e que não são consumidos desde então e que são Classe A no Critério Valor em Inventário = (1) | 6.599 | 2.123 | 84.539 | 40,19% | 100% | 62,38% | 1,72% | 0,10% | 2,49% | |
| Valor em Inventário dos Itens que apenas entraram em outubro de 2013 e que não são consumidos desde então e que são Classe A no Critério Valor em Inventário = (2) | 9.822 | 0 | 50.988 | 59,81% | 0,00% | 37,62% | 2,56% | 0,00% | 1,50% | |
| Soma do valor (1) + (2) | 16.421 | 2.123 | 135.527 | 100% | 100% | 100% | 4,29% | 0,10% | 3,99% | |
| Número de Referências em (1) | 10 | 3 | 31 | 58,82% | 100% | 52,54% | 1,15% | 0,08% | 0,64% | |
| Número de Referências em (2) | 7 | 0 | 28 | 41,18% | 0,00% | 47,46% | 0,80% | 0,00% | 0,58% | |
| Número Referências Totais | 17 | 3 | 59 | 100% | 100% | 100% | 1,95% | 0,08% | 1,21% | |

Tabela A11 - Caracterização sumária dos itens pertencentes à classe bicritério AC nas três obras estudadas

| Mercado | ANGOLA | | | | | | |
|--|--------|--------|-------|-------|--|-------|------|
| | Obras | BMX | NGOL | MECC | Percentagem em relação aos valores totais da amostra | | |
| | | | | | BMX | NGOL | MECC |
| Valor em Inventário dos Itens com consumos há mais de 6 meses e com Classe A no Critério Valor em Inventário = (1) | 1.887 | 14.278 | 7.961 | | | | |
| Número de Referências em (1) | 2 | 10 | 5 | 0,23% | 0,25% | 0,10% | |

Anexo 7 – Resultados das Estatísticas Descritivas à Amostra

Tabela A12 – Estatísticas descritivas de todas as peças de manutenção de equipamentos existentes em BMX (873 referências), NGOL (3925 referências) e MECC (4856 referências) à data de 27 de fevereiro de 2014

| | | Valor Mínimo | | | 1º Quartil | | | Mediana | | | 3º Quartil | | | Valor Máximo | | |
|---------------------------|---------------|--------------|------|------|------------|------|------|---------|------|------|------------|------|------|--------------|--------|--------|
| | | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC |
| Tamanho da Procura | Média | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1,67 | 1 | 0 | 732,38 | 935 | 924,45 |
| | Desvio Padrão | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,56 | 0,26 | 0 | 491,99 | 683,05 | 835,45 |
| Intervalos Entre Procuras | Média | 1,27 | 1,07 | 1 | 4,4 | 7,07 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| | Desvio Padrão | 0,57 | 0,25 | 0 | 2,75 | 4,22 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 |
| Procura por Período | Média | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,21 | 0,07 | 0 | 418,5 | 467,5 | 726,36 |
| | Desvio Padrão | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,56 | 0,26 | 0 | 491,99 | 683,05 | 835,45 |

Tabela A13 - Estatísticas descritivas das peças de manutenção de equipamentos pertencentes à classe AA existentes em BMX (89 referências), NGOL (223 referências) e MECC (230 referências) à data de 27 de fevereiro de 2014

| | | Valor Mínimo | | | 1º Quartil | | | Mediana | | | 3º Quartil | | | Valor Máximo | | |
|---------------------------|---------------|--------------|------|------|------------|------|------|---------|------|------|------------|------|------|--------------|--------|--------|
| | | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC | BMX | NGOL | MECC |
| Tamanho da Procura | Média | 1 | 0,53 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2,67 | 2,63 | 4,16 | 52 | 447,25 | 924,45 |
| | Desvio Padrão | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,35 | 0,3 | 0,41 | 0,56 | 0,59 | 0,78 | 1,26 | 1,29 | 2,02 | 21,86 | 227,71 | 835,45 |
| Intervalos Entre Procuras | Média | 1,27 | 1,07 | 1 | 3,07 | 2,47 | 2,4 | 3,87 | 3,67 | 3,37 | 4,87 | 4,87 | 4,4 | 7,07 | 7,07 | 7,07 |
| | Desvio Padrão | 0,57 | 0,25 | 0 | 1,57 | 1,5 | 1,53 | 2,49 | 2,19 | 2,05 | 3,17 | 3,17 | 2,75 | 4,22 | 4,22 | 4,22 |
| Procura por Período | Média | 0,07 | 0,07 | 0,07 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,21 | 0,29 | 0,36 | 0,57 | 0,79 | 1,21 | 17,29 | 127,79 | 726,36 |
| | Desvio Padrão | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,35 | 0,3 | 0,41 | 0,56 | 0,59 | 0,78 | 1,26 | 1,29 | 2,02 | 21,86 | 227,71 | 835,45 |

Anexo 8 – Resultados da Performance das Previsões de Procura dos Itens da Classe Bicritério AA e Procura Intermitente

- **Método de Iniciação das Fórmulas Médias (indicador ME)**

Tabela A14 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de BMX - ME | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|--|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | | |
| Croston | -0,01 | -0,01 | 0,01 | 0,05 | 0,09 | 0,14 | 0,20 | 0,26 | 0,34 | 0,44 | 0,50 | | |
| SBA | -0,04 | -0,10 | -0,14 | -0,16 | -0,19 | -0,22 | -0,24 | -0,27 | -0,30 | -0,32 | -0,33 | | |
| SES | -0,07 | -0,11 | -0,09 | -0,06 | -0,04 | -0,03 | -0,02 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| TSB | -0,14 | -0,32 | -0,44 | -0,52 | -0,58 | -0,63 | -0,66 | -0,69 | -0,71 | -0,72 | -0,73 | β | |
| | -0,15 | -0,33 | -0,45 | -0,53 | -0,59 | -0,64 | -0,67 | -0,69 | -0,71 | -0,73 | -0,74 | 0,01 | |
| | -0,16 | -0,34 | -0,46 | -0,54 | -0,60 | -0,65 | -0,68 | -0,70 | -0,72 | -0,74 | -0,75 | 0,02 | |
| | -0,16 | -0,35 | -0,47 | -0,55 | -0,61 | -0,65 | -0,69 | -0,71 | -0,73 | -0,75 | -0,75 | 0,03 | |
| | -0,19 | -0,38 | -0,50 | -0,59 | -0,65 | -0,69 | -0,72 | -0,75 | -0,77 | -0,78 | -0,79 | 0,04 | |
| | -0,20 | -0,39 | -0,52 | -0,61 | -0,68 | -0,72 | -0,76 | -0,78 | -0,80 | -0,82 | -0,83 | 0,1 | |
| | -0,19 | -0,39 | -0,53 | -0,62 | -0,69 | -0,74 | -0,77 | -0,80 | -0,83 | -0,84 | -0,85 | 0,2 | |
| | -0,18 | -0,39 | -0,53 | -0,63 | -0,70 | -0,75 | -0,79 | -0,82 | -0,84 | -0,86 | -0,87 | 0,3 | |
| | -0,17 | -0,39 | -0,53 | -0,63 | -0,70 | -0,75 | -0,79 | -0,82 | -0,84 | -0,86 | -0,87 | 0,4 | |
| | -0,17 | -0,38 | -0,53 | -0,63 | -0,71 | -0,76 | -0,80 | -0,84 | -0,86 | -0,88 | -0,89 | 0,5 | |
| | -0,16 | -0,38 | -0,53 | -0,63 | -0,71 | -0,77 | -0,81 | -0,84 | -0,87 | -0,89 | -0,90 | 0,6 | |
| | -0,16 | -0,38 | -0,53 | -0,64 | -0,71 | -0,77 | -0,81 | -0,85 | -0,88 | -0,90 | -0,91 | 0,7 | |
| | -0,15 | -0,38 | -0,53 | -0,64 | -0,71 | -0,77 | -0,82 | -0,85 | -0,88 | -0,91 | -0,92 | 0,8 | |
| | -0,15 | -0,38 | -0,53 | -0,64 | -0,72 | -0,78 | -0,82 | -0,86 | -0,89 | -0,91 | -0,92 | 0,9 | |
| | -0,15 | -0,38 | -0,53 | -0,64 | -0,72 | -0,78 | -0,82 | -0,86 | -0,89 | -0,91 | -0,92 | 1 | |

Tabela A15 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de NGOL - ME | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | β |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 0,07 | 0,16 | 0,22 | 0,27 | 0,30 | 0,34 | 0,38 | 0,43 | 0,50 | 0,60 | 0,69 | |
| SBA | 0,00 | -0,04 | -0,12 | -0,22 | -0,33 | -0,44 | -0,56 | -0,67 | -0,78 | -0,88 | -0,91 | |
| SES | -0,04 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | -0,08 | -0,07 | -0,05 | -0,04 | -0,03 | -0,01 | 0,00 | |
| TSB | -0,33 | -0,81 | -1,14 | -1,37 | -1,55 | -1,68 | -1,78 | -1,86 | -1,92 | -1,97 | -1,99 | 0,01 |
| | -0,32 | -0,81 | -1,14 | -1,38 | -1,55 | -1,69 | -1,79 | -1,87 | -1,93 | -1,98 | -2,00 | 0,02 |
| | -0,32 | -0,81 | -1,15 | -1,38 | -1,56 | -1,69 | -1,79 | -1,87 | -1,94 | -1,99 | -2,01 | 0,03 |
| | -0,32 | -0,81 | -1,15 | -1,39 | -1,56 | -1,70 | -1,80 | -1,88 | -1,95 | -2,00 | -2,02 | 0,04 |
| | -0,31 | -0,82 | -1,16 | -1,41 | -1,59 | -1,73 | -1,83 | -1,92 | -1,98 | -2,03 | -2,06 | 0,1 |
| | -0,31 | -0,82 | -1,17 | -1,42 | -1,61 | -1,75 | -1,87 | -1,95 | -2,02 | -2,08 | -2,10 | 0,2 |
| | -0,32 | -0,83 | -1,18 | -1,43 | -1,62 | -1,77 | -1,89 | -1,98 | -2,05 | -2,11 | -2,13 | 0,3 |
| | -0,32 | -0,83 | -1,18 | -1,44 | -1,64 | -1,79 | -1,90 | -2,00 | -2,07 | -2,13 | -2,16 | 0,4 |
| | -0,33 | -0,84 | -1,19 | -1,45 | -1,64 | -1,80 | -1,92 | -2,01 | -2,09 | -2,15 | -2,18 | 0,5 |
| | -0,34 | -0,84 | -1,19 | -1,45 | -1,65 | -1,81 | -1,93 | -2,02 | -2,10 | -2,16 | -2,19 | 0,6 |
| | -0,34 | -0,84 | -1,20 | -1,46 | -1,66 | -1,81 | -1,93 | -2,03 | -2,11 | -2,18 | -2,20 | 0,7 |
| | -0,34 | -0,84 | -1,20 | -1,46 | -1,66 | -1,82 | -1,94 | -2,04 | -2,12 | -2,18 | -2,21 | 0,8 |
| | -0,34 | -0,84 | -1,20 | -1,46 | -1,67 | -1,82 | -1,95 | -2,04 | -2,12 | -2,19 | -2,22 | 0,9 |
| | -0,33 | -0,84 | -1,20 | -1,46 | -1,67 | -1,82 | -1,95 | -2,05 | -2,13 | -2,19 | -2,22 | 1 |

Tabela A16 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de MECC - ME | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | β |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 0,05 | 0,16 | 0,30 | 0,46 | 0,66 | 0,89 | 1,16 | 1,45 | 1,77 | 2,12 | 2,34 | |
| SBA | -0,01 | -0,03 | -0,03 | -0,02 | -0,01 | 0,01 | 0,03 | 0,04 | 0,03 | 0,01 | 0,01 | |
| SES | -0,03 | 0,01 | 0,06 | 0,09 | 0,09 | 0,08 | 0,06 | 0,04 | 0,02 | 0,01 | 0,00 | |
| TSB | -0,31 | -0,74 | -1,01 | -1,18 | -1,30 | -1,38 | -1,44 | -1,48 | -1,52 | -1,54 | -1,55 | 0,01 |
| | -0,32 | -0,75 | -1,02 | -1,20 | -1,32 | -1,40 | -1,46 | -1,50 | -1,53 | -1,56 | -1,57 | 0,02 |
| | -0,33 | -0,76 | -1,04 | -1,21 | -1,33 | -1,41 | -1,47 | -1,52 | -1,55 | -1,57 | -1,58 | 0,03 |
| | -0,34 | -0,78 | -1,05 | -1,23 | -1,35 | -1,43 | -1,49 | -1,53 | -1,56 | -1,59 | -1,60 | 0,04 |
| | -0,35 | -0,81 | -1,10 | -1,29 | -1,41 | -1,50 | -1,56 | -1,60 | -1,63 | -1,66 | -1,67 | 0,1 |
| | -0,34 | -0,82 | -1,14 | -1,34 | -1,47 | -1,57 | -1,63 | -1,68 | -1,71 | -1,74 | -1,75 | 0,2 |
| | -0,32 | -0,82 | -1,15 | -1,37 | -1,51 | -1,61 | -1,68 | -1,73 | -1,77 | -1,80 | -1,81 | 0,3 |
| | -0,31 | -0,82 | -1,16 | -1,38 | -1,53 | -1,64 | -1,72 | -1,77 | -1,81 | -1,84 | -1,86 | 0,4 |
| | -0,31 | -0,83 | -1,17 | -1,39 | -1,55 | -1,66 | -1,74 | -1,80 | -1,85 | -1,88 | -1,89 | 0,5 |
| | -0,32 | -0,83 | -1,17 | -1,40 | -1,56 | -1,68 | -1,76 | -1,82 | -1,87 | -1,91 | -1,92 | 0,6 |
| | -0,33 | -0,84 | -1,18 | -1,41 | -1,57 | -1,69 | -1,78 | -1,84 | -1,89 | -1,93 | -1,95 | 0,7 |
| | -0,33 | -0,84 | -1,18 | -1,41 | -1,58 | -1,70 | -1,79 | -1,86 | -1,91 | -1,95 | -1,97 | 0,8 |
| | -0,34 | -0,84 | -1,18 | -1,42 | -1,58 | -1,71 | -1,80 | -1,87 | -1,92 | -1,97 | -1,98 | 0,9 |
| | -0,34 | -0,85 | -1,19 | -1,42 | -1,59 | -1,71 | -1,80 | -1,88 | -1,93 | -1,98 | -2,00 | 1 |

• **Método de Iniciação das Fórmulas SAP (indicador ME)**

Tabela A17 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente das obras de BMX, NGOL e MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Itens Intermitentes - ME | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| BMX | | | | | | | | | | | |
| Croston | -0,55 | -0,39 | -0,26 | -0,15 | -0,06 | 0,03 | 0,1 | 0,18 | 0,26 | 0,35 | 0,4 |
| SBA | -0,57 | -0,45 | -0,37 | -0,33 | -0,3 | -0,3 | -0,31 | -0,33 | -0,35 | -0,37 | -0,38 |
| NGOL | | | | | | | | | | | |
| Croston | 1,2 | 0,81 | 0,63 | 0,53 | 0,48 | 0,46 | 0,45 | 0,45 | 0,46 | 0,49 | 0,53 |
| SBA | 1,1 | 0,56 | 0,23 | 0 | -0,19 | -0,36 | -0,51 | -0,66 | -0,8 | -0,93 | -0,99 |
| MECC | | | | | | | | | | | |
| Croston | -1,38 | -0,89 | -0,5 | -0,18 | 0,12 | 0,42 | 0,72 | 1,04 | 1,37 | 1,74 | 1,96 |
| SBA | -1,4 | -0,99 | -0,73 | -0,55 | -0,43 | -0,34 | -0,27 | -0,22 | -0,2 | -0,19 | -0,18 |

• **Método de Iniciação das Fórmulas Médias (indicador MSE)**

Tabela A18 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de BMX – MSE | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| Croston | 15,99 | 15,58 | 15,10 | 14,71 | 14,46 | 14,36 | 14,43 | 14,68 | 15,13 | 15,83 | 16,33 |
| SBA | 16,01 | 15,71 | 15,40 | 15,16 | 15,02 | 14,99 | 15,06 | 15,21 | 15,43 | 15,71 | 15,87 |
| SES | 15,14 | 12,77 | 10,44 | 8,32 | 6,39 | 4,63 | 3,06 | 1,71 | 0,68 | 0,09 | 0,00 |
| TSB | 17,21 | 19,53 | 21,24 | 22,36 | 23,06 | 23,50 | 23,81 | 24,03 | 24,20 | 24,34 | 24,41 |
| | 17,13 | 19,47 | 21,19 | 22,31 | 23,01 | 23,46 | 23,76 | 23,98 | 24,15 | 24,30 | 24,36 |
| | 17,05 | 19,41 | 21,14 | 22,26 | 22,96 | 23,41 | 23,71 | 23,93 | 24,11 | 24,25 | 24,31 |
| | 16,96 | 19,34 | 21,08 | 22,20 | 22,91 | 23,36 | 23,67 | 23,89 | 24,06 | 24,20 | 24,27 |
| | 16,36 | 18,86 | 20,69 | 21,86 | 22,59 | 23,06 | 23,38 | 23,61 | 23,79 | 23,94 | 24,01 |
| | 15,30 | 17,99 | 19,97 | 21,25 | 22,05 | 22,57 | 22,93 | 23,19 | 23,40 | 23,57 | 23,64 |
| | 14,31 | 17,15 | 19,27 | 20,65 | 21,53 | 22,11 | 22,51 | 22,81 | 23,05 | 23,25 | 23,33 |
| | 13,40 | 16,36 | 18,61 | 20,09 | 21,05 | 21,68 | 22,13 | 22,48 | 22,75 | 22,98 | 23,08 |
| | 12,56 | 15,62 | 17,99 | 19,57 | 20,60 | 21,29 | 21,79 | 22,17 | 22,48 | 22,74 | 22,86 |
| | 11,76 | 14,93 | 17,41 | 19,08 | 20,18 | 20,92 | 21,47 | 21,89 | 22,23 | 22,53 | 22,66 |
| | 11,01 | 14,27 | 16,86 | 18,62 | 19,79 | 20,59 | 21,17 | 21,63 | 22,01 | 22,34 | 22,49 |
| | 10,31 | 13,67 | 16,36 | 18,21 | 19,43 | 20,27 | 20,90 | 21,39 | 21,80 | 22,17 | 22,34 |
| | 9,69 | 13,12 | 15,92 | 17,84 | 19,11 | 19,99 | 20,64 | 21,16 | 21,61 | 22,01 | 22,19 |
| | 9,16 | 12,66 | 15,54 | 17,52 | 18,84 | 19,74 | 20,42 | 20,96 | 21,43 | 21,86 | 22,07 |

β
0,01
0,02
0,03
0,04
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Tabela A19 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de NGOL - MSE | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| Croston | 451,56 | 447,62 | 442,92 | 438,12 | 433,44 | 429,18 | 425,99 | 425,00 | 428,43 | 441,29 | 454,96 |
| SBA | 451,42 | 447,05 | 442,55 | 438,97 | 436,61 | 435,64 | 436,25 | 438,61 | 442,86 | 449,28 | 453,52 |
| SES | 428,65 | 373,61 | 315,35 | 256,72 | 199,28 | 144,69 | 95,00 | 52,68 | 20,66 | 2,51 | 0,00 |
| TSB | 453,37 | 475,77 | 501,95 | 525,85 | 546,06 | 562,47 | 575,49 | 585,70 | 593,75 | 600,16 | 602,88 |
| | 450,51 | 473,22 | 499,84 | 524,17 | 544,76 | 561,49 | 574,77 | 585,21 | 593,42 | 599,96 | 602,74 |
| | 447,66 | 470,73 | 497,79 | 522,53 | 543,49 | 560,54 | 574,08 | 584,72 | 593,10 | 599,78 | 602,61 |
| | 444,81 | 468,29 | 495,79 | 520,94 | 542,25 | 559,60 | 573,40 | 584,25 | 592,79 | 599,60 | 602,48 |
| | 427,46 | 454,15 | 484,44 | 511,96 | 535,29 | 554,34 | 569,56 | 581,59 | 591,10 | 598,67 | 601,88 |
| | 396,66 | 430,32 | 465,93 | 497,67 | 524,39 | 546,21 | 563,70 | 577,59 | 588,64 | 597,47 | 601,22 |
| | 363,05 | 404,49 | 446,22 | 482,82 | 513,36 | 538,18 | 558,03 | 573,81 | 586,38 | 596,46 | 600,75 |
| | 327,05 | 376,45 | 424,86 | 466,90 | 501,75 | 529,90 | 552,31 | 570,07 | 584,19 | 595,53 | 600,37 |
| | 289,77 | 346,79 | 402,11 | 449,98 | 489,50 | 521,27 | 546,43 | 566,28 | 582,01 | 594,64 | 600,01 |
| | 252,70 | 316,45 | 378,50 | 432,31 | 476,71 | 512,29 | 540,37 | 562,41 | 579,82 | 593,75 | 599,68 |
| | 217,65 | 286,60 | 354,73 | 414,30 | 463,59 | 503,08 | 534,16 | 558,48 | 577,62 | 592,87 | 599,35 |
| | 186,75 | 258,60 | 331,68 | 396,47 | 450,44 | 493,78 | 527,88 | 554,51 | 575,40 | 592,00 | 599,03 |
| | 162,43 | 234,06 | 310,37 | 379,48 | 437,67 | 484,64 | 521,67 | 550,56 | 573,20 | 591,13 | 598,72 |
| | 147,50 | 214,87 | 292,09 | 364,17 | 425,82 | 476,01 | 515,71 | 546,74 | 571,04 | 590,28 | 598,41 |

β
0,01
0,02
0,03
0,04
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

Tabela A20 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Intermitentes de MECC - MSE | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| Croston | 138,33 | 134,53 | 130,07 | 126,53 | 126,91 | 135,89 | 159,41 | 203,04 | 271,46 | 373,35 | 444,39 |
| SBA | 138,34 | 134,61 | 130,17 | 125,92 | 123,07 | 122,96 | 126,57 | 133,74 | 143,26 | 154,28 | 160,75 |
| SES | 132,09 | 113,99 | 94,64 | 75,47 | 57,31 | 40,74 | 26,25 | 14,33 | 5,55 | 0,67 | 0,00 |
| TSB | 141,05 | 148,64 | 155,90 | 161,48 | 165,49 | 168,29 | 170,20 | 171,49 | 172,34 | 172,90 | 173,10 |
| | 140,24 | 147,99 | 155,39 | 161,07 | 165,15 | 167,98 | 169,91 | 171,20 | 172,05 | 172,61 | 172,81 |
| | 139,42 | 147,33 | 154,88 | 160,66 | 164,81 | 167,68 | 169,63 | 170,93 | 171,78 | 172,33 | 172,52 |
| | 138,59 | 146,67 | 154,36 | 160,26 | 164,48 | 167,39 | 169,36 | 170,66 | 171,52 | 172,06 | 172,25 |
| | 133,47 | 142,61 | 151,26 | 157,88 | 162,58 | 165,79 | 167,92 | 169,29 | 170,15 | 170,69 | 170,87 |
| | 125,44 | 136,33 | 146,53 | 154,32 | 159,85 | 163,58 | 166,01 | 167,54 | 168,49 | 169,06 | 169,25 |
| | 118,87 | 131,23 | 142,66 | 151,42 | 157,62 | 161,82 | 164,54 | 166,25 | 167,30 | 167,94 | 168,15 |
| | 113,86 | 127,32 | 139,66 | 149,12 | 155,84 | 160,39 | 163,36 | 165,23 | 166,40 | 167,12 | 167,37 |
| | 110,12 | 124,34 | 137,33 | 147,30 | 154,40 | 159,23 | 162,39 | 164,41 | 165,68 | 166,49 | 166,79 |
| | 107,33 | 122,07 | 135,51 | 145,84 | 153,22 | 158,26 | 161,58 | 163,72 | 165,09 | 165,99 | 166,33 |
| | 105,37 | 120,36 | 134,10 | 144,69 | 152,27 | 157,47 | 160,91 | 163,14 | 164,59 | 165,58 | 165,96 |
| | 104,26 | 119,24 | 133,12 | 143,85 | 151,55 | 156,84 | 160,35 | 162,65 | 164,18 | 165,24 | 165,67 |
| | 104,21 | 118,83 | 132,63 | 143,35 | 151,08 | 156,39 | 159,93 | 162,26 | 163,84 | 164,97 | 165,44 |
| | 105,53 | 119,35 | 132,76 | 143,29 | 150,89 | 156,14 | 159,64 | 161,97 | 163,57 | 164,76 | 165,27 |

β
0,01
0,02
0,03
0,04
0,1
0,2
0,3
0,4
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1

- **Método de Iniciação das Fórmulas SAP (indicador MSE)**

Tabela A21 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura intermitente das obras de BMX, NGOL e MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Itens Intermitentes - MSE | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| <u>BMX</u> | | | | | | | | | | | |
| Croston | 20,60 | 17,11 | 15,19 | 14,16 | 13,65 | 13,47 | 13,51 | 13,74 | 14,16 | 14,77 | 15,20 |
| SBA | 20,68 | 17,51 | 15,91 | 15,12 | 14,78 | 14,68 | 14,73 | 14,89 | 15,13 | 15,42 | 15,58 |
| <u>NGOL</u> | | | | | | | | | | | |
| Croston | 652,91 | 561,16 | 523,87 | 504,24 | 491,6 | 482,08 | 474,08 | 466,95 | 460,47 | 454,99 | 453,22 |
| SBA | 635,17 | 529,39 | 487,47 | 466,86 | 455,52 | 449,19 | 446,13 | 445,57 | 447,14 | 450,63 | 453,09 |
| <u>MECC</u> | | | | | | | | | | | |
| Croston | 155,18 | 139,72 | 130,21 | 124,66 | 124,5 | 133,33 | 156,26 | 198,76 | 266,16 | 367,62 | 438,59 |
| SBA | 155,48 | 141,16 | 132,42 | 126,42 | 122,92 | 122,52 | 125,75 | 132,47 | 141,71 | 152,74 | 159,3 |

Anexo 9 – Resultados da Performance das Previsões de Procura dos Itens da Classe Bicritério AA e Procura Não Intermitente

• Método de Iniciação das Fórmulas Médias (indicador ME)

Tabela A22 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de BMX – ME | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 0,09 | 0,29 | 0,45 | 0,58 | 0,69 | 0,80 | 0,91 | 1,01 | 1,10 | 1,14 | 1,13 | |
| SBA | -0,06 | -0,20 | -0,38 | -0,61 | -0,86 | -1,13 | -1,41 | -1,70 | -2,01 | -2,35 | -2,54 | |
| SES | 0,02 | 0,02 | 0,00 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | -1,45 | -3,25 | -4,17 | -4,66 | -4,93 | -5,10 | -5,21 | -5,29 | -5,35 | -5,40 | -5,42 | 0,01 |
| | -1,42 | -3,24 | -4,16 | -4,65 | -4,93 | -5,10 | -5,21 | -5,29 | -5,35 | -5,40 | -5,42 | 0,02 |
| | -1,40 | -3,22 | -4,15 | -4,64 | -4,92 | -5,09 | -5,20 | -5,29 | -5,35 | -5,40 | -5,42 | 0,03 |
| | -1,38 | -3,21 | -4,14 | -4,64 | -4,92 | -5,09 | -5,20 | -5,28 | -5,34 | -5,39 | -5,41 | 0,04 |
| | -1,31 | -3,15 | -4,10 | -4,61 | -4,89 | -5,07 | -5,19 | -5,27 | -5,33 | -5,38 | -5,41 | 0,1 |
| | -1,31 | -3,12 | -4,07 | -4,58 | -4,88 | -5,06 | -5,18 | -5,27 | -5,34 | -5,39 | -5,41 | 0,2 |
| | -1,35 | -3,12 | -4,06 | -4,57 | -4,87 | -5,06 | -5,19 | -5,28 | -5,34 | -5,40 | -5,42 | 0,3 |
| | -1,38 | -3,12 | -4,05 | -4,57 | -4,87 | -5,06 | -5,19 | -5,28 | -5,35 | -5,40 | -5,43 | 0,4 |
| | -1,40 | -3,12 | -4,05 | -4,56 | -4,86 | -5,06 | -5,19 | -5,28 | -5,35 | -5,41 | -5,43 | 0,5 |
| | -1,41 | -3,12 | -4,04 | -4,55 | -4,86 | -5,05 | -5,18 | -5,28 | -5,35 | -5,41 | -5,43 | 0,6 |
| | -1,41 | -3,12 | -4,03 | -4,54 | -4,85 | -5,04 | -5,18 | -5,28 | -5,35 | -5,41 | -5,43 | 0,7 |
| | -1,40 | -3,11 | -4,02 | -4,54 | -4,84 | -5,04 | -5,17 | -5,27 | -5,35 | -5,41 | -5,43 | 0,8 |
| | -1,39 | -3,11 | -4,02 | -4,53 | -4,83 | -5,03 | -5,17 | -5,27 | -5,34 | -5,40 | -5,43 | 0,9 |
| | -1,39 | -3,10 | -4,01 | -4,52 | -4,83 | -5,02 | -5,16 | -5,26 | -5,34 | -5,40 | -5,43 | 1 |

Tabela A23 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de NGOL – ME | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 2,10 | 3,90 | 4,11 | 3,81 | 3,35 | 2,83 | 2,31 | 1,80 | 1,32 | 0,88 | 0,67 | |
| SBA | 1,35 | 1,49 | 0,08 | -1,78 | -3,74 | -5,68 | -7,59 | -9,43 | -11,20 | -12,91 | -13,73 | |
| SES | 2,17 | 3,40 | 3,12 | 2,51 | 1,88 | 1,34 | 0,90 | 0,56 | 0,29 | 0,08 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | -7,77 | -16,99 | -21,38 | -23,61 | -24,88 | -25,68 | -26,23 | -26,63 | -26,93 | -27,18 | -27,28 | 0,01 |
| | -7,57 | -16,90 | -21,33 | -23,58 | -24,86 | -25,66 | -26,22 | -26,62 | -26,93 | -27,17 | -27,27 | 0,02 |
| | -7,39 | -16,81 | -21,28 | -23,56 | -24,84 | -25,65 | -26,21 | -26,61 | -26,92 | -27,16 | -27,27 | 0,03 |
| | -7,23 | -16,73 | -21,24 | -23,53 | -24,83 | -25,64 | -26,20 | -26,60 | -26,91 | -27,16 | -27,26 | 0,04 |
| | -6,59 | -16,36 | -21,02 | -23,40 | -24,75 | -25,59 | -26,16 | -26,57 | -26,89 | -27,14 | -27,24 | 0,1 |
| | -6,22 | -16,04 | -20,80 | -23,26 | -24,65 | -25,53 | -26,12 | -26,55 | -26,88 | -27,13 | -27,24 | 0,2 |
| | -6,23 | -15,90 | -20,66 | -23,16 | -24,59 | -25,48 | -26,10 | -26,54 | -26,87 | -27,13 | -27,24 | 0,3 |
| | -6,36 | -15,84 | -20,57 | -23,08 | -24,54 | -25,45 | -26,08 | -26,53 | -26,87 | -27,14 | -27,25 | 0,4 |
| | -6,52 | -15,82 | -20,51 | -23,03 | -24,49 | -25,42 | -26,06 | -26,52 | -26,87 | -27,15 | -27,26 | 0,5 |
| | -6,68 | -15,81 | -20,46 | -22,98 | -24,46 | -25,40 | -26,05 | -26,52 | -26,87 | -27,15 | -27,27 | 0,6 |
| | -6,82 | -15,81 | -20,43 | -22,94 | -24,43 | -25,38 | -26,03 | -26,51 | -26,87 | -27,16 | -27,28 | 0,7 |
| | -6,94 | -15,81 | -20,39 | -22,91 | -24,40 | -25,36 | -26,02 | -26,50 | -26,87 | -27,16 | -27,28 | 0,8 |
| | -7,05 | -15,82 | -20,37 | -22,88 | -24,37 | -25,34 | -26,00 | -26,49 | -26,87 | -27,16 | -27,28 | 0,9 |
| | -7,14 | -15,82 | -20,35 | -22,85 | -24,35 | -25,32 | -25,99 | -26,48 | -26,86 | -27,16 | -27,29 | 1 |

Tabela A24 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de MECC - ME | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 6,65 | 13,86 | 16,04 | 15,77 | 14,37 | 12,40 | 9,97 | 7,04 | 3,47 | -0,82 | -3,25 | |
| SBA | 3,75 | 4,63 | 0,37 | -6,11 | -13,45 | -21,06 | -28,78 | -36,58 | -44,44 | -52,33 | -56,26 | |
| SES | 6,34 | 10,56 | 9,88 | 7,84 | 5,74 | 3,96 | 2,56 | 1,50 | 0,74 | 0,20 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | -29,18 | -65,06 | -83,20 | -92,85 | -98,36 | -101,79 | -104,08 | -105,72 | -106,95 | -107,92 | -108,32 | 0,01 |
| | -28,71 | -64,81 | -83,06 | -92,77 | -98,32 | -101,76 | -104,07 | -105,71 | -106,95 | -107,92 | -108,33 | 0,02 |
| | -28,29 | -64,57 | -82,93 | -92,69 | -98,27 | -101,73 | -104,05 | -105,70 | -106,94 | -107,91 | -108,33 | 0,03 |
| | -27,92 | -64,35 | -82,80 | -92,61 | -98,23 | -101,71 | -104,04 | -105,69 | -106,94 | -107,91 | -108,33 | 0,04 |
| | -26,51 | -63,41 | -82,19 | -92,22 | -97,98 | -101,56 | -103,95 | -105,65 | -106,92 | -107,91 | -108,33 | 0,1 |
| | -25,90 | -62,64 | -81,54 | -91,75 | -97,66 | -101,35 | -103,82 | -105,57 | -106,89 | -107,91 | -108,34 | 0,2 |
| | -26,13 | -62,35 | -81,16 | -91,41 | -97,40 | -101,17 | -103,70 | -105,51 | -106,85 | -107,90 | -108,34 | 0,3 |
| | -26,59 | -62,25 | -80,91 | -91,16 | -97,19 | -101,01 | -103,59 | -105,44 | -106,82 | -107,90 | -108,35 | 0,4 |
| | -27,06 | -62,24 | -80,73 | -90,96 | -97,02 | -100,88 | -103,50 | -105,38 | -106,80 | -107,90 | -108,36 | 0,5 |
| | -27,45 | -62,24 | -80,60 | -90,80 | -96,87 | -100,76 | -103,41 | -105,33 | -106,77 | -107,89 | -108,37 | 0,6 |
| | -27,72 | -62,24 | -80,50 | -90,67 | -96,74 | -100,65 | -103,33 | -105,28 | -106,74 | -107,89 | -108,37 | 0,7 |
| | -27,87 | -62,21 | -80,40 | -90,55 | -96,63 | -100,55 | -103,26 | -105,23 | -106,72 | -107,89 | -108,38 | 0,8 |
| | -27,89 | -62,17 | -80,32 | -90,45 | -96,53 | -100,46 | -103,19 | -105,18 | -106,69 | -107,89 | -108,39 | 0,9 |
| | -27,81 | -62,10 | -80,24 | -90,36 | -96,44 | -100,38 | -103,12 | -105,13 | -106,67 | -107,88 | -108,40 | 1 |

• **Método de Iniciação das Fórmulas SAP (indicador ME)**

Tabela A25 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente das obras de BMX, NGOL e MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Itens Não Intermitentes - ME | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| BMX | | | | | | | | | | | | |
| Croston | -2,16 | -0,92 | -0,26 | 0,13 | 0,38 | 0,59 | 0,76 | 0,92 | 1,05 | 1,12 | 1,13 | |
| SBA | -2,26 | -1,31 | -1 | -0,98 | -1,1 | -1,28 | -1,5 | -1,75 | -2,04 | -2,36 | -2,54 | |
| NGOL | | | | | | | | | | | | |
| Croston | 36,46 | 22,31 | 14,92 | 10,69 | 7,97 | 6 | 4,45 | 3,16 | 2,06 | 1,11 | 0,67 | |
| SBA | 34,84 | 18,52 | 9,53 | 3,89 | -0,16 | -3,39 | -6,14 | -8,58 | -10,77 | -12,79 | -13,73 | |
| MECC | | | | | | | | | | | | |
| Croston | 35,94 | 30,29 | 25,79 | 21,83 | 18,24 | 14,89 | 11,56 | 8 | 3,97 | -0,71 | -3,33 | |
| SBA | 32,31 | 19,83 | 8,91 | -1,12 | -10,45 | -19,25 | -27,71 | -35,98 | -44,16 | -52,27 | -56,3 | |

• **Método de Iniciação das Fórmulas Médias (indicador MSE)**

Tabela A26 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de BMX - MSE | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 59,94 | 56,01 | 51,40 | 46,35 | 41,21 | 36,40 | 32,45 | 29,97 | 29,40 | 30,90 | 32,36 | |
| SBA | 59,97 | 56,32 | 52,29 | 48,17 | 44,28 | 40,97 | 38,55 | 37,26 | 37,20 | 38,30 | 39,26 | |
| SES | 58,38 | 51,22 | 43,31 | 35,03 | 26,83 | 19,11 | 12,25 | 6,60 | 2,51 | 0,29 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | 64,32 | 74,34 | 81,74 | 86,03 | 88,35 | 89,58 | 90,20 | 90,53 | 90,74 | 90,91 | 90,99 | 0,01 |
| | 64,14 | 74,16 | 81,60 | 85,92 | 88,27 | 89,50 | 90,13 | 90,47 | 90,67 | 90,84 | 90,93 | 0,02 |
| | 63,96 | 74,01 | 81,48 | 85,83 | 88,19 | 89,44 | 90,07 | 90,41 | 90,61 | 90,78 | 90,87 | 0,03 |
| | 63,79 | 73,86 | 81,36 | 85,74 | 88,12 | 89,38 | 90,02 | 90,35 | 90,56 | 90,73 | 90,81 | 0,04 |
| | 62,97 | 73,18 | 80,84 | 85,34 | 87,81 | 89,11 | 89,77 | 90,12 | 90,32 | 90,50 | 90,58 | 0,1 |
| | 61,92 | 72,47 | 80,30 | 84,94 | 87,51 | 88,86 | 89,54 | 89,89 | 90,10 | 90,28 | 90,36 | 0,2 |
| | 60,99 | 71,96 | 79,94 | 84,67 | 87,29 | 88,67 | 89,36 | 89,72 | 89,93 | 90,10 | 90,19 | 0,3 |
| | 60,08 | 71,49 | 79,64 | 84,44 | 87,08 | 88,47 | 89,17 | 89,53 | 89,74 | 89,91 | 90,00 | 0,4 |
| | 59,20 | 71,04 | 79,36 | 84,21 | 86,87 | 88,27 | 88,96 | 89,31 | 89,52 | 89,70 | 89,79 | 0,5 |
| | 58,37 | 70,60 | 79,08 | 83,99 | 86,66 | 88,04 | 88,73 | 89,08 | 89,28 | 89,46 | 89,55 | 0,6 |
| | 57,60 | 70,16 | 78,81 | 83,76 | 86,43 | 87,81 | 88,49 | 88,83 | 89,03 | 89,21 | 89,30 | 0,7 |
| | 56,92 | 69,74 | 78,54 | 83,53 | 86,20 | 87,57 | 88,24 | 88,58 | 88,78 | 88,96 | 89,05 | 0,8 |
| | 56,37 | 69,37 | 78,29 | 83,31 | 85,98 | 87,34 | 88,01 | 88,33 | 88,53 | 88,71 | 88,80 | 0,9 |
| | 55,98 | 69,05 | 78,06 | 83,12 | 85,78 | 87,13 | 87,79 | 88,11 | 88,30 | 88,48 | 88,57 | 1 |

Tabela A27 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de NGOL - MSE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 1507,50 | 1279,76 | 1025,01 | 802,24 | 610,80 | 444,79 | 302,34 | 184,48 | 94,31 | 37,20 | 23,58 | |
| SBA | 1502,48 | 1268,12 | 1038,58 | 869,32 | 752,81 | 678,98 | 642,69 | 641,43 | 673,64 | 738,01 | 781,83 | |
| SES | 1449,72 | 1135,90 | 856,83 | 636,73 | 459,09 | 313,11 | 194,62 | 102,79 | 38,61 | 4,52 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | 1443,85 | 1748,60 | 2081,31 | 2323,39 | 2500,77 | 2639,56 | 2754,54 | 2853,31 | 2939,81 | 3016,28 | 3051,24 | 0,01 |
| | 1436,77 | 1740,27 | 2075,57 | 2319,56 | 2498,11 | 2637,62 | 2753,11 | 2852,25 | 2939,04 | 3015,74 | 3050,80 | 0,02 |
| | 1429,59 | 1732,29 | 2070,03 | 2315,84 | 2495,50 | 2635,73 | 2751,71 | 2851,21 | 2938,29 | 3015,22 | 3050,38 | 0,03 |
| | 1422,34 | 1724,66 | 2064,70 | 2312,23 | 2492,96 | 2633,88 | 2750,33 | 2850,21 | 2937,57 | 3014,73 | 3049,99 | 0,04 |
| | 1378,37 | 1684,98 | 2036,42 | 2292,47 | 2478,78 | 2623,47 | 2742,67 | 2844,65 | 2933,70 | 3012,22 | 3048,05 | 0,1 |
| | 1311,45 | 1636,22 | 1999,85 | 2265,28 | 2458,47 | 2608,30 | 2731,51 | 2836,73 | 2928,45 | 3009,19 | 3045,98 | 0,2 |
| | 1258,13 | 1601,23 | 1971,87 | 2243,06 | 2441,13 | 2595,05 | 2721,71 | 2829,87 | 2924,10 | 3006,99 | 3044,74 | 0,3 |
| | 1216,80 | 1574,29 | 1949,20 | 2224,19 | 2425,91 | 2583,17 | 2712,83 | 2823,66 | 2920,25 | 3005,22 | 3043,91 | 0,4 |
| | 1184,23 | 1552,22 | 1930,01 | 2207,72 | 2412,29 | 2572,34 | 2704,63 | 2817,89 | 2916,69 | 3003,67 | 3043,31 | 0,5 |
| | 1158,23 | 1533,37 | 1913,28 | 2193,08 | 2399,96 | 2562,37 | 2696,97 | 2812,43 | 2913,32 | 3002,26 | 3042,82 | 0,6 |
| | 1137,70 | 1516,92 | 1898,43 | 2179,94 | 2388,72 | 2553,15 | 2689,77 | 2807,24 | 2910,09 | 3000,92 | 3042,40 | 0,7 |
| | 1122,32 | 1502,47 | 1885,16 | 2168,07 | 2378,45 | 2544,59 | 2683,00 | 2802,29 | 2906,97 | 2999,63 | 3042,03 | 0,8 |
| | 1112,31 | 1489,87 | 1873,28 | 2157,33 | 2369,04 | 2536,64 | 2676,62 | 2797,55 | 2903,95 | 2998,38 | 3041,69 | 0,9 |
| | 1108,30 | 1479,09 | 1862,68 | 2147,64 | 2360,43 | 2529,26 | 2670,60 | 2793,02 | 2901,01 | 2997,17 | 3041,38 | 1 |

Tabela A28 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Itens Não Intermitentes de MECC - MSE | | | | | | | | | | | | |
|--|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|---------------------------|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 97052,07 | 88924,03 | 78890,56 | 68535,99 | 58290,34 | 48124,11 | 38062,51 | 28413,31 | 19850,04 | 13411,03 | 11394,60 | |
| SBA | 96918,00 | 88542,64 | 79358,24 | 71270,70 | 64678,81 | 59515,97 | 55744,48 | 53456,72 | 52832,86 | 54065,61 | 55425,95 | |
| SES | 93976,81 | 79786,62 | 65558,85 | 52497,55 | 40468,84 | 29338,45 | 19259,16 | 10652,25 | 4143,28 | 494,74 | 0,00 | |
| | | | | | | | | | | | | β |
| TSB | 99602,93 | 120401,51 | 139719,77 | 152600,22 | 160663,91 | 165684,20 | 168888,43 | 171072,00 | 172748,32 | 174247,68 | 174998,49 | 0,01 |
| | 99213,38 | 120054,25 | 139489,78 | 152461,18 | 160583,76 | 165639,44 | 168863,79 | 171058,31 | 172740,75 | 174244,35 | 174997,18 | 0,02 |
| | 98835,39 | 119727,13 | 139271,72 | 152328,07 | 160506,33 | 165595,86 | 168839,63 | 171044,82 | 172733,29 | 174241,11 | 174995,97 | 0,03 |
| | 98468,68 | 119418,78 | 139064,85 | 152200,58 | 160431,51 | 165553,41 | 168815,93 | 171031,53 | 172725,94 | 174237,96 | 174994,83 | 0,04 |
| | 96494,69 | 117896,92 | 138024,15 | 151539,37 | 160031,91 | 165320,46 | 168682,63 | 170955,32 | 172683,62 | 174220,50 | 174989,47 | 0,1 |
| | 93960,56 | 116217,79 | 136837,21 | 150737,55 | 159515,91 | 165000,60 | 168488,60 | 170839,03 | 172617,80 | 174194,86 | 174983,94 | 0,2 |
| | 92092,29 | 115119,12 | 136054,05 | 150180,14 | 159132,26 | 164744,60 | 168321,40 | 170732,35 | 172555,34 | 174171,20 | 174980,32 | 0,3 |
| | 90584,01 | 114278,27 | 135479,78 | 149768,13 | 158835,93 | 164533,87 | 168173,92 | 170632,51 | 172494,71 | 174148,18 | 174977,29 | 0,4 |
| | 89229,08 | 113521,58 | 135000,84 | 149437,90 | 158595,44 | 164354,62 | 168040,85 | 170537,64 | 172435,12 | 174125,23 | 174974,27 | 0,5 |
| | 87907,67 | 112752,71 | 134548,11 | 149146,92 | 158388,01 | 164196,25 | 167918,00 | 170446,35 | 172376,13 | 174102,07 | 174971,00 | 0,6 |
| | 86555,37 | 111916,28 | 134077,60 | 148865,71 | 158196,74 | 164050,46 | 167802,00 | 170357,58 | 172317,47 | 174078,58 | 174967,35 | 0,7 |
| | 85144,28 | 110981,33 | 133560,99 | 148573,53 | 158008,97 | 163910,75 | 167690,09 | 170270,43 | 172258,95 | 174054,71 | 174963,29 | 0,8 |
| | 83677,96 | 109935,88 | 132981,67 | 148256,38 | 157815,44 | 163772,07 | 167580,06 | 170184,20 | 172200,42 | 174030,46 | 174958,81 | 0,9 |
| | 82196,52 | 108787,88 | 132333,99 | 147906,18 | 157609,89 | 163630,76 | 167470,25 | 170098,35 | 172141,84 | 174005,86 | 174953,95 | 1 |

• **Método de Iniciação das Fórmulas SAP (indicador MSE)**

Tabela A29 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura não intermitente das obras de BMX, NGOL e MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Itens Não Intermitentes - MSE | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| BMX | | | | | | | | | | | |
| Croston | 64,23 | 56,37 | 50,91 | 45,79 | 40,78 | 36,12 | 32,3 | 29,9 | 29,38 | 30,89 | 32,36 |
| SBA | 64,72 | 57,56 | 52,66 | 48,31 | 44,39 | 41,09 | 38,67 | 37,36 | 37,26 | 38,32 | 39,26 |
| NGOL | | | | | | | | | | | |
| Croston | 5390,04 | 2271,71 | 1237,08 | 782,47 | 526,75 | 357,19 | 234,64 | 143,49 | 77,39 | 35,08 | 23,58 |
| SBA | 5062,23 | 1859,24 | 907,08 | 565,24 | 435,58 | 403,22 | 428,1 | 493,09 | 589,4 | 711,87 | 781,83 |
| MECC | | | | | | | | | | | |
| Croston | 103538,56 | 89770,56 | 78297,94 | 67817,69 | 57758,08 | 47801,09 | 37895,06 | 28338,41 | 19823,1 | 13407,03 | 11393,94 |
| SBA | 101884,06 | 87080,43 | 76663,22 | 68844,95 | 62834,41 | 58224,1 | 54887,25 | 52916,36 | 52530,08 | 53966,29 | 55425,78 |

Anexo 10 – Previsão de Procura aplicada aos *Sporadic Itens* (com uma ocorrência de procura) pertencentes à classe bicritério AA

Neste Anexo efetua-se a análise de performance dos métodos de previsão aplicados aos *sporadic items* também pertencentes à classe AA. Considerando-se os mesmos cenários que se tiveram em conta no ponto 5.2.2, e ainda os resultados que se apresentaram neste mesmo ponto, é possível concluir por comparação com os dados apresentados nas Tabelas A30 à A37 abaixo apresentadas que: o método TSB apresenta para estes itens uma muito melhor performance quer em termos de enviesamento médio quer em termos da variância; os resultados do método de previsão TSB revelam-se em alguns cenários melhores que os resultados obtidos pelos outros métodos de previsão. O método TSB revela melhor performance em situações de obsolescência ou risco de obsolescência. Desta forma, visto que se estão analisar itens que apenas registaram uma ocorrência de procura nos últimos 12 meses, o risco de obsolescência revela-se na melhor performance do método TSB. O SES apresenta também uma boa performance com o aumento da constante de alisamento α , pois este método também se adapta a situações de risco de obsolescência repentina.

Tabela A30 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de BMX - MSE | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 6,11 | 6,09 | 6,07 | 6,05 | 6,03 | 6,00 | 5,98 | 5,95 | 5,93 | 5,90 | 5,89 | |
| SBA | 6,11 | 6,10 | 6,08 | 6,07 | 6,06 | 6,05 | 6,04 | 6,04 | 6,04 | 6,05 | 6,05 | |
| SES | 5,79 | 5,04 | 4,22 | 3,38 | 2,58 | 1,85 | 1,20 | 0,66 | 0,26 | 0,03 | 0,00 | |
| TSB | 6,09 | 6,15 | 6,21 | 6,28 | 6,35 | 6,42 | 6,50 | 6,58 | 6,67 | 6,76 | 6,81 | β |
| | 6,02 | 6,09 | 6,15 | 6,22 | 6,30 | 6,38 | 6,46 | 6,55 | 6,64 | 6,73 | 6,78 | 0,01 |
| | 5,96 | 6,03 | 6,10 | 6,17 | 6,25 | 6,33 | 6,42 | 6,51 | 6,61 | 6,71 | 6,76 | 0,02 |
| | 5,90 | 5,96 | 6,04 | 6,12 | 6,20 | 6,29 | 6,38 | 6,48 | 6,58 | 6,69 | 6,74 | 0,03 |
| | 5,47 | 5,57 | 5,66 | 5,77 | 5,89 | 6,01 | 6,14 | 6,27 | 6,42 | 6,57 | 6,65 | 0,04 |
| | 4,70 | 4,83 | 4,98 | 5,15 | 5,33 | 5,52 | 5,72 | 5,94 | 6,18 | 6,43 | 6,55 | 0,1 |
| | 3,88 | 4,06 | 4,27 | 4,49 | 4,74 | 5,01 | 5,30 | 5,61 | 5,94 | 6,30 | 6,49 | 0,2 |
| | 3,08 | 3,30 | 3,55 | 3,83 | 4,15 | 4,49 | 4,87 | 5,28 | 5,72 | 6,18 | 6,43 | 0,3 |
| | 2,32 | 2,57 | 2,86 | 3,20 | 3,58 | 3,99 | 4,45 | 4,95 | 5,49 | 6,07 | 6,38 | 0,4 |
| | 1,63 | 1,90 | 2,22 | 2,60 | 3,03 | 3,51 | 4,04 | 4,63 | 5,27 | 5,97 | 6,33 | 0,5 |
| | 1,03 | 1,30 | 1,64 | 2,04 | 2,51 | 3,05 | 3,65 | 4,32 | 5,06 | 5,86 | 6,29 | 0,6 |
| | 0,54 | 0,79 | 1,12 | 1,54 | 2,04 | 2,62 | 3,28 | 4,02 | 4,85 | 5,76 | 6,25 | 0,7 |
| | 0,18 | 0,39 | 0,70 | 1,10 | 1,61 | 2,22 | 2,93 | 3,74 | 4,65 | 5,66 | 6,21 | 0,8 |
| | 0,02 | 0,14 | 0,39 | 0,76 | 1,25 | 1,87 | 2,61 | 3,47 | 4,46 | 5,57 | 6,17 | 0,9 |
| | | | | | | | | | | | | 1 |

Tabela A31 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de BMX com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de BMX - ME | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | | |
| Croston | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,03 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | β | |
| SBA | 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,10 | -0,10 | | |
| SES | -0,02 | -0,02 | -0,01 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | | |
| TSB | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | | 0,01 |
| | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | | 0,02 |
| | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | -0,09 | | 0,03 |
| | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | | 0,04 |
| | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,12 | | 0,1 |
| | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,10 | -0,11 | -0,12 | -0,13 | -0,14 | | 0,2 |
| | -0,01 | -0,02 | -0,04 | -0,05 | -0,07 | -0,08 | -0,10 | -0,11 | -0,13 | -0,14 | -0,15 | | 0,3 |
| | 0,00 | -0,02 | -0,04 | -0,05 | -0,07 | -0,08 | -0,10 | -0,12 | -0,13 | -0,15 | -0,16 | | 0,4 |
| | 0,00 | -0,02 | -0,03 | -0,05 | -0,07 | -0,09 | -0,10 | -0,12 | -0,14 | -0,15 | -0,16 | | 0,5 |
| | 0,00 | -0,02 | -0,04 | -0,05 | -0,07 | -0,09 | -0,11 | -0,12 | -0,14 | -0,16 | -0,17 | | 0,6 |
| | 0,00 | -0,02 | -0,04 | -0,06 | -0,07 | -0,09 | -0,11 | -0,13 | -0,14 | -0,16 | -0,17 | 0,7 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,04 | -0,06 | -0,08 | -0,09 | -0,11 | -0,13 | -0,15 | -0,16 | -0,17 | 0,8 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,04 | -0,06 | -0,08 | -0,09 | -0,11 | -0,13 | -0,15 | -0,16 | -0,17 | 0,9 | |
| | -0,01 | -0,03 | -0,04 | -0,06 | -0,08 | -0,10 | -0,11 | -0,13 | -0,15 | -0,17 | -0,18 | 1 | |

Tabela A32 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de NGOL - MSE | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | | |
| Croston | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,67 | 1,67 | 1,67 | 1,67 | β | |
| SBA | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,68 | 1,69 | 1,69 | 1,69 | 1,70 | 1,70 | 1,71 | | |
| SES | 1,58 | 1,32 | 1,05 | 0,81 | 0,59 | 0,40 | 0,25 | 0,13 | 0,05 | 0,01 | 0,00 | | |
| TSB | 1,67 | 1,70 | 1,72 | 1,74 | 1,76 | 1,78 | 1,81 | 1,83 | 1,85 | 1,87 | 1,89 | | 0,01 |
| | 1,66 | 1,68 | 1,70 | 1,72 | 1,74 | 1,77 | 1,79 | 1,81 | 1,84 | 1,86 | 1,87 | | 0,02 |
| | 1,64 | 1,66 | 1,68 | 1,71 | 1,73 | 1,75 | 1,78 | 1,80 | 1,82 | 1,85 | 1,86 | | 0,03 |
| | 1,62 | 1,64 | 1,66 | 1,69 | 1,71 | 1,74 | 1,76 | 1,79 | 1,81 | 1,84 | 1,85 | | 0,04 |
| | 1,47 | 1,51 | 1,54 | 1,57 | 1,61 | 1,64 | 1,68 | 1,71 | 1,75 | 1,79 | 1,81 | | 0,1 |
| | 1,21 | 1,26 | 1,32 | 1,37 | 1,43 | 1,48 | 1,54 | 1,60 | 1,66 | 1,73 | 1,76 | | 0,2 |
| | 0,96 | 1,03 | 1,10 | 1,17 | 1,25 | 1,32 | 1,41 | 1,49 | 1,58 | 1,68 | 1,72 | | 0,3 |
| | 0,73 | 0,81 | 0,89 | 0,98 | 1,07 | 1,17 | 1,28 | 1,39 | 1,51 | 1,63 | 1,69 | | 0,4 |
| | 0,53 | 0,61 | 0,71 | 0,81 | 0,92 | 1,03 | 1,16 | 1,29 | 1,43 | 1,58 | 1,66 | | 0,5 |
| | 0,36 | 0,44 | 0,54 | 0,65 | 0,77 | 0,90 | 1,04 | 1,19 | 1,36 | 1,54 | 1,63 | | 0,6 |
| | 0,22 | 0,30 | 0,40 | 0,51 | 0,63 | 0,77 | 0,93 | 1,10 | 1,29 | 1,49 | 1,60 | 0,7 | |
| | 0,11 | 0,18 | 0,27 | 0,38 | 0,51 | 0,66 | 0,83 | 1,02 | 1,22 | 1,45 | 1,57 | 0,8 | |
| | 0,04 | 0,09 | 0,17 | 0,27 | 0,40 | 0,56 | 0,73 | 0,93 | 1,16 | 1,41 | 1,55 | 0,9 | |
| | 0,00 | 0,03 | 0,10 | 0,19 | 0,31 | 0,46 | 0,64 | 0,86 | 1,10 | 1,38 | 1,53 | 1 | |

Tabela A33 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de NGOL com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de NGOL - ME | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|---------------------------|-------------|
| Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | | |
| Croston | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | β | |
| SBA | 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | | |
| SES | -0,03 | -0,06 | -0,06 | -0,05 | -0,04 | -0,03 | -0,03 | -0,02 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | | |
| TSB | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | | 0,01 |
| | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | | 0,02 |
| | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | | 0,03 |
| | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | | 0,04 |
| | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,07 | -0,07 | -0,07 | | 0,1 |
| | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | -0,10 | -0,10 | | 0,2 |
| | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | -0,10 | -0,10 | -0,11 | | 0,3 |
| | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,11 | | 0,4 |
| | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,11 | | 0,5 |
| | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | -0,11 | | 0,6 |
| | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,10 | -0,11 | 0,7 | |
| | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | 0,8 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | 0,9 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | -0,09 | -0,10 | -0,11 | 1 | |

Tabela A34 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de MECC - MSE | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|--|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | β |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,64 | 0,63 | 0,63 | 0,01 0,02 0,03 0,04 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 |
| SBA | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | 0,65 | |
| SES | 0,62 | 0,54 | 0,45 | 0,36 | 0,28 | 0,20 | 0,13 | 0,07 | 0,03 | 0,00 | 0,00 | |
| TSB | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | |
| | 0,65 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | 0,71 | |
| | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,66 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,69 | 0,70 | 0,71 | |
| | 0,63 | 0,64 | 0,64 | 0,65 | 0,66 | 0,67 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | 0,70 | 0,70 | |
| | 0,58 | 0,59 | 0,60 | 0,61 | 0,62 | 0,63 | 0,64 | 0,65 | 0,67 | 0,68 | 0,69 | |
| | 0,50 | 0,51 | 0,53 | 0,54 | 0,55 | 0,57 | 0,59 | 0,61 | 0,63 | 0,65 | 0,66 | |
| | 0,41 | 0,43 | 0,45 | 0,47 | 0,49 | 0,51 | 0,53 | 0,56 | 0,59 | 0,62 | 0,63 | |
| | 0,33 | 0,35 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,45 | 0,48 | 0,51 | 0,55 | 0,59 | 0,61 | |
| | 0,25 | 0,27 | 0,29 | 0,32 | 0,35 | 0,39 | 0,42 | 0,47 | 0,51 | 0,56 | 0,58 | |
| | 0,17 | 0,19 | 0,22 | 0,25 | 0,29 | 0,33 | 0,37 | 0,42 | 0,47 | 0,53 | 0,56 | |
| 0,11 | 0,13 | 0,16 | 0,19 | 0,23 | 0,28 | 0,32 | 0,38 | 0,44 | 0,50 | 0,54 | | |
| 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,14 | 0,18 | 0,23 | 0,28 | 0,34 | 0,40 | 0,48 | 0,52 | | |
| 0,02 | 0,04 | 0,06 | 0,09 | 0,13 | 0,18 | 0,24 | 0,30 | 0,37 | 0,45 | 0,50 | | |
| 0,00 | 0,01 | 0,03 | 0,06 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,27 | 0,35 | 0,43 | 0,48 | | |

Tabela A35 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) da obra de MECC com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas médias

| Sporadic Items de MECC - ME | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|--|
| | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | | β |
| | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 | |
| Croston | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,01 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,01 0,02 0,03 0,04 0,1 0,2 0,3 0,4 0,5 0,6 0,7 0,8 0,9 1 |
| SBA | 0,00 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | |
| SES | -0,01 | -0,01 | -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| TSB | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | |
| | -0,01 | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | |
| | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | -0,04 | |
| | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | |
| | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | |
| | -0,01 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | |
| | 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | |
| | 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | |
| | 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,02 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | |
| 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,06 | -0,07 | -0,08 | | |
| 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | | |
| 0,00 | -0,01 | -0,02 | -0,03 | -0,03 | -0,04 | -0,05 | -0,06 | -0,07 | -0,07 | -0,08 | | |

Tabela A36 - MSE obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) das 3 obras com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Sporadic Items - MSE | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|----------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Obras | | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| BMX | Croston | 6,38 | 6,13 | 6,01 | 5,94 | 5,89 | 5,86 | 5,83 | 5,82 | 5,8 | 5,79 | 5,79 |
| | SBA | 6,37 | 6,15 | 6,04 | 5,99 | 5,96 | 5,95 | 5,96 | 5,97 | 5,99 | 6,01 | 6,03 |
| NGOL | Croston | 1,84 | 1,8 | 1,78 | 1,77 | 1,77 | 1,76 | 1,76 | 1,75 | 1,75 | 1,75 | 1,75 |
| | SBA | 1,84 | 1,79 | 1,76 | 1,75 | 1,74 | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,73 | 1,73 |
| MECC | Croston | 0,79 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 | 0,77 |
| | SBA | 0,78 | 0,76 | 0,74 | 0,73 | 0,72 | 0,71 | 0,7 | 0,7 | 0,69 | 0,69 | 0,69 |

Tabela A37 - ME obtido na aplicação dos métodos de previsão aos itens com padrão de procura esporádico (1 ocorrência de procura) das 3 obras com variação das constantes de alisamento e método de iniciação das fórmulas SAP

| Sporadic Items - ME | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|----------------|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| Obras | | Constante de Alisamento α | | | | | | | | | | |
| | | 0,05 | 0,15 | 0,25 | 0,35 | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 | 0,85 | 0,95 | 1 |
| BMX | Croston | 0,25 | 0,24 | 0,24 | 0,24 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 | 0,23 |
| | SBA | 0,23 | 0,2 | 0,18 | 0,15 | 0,13 | 0,1 | 0,08 | 0,05 | 0,03 | 0 | -0,01 |
| NGOL | Croston | 0,31 | 0,29 | 0,28 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,25 | 0,25 | 0,25 | 0,25 |
| | SBA | 0,29 | 0,25 | 0,22 | 0,19 | 0,16 | 0,14 | 0,12 | 0,09 | 0,07 | 0,05 | 0,04 |
| MECC | Croston | 0,33 | 0,31 | 0,29 | 0,28 | 0,28 | 0,27 | 0,27 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| | SBA | 0,32 | 0,27 | 0,24 | 0,21 | 0,18 | 0,16 | 0,13 | 0,11 | 0,09 | 0,07 | 0,05 |

Anexo 11 – Resultados dos Níveis de Inventário Calculados

Na Tabela A38 apresentam-se os níveis de encomenda e de reabastecimento de 6 referências de itens em *stock* à data de 27 de fevereiro de 2014 na obra de BMX. Estas referências pertencem à classe bicritério AA (ponto 5.2.1.1.5) e têm padrão de procura intermitente. Por falta de espaço, apresentam-se os níveis de inventário para apenas 5 períodos não consecutivos. Estes níveis foram obtidos a partir da aplicação do método de previsão SBA com iniciação das fórmulas médias, com um α igual a 0,5 e a partir da heurística de Naddor com: h/b igual a 0,01, *ordering e holding costs* igual a 0,2 do Preço Médio Móvel, tempo de abastecimento igual a 4 e período de revisão igual a 1.

Tabela A38 - Níveis de inventário obtidos a partir da metodologia desenvolvida nesta tese, para 6 referências em *stock* na obra de BMX à data de 27 de fevereiro de 2014

| Peças | Nível de Encomenda | | | | | Nível de Reabastecimento | | | | |
|---------|--------------------|----------|----------|----------|----------|--------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | s jan 13 | s fev 13 | s dez 13 | s jan 14 | s fev 14 | S jan 13 | S fev 13 | S dez 13 | S jan 14 | S fev 14 |
| 1134142 | 110 | 110 | 181 | 228 | 193 | 117 | 117 | 188 | 236 | 201 |
| 1148358 | 41 | 41 | 42 | 41 | 78 | 45 | 45 | 46 | 46 | 84 |
| 1150135 | 53 | 43 | 170 | 148 | 135 | 57 | 47 | 177 | 155 | 142 |
| 1128877 | 17 | 17 | 70 | 54 | 43 | 19 | 19 | 73 | 57 | 46 |
| 1149634 | 16 | 14 | 53 | 58 | 44 | 20 | 17 | 58 | 61 | 47 |
| 1138275 | 23 | 23 | 75 | 64 | 43 | 26 | 26 | 80 | 68 | 47 |

Anexo 12 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos Itens Intermitentes e Não Intermitentes da Classe AA

Tabela A39 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionadas: $h/b=5\%$; $h=13\%$; $k=20\%$

| $h/b=5\%$; $h=13\%$; $k=20\%$ | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 29.391 | 86.116 | 64.579 | 189.217 | 103.101 | -54,5% |
| Approximation | SBA | 31.211 | 91.449 | 64.579 | 189.217 | 97.767 | -51,7% |
| Aproximação à Normal | SES | 27.394 | 80.265 | 64.579 | 189.217 | 108.952 | -57,6% |
| | SBA | 28.657 | 83.964 | 64.579 | 189.217 | 105.253 | -55,6% |
| Heurística de Naddor | SES | 23.331 | 68.358 | 64.579 | 189.217 | 120.858 | -63,9% |
| | SBA | 23.500 | 68.854 | 64.579 | 189.217 | 120.362 | -63,6% |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 95.316 | 279.276 | 303.846 | 890.269 | 610.993 | -68,6% |
| Approximation | SBA | 96.009 | 281.306 | 303.846 | 890.269 | 608.963 | -68,4% |
| Aproximação à Normal | SES | 89.365 | 261.839 | 303.846 | 890.269 | 628.430 | -70,6% |
| | SBA | 89.203 | 261.365 | 303.846 | 890.269 | 628.904 | -70,6% |
| Heurística de Naddor | SES | 73.466 | 215.255 | 303.846 | 890.269 | 675.014 | -75,8% |
| | SBA | 73.728 | 216.024 | 303.846 | 890.269 | 674.245 | -75,7% |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 185.718 | 544.152 | 514.449 | 1.507.336 | 963.184 | -63,9% |
| Approximation | SBA | 191.048 | 559.770 | 514.449 | 1.507.336 | 947.566 | -62,9% |
| Aproximação à Normal | SES | 171.256 | 501.780 | 514.449 | 1.507.336 | 1.005.556 | -66,7% |
| | SBA | 172.713 | 506.050 | 514.449 | 1.507.336 | 1.001.287 | -66,4% |
| Heurística de Naddor | SES | 140.747 | 412.388 | 514.449 | 1.507.336 | 1.094.949 | -72,6% |
| | SBA | 140.334 | 411.177 | 514.449 | 1.507.336 | 1.096.159 | -72,7% |

Tabela A40 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionadas: h/b=10%; h=13%; k=20%

| h/b=10%; h=13%; k=20% | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 23.898 | 38.954 | 64.579 | 105.264 | 66.310 | -70,4% |
| Approximation | SBA | 25.352 | 41.324 | 64.579 | 105.264 | 63.940 | -74,1% |
| Aproximação à Normal | SES | 22.558 | 36.770 | 64.579 | 105.264 | 68.494 | -72,4% |
| | SBA | 23.740 | 38.697 | 64.579 | 105.264 | 66.567 | -76,5% |
| Heurística de Naddor | SES | 19.104 | 31.139 | 64.579 | 105.264 | 74.125 | -49,8% |
| | SBA | 19.379 | 31.589 | 64.579 | 105.264 | 73.675 | -70,0% |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 77.444 | 126.234 | 303.846 | 495.269 | 369.035 | -74,5% |
| Approximation | SBA | 78.140 | 127.368 | 303.846 | 495.269 | 367.901 | -74,3% |
| Aproximação à Normal | SES | 73.634 | 120.023 | 303.846 | 495.269 | 375.246 | -75,8% |
| | SBA | 73.482 | 119.775 | 303.846 | 495.269 | 375.494 | -75,8% |
| Heurística de Naddor | SES | 60.119 | 97.994 | 303.846 | 495.269 | 397.275 | -80,2% |
| | SBA | 60.663 | 98.881 | 303.846 | 495.269 | 396.388 | -80,0% |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 150.491 | 245.301 | 514.449 | 838.552 | 593.252 | -70,7% |
| Approximation | SBA | 154.568 | 251.946 | 514.449 | 838.552 | 586.606 | -70,0% |
| Aproximação à Normal | SES | 140.911 | 229.686 | 514.449 | 838.552 | 608.866 | -72,6% |
| | SBA | 142.502 | 232.279 | 514.449 | 838.552 | 606.274 | -72,3% |
| Heurística de Naddor | SES | 114.890 | 187.271 | 514.449 | 838.552 | 651.281 | -77,7% |
| | SBA | 115.096 | 187.606 | 514.449 | 838.552 | 650.946 | -77,6% |

Anexo 13 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos Itens Intermitentes e Não Intermitentes da Classe Bicritério AA em termos de eficiência de inventário

Tabela A41 - Valores anuais demonstrativos da eficiência de inventário com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens intermitentes e não intermitentes da classe bicritério AA da obra de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionados: h/b=5% e 10%; h=13%; k=20%

| h=13%; k=20% | Método de Previsão | B. Q.* (h/b=5%) | Volume em Inventário (h/b=5%) | Custo Previsto (USD) (h/b=5%) | B. Q.* (h/b=10%) | Volume em Inventário (h/b=10%) | Custo Previsto (USD) (h/b=10%) |
|-----------------------------|--------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| BMX (58 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 40 | 5.591 | 86.116 | 90 | 4.541 | 38.954 |
| Approximation | SBA | 31 | 5.849 | 91.449 | 72 | 4.729 | 41.324 |
| Aproximação à Normal | SES | 46 | 5.238 | 80.265 | 98 | 4.342 | 36.770 |
| | SBA | 41 | 5.175 | 83.964 | 90 | 4.307 | 38.697 |
| Heurística de Naddor | SES | 124 | 4.274 | 68.358 | 223 | 3.473 | 31.139 |
| | SBA | 98 | 4.244 | 68.854 | 182 | 3.470 | 31.589 |
| NGOL (142 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 270 | 29.365 | 279.276 | 591 | 23.890 | 126.234 |
| Approximation | SBA | 256 | 28.399 | 281.306 | 560 | 23.115 | 127.368 |
| Aproximação à Normal | SES | 286 | 28.379 | 261.839 | 613 | 23.367 | 120.023 |
| | SBA | 273 | 27.341 | 261.365 | 586 | 22.506 | 119.775 |
| Heurística de Naddor | SES | 1.019 | 21.154 | 215.255 | 1.734 | 17.039 | 97.994 |
| | SBA | 803 | 20.880 | 216.024 | 1.416 | 16.879 | 98.881 |
| MECC (149 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 734 | 69.932 | 544.152 | 1.584 | 56.953 | 245.301 |
| Approximation | SBA | 682 | 66.864 | 559.770 | 1.474 | 54.424 | 251.946 |
| Aproximação à Normal | SES | 757 | 68.555 | 501.780 | 1.621 | 56.145 | 229.686 |
| | SBA | 709 | 65.085 | 506.050 | 1.519 | 53.338 | 232.279 |
| Heurística de Naddor | SES | 3.095 | 48.573 | 412.388 | 5.065 | 38.826 | 187.271 |
| | SBA | 2.360 | 47.016 | 411.177 | 4.077 | 37.667 | 187.606 |

*B. Q. = Backordered Quantities

Anexo 14 – Resultados da Aplicação da Metodologia de Controlo de Inventário aos *Sporadic Items* da Classe Bicritério AA

• Em termos de Custos:

No que refere aos itens com padrão de procura esporádico, é possível verificar que o módulo do potencial de redução obtido pela aplicação do método de previsão TSB é sempre maior do que o módulo do potencial de redução aquando da aplicação do método de previsão SES quando aplicados

à Heurística de Naddor (Tabelas A42 e A43). Ainda em relação aos itens com procura esporádica, verifica-se que na maioria das vezes, o potencial de redução é maior aquando da aplicação dos resultados do método de previsão SES quer à heurística *Power Approximation*, quer à heurística Aproximação à Normal (Tabelas A42 e A43).

Tabela A42 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens com padrão de procura esporádica (1 ocorrência de procura) da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função dos custos de inventário selecionados: h/b=1%; h=13%; k=20%

| h/b=1%; h=13%; k=20% | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| BMX (32 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 30.800 | 410.566 | 26.346 | 351.199 | -59.367 | 16,9% |
| | TSB | 31.378 | 418.263 | 26.346 | 351.199 | -67.065 | 19,1% |
| Aproximação à Normal | SES | 22.720 | 302.856 | 26.346 | 351.199 | 48.342 | -13,8% |
| | TSB | 22.829 | 304.307 | 26.346 | 351.199 | 46.891 | -13,4% |
| Heurística de Naddor | SES | 26.760 | 356.710 | 26.346 | 351.199 | -5.512 | 1,6% |
| | TSB | 24.678 | 328.955 | 26.346 | 351.199 | 22.244 | -6,3% |
| NGOL (81 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 56.218 | 749.384 | 185.686 | 2.475.191 | 1.725.807 | -69,7% |
| | TSB | 60.227 | 802.832 | 185.686 | 2.475.191 | 1.672.358 | -67,6% |
| Aproximação à Normal | SES | 42.255 | 563.266 | 185.686 | 2.475.191 | 1.911.925 | -77,2% |
| | TSB | 43.506 | 579.930 | 185.686 | 2.475.191 | 1.895.260 | -76,6% |
| Heurística de Naddor | SES | 56.035 | 746.949 | 185.686 | 2.475.191 | 1.728.242 | -69,8% |
| | TSB | 51.713 | 689.330 | 185.686 | 2.475.191 | 1.785.861 | -72,2% |
| MECC (81 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 136.606 | 1.820.959 | 215.469 | 2.872.201 | 1.051.242 | -36,6% |
| | TSB | 101.894 | 1.358.247 | 215.469 | 2.872.201 | 1.513.953 | -52,7% |
| Aproximação à Normal | SES | 79.831 | 1.064.149 | 215.469 | 2.872.201 | 1.808.052 | -63,0% |
| | TSB | 76.025 | 1.013.420 | 215.469 | 2.872.201 | 1.858.781 | -64,7% |
| Heurística de Naddor | SES | 182.015 | 2.426.262 | 215.469 | 2.872.201 | 445.939 | -15,5% |
| | TSB | 85.914 | 1.145.236 | 215.469 | 2.872.201 | 1.726.964 | -60,1% |

Tabela A43 - Comparação dos custos de inventário (USD) previstos com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens com padrão de procura esporádica (1 ocorrência de procura) da classe bicritério AA das obras de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função dos custos de inventário selecionados: h/b=20%; h=13%; k=20%

| h/b=20%; h=13%; k=20% | Método de Previsão | Inventário Médio Anual Previsto (USD) | Custo Previsto (USD) | Inventário Médio Anual Real (USD) | Custo Real (USD) | Custo Real (USD) - Custo Previsto (USD) | Potencial de Redução |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|------------------|---|----------------------|
| BMX (32 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 12.748 | 12.493 | 26.346 | 25.820 | 13.327 | -51,6% |
| | TSB | 13.123 | 12.861 | 26.346 | 25.820 | 12.959 | -50,2% |
| Aproximação à Normal | SES | 11.931 | 11.692 | 26.346 | 25.820 | 14.128 | -54,7% |
| | TSB | 12.481 | 12.231 | 26.346 | 25.820 | 13.588 | -52,6% |
| Heurística de Naddor | SES | 12.720 | 12.466 | 26.346 | 25.820 | 13.354 | -51,7% |
| | TSB | 12.210 | 11.966 | 26.346 | 25.820 | 13.854 | -53,7% |
| NGOL (81 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 23.780 | 23.304 | 185.686 | 181.972 | 158.668 | -87,2% |
| | TSB | 25.666 | 25.153 | 185.686 | 181.972 | 156.819 | -86,2% |
| Aproximação à Normal | SES | 22.213 | 21.768 | 185.686 | 181.972 | 160.204 | -88,0% |
| | TSB | 23.608 | 23.135 | 185.686 | 181.972 | 158.837 | -87,3% |
| Heurística de Naddor | SES | 26.417 | 25.888 | 185.686 | 181.972 | 156.084 | -85,8% |
| | TSB | 25.559 | 25.047 | 185.686 | 181.972 | 156.925 | -86,2% |
| MECC (81 Itens) | | | | | | | |
| Power Approximation | SES | 50.037 | 49.037 | 215.469 | 211.160 | 162.123 | -76,8% |
| | TSB | 43.971 | 43.092 | 215.469 | 211.160 | 168.068 | -79,6% |
| Aproximação à Normal | SES | 51.898 | 50.860 | 215.469 | 211.160 | 160.299 | -75,9% |
| | TSB | 41.076 | 40.255 | 215.469 | 211.160 | 170.905 | -80,9% |
| Heurística de Naddor | SES | 81.686 | 80.052 | 215.469 | 211.160 | 131.108 | -62,1% |
| | TSB | 42.870 | 42.012 | 215.469 | 211.160 | 169.147 | -80,1% |

Para itens pertencentes à classe bicritério AA mas com apenas uma ocorrência de procura realça-se ainda que, na obra de BMX para um rácio h/b=1% (Tabela A42), há um aumento do custo previsto com a aplicação da metodologia de gestão de inventário em relação ao real, quer com na aplicação da heurística *Power Approximation* quer na heurística de Naddor.

Para terminar, em relação aos itens com padrão de procura esporádico, verifica-se que o mínimo de potencial de redução acontece no caso de aplicação da heurística Heurística de Naddor quando o $h/b=1\%$ (Tabela A42), sendo igual a 6,3% para o método de previsão TSB, na obra de BMX. Já no que refere ao máximo de potencial de redução encontrado para os itens intermitentes e não intermitentes, este verificou-se na aplicação dos resultados do método de previsão SES à heurística Aproximação à Normal, e ronda os 88%, quando o $h/b=20\%$ (Tabela A43) na obra de NGOL. Todos os outros cenários de todas as obras analisadas apresentam um potencial de redução entre estes dois valores.

• **Em termos de Eficiência de Inventário:**

Tabela A44 - Valores anuais demonstrativos da eficiência de inventário com a aplicação da metodologia de controlo de inventário aos itens com padrão de procura esporádico da classe bicritério AA da obra de BMX, NGOL e MECC com os custos de inventário reais (USD) em função da variação dos custos de inventário selecionados: $h/b=1\%$ e 20% ; $h=13\%$; $k=20\%$

| $h=13\%$; $k=20\%$ | Método de Previsão | B. Q.* ($h/b=1\%$) | Volume em Inventário ($h/b=1\%$) | Custo Previsto (USD) ($h/b=1\%$) | B. Q.* ($h/b=20\%$) | Volume em Inventário ($h/b=20\%$) | Custo Previsto (USD) ($h/b=20\%$) |
|-----------------------------|--------------------|-------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|--|--|
| BMX (32 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 1 | 1.911 | 410.566 | 28 | 761 | 12.493 |
| Approximation | TSB | 1 | 1.783 | 418.263 | 24 | 722 | 12.861 |
| Aproximação à Normal | SES | 1 | 1.376 | 302.856 | 33 | 690 | 11.692 |
| | TSB | 1 | 1.308 | 304.307 | 28 | 673 | 12.231 |
| Heurística de Naddor | SES | 4 | 1.379 | 356.710 | 56 | 637 | 12.466 |
| | TSB | 2 | 1.279 | 328.955 | 43 | 611 | 11.966 |
| NGOL (81 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 1 | 2.207 | 749.384 | 30 | 934 | 23.304 |
| Approximation | TSB | 0 | 2.533 | 802.832 | 21 | 1.049 | 25.153 |
| Aproximação à Normal | SES | 1 | 1.718 | 563.266 | 32 | 882 | 21.768 |
| | TSB | 1 | 1.800 | 579.930 | 27 | 955 | 23.135 |
| Heurística de Naddor | SES | 3 | 2.081 | 746.949 | 56 | 970 | 25.888 |
| | TSB | 2 | 1.998 | 689.330 | 44 | 975 | 25.047 |
| MECC (81 Itens) | | | | | | | |
| Power | SES | 0 | 4.537 | 1.820.959 | 14 | 1.560 | 49.037 |
| Approximation | TSB | 0 | 3.176 | 1.358.247 | 21 | 1.275 | 43.092 |
| Aproximação à Normal | SES | 0 | 2.365 | 1.064.149 | 15 | 1.550 | 50.860 |
| | TSB | 1 | 2.176 | 1.013.420 | 28 | 1.174 | 40.255 |
| Heurística de Naddor | SES | 7 | 4.394 | 2.426.262 | 40 | 1.963 | 80.052 |
| | TSB | 2 | 2.279 | 1.145.236 | 50 | 1.115 | 42.012 |

*B. Q. = Backordered Quantities

Com o aumento do rácio h/b verifica-se que para todos os cenários considerados há uma diminuição significativa do custo previsto baseado no aumento no número de *backorders* e na diminuição do volume em inventário (Tabela A44).

Para os *sporadic items*, os resultados obtidos a partir da heurística Aproximação à Normal revelam uma possível maior redução de custos (Tabela A44), com base numa eficiência de inventário, quer em volume quer em *backorders*, por norma melhor do que a que se verifica nos cenários que incluem as outras duas heurísticas.

Anexo 15 – Análise de Sensibilidade realizada sobre os Resultados da Metodologia Aplicada aos *Sporadic Items*

Neste Anexo é realizada uma análise de sensibilidade sobre os resultados da metodologia aplicada aos *sporadic items* variando os parâmetros que se fizeram variar na análise de sensibilidade realizada sobre os itens intermitentes e não intermitentes apresentada no ponto 6.

- **Constante de Alisamento α**

No que refere à sensibilidade da metodologia aplicada aos *sporadic items* aquando da variação do parâmetro - constante de alisamento α , é possível concluir pela Tabela A45 que: os resultados de custos e eficiência de inventário são pouco robustos a este parâmetro (contrariamente ao que se verificou no ponto 6.1); para o α igual a 0,3, o indicador “Potencial de Redução” diminui em relação aos valores encontrados no ponto 5.2.3; para o α igual a 0,7, o indicador “Potencial de Redução” aumenta em relação aos valores encontrados no ponto 5.2.3. As variações dos resultados relativos aos custos são menos robustas aquando da variação negativa do parâmetro.

Tabela A45 - Variação dos resultados da metodologia aos *sporadic items*, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro α

| | | Parâmetro Alterado: $\alpha_0 = 0,2 = 0,3$ | | | | | Variável Alterada: $\alpha = 0,7$ | | | | |
|-----------------|----------------------------|--|---------------------------------------|--|---|---|--|---------------------------------------|--|---|---|
| h=13% | | δ I.M.A. ^{*1} Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ δ B.Q. ^{*2} | δ <i>Inven</i> <i>tory</i> <i>Volume</i> | δ I.M.A. ^{*1} Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ δ B.Q. ^{*2} | δ <i>Inven</i> <i>tory</i> <i>Volume</i> |
| Rácio h/b = 1% | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 4,1% | 4,1% | -26,6% | 8,0% | 3,1% | -3,3% | -3,3% | 21,1% | -15,4% | -2,1% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 7,5% | 7,5% | -2,3% | -0,4% | 9,2% | -4,8% | -4,8% | 1,5% | -4,5% | -5,9% |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 4,1% | 4,1% | -2,2% | -11,5% | 5,1% | -3,0% | -3,0% | 1,7% | -2,9% | -3,5% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 5,1% | 5,1% | -4,6% | 7,1% | 2,0% | -3,5% | -3,5% | 3,2% | -15,4% | 1,5% |
| Rácio h/b = 20% | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 9,2% | 9,2% | -1,3% | -1,5% | 11,0% | -5,2% | -5,2% | 0,8% | -4,7% | -5,9% |
| | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 5,7% | 5,7% | -1,3% | -11,1% | 7,1% | -3,7% | -3,7% | 0,9% | -3,8% | -2,9% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

- **Tempo de Abastecimento**

Pela Tabela A46 verifica-se que os resultados de custos e eficiência de inventário dos *sporadic items* são muito pouco robustos à variação do parâmetro – tempo de abastecimento (T.A.).

Tabela A46 - Variação dos resultados da metodologia aos *sporadic items*, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro tempo de abastecimento

| | | Parâmetro Alterado: T.A. ₀ + 1 = 4 meses | | | | | Parâmetro Alterado: T.A. ₀ - 1 = 2 meses | | | | |
|-----------------|----------------------------|---|---------------------------------------|--|---|---|---|---------------------------------------|--|---|---|
| h=13%; k=20% | | δ I.M.A. ^{*1} Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ δ B.Q. ^{*2} | δ <i>Inven</i> <i>tory</i> <i>Volume</i> | δ I.M.A. ^{*1} Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ δ B.Q. ^{*2} | δ <i>Inven</i> <i>tory</i> <i>Volume</i> |
| Rácio h/b = 1% | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 11,3% | 11,3% | -73,1% | 14,5% | 12,3% | -10,3% | -10,3% | 67,1% | -13,4% | -11,4% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 10,9% | 10,9% | -3,3% | 16,9% | 11,4% | -10,0% | -10,0% | 3,1% | -15,6% | -10,5% |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 10,8% | 10,8% | -5,9% | 17,2% | 11,7% | -9,9% | -9,9% | 5,4% | -16,0% | -10,7% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 11,6% | 11,6% | -10,4% | 13,1% | 12,6% | -10,4% | -10,4% | 9,4% | -12,4% | -11,5% |
| Rácio h/b = 20% | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 11,0% | 11,0% | -1,6% | 13,8% | 11,5% | -9,8% | -9,8% | 1,4% | -13,3% | -10,4% |
| | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | 10,9% | 10,9% | -2,6% | 13,3% | 12,1% | -9,8% | -9,8% | 2,3% | -12,9% | -10,9% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

A metodologia é menos robusta à variação positiva do parâmetro, apresentando variações do “Potencial de Redução” de menos 73,1% em relação ao encontrado no ponto 5.2.3 para o mesmo cenário. Para a variação positiva do parâmetro verifica-se um aumento dos custos de inventário e uma diminuição do “Potencial de Redução”, baseados no aumento do volume de inventário e do número de *backorders*; para a variação negativa do parâmetro verifica-se uma diminuição dos custos de inventário e um aumento do “Potencial de Redução”, baseados no menor volume de inventário e número de *backorders*.

- **Custos de Encomenda**

No que refere à sensibilidade da metodologia aplicada aos *sporadic items* aquando da variação do parâmetro – custos de encomenda, é possível concluir pela Tabela A47 que: os resultados de custos e eficiência de inventário são também pouco robustos a este parâmetro; a metodologia é menos robusta à variação negativa do parâmetro em termos de custos; com a variação positiva do parâmetro verifica-se um aumento dos custos de inventário e uma diminuição do “Potencial de Redução”, baseados no aumento do volume de inventário; para a variação negativa do parâmetro verifica-se uma diminuição dos custos de inventário e um aumento do “Potencial de Redução”, baseados no menor volume de inventário compensado por um maior número de *backorders*.

Tabela A47 - Variação dos resultados da metodologia aos *sporadic items*, em relação aos resultados apresentados no ponto 5.2.3, aquando da variação do parâmetro custos de encomenda

| | | Parâmetro Alterado: $Ordering\ Costs_0 - 10\% = 10\%$ | | | | | Parâmetro Alterado: $Ordering\ Costs_0 + 10\% = 30\%$ | | | | |
|-----------------|----------------------------|---|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------------------------|---|---------------------------------------|--|-----------------|-----------------------------------|
| h=13% | | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume | δ I.M.A.*1 Previsto (USD) | δ Custo Previs_ to (USD) | δ Potencial de Redução | δ B.Q.*2 | δ Inven_ tory Volume |
| Rácio h/b = 1% | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | -6,1% | -6,8% | 44,2% | 16,3% | -3,9% | 3,7% | 4,4% | -28,8% | -8,3% | 2,6% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | -5,2% | -5,9% | 3,2% | 33,6% | -4,9% | 4,6% | 5,4% | -2,9% | -25,2% | 4,2% |
| | BMX (58 Itens) | | | | | | | | | | |
| Rácio h/b = 20% | Aproximação à Normal - TSB | -8,6% | -17,9% | 16,1% | 12,9% | -6,6% | 3,6% | 14,1% | -12,7% | -6,1% | 3,7% |
| | NGOL (142 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | -6,5% | -16,0% | 2,3% | 16,7% | -7,1% | 5,5% | 16,3% | -2,4% | -8,9% | 5,3% |
| Rácio h/b = 20% | MECC (149 Itens) | | | | | | | | | | |
| | Aproximação à Normal - TSB | -5,1% | -14,8% | 3,5% | 21,4% | -6,6% | 5,3% | 16,1% | -3,8% | -17,1% | 5,9% |

*1 - I.M.A. Previsto: Inventário Médio Anual Previsto (USD)

*2 - B.Q.: *Backorders Quantities*

Por fim, o parâmetro sobre o qual os resultados da metodologia se revelaram menos robustos, foi o tempo de abastecimento. Contrariamente ao que aconteceu na análise de sensibilidade apresentada no ponto 6, a constante de alisamento α provocou alterações mais significativas nos resultados, conduzindo a que estes se tornassem menos robustos.