

# **OTIMIZAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE SISTEMAS AERONÁUTICOS: aplicação da abordagem sistêmica na gestão de estoque de itens reparáveis das aeronaves VANT**

## **OPTIMIZING AERONAUTICAL SYSTEM AVAILABILITY: application of system approach to the inventory management of repairable items from VANT aircraft**

Kelvyn Freire Belchior Matos<sup>1</sup>

Leila Scanfone<sup>2</sup>

Ygor Henrique de Almeida<sup>3</sup>

### **RESUMO**

Este trabalho analisa a aplicação da abordagem sistêmica no dimensionamento de estoque de componentes reparáveis do projeto VANT da FAB e sua influência na disponibilidade do sistema, determinando o atual nível de disponibilidade máxima do projeto e observando o comportamento do desempenho do sistema ao alterar os níveis de estoque de itens isolados. Tal abordagem se justifica pois a política de gestão de estoque de componentes na FAB é feita, em muitos casos, por meio do histórico de utilização ou da lista de itens sugerida pelas empresas, resultando em níveis de estoque ineficientes que na maioria dos casos não supre as necessidades de substituições por ocasião de manutenções corretiva e preventiva. O propósito deste trabalho é analisar a influência dos níveis e alocação do estoque de giro de itens reparáveis pelas bases aéreas e PAMA-SP sobre a disponibilidade das aeronaves VANT por meio da modelagem no *software* OPUS10. Este intento será conseguido através da revisão bibliográfica sobre os conceitos teóricos envolvidos a respeito do assunto, levantamento de dados para a modelagem do suporte logístico no OPUS10 e análise dos resultados fornecidos pelo *software*. O estudo evidenciou que a disponibilidade do sistema pode ser aumentada sem a aquisição de novos itens reparáveis, por meio da simples realocação do estoque atual existente. O trabalho também mostrou que a abordagem sistêmica proporciona relações ótimas de custo-benefício alcançando os melhores níveis de disponibilidade do sistema com um menor custo de investimento.

**Palavras-chave:** Inventário. Disponibilidade. OPUS10.

### **ABSTRACT**

This work analyzes the application of the system approach in inventory sizing of repairable components from the Brazilian Air Force's VANT project and its effect on system availability, determining the project's current maximum level of availability and observing the system

---

1 Pós-graduando em Logística pelo Instituto de Logística da Aeronáutica. Engenheiro Mecânico-Aeronáutico pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica. E-mail: belchiorkfbm@fab.mil.br.

2 Doutora em Administração pela Universidade Federal de Minas Gerais. Professora do Grupo Educacional UNIS. E-mail: leila.scanfone@professor.unis.edu.br.

3 Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Pós-graduado em Logística pelo Instituto de Logística da Aeronáutica. Mestre em Gerenciamento de Sistemas de Defesa pela *Naval Postgraduate School* (NPS). E-mail: ygoryha@fab.mil.br.

performance behavior when altering the levels of individual item stocks. Such an approach is justified because the stock management policy in Brazilian Air Force is often based on usage history or list of items suggested by companies, resulting in inefficient stock levels that, in most cases, don't meet the needs for items replacements during corrective and preventive maintenance. The purpose of this work is to analyze the influence of inventory levels and allocation of repairable items on VANT aircraft's availability through modeling in OPUS10 software. This goal will be achieved through bibliographic research about the relevant theoretical concepts, data collection for logistics support modeling in OPUS10, and analysis of the results provided by the software. The study revealed that system availability can be increased without acquiring new repairable items, simply by reallocating the existing inventory. The work also showed that the system approach provides optimal cost-benefit relationships, reaching the best system availability levels with a lower investment cost.

**Keywords:** Inventory. Availability. OPUS10.

## 1 INTRODUÇÃO

O sistema VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) é um tipo de aeronave que não necessita de pilotos embarcados para ser guiada, podendo ser controlada remotamente. Na Força Aérea Brasileira (FAB) tal sistema desempenha um importante papel no cumprimento de missões de Reconhecimento Aéreo, Busca e Salvamento em Combate, Controle Aéreo Avançado e Posto de Comunicações no Ar.

A FAB adquiriu as primeiras aeronaves VANT em meados de 2011. Hoje a frota é composta por 3 (três) tipos de aeronaves (variantes), o RQ-450, o qual está em vias de desativação, o RQ-900, que está em processo de aquisição de novas unidades para ampliar a frota, e o RQ-1150. O Parque de Material Aeronáutico de São Paulo (PAMA-SP) é o parque central do projeto, mas grande parte dos serviços de manutenção mais complexos nos componentes das aeronaves, tais como reparos e revisão geral, são realizados em empresa contratada sediada fora do Brasil, onde o tempo necessário para que o item seja enviado para a empresa e retorne ao estoque utilizável da FAB após o serviço, conhecido como *Turnaround Time* (TAT), é elevado.

As aeronaves VANT são distribuídas apenas em duas bases aéreas, em Santa Maria (RS) e Santa Cruz (RJ), sendo que nessa há apenas duas unidades da variante RQ-1150 e naquela opera uma aeronave RQ-900, sendo adquiridas duas novas unidades desta última variante neste ano de 2023.

Desta forma, a definição de um nível de estoque de componentes reparáveis adequado para o projeto faz-se necessária para manter a disponibilidade e operacionalidade das aeronaves, tendo em vista o atual cenário de suporte logístico, o pequeno tamanho da frota e o alto TAT relacionado aos serviços contratados em empresa externa.

Este trabalho aborda a influência do nível e da distribuição do estoque de giro dos itens reparáveis na disponibilidade do projeto VANT por meio de uma abordagem sistêmica, verificando ainda as possibilidades de melhoria do cenário atual por meio de análises de realocação do inventário existente entre as bases aéreas e o PAMA-SP e de recompletamento de estoque.

A utilização de um método analítico para a estimativa da quantidade e distribuição de itens reparáveis para o suporte ao ciclo de vida se faz necessária, uma vez que ocorre com bastante frequência na FAB a definição de níveis de estoque por meio do histórico de utilização ou da lista de itens sugerida pelas empresas. A definição realizada através dos métodos mencionados

anteriormente, raramente resulta em uma definição ótima dos níveis de estoque. Portanto, o presente estudo se justifica por promover à FAB uma melhor definição dos níveis de estoque necessário para suportabilidade do projeto VANT e dar possibilidade de crítica das listas de itens sugeridas pelas empresas contratadas.

A abordagem sistêmica trata-se de uma metodologia que busca analisar um determinado sistema de forma integrada, de maneira que os seus componentes sejam considerados simultaneamente em uma análise com foco no desempenho global desse sistema.

A adoção da abordagem sistêmica neste trabalho ocorre em virtude do fato de que essa perspectiva fornece uma análise com ênfase no desempenho do projeto como um todo, permitindo estimar níveis de estoque ótimos que elevem o patamar de disponibilidade, já considerando as propriedades de cada componente da aeronave, as relações entre os diferentes elos do suporte logístico e os respectivos níveis de manutenção que estão no escopo de capacidades de cada um.

É importante ressaltar também a contribuição do trabalho para a Força Aérea Brasileira, uma vez que o dimensionamento otimizado de estoque de itens reparáveis do projeto impacta diretamente no nível de disponibilidade das aeronaves e na operacionalidade das bases aéreas operantes, permitindo atingir melhores desempenhos no cumprimento de missões.

Diante do exposto, a seguinte questão norteará este estudo: qual a influência dos níveis de estoque e sua distribuição pelas bases aéreas e PAMA-SP sobre a disponibilidade do sistema e qual a relação entre os parâmetros de performance do estoque dos itens isolados e o desempenho do sistema como um todo?

O propósito deste trabalho é analisar a influência dos níveis e distribuição do estoque de giro de itens reparáveis pelas bases aéreas e PAMA-SP sobre a disponibilidade das aeronaves VANT por meio da modelagem do suporte logístico referente ao projeto no OPUS10. Para isso, será identificada a situação atual de disponibilidade das aeronaves VANT da FAB em virtude do estoque de itens reparáveis existente e o potencial ganho de disponibilidade pela sua realocação, qual a relação de componentes necessários para serem adquiridos e sua respectiva distribuição através da estrutura de suporte logístico a fim de atingir patamares otimizados de disponibilidade, por meio do reacompletamento de estoque, e quais os valores dos parâmetros de desempenho de estoque isolado dos itens em cada situação.

Este intento será conseguido a partir de uma revisão bibliográfica para apresentar e destacar tópicos e conceitos teóricos importantes que estejam relacionados com o tema e um estudo de caso para a otimização da disponibilidade do projeto VANT utilizando uma abordagem sistêmica, sendo realizada uma pesquisa de campo e quantitativa com a listagem dos itens reparáveis do projeto, levantamento e tratamento de dados para a modelagem do suporte logístico correspondente em *software* adequado para isso, analisando os resultados obtidos em termos de melhorias de disponibilidade e redução de custos.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste tópico serão apresentados os conceitos teóricos envolvidos no desenvolvimento deste trabalho, tais como disponibilidade, taxa de falha de item reparável, a abordagem sistêmica, o modelo METRIC e considerações sobre o *software* OPUS10. Também serão abordadas as definições associadas ao conceito de estoque e quais parâmetros podem ser utilizados para o seu dimensionamento. Tal embasamento teórico se faz necessário tendo em vista que este trabalho aborda o dimensionamento de estoque de itens reparáveis da frota de aeronaves VANT por meio do OPUS10 e os conceitos envolvidos abordados neste capítulo estão relacionados às métricas de desempenho de estoque e aos dados de entrada exigidos pelo *software*.

## 2.1 ASPECTOS RELEVANTES PARA O DIMENSIONAMENTO DE ESTOQUES

Jacobs e Chase (2013) afirmam que para muitas organizações o estoque de itens corresponde ao maior ativo do balanço da empresa e providências para a redução do inventário são ações importantes para o cenário econômico da organização.

Ballou (2006) propõe que a estocagem se trata basicamente do acúmulo de produtos no armazém de uma organização ao longo do tempo.

Jacobs e Chase (2013) destacam que a manutenção de um estoque custa dinheiro e o controle do inventário deve ser feito da melhor forma, principalmente quando os recursos são limitados.

Conforme o *Guidance Material and Best Practices for Inventory Management* da IATA (2015), o adequado provisionamento de estoque garante uma cobertura apropriada para a continuidade de operação de um sistema na ocorrência de um evento de manutenção que exija um componente de substituição, sendo que tais eventos podem ocorrer em virtude de uma falha, dano ou manutenção programada.

Ainda segundo o *Guidance Material and Best Practices for Inventory Management* da IATA (2015), existe um grande número de métricas que podem ser utilizadas para quantificar o desempenho de um determinado estoque, entre elas estão a quantidade de solicitações atendidas por um item, que está relacionada com o *Fill Rate*, e a quantidade de pedidos não atendidos (*Backorders*). O *Fill Rate* corresponde à probabilidade de uma demanda por um determinado item ser atendida imediatamente e *Backorder* pode ser entendido como sendo um pedido não atendido em um dado momento.

O nível de estoque de um item para atingir um determinado *Fill Rate*, considerando um processo de Poisson para a modelagem da demanda pelo item, pode ser calculado por meio da equação (1) a seguir.

$$FillRate = P(X \leq S) = e^{-m} \sum_{i=0}^S \frac{(m)^i}{i!} \quad (1)$$

Onde  $m$  corresponde à demanda média referente a um determinado intervalo de tempo, podendo ser expressa pelo produto da taxa de falha pelo respectivo tempo, e  $S$  é o tamanho do estoque do item para atingir o *Fill Rate* estipulado.

Considerando ainda que a demanda por um item seja modelada por um processo de Poisson, o número esperado de pedidos não atendidos (*Expected Backorders* – EBO) para um nível de estoque  $S$  desse item é dado de acordo com a equação (2).

$$EBO(S) = \sum_{i=S}^{\infty} (i - S)P(X = i) \quad (2)$$

Ainda conforme a IATA (2015), existem vários parâmetros que podem servir como entradas no processo de gerenciamento de estoques, sendo que o nível de inventário de peças de reposição de um sistema deve ser dimensionado utilizando tais fatores. Os elementos a serem utilizados nesse dimensionamento depende da abordagem e da metodologia adotada para o cálculo. Os parâmetros de entrada relevantes incluem, mas não se limitam a: tempo necessário para que um componente retorne de um serviço (*Turn Around Time* - TAT); e taxa de falha.

## 2.2 A ABORDAGEM POR ITEM E A ABORDAGEM SISTÊMICA NO DIMENSIONAMENTO DOS NÍVEIS DE ESTOQUES

### 2.2.1 Abordagem item a item

Segundo Sherbrooke (2004), tradicionalmente o cálculo para determinar os níveis de estoque de componentes é realizado por meio da abordagem por item. Nesta abordagem o cálculo do nível de estoque de um determinado item desconsidera a existência dos outros componentes que constituem o sistema e o desempenho do sistema como um todo, tendo como dado de entrada no processo decisório a medida de performance do estoque do item, correspondente ao *Fill Rate*. Portanto, na abordagem por item o dimensionamento de estoque pode ser baseado na definição de um determinado *Fill Rate* para cada item considerado, onde o foco do desempenho do nível do inventário é isolado para cada componente separadamente.

Sherbrooke (2004) ainda afirma que na abordagem por item a disponibilidade e o investimento não são fatores considerados no processo decisório, podendo levar a resultados ineficientes, atingindo baixos valores de disponibilidade ou altos investimentos inapropriados.

### 2.2.2 Abordagem sistêmica

Sherbrooke (2004) afirma que na abordagem sistêmica a meta de investimento e a disponibilidade são dados de entrada no processo decisório. O cálculo de níveis de estoque através da abordagem sistêmica considera os componentes do sistema simultaneamente, realizando um processo de cálculo multi-item.

De acordo com Sherbrooke (2004), na abordagem por sistema é gerada uma curva de custo versus disponibilidade otimizada, em que qualquer ponto abaixo dessa curva corresponde a um cenário ineficiente onde é possível obter um ponto com disponibilidade maior tendo o mesmo custo ou um investimento menor para atingir a mesma disponibilidade. Sherbrooke (2004) ainda propõe que a obtenção da curva otimizada da abordagem sistêmica é realizada por meio da resolução de uma sequência de problemas de abordagem por item, na qual cada ponto da curva é obtido por meio da solução de cada problema para um conjunto de parâmetros. Basicamente, são adicionados sequencialmente itens ao estoque e em cada ponto o incremento de um componente ao inventário é realizado de acordo com o maior ganho de disponibilidade do sistema para o ponto da curva correspondente, obtendo desta forma a curva otimizada em que para cada custo é fornecida uma configuração de estoque que maximiza a disponibilidade.

Vasconcelos (2022) compara a abordagem sistêmica com a abordagem por item, verificando que essa conduz a resultados ineficientes quando comparada com aquela, no tocante a relações de custo-benefício para o desempenho do sistema.

Conforme Vasconcelos (2022), para a abordagem sistêmica um fator fundamental é o *Expected Backorders* (EBO), pois o problema de otimização que tem por objetivo a maximização da disponibilidade pode ser tratado como um problema de minimização do somatório de pedidos não atendidos para o sistema.

Portanto, a formulação do problema na abordagem por sistema corresponde em minimizar a função objetivo dada pelo somatório dos valores de EBO de cada item considerado, ou seja, reduzir ao máximo o valor esperado de pedidos não atendidos do sistema, o que corresponde a maximizar a disponibilidade.

Para um sistema com I componentes distintos e considerando um determinado estoque desses itens, a disponibilidade pode ser obtida pela seguinte equação dada por Sherbrooke (2004):

$$A = \prod_{i=1}^I \left( 1 - \frac{EBO(S_i)}{N * Z_i} \right)^{Z_i} \quad (3)$$

Pela equação (3), a disponibilidade do sistema é influenciada pelo valor esperado de pedidos não atendidos (EBO) de cada componente reparável associado ao seu respectivo estoque de giro ( $S_i$ ), pela quantidade total de aeronaves ( $N$ ) e pela quantidade por aeronave de cada item ( $Z_i$ ). É possível observar que a disponibilidade do sistema é tanto maior quanto menores forem os valores de EBO dos itens.

A abordagem sistêmica é utilizada no *software* OPUS10 para o dimensionamento do estoque de componentes, sendo necessária a definição dos itens que compõe o sistema para a análise e a obtenção de dados referentes aos itens (como preço e taxa de falha) e características da estrutura de suporte logístico.

### 2.3 O CONCEITO DE DISPONIBILIDADE

Segundo Blanchard (2014), a disponibilidade é usualmente utilizada como uma medida de prontidão de um sistema, ou seja, a probabilidade de o sistema estar disponível quando requerido para ser usado. Desta forma, a disponibilidade está associada ao tempo em que um sistema está pronto para operar, conhecido como *Uptime*, e com o tempo total considerado, que engloba o período que o sistema está parado para realizar alguma ação de manutenção (chamado de *Downtime*), de acordo com a equação (4).

$$A = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime} \quad (4)$$

Blanchard (2014) também afirma que a confiabilidade pode ser entendida como sendo a probabilidade de o sistema ter um desempenho satisfatório por um dado período quando utilizado sob condições de operação especificadas e a manutenibilidade refere-se à facilidade na realização de ações de manutenção. Desta forma, percebe-se que a disponibilidade é influenciada diretamente pelas propriedades de confiabilidade, que pode ser expressa por meio de um parâmetro que indique o quanto o sistema opera até que seja retirado para manutenção, e de manutenibilidade, expressa por fatores que apontem o período necessário para a realização de manutenções.

### 2.4 CONCEITO DE TAXA DE FALHA

Segundo Pinto e Xavier (2007), a taxa de falha é uma razão entre o número de falhas de um item e o seu tempo de operação correspondente. Considerando então um conjunto de unidades de um mesmo componente, a taxa de falha pode ser expressa pela divisão do número total de falhas pela quantidade total de tempo de operação, conforme equação (5) abaixo.

$$Taxa\ de\ falha = \frac{Número\ de\ falhas}{Tempo\ de\ operação} \quad (5)$$

Blanchard (2014) propõe que a unidade de medida para a taxa de falha pode ser dada em falhas por hora, porcentagem de falhas a cada 1000 horas ou número de falhas por milhão de horas.

O conceito de taxa de falha é um dos fatores que influenciam no dimensionamento de estoques em todos os tipos de abordagem, tendo em vista que esse parâmetro contribui para a estimativa de demanda por um item recuperável de um determinado sistema, referente à necessidade de troca em virtude de uma falha.

## 2.5 O SOFTWARE OPUS10

Segundo Vasconcelos (2022), o *software* OPUS10 foi desenvolvido pela empresa sueca Systecon e é aplicado em problemas de otimização sistêmica de sobressalentes e análises de suporte logístico, auxiliando no processo de tomada de decisão relativa às quantidades de itens a serem adquiridos e locais de armazenagem correspondentes, propondo uma configuração de distribuição de inventário entre os elos que constituem a estrutura do suporte logístico para a obtenção dos melhores níveis de disponibilidade do sistema.

Ainda de acordo com Vasconcelos (2022), a modelagem matemática utilizada pelo OPUS10 é baseada no METRIC (*Multi-Echelon Technique for Recoverable Item Control*), o qual é capaz de determinar os níveis de estoque para um grupo de itens recuperáveis de um sistema em uma estrutura de suporte logístico multiescalão. Neste modelo é realizado o cálculo do estoque de cada um dos componentes em cada elo da estrutura do suporte logístico que admita inventário, tais como bases aéreas e os centros de manutenção.

Conforme descrito por Ballou (2006), no gerenciamento de estoques cada nível de disponibilidade pode ser atingido com diferentes níveis de inventário, buscando-se atingir o custo mínimo associado para cada grau de disponibilidade. Na modelagem do OPUS10 um item é adicionado ao estoque conforme a relação custo-benefício seja a melhor em cada ponto, gerando o maior ganho de disponibilidade para cada incremento de custo ao suporte logístico.

O OPUS10 pode ser empregado para diversos tipos de análises, tais como comparação entre diferentes estruturas de suporte logístico (alterando características como esforço aéreo, quantidade de aeronaves, disposição e número de bases aéreas) e análises de sensibilidade referente a parâmetros como taxa de falha e tempo de reparo. Cabe destacar ainda que apesar de realizar uma abordagem sistêmica para o problema de otimização de sobressalentes, conforme é proposto por Marangon (2019), o *software* OPUS10 pode fornecer outros relatórios de performance, incluindo parâmetros de desempenho do estoque de cada item isolado.

No caso em que já exista um inventário inicial de itens referente ao sistema, o *software* pode ser utilizado em análises de redistribuição e recompletamento de estoques. Sousa Filho (2018) analisa a otimização da disponibilidade de uma frota de aeronaves por meio da redistribuição do estoque existente de itens reparáveis no âmbito da FAB, utilizando o OPUS10, em que a redistribuição sugerida pelo *software* levou a um aumento de disponibilidade em 32,3%. Enquanto a redistribuição aborda o caso em que já existe um inventário inicial distribuído entre os elos do suporte logístico e se deseja realizar uma reorganização desse estoque inicial para maximizar a disponibilidade sem adquirir mais itens, o recompletamento é um tipo de análise para a obtenção de mais itens a serem adicionados ao estoque inicial no intuito de atingir novos níveis de disponibilidade. Essas duas análises podem ser realizadas simultaneamente, no que é chamado de *reall-replenishment* (realocação com recompletamento simultâneo).

## 3 MATERIAL E MÉTODO

Conforme salientou-se na introdução, foram analisados os efeitos do dimensionamento do estoque de itens reparáveis na disponibilidade da frota de aeronaves VANT e o impacto do elevado TAT dos serviços contratados. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica, conteúdo do tópico anterior, para abordar os conceitos teóricos relacionados ao assunto.

Para atingir o objetivo supracitado foi feita uma pesquisa de campo, pois realizou-se uma coleta de dados referentes à frota de aeronaves VANT e sobre os itens reparáveis do projeto. Quanto à finalidade a pesquisa se enquadra como aplicada, uma vez que o estudo tem o objetivo de gerar conhecimento direcionado a um problema específico. Em relação à natureza, a pesquisa foi quantitativa, pois foi feita uma coleta de dados numéricos para quantificar os parâmetros de entrada da modelagem realizada. exploratória.

A coleta de dados de falhas foi realizada por meio das Fichas de Coleta de Dados de Defeito (FCDDs) obtidos do Sistema Integrado de Logística de Material e Serviços (*software* de gerenciamento logístico da FAB - SILOMS). Os dados históricos de utilização das aeronaves e tempos de manutenção dos reparáveis, bem como os tempos de transporte entre as bases aéreas, PAMA-SP e oficinas externas também foram obtidos através do SILOMS. Foram determinadas as taxas de falha dos itens reparáveis (por meio do quantitativo de falhas de cada item da aeronave e do esforço aéreo correspondente ao período considerado para a análise), os tempos médios de reparo correspondentes e os tempos de manutenção preventiva, bem como os intervalos entre as tarefas de manutenção estabelecidos no programa de manutenção do projeto. De posse desses dados coletados foi realizado o tratamento dos mesmos, para a eliminação de dados incoerentes e irrelevantes, e, posteriormente, feita então a modelagem do suporte logístico considerando a abordagem sistêmica, no *software* OPUS10, para dimensionamento e análises de gerenciamento de estoques.

Os itens selecionados para a análise e os respectivos preços são dispostos na tabela 1 abaixo. Existem alguns componentes que são comuns aos dois tipos de aeronaves, ou seja, pertencem tanto ao RQ-900 quanto ao RQ-1150, conforme é descrito na própria tabela 1. Os valores dos itens foram obtidos, em reais, por meio do SILOMS.

| Tabela 1 – Relação de reparáveis e seus respectivos valores |              |                                  |
|-------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|
| COMPONENTE                                                  | PREÇO (R\$)  | OBSERVAÇÃO                       |
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>                                      | 1.140.829,43 | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>                                      | 17.900,00    | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>CENTRAL COMPUTER</b>                                     | 427.307,62   | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>BATERIA DO RQ-900</b>                                    | 45.606,49    | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>POWER SUPPLY</b>                                         | 173.665,40   | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>MULTIBAND TRANSCEIVER</b>                                | 145.521,75   | <b>Pertence ao RQ-900</b>        |
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>                                     | 1.483.791,54 | <b>Pertence ao RQ-1150</b>       |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b>                                   | 11.376,15    | <b>Pertence ao RQ-1150</b>       |
| <b>MCPA</b>                                                 | 683.543,70   | <b>Pertence ao RQ-1150</b>       |
| <b>SERVO ACTUATOR</b>                                       | 120.898,95   | <b>Pertence ao RQ-900 e 1150</b> |
| <b>CARBURATOR</b>                                           | 206.643,60   | <b>Pertence ao RQ-900 e 1150</b> |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>                                     | 123.757,51   | <b>Pertence ao RQ-900 e 1150</b> |

Fonte: o autor (2023).

O histórico de esforço aéreo das aeronaves RQ-900 e RQ-1150 foi obtido por meio do SILOMS módulo Indicadores Gerenciais, no qual se considerou os anos de 2021, 2022 e 2023 (até o mês de junho). Na tabela 2 são apresentados esses dados de operação em horas de voo das respectivas aeronaves em cada ano.

Tabela 2 – Histórico do esforço aéreo em horas de voo

| ANO          | RQ-900          | RQ-1150       |
|--------------|-----------------|---------------|
| 2021         | 350,5 hv        | 53,5 hv       |
| 2022         | 362,2 hv        | 225,7 hv      |
| 2023         | 144,2 hv        | 32,8 hv       |
| <b>TOTAL</b> | <b>856,9 hv</b> | <b>312 hv</b> |

Fonte: o autor (2023).

### 3.1 PLANO DE MANUTENÇÃO

As manutenções programadas dos itens reparáveis das aeronaves VANT foram consideradas, bem como os tempos limites de vida (TLV) dos que possuem. No tocante às manutenções programadas, considerou-se apenas as intervenções de revisão geral dos componentes, pois trata-se da atividade de manutenção programada de maior relevância. Os intervalos entre revisão geral (*Time Between Overhaul* – TBO) foram obtidos do Plano de Manutenção vigente para o projeto, assim como os TLV dos itens quando aplicável.

A tabela 3 a seguir apresenta as informações referentes ao plano de manutenção do VANT, onde o TBO e o TLV são dados em horas de operação ou tempo calendário. Os itens reparáveis que não constam na tabela 3 são os que não possuem TLV e nem TBO.

Tabela 3 – Informações referentes ao plano de manutenção

| COMPONENTE                | TBO        | TLV       |
|---------------------------|------------|-----------|
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>    | 900 horas  |           |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>    |            | 200 horas |
| <b>MULTIBAND</b>          | 3 anos     |           |
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>   | 900 horas  |           |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b> |            | 10 anos   |
| <b>CARBURATOR</b>         | 200 horas  |           |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>   | 1200 horas |           |

Fonte: o autor (2023).

### 3.2 OBTENÇÃO DAS TAXAS DE FALHA DOS ITENS

Os dados de falha dos componentes foram obtidos das FCDDs do SILOMS, as quais foram tratadas para eliminar dados repetidos e dados irrelevantes, tais como panes que não caracterizam uma falha e FCDDs que registrem uma manutenção programada. Os dados de tempos de operação correspondentes foram extraídos também do SILOMS, conforme tabela 1, por meio do módulo de Indicadores Gerenciais.

De posse dos dados de falha (quantidades de falhas de cada item) e dos dados de tempo de operação, as taxas de falha dos componentes foram obtidas utilizando a equação (5), onde considerou-se a premissa de taxa de falha constante. Os valores de taxa de falha mostrados na tabela 4 estão em número de falhas por milhões de horas de operação (1/MOPH).

| Tabela 4 – Taxas de falha dos itens |               |
|-------------------------------------|---------------|
| COMPONENTE                          | TAXA DE FALHA |
| MOTOR DO RQ-900                     | 3422,2        |
| W43 EGT HARNESS                     | 686,4         |
| CENTRAL COMPUTER                    | 1167,1        |
| BATERIA DO RQ-900                   | 1167,1        |
| POWER SUPPLY                        | 1167,1        |
| MULTIBAND TRANSCEIVER               | 2334,2        |
| MOTOR DO RQ-1150                    | 3422,2        |
| BATERIA DO RQ-1150                  | 3205,1        |
| MCPA                                | 6410,3        |
| SERVO ACTUATOR                      | 5133,3        |
| CARBURATOR                          | 855,6         |
| PROPELLER PUSHER                    | 855,6         |

Fonte: o autor (2023).

Com os dados obtidos para inserção no OPUS10, a modelagem do suporte logístico foi realizada no *software* e foram feitas as análises de estoque dos itens reparáveis do sistema. Os resultados adquiridos são os apresentados no próximo tópico.

#### 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O suporte logístico do projeto VANT pode ser modelado no OPUS10 por meio de uma estrutura de três escalões, consistindo nas bases aéreas, onde considerou-se que o Operador está na própria base devido à proximidade, no PAMA-SP e as empresas externas que realizam os serviços contratados, consideradas como oficinas externas. As quantidades e variantes de aeronaves operadas nas bases aéreas e o esforço aéreo previsto correspondente de cada tipo de aeronave foram obtidos do SILOMS módulo Indicadores Gerenciais.

Os tempos de transporte entre as bases aéreas e o PAMA-SP e entre as oficinas externas e as bases aéreas ou PAMA-SP são apresentados na tabela 5.

| Tabela 5 – Tempos de transporte entre as estações |                     |              |
|---------------------------------------------------|---------------------|--------------|
| ORIGEM                                            | DESTINO             | TEMPO (DIAS) |
| BASM                                              | PAMASP              | 19           |
| PAMASP                                            | BASM                | 12           |
| BASC                                              | PAMASP              | 14           |
| PAMASP                                            | BASC                | 13           |
| OFICINAS EXTERNAS                                 | PAMA e BASES AÉREAS | 70           |

Fonte: o autor (2023).

O estoque existente dos itens reparáveis das aeronaves VANT foram obtidas também do SILOMS e é mostrado na tabela 6, com a respectiva distribuição entre as bases aéreas e o PAMA.

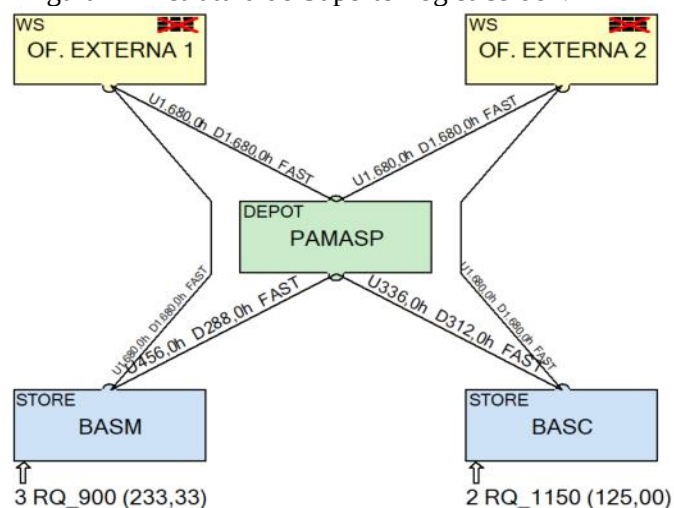
Tabela 6 – Estoque existente de reparáveis e sua distribuição

| COMPONENTE            | PAMA-SP | BASM | BASC |
|-----------------------|---------|------|------|
| MOTOR DO RQ-900       | 0       | 1    | 0    |
| W43 EGT HARNESS       | 0       | 2    | 0    |
| CENTRAL COMPUTER      | 0       | 1    | 0    |
| BATERIA DO RQ-900     | 0       | 0    | 0    |
| POWER SUPPLY          | 0       | 0    | 0    |
| MULTIBAND TRANSCEIVER | 0       | 0    | 0    |
| MOTOR DO RQ-1150      | 0       | 0    | 1    |
| BATERIA DO RQ-1150    | 0       | 0    | 0    |
| MCPA                  | 0       | 0    | 0    |
| SERVO ACTUATOR        | 0       | 5    | 5    |
| CARBURATOR            | 1       | 0    | 1    |
| PROPELLER PUSHER      | 0       | 1    | 0    |

Fonte: o autor (2023).

A estrutura do suporte logístico modelada no OPUS10 está esquematizada na figura 1 abaixo. Como os itens são enviados para as oficinas externas diretamente das bases aéreas, então existe uma conexão direta entre essas estações do suporte logístico.

Figura 1 – Estrutura do Suporte Logístico do VANT



Fonte: o autor (2023).

A primeira análise realizada com o auxílio do *software* OPUS10 foi avaliar qual o nível de disponibilidade a frota de aeronaves VANT possui em virtude do estoque atual existente de itens

reparáveis, conforme a configuração constante na tabela 6. Como resultado, obteve-se um valor de disponibilidade de 32,35%.

A tabela 7 apresenta os valores de *Fill Rate* associados a cada componente nas bases aéreas referente ao nível de estoque existente, extraídos de relatório que o próprio OPUS10 disponibiliza.

Tabela 7 – Valores de *Fill Rate* para o estoque inicial

| COMPONENTE         | BASM   | BASC   |
|--------------------|--------|--------|
| MOTOR DO RQ-900    | 22,25% | -      |
| W43 EGT HARNESS    | 97,74% | -      |
| CENTRAL COMPUTER   | 72,28% | -      |
| BATERIA DO RQ-900  | 0%     | -      |
| POWER SUPPLY       | 0%     | -      |
| MULTIBAND          | 0%     | -      |
| MOTOR DO RQ-1150   | -      | 59,73% |
| BATERIA DO RQ-1150 | -      | 0%     |
| MCPA               | -      | 0%     |
| SERVO ACTUATOR     | 98,46% | 99,98% |
| CARBURATOR         | 0%     | 91,76% |
| PROPELLER PUSHER   | 66,30% | 0%     |

Fonte: o autor (2023).

Outro aspecto merecedor de uma análise é a realocação do estoque existente para aumentar a disponibilidade da frota sem a aquisição de nenhum outro componente para o inventário. Foi obtido um ganho de 3,88% de disponibilidade sem nenhum custo adicional, o que equivale a um ganho percentual de aproximadamente 12%. A tabela 8 a seguir mostra a comparação entre os valores de disponibilidade obtidos para o cenário inicial e para a realocação do estoque existente, bem como o custo de investimento associado, o qual corresponde ao custo para a aquisição dos reparáveis.

Tabela 8 – Ganho de disponibilidade com realocação do estoque existente

| CENÁRIO                             | DISPONIBILIDADE | CUSTO DE INVESTIMENTO (R\$) |
|-------------------------------------|-----------------|-----------------------------|
| INICIAL                             | 32,35%          | 4.792.880,00                |
| REALOCAÇÃO                          | 36,23%          |                             |
| GANHO PERCENTUAL DE DISPONIBILIDADE |                 | 12%                         |

Fonte: o autor (2023).

A configuração de estoque dos itens reparáveis sugerida pelo OPUS10 por meio da realocação do inventário existente é a mostrada na tabela 9, na qual é destacada a alteração correspondente na alocação dos itens.

Tabela 9 – Configuração de estoque pela realocação comparada à configuração inicial

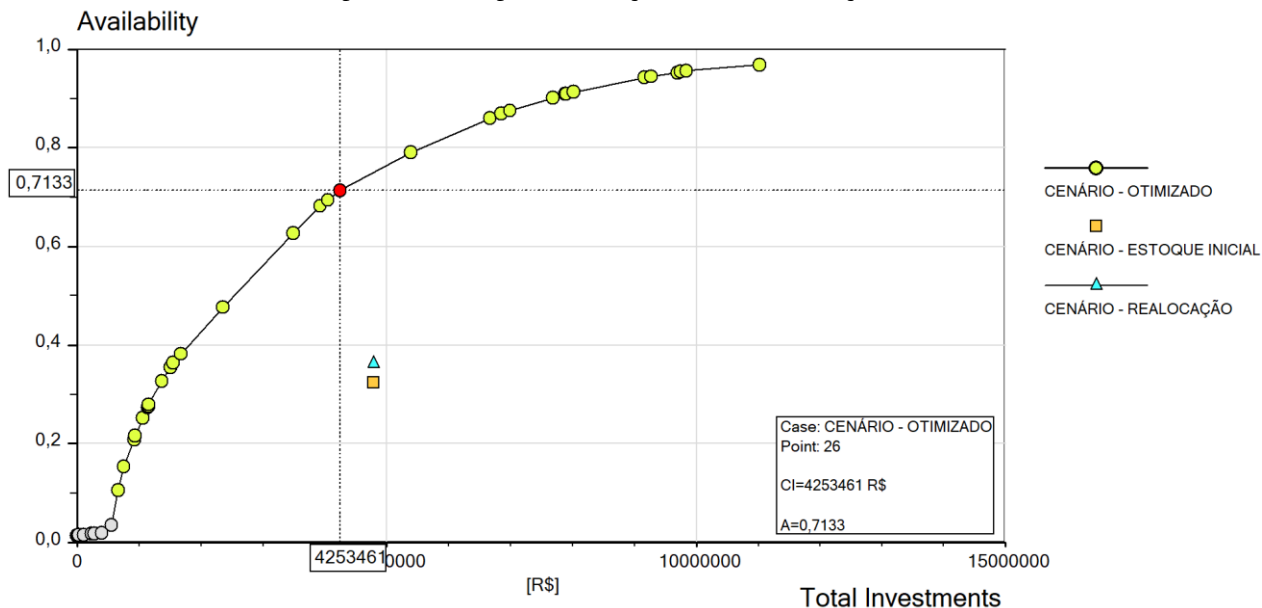
| COMPONENTE | INICIAL | REALOCAÇÃO |
|------------|---------|------------|
|------------|---------|------------|

|                              | PAMA- | BASM | BAS | PAMA-SP | BASM   | BASC   |
|------------------------------|-------|------|-----|---------|--------|--------|
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>       | 0     | 1    | 0   | 0       | 1      | 0      |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>       | 0     | 2    | 0   | 0       | 2      | 0      |
| <b>CENTRAL COMPUTER</b>      | 0     | 1    | 0   | 0       | 1      | 0      |
| <b>BATERIA DO RQ-900</b>     | 0     | 0    | 0   | 0       | 0      | 0      |
| <b>POWER SUPPLY</b>          | 0     | 0    | 0   | 0       | 0      | 0      |
| <b>MULTIBAND TRANSCEIVER</b> | 0     | 0    | 0   | 0       | 0      | 0      |
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>      | 0     | 0    | 1   | 0       | 0      | 1      |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b>    | 0     | 0    | 0   | 0       | 0      | 0      |
| <b>MCPA</b>                  | 0     | 0    | 0   | 0       | 0      | 0      |
| <b>SERVO ACTUATOR</b>        | 0     | 5    | 5   | 0       | 6 (+1) | 4 (-1) |
| <b>CARBURATOR</b>            | 1     | 0    | 1   | 0 (-1)  | 1 (+1) | 1      |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>      | 0     | 1    | 0   | 0       | 1      | 0      |

Fonte: o autor (2023).

Por outro lado, conforme apresentado no gráfico 1, comparando com a curva de custo por disponibilidade otimizada fornecida pelo *software*, pode-se observar um potencial ganho de disponibilidade caso fosse adotada a abordagem sistêmica para o dimensionamento do estoque a ser adquirido, considerando um mesmo custo de investimento. Cabe destacar que os gráficos das figuras a seguir apresentam a disponibilidade em função dos custos de investimento.

Gráfico 1 – Níveis de disponibilidade para o estoque existente, estoque realocado e curva otimizada



Fonte: o autor (2023).

Com um custo total de investimento de R\$ 4.253.461,00 seria possível obter uma disponibilidade de 71,33%, ou seja, um acréscimo de 38,98% na disponibilidade em relação ao nível correspondente atingido com o estoque existente e tendo ainda um custo de R\$ 539.419,00 a menos, sendo necessária a configuração de estoque mostrada na tabela 10.

Tabela 10 – Configuração de estoque para o ponto da curva otimizada comparada à configuração inicial

| COMPONENTE                   | INICIAL |      |     | CURVA OTIMIZADA |        |        |
|------------------------------|---------|------|-----|-----------------|--------|--------|
|                              | PAMA-SP | BASM | BAS | PAMA-SP         | BASM   | BASC   |
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>       | 0       | 1    | 0   | 0               | 1      | 0      |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>       | 0       | 2    | 0   | 0               | 2      | 0      |
| <b>CENTRAL COMPUTER</b>      | 0       | 1    | 0   | 0               | 1      | 0      |
| <b>BATERIA DO RQ-900</b>     | 0       | 0    | 0   | 0               | 2 (+2) | 0      |
| <b>POWER SUPPLY</b>          | 0       | 0    | 0   | 0               | 1 (+1) | 0      |
| <b>MULTIBAND TRANSCEIVER</b> | 0       | 0    | 0   | 0               | 2 (+2) | 0      |
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>      | 0       | 0    | 1   | 0               | 0      | 0 (-1) |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b>    | 0       | 0    | 0   | 0               | 0      | 2 (+2) |
| <b>MCPA</b>                  | 0       | 0    | 0   | 0               | 0      | 1 (+1) |
| <b>SERVO ACTUATOR</b>        | 0       | 5    | 5   | 0               | 4 (-1) | 2 (-3) |
| <b>CARBURATOR</b>            | 1       | 0    | 1   | 0 (-1)          | 1 (+1) | 1      |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>      | 0       | 1    | 0   | 0               | 2 (+1) | 1 (+1) |

Fonte: o autor (2023).

Importante observar que embora para o estoque existente os valores de *Fill Rate* estejam acima de 50% para alguns reparáveis, conforme a tabela 7, o nível de disponibilidade do sistema está muito abaixo do valor otimizado. Tal resultado ocorre tendo em vista que há itens com alta taxa de falha que possuem estoque zero, impactando negativamente na disponibilidade do sistema.

A tabela 11 a seguir ilustra a diferença entre os valores de *Fill Rate* obtidos para o estoque existente e para o ponto da curva otimizada do gráfico 1.

Tabela 11 – Comparação entre os valores de *Fill Rate* para o estoque inicial e otimizado

| COMPONENTE                | EXISTENTE |        | OTIMIZADO |        |
|---------------------------|-----------|--------|-----------|--------|
|                           | BASM      | BASC   | BASM      | BASC   |
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>    | 22,25%    | -      | 31,06%    | -      |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>    | 97,74%    | -      | 97,74%    | -      |
| <b>CENTRAL COMPUTER</b>   | 72,28%    | -      | 72,28%    | -      |
| <b>BATERIA DO RQ-900</b>  | 0%        | -      | 95,74%    | -      |
| <b>POWER SUPPLY</b>       | 0%        | -      | 72,28%    | -      |
| <b>MULTIBAND</b>          | 0%        | -      | 86,03%    | -      |
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>   | -         | 59,73% | -         | 0%     |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b> | -         | 0%     | -         | 95,89% |
| <b>MCPA</b>               | -         | 0%     | -         | 52,90% |
| <b>SERVO ACTUATOR</b>     | 98,46%    | 99,98% | 94,31%    | 90,67% |
| <b>CARBURATOR</b>         | 0%        | 91,76% | 78,59%    | 91,75% |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>   | 66,30%    | 0%     | 94,60%    | 86,64% |

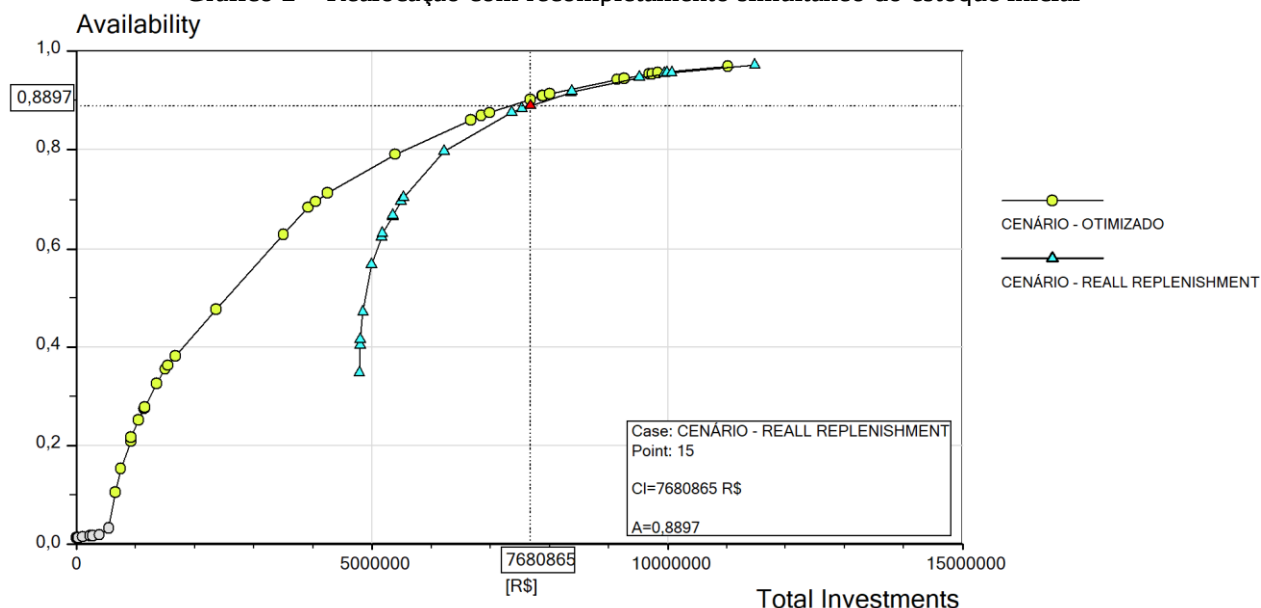
Fonte: o autor (2023).

Um aspecto a ser destacado é que a métrica de desempenho do estoque de itens isolados não é a melhor metodologia de gerenciamento de estoques quando o foco da análise é a performance do sistema como um todo, fato que é corroborado quando se observa que o *Fill Rate* de alguns componentes reparáveis é menor no ponto otimizado quando comparado com o respectivo valor associado ao estoque existente, conforme pode ser visto na tabela 11 para o motor do RQ-1150 e para o *servo actuator* para as duas variantes do VANT. Desta forma, pode-se afirmar que a abordagem por item leva a resultados ineficientes, atingindo baixos níveis de disponibilidade e altos custos de investimento.

Mais um resultado que chama atenção é a inexistência de estoque dos itens reparáveis no PAMA-SP para o ponto da curva otimizada fornecida pelo OPUS10, de acordo com a tabela 10. Como os itens podem ser induzidos diretamente das bases aéreas para as oficinas externas e os serviços são realizados nessas empresas, espera-se que a existência de inventário no PAMA apenas atrase o tempo de atendimento a pedidos de componentes nas bases aéreas, ou seja, o tempo de *downtime* correspondente seria maior.

Com base na análise de realocação com repletamento simultâneo a partir do estoque inicial existente, o OPUS10 forneceu a curva mostrada no gráfico 2. Partindo da situação atual é possível se aproximar da curva otimizada com um custo de investimento total para aquisição de itens reparáveis em torno de R\$ 7.680.865,00, já considerando o custo referente à aquisição do estoque inicial, atingindo um valor de 88,97% de disponibilidade. O custo adicional de investimento para atingir o ponto supracitado é de R\$ 2.887.985,00, equivalente a 60% do custo de investimento já existente, tendo um acréscimo de 56,62% na disponibilidade em relação ao cenário inicial, que equivale a um aumento em torno de 2,75 vezes.

Gráfico 2 – Realocação com repletamento simultâneo do estoque inicial



Fonte: o autor (2023).

A tabela 12 mostra quais itens e em qual ordem devem ser adquiridos para se atingir o ponto de 88,97% de disponibilidade a partir do repletamento do estoque inicial, correspondente ao ponto do gráfico 2. Os componentes foram dispostos em ordem decrescente de preço nessa tabela.

Tabela 12 – Sequência de aquisição de reparáveis para recompletamento do estoque

| COMPONENTE                | PREÇO (R\$)  | INICIAL | ADICIONADO | SEQUÊNCIA   |
|---------------------------|--------------|---------|------------|-------------|
| <b>MOTOR DO RQ-1150</b>   | 1.483.791,54 | 1       |            |             |
| <b>MOTOR DO RQ-900</b>    | 1.140.829,43 | 1       | 1          | 11°         |
| <b>MCPA</b>               | 683.543,70   | 0       | 1          | 10°         |
| <b>CENTRAL COMPUTER</b>   | 427.307,62   | 1       |            |             |
| <b>CARBURATOR</b>         | 206.643,60   | 2       |            |             |
| <b>POWER SUPPLY</b>       | 173.665,40   | 0       | 2          | 4°; 12°     |
| <b>MULTIBAND</b>          | 145.521,75   | 0       | 3          | 3°; 8°; 13° |
| <b>PROPELLER PUSHER</b>   | 123.757,51   | 1       | 2          | 6°; 7°      |
| <b>SERVO ACTUATOR</b>     | 120.898,95   | 10      |            |             |
| <b>BATERIA DO RQ-900</b>  | 45.606,49    | 0       | 2          | 2°; 9°      |
| <b>W43 EGT HARNESS</b>    | 17.900,00    | 2       |            |             |
| <b>BATERIA DO RQ-1150</b> | 11.376,15    | 0       | 2          | 1°; 5°      |

Fonte: o autor (2023).

Pode-se observar que os itens com maior preço são as últimas prioridades de aquisição para o estoque, sendo adicionados sequencialmente os componentes que possuem menor preço e maior impacto na disponibilidade.

Em suma, o valor da disponibilidade da frota de aeronaves VANT com a configuração atual de estoque existente corresponde a 32,35%, sendo possível obter um ganho percentual de aproximadamente 12% na disponibilidade com a realocação desse estoque vigente. Com um custo de investimento menor que o atual, tendo uma economia de R\$ 539.419,00, seria possível obter uma disponibilidade de um pouco mais de 71%, caso fosse adquirida a relação de reparáveis sugerida pelo OPUS10 no ponto da curva otimizada. Por fim, é possível obter uma disponibilidade de 88,97% para o sistema com um custo de investimento adicional de R\$ 2.887.985,00, a partir da realocação e recompletamento do estoque existente, aproximando-se da curva otimizada.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito deste trabalho foi aplicar a abordagem sistêmica de gerenciamento de estoques para analisar a influência dos níveis de estoque de itens reparáveis e sua alocação na FAB sobre a disponibilidade das aeronaves VANT.

O nível ótimo de disponibilidade das aeronaves VANT em virtude do estoque de reparáveis existente atualmente é de 32,35%, tendo um custo de investimento equivalente a R\$ 4.792.880,00. Apesar do baixo valor de disponibilidade, foi observado que os valores de *Fill Rate* referentes ao estoque atual de alguns dos componentes estão acima de 90%, indicando que há alguns itens em quantidade aquém da necessária e outros com um estoque superdimensionado.

O estudo evidenciou que a realocação do estoque existente sugerida pelo OPUS10 ocasiona um ganho percentual de 12% na disponibilidade ótima atual. Isto evidencia que uma lista de aprovisionamento de itens pode resultar em diferentes valores de disponibilidade do sistema dependendo da sua alocação entre os elos da estrutura de suporte logístico, o que pode ser explicado

pelos tempos de transporte entre as estações. Deste modo, verificou-se a possibilidade de aumento da disponibilidade sem a aquisição de novos itens reparáveis.

Outro aspecto relevante observado no estudo é que o ponto de custo de investimento por disponibilidade do cenário atual se encontra muito aquém do que se poderia atingir caso o sistema estivesse em um ponto da curva ótima fornecida pelo OPUS10. Pôde-se perceber que seria possível um acréscimo de 38,98% na disponibilidade e uma economia de R\$ 539.419,00 no custo de investimento em relação ao cenário atual caso a lista de itens adquiridas inicialmente fosse obtida com base na curva ótima do OPUS10, sendo que isso equivale a cerca de 11% do valor investido para o estoque existente. Com isso, o estudo revelou a importância de um modelo analítico, tal como o fornecido pelo OPUS10, que auxilie na tomada de decisão relativa ao dimensionamento de estoque a ser adquirido para o suporte logístico de uma frota de aeronave, tendo em vista a alta complexidade envolvida deste problema, possibilitando atingir melhores níveis de disponibilidade ou resultar em economias de recursos orçamentários.

Um terceiro achado é a possibilidade de elevação do nível de disponibilidade das aeronaves através do reabastecimento do estoque inicial. Para tanto, pôde-se observar que a aplicação de um custo de investimento adicional de R\$ 2.887.985,00 para a aquisição de mais reparáveis, que corresponde a um acréscimo de 60% do custo já investido no estoque existente, elevou o nível de disponibilidade das aeronaves VANT em 175% em relação ao cenário inicial. Uma importante inferência é que a solução de otimização da abordagem sistêmica propõe uma sequência de obtenção de itens reparáveis tal que a relação custo-benefício seja maximizada para cada incremento no custo de investimento, sendo que os itens mais baratos e que possuem maior impacto na disponibilidade são prioridades.

Este trabalho exige um maior aprofundamento em alguns aspectos, uma vez que se considerou apenas uma relação de itens reparáveis das aeronaves VANT e a única manutenção programada incluída no estudo foi a revisão geral (*Overhaul*) desses itens. Sendo assim, podem ser incluídos em um estudo futuro os itens consumíveis das aeronaves e as demais manutenções preventivas previstas. Também pode ser avaliada a possibilidade de alterar o tratamento de alguns reparáveis para serem considerados como consumíveis.

## REFERÊNCIAS

BALLOU, Ronald H. **Gerenciamento da Cadeia de Suprimentos/Logística Empresarial**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BLANCHARD, B.S. **Logistics Engineering and Management**. 6. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2014.

BRASIL. Comando da Aeronáutica. Diretoria de Material Aeronáutico e Bélico. **Manual de Manutenção Doutrina, Processos e Documentação de Manutenção: MCA 66-7**. Rio de Janeiro, 2017.

BRASIL. **MCA 400-15, Manual do Comando da Aeronáutica – Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Comando da Aeronáutica. Estado-Maior da Aeronáutica. Brasília, DF, 2006.

SOUSA FILHO, José Ossimar Almeida. **Dimensionamento de estoque de itens reparáveis e sua distribuição no âmbito da FAB utilizando ferramentas de confiabilidade**. 2018. 21 f. Trabalho apresentado no Curso de Especialização em Logística, UNIS, Guarulhos, 2018.

IATA, **Guidance Material and Best Practices for Inventory Management**, 2 ed, Montreal – Geneva, 2015.

IGAWA, M. **Otimização do suprimento de itens reparáveis para frotas de aeronaves**. 2006. 142 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

JACOBS, F. Robert; CHASE, Richard. **Operations and Supply Chain Management**. 14. ed. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2013.

MARANGON, Olívio Martini. **CLÁUSULA DE RECOMPRA: comparação das oportunidades com o uso do OPUS10**. 2019. 16 f. Trabalho apresentado no Curso de Especialização em Logística, UNIS, Guarulhos, 2019.

NUNES, Rogério da Silva. **Administração de Materiais**. 2. ed. Florianópolis: Departamento de Ciências da Administração – UFSC, 2013. Disponível em: [http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB\\_2011\\_1/Modulo\\_6/Adm\\_Materiais/material\\_didatico/Apostila%20-%20ADM%20Materiais%20UAB%202ed%20Final%20Grafica.pdf](http://arquivos.eadadm.ufsc.br/EaDADM/UAB_2011_1/Modulo_6/Adm_Materiais/material_didatico/Apostila%20-%20ADM%20Materiais%20UAB%202ed%20Final%20Grafica.pdf). Acesso em: 27 jul. 2023.

PINTO, A.K. e XAVIER, J.A.N. **Manutenção: Função Estratégica**. 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

SHERBROOKE, Craig C. **Optimal Inventory Modeling of Systems – Multi-EchelonTechnics**. 2. ed. Massachusetts: Kluwer Academics, 2004.

VASCONCELOS, Rafael Leonardo de Sena e. **Otimização multiescalão de estoques de itens reparáveis para a frota de aeronaves C-105 da Força Aérea Brasileira**. 2022. 21 f. Trabalho apresentado no Curso de Especialização em Logística, UNIS, Guarulhos, 2022.

WANKE, Peter F. **Gestão de Estoques na Cadeia de Suprimentos: Decisões e Modelos Quantitativos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.