Otimização do processo de planejamento de aquisição dos *Cartridge Actuated Devices e Propellant Actuated Devices*

Optimization of Cartridge Actuated Devices and Propellant Actuated Devices procurement planning process

William Henrique Inácio[1]
Rachel Andrade Ballardin[2]
Marcos Antonio do Valle Junior[3]

RESUMO

Este trabalho aborda o processo de planejamento de aquisição dos *Cartridge Actuated Devices (CAD) and Propellant Actuated Devices (PAD)* que integram os sistemas de emergência das aeronaves da Força Aérea. O estudo é justificado pela escassez de trabalhos acadêmicos existentes acerca de sua aquisição, da grande dependência de um único fabricante na aquisição desses itens e ao fato de o processo atual de planejamento não possuir uma política de gestão de estoques bem definida. A consequência é um processo suscetível a erros e com pouca capacidade de absorver imprevistos, como atrasos na entrega ou aumento de demanda. O objetivo deste trabalho é propor uma metodologia para gestão de estoques e planejamento de aquisição aplicável a esses itens críticos não reparáveis, controlados por tempo de vida, através da comparação de modelos de gestão de estoques existentes na literatura e simulação. Para isso, foram utilizados dados históricos das últimas aquisições de CAD PAD, extraídos de banco de dados da FAB, assim como metodologias de gestão de estoques conhecidas pela literatura e simulações do plano de aquisição em linguagem VBA. A análise demostrou considerável variabilidade de *lead time* na aquisição desses itens sendo, portanto, necessário considerar tal variabilidade na política de gestão de estoques. Através da simulação realizada foi evidenciado que a metodologia do Cálculo de Necessidades é a metodologia mais adequada para o planejamento da aquisição dos CAD PAD, dentre as analisadas.

Palavras-chave: CAD PAD. Gestão de Estoques. Planejamento de Aquisição.

[1] Pós-graduando em Logística pelo ILA – Instituto de Logística da Aeronáutica, Engenheiro Mecânico pelo CEFET-RJ. E-mail: inaciowhi@fab.mil.br.

[2] Doutora em Educação pela Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP/2016. Mestre em Engenharia Civil na área de concentração: Infraestrutura e gerência viária com ênfase em transportes pela Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC/2009. E-mail: ballardinchel@gmail.com.

[3] Mestre em Pesquisa Operacional Militar pela Cranfield University/2014. Pós-graduado em Logística pelo Instituto de Logística da Aeronáutica/2008. Bacharel em Engenharia Aeronáutica pelo Instituto Tecnológico da Aeronáutica/2004. E-mail: vallemavj@fab.mil.br

ABSTRACT

This work addresses the process of purchasing Cartridges Actuated Devices (CAD) and Propellants Actuated Devices (PAD) that integrate Air Force aircraft emergency systems. Such approach is needed due to the scarcity of academic studies about the CAD PAD acquisition process, greater dependence on few manufacturers and the fact of the current planning process does not encompass a well-defined inventory management policy. As a result, the process becomes susceptible to errors and not able to withstand unforeseen events, such as delivery delays or sudden increases in demand. The objective of this work is to propose a methodology for inventory management and purchase planning applicable to critical non-repairable items, controlled by the lifetime, using the comparison of existing inventory management models in literature through simulation. To achieve this goal, historical data from the latest CAD PAD purchases extracted from BAF database were used in addition to inventory management methodologies from literature and purchase plan simulations in VBA language. The analysis has shown considerable lead time variability, an important aspect to be considered in the inventory management policy. Through the performed simulation, it has been evidenced that the Requirements Calculations based on MRP are the most appropriate methodology for CAD PAD purchase planning, among the ones analyzed.
Keywords: CAD PAD. *Inventory Management. Acquisition planning*.

1 INTRODUÇÃO

Os *Cartridge Actuated Device (*CAD) *and Propellant Actuated Device (*PAD) são itens explosivos utilizados em diversos sistemas de emergência das aeronaves, destacando-se os sistemas para fuga dos tripulantes da aeronave em caso de emergência (ejeção) e sistemas de extinção de incêndio em voo.

Esses itens são consideravelmente heterogêneos em suas características logísticas, pois são utilizados em quantidades diferentes de acordo com a aeronave, possuem tempos de vida diferentes entre si, que variam de 4 (quatro) a 20 (vinte) anos de *shelf life* (tempo de vida em prateleira), tendo a vida útil reduzida ao serem instalados na aeronave, quando passam a ser controlados por tempo de vida em serviço. Outra característica importante desses itens é que, geralmente, são produzidos por um único fabricante e possuem longos tempos de entrega (*lead time*). Além disso, é importante mencionar que a falta desses itens causa indisponibilidade da aeronave e pode afetar diretamente a segurança de voo.

Este trabalho aborda o processo de planejamento de aquisição dos CAD PAD, regulamentado por Instrução do Comando da Aeronáutica, ICA 135-23 (BRASIL,2021), que considera os tempos de ação iguais para todos os CAD PAD, sem estabelecer claramente uma política de gestão para os estoques e cálculos para o planejamento de aquisição. Atualmente, não há utilização de dados históricos no sentido de refinar as previsões de demandas futuras e o estoque de segurança é fixo em 10% para todos os itens, conforme definido em Brasil (2021). Além disso, o processo não considera a variabilidade de tempos de entrega e de demanda e as previsões de necessidades são feitas de forma manual por cada operador. Esses aspectos, aliados à ausência de um modelo matemático para realizar a previsão de demanda e gestão dos estoques, torna o processo suscetível a erros e com pouca capacidade de absorver atrasos de entregas e variações de demanda.

Diante da escassez de estudos correlatos e de recentes rupturas de estoques ocorridas em diferentes projetos, é importante salientar a contribuição deste trabalho para o planejamento da aquisição e para a gestão do ciclo de vida dos CAD PAD e identificação dos gargalos do processo atual de aquisição. Nesse sentido, o objetivo deste estudo é propor uma metodologia para gestão de estoques e planejamento de aquisição aplicável a esses itens críticos não reparáveis, controlados por tempo de vida, através da comparação de modelos de gestão de estoques existentes na literatura e simulação. Para isso, foram utilizados dados históricos das últimas aquisições de CAD PAD, extraídos de banco de dados da FAB, assim como metodologias de gestão de estoques conhecidas pela literatura e simulação de Monte Carlo, utilizando a linguagem *Visual Basic for Application* (VBA).

Este trabalho está estruturado em cinco seções. Na seção 2 será apresentada uma breve revisão bibliográfica dos assuntos pertinentes para este trabalho. Na seção 3 serão apresentados os métodos utilizados nas análises do estudo em tela. Na seção 4 serão apresentados os resultados obtidos oriundos da pesquisa bibliográfica e simulação e, por fim, na seção 5, as conclusões obtidas na análise.

2 ADMINISTRAÇÃO DE RECURSOS MATERIAIS

Uma importante função logística relacionada a administração de materiais é a aquisição. Esta tarefa não se trata apenas de procurar fornecedores e executar as compras, trata-se de todo um planejamento da aquisição de materiais, que deve ser integrado à forma de gerenciar os estoques e aos modelos de previsão de demanda utilizados pela organização.

Compreender o contexto ao qual está inserida a organização é fundamental para se definir políticas de gestão de estoques e escolher modelos de previsão de demanda mais adequados ao cenário da instituição.

2.1 CARTRIDGE ACTUATED DEVICES (CAD) AND PROPELLANT ACTUATED DEVICES (PAD)

Os CAD PAD são itens que liberam energia por meio de uma explosão controlada para realizar uma determinada função. São largamente utilizados nos sistemas de escape da aeronave em casos de emergências, como nos assentos ejetáveis, onde são responsáveis pelo acionamento do assento, na própria propulsão do assento para fora da aeronave, bem como na extração do paraquedas e separação segura do piloto e assento, após ejeção.

Um assento ejetável chega a possuir mais de dez CAD PAD instalados, todos sendo críticos para o seu funcionamento. Além disso, esses itens também são largamente utilizados no acionamento de sistemas de extinção de fogo nas aeronaves e na fragilização do *canopy* (a cobertura da cabine de pilotagem de alguns tipos de aviões) para situações de resgate em solo. Assim, devido à situação crítica em que são utilizados, os cartuchos são projetados para possuírem elevadas confiabilidades, no mínimo 99%, com 95% de confiança (DEPARTMENT OF DEFENSE, 2010).

Os CAD PAD são itens com limite de vida pré-definido. São controlados pelo *shelf life* e por *service life* (tempo de vida em serviço, iniciado quando o item é instalado na aeronave ou quando sua embalagem é aberta).

2.2 GESTÃO DE ESTOQUES

De acordo com Ballou (2006), estoques são acumulações de matérias-primas, suprimentos, componentes, materiais em processos e produtos acabados que surgem em numerosos pontos do canal de produção e logística das empresas.

A gestão de estoques é uma atividade inerente ao processo logístico. Tipicamente, demanda e a oferta são intrinsicamente incompatíveis, devido às incertezas existentes na demanda e nos prazos de reposição dos estoques, daí surge a necessidade de se possuir estoques para suprir uma necessidade futura. Nesse contexto, Slack (2018) ressalta que estoques são criados para compensar as diferenças de *timing* entre suprimento e demanda.

Ballou (2006) destaca, ainda, que o estoque proporciona diversos benefícios, como o melhor *fill rate (*probabilidade de uma demanda ser atendida imediatamente, também conhecida como *service level)*, produção equilibrada, economias de escala nas compras, proteção contra incertezas na demanda e no tempo de ressuprimento e serve como segurança contra contingências. No entanto, manter estoques também possui desvantagens, conforme apontado por Slack (2018), as quais pode-se destacar: capital de giro parado; pode tornar-se obsoleto, pode danificar ou deteriorar-se; pode ser perigoso para armazenar; ocupa espaço, o qual poderia ser utilizado em uma atividade que agregasse mais valor ao negócio e; envolve custos de armazenagem. Assim, para uma gestão eficaz e eficiente, é fundamental a definição de uma política de estoques adequada ao cenário ao qual está inserida a organização.

Na gestão dos estoques, os níveis de cada item e do próprio estoque como um todo devem ser revistos e atualizados periódica e constantemente para evitar problemas provocados em razão de maior demanda ou de sua redução, e alterações nos tempos de reposição. (GARCIA et al., 2009, p.109). Segundo Fleury (2000), a política de estoque baseia-se em quatro pilares: quando pedir, quanto pedir, quanto manter em estoque de segurança e onde localizar, visando redução de custos envolvidos e mitigando o risco de *stockouts* (ocorre quando uma solicitação de um determinado item não é atendida devido a não disponibilidade em estoque).

2.2.1 Modelos de Gestão de Estoques

2.2.1.1 Modelo de Revisão Contínua

O modelo de revisão contínua de estoques é encontrado sob vários nomes na literatura internacional: *continuous review model*, *reorder point policy*, (Q, r) *model*, *fixed order quantity system*, *two-bin system*, entre outros. Esse modelo consiste em estabelecer um nível fixo de reposição que, ao ser atingido, dispara a emissão de um novo pedido de tamanho (Q) pré-definido. Esse nível também é conhecido como Ponto de Pedido (PP). (ROSA et al.,2010).

O ponto de pedido é a quantidade em estoque que, quando atingida, é o ponto de comando para um novo processo de compra e pode ser calculado pela equação 1:

$$PP = (D * LT) + z(s'd) \tag{1}$$

Onde PP é o Ponto de Pedido; D é a demanda média por unidade de tempo; LT é o *Lead Time* (tempo entre a confirmação do pedido de aquisição e a entrega) e s′d é o desvio padrão.

O Termo s’d é calculado de acordo com as premissas adotadas, sendo definido por:

$$s'd = \sqrt{LTsd^2 + D^2slt^2} \tag{2}$$

Onde slt é o desvio padrão do *lead time*, D é a demanda *e* sd o desvio padrão da demanda.

Caso o modelo considere *lead time* constante e demanda variável, s'd será definido por:

$$s'd = sd\sqrt{LT} \tag{3}$$

No modelo de revisão contínua, quando o estoque atinge o ponto de pedido, é emitido uma ordem de compra, de tamanho fixo, denominada lote econômico de compras, que, de acordo com Slack (2018), pode ser definido como:

$$LEC = \sqrt{\frac{2CoD}{Ch}} \tag{4}$$

Onde D é a Demanda; Co é custo total de emitir um pedido e Ch o custo total de manter uma unidade em estoque por um período de tempo.

O estoque médio (Qm) em um modelo de reposição contínua pode ser definido por:

$$Qm = \frac{LEC}{2} + Qs \tag{5}$$

Onde Qs é o estoque de segurança.

2.2.1.2 Modelo de Revisão Periódica

No modelo de revisão periódica, o item é reposto periodicamente em intervalos de tempos fixos, ou seja, após decorrido um intervalo de tempo estabelecido, um novo pedido de compras é disparado. Esta metodologia objetiva definir um intervalo ótimo entre as revisões de estoque, eliminando, assim, a necessidade de monitoramento contínuo do nível de estoque.

Conforme destacado por Tubino (2000), com a expansão dos modelos informatizados de planejamento de necessidades de materiais (MRP), o modelo de controle de estoque por revisão periódica passou a ser pouco usado, pois foi superado pelo MRP. Diante disso, este modelo não foi aprofundado neste trabalho.

2.2.1.3 Cálculo de necessidades Líquidas - MRP

MRP (*Material Requirements Planning)* é um sistema de demanda dependente que calcula as necessidades de materiais e os programas de produção para satisfazer pedidos de vendas conhecidos e previstos.

Conforme Ballou (2006), trata-se de um método usado principalmente para programar peças especiais de alto valor, materiais e suprimentos cuja demanda seja razoavelmente conhecida.

Determinar o momento exato dos fluxos de materiais para suprir as necessidades da produção é o princípio que constitui a base do planejamento das necessidades materiais, através de um processo chamado programação para trás (*back-scheduling*), que leva em consideração o *lead time* de cada componente necessário.

Freire e Santoro (2004), analisaram esta metodologia em comparação com outros modelos de políticas de estoque e concluíram que os resultados indicam supremacia do modelo de estoque que utiliza previsões e necessidades líquidas mínimas, mesmo em condições de baixa previsibilidade.

A questão central do MRP é determinar o momento ideal de quando inserir as ordens de compra e quanto comprar. Portanto, um ponto chave para o MRP é a definição do tempo ótimo de liberação do pedido, em termos práticos, quanto tempo antes do momento da necessidade é necessário fazer o pedido de compra. Segundo Ballou (2006), este tempo ótimo (T*) pode ser definido por:

$$T *= LT + z(Slt) \tag{6}$$

Onde "z" é o coeficiente de uma distribuição normal padronizada, associado ao nível de serviço desejado, e "Slt" é desvio padrão do *lead time (LT)* do item em questão.

Segundo Gaither e Frazier (2005), a lógica do MRP permite que se trate de forma mais apropriada os itens de demanda dependente do que a lógica de ponto de reposição, cujos modelos mais conhecidos para o cálculo de seus parâmetros (o próprio ponto de reposição e o tamanho do lote de reposição) assumem demanda constante ao longo do tempo.

2.2.2 Estoque de Segurança

O estoque de segurança é uma quantidade desejável de se manter em estoque paracomportar falhas no ressuprimento dos itens, variações de demanda e erros de previsão. Assim, para diminuir os riscos do não atendimento das demandas, uma quantidade mínima deve ser mantida no estoque.

Slack (2018) define que o tamanho do estoque de segurança está relacionado às incertezas na demanda e variações no tempo de entrega de um produto associados ao nível de serviço desejado. A estatística-chave no cálculo de quanto estoque de segurança permitir é a distribuição de probabilidade que mostra a demanda (uso) durante o *lead time*.

O estoque de segurança é representado na equação (1) pelo elemento $z(s'd)$, que pode ser desmembrado de acordo com a equação (2), levando à equação (7), abaixo transcrita:

$$Qs = z\sqrt{LTsd^2 + d^2Slt^2} \tag{7}$$

3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 DESCRIÇÃO DO CENÁRIO ATUAL

O Processo de planejamento de aquisição de itens CAD PAD é regulamentado no Comando da Aeronáutica pela ICA 135-23 (BRASIL, 2021), englobando uma série de etapas e envolvendo diversos *stakeholders*. Alguns pontos relevantes são:

a) a demanda dos CAD PAD depende em sua maioria dos vencimentos e da quantidade de aeronaves disponíveis por ano;

b) a necessidade do cliente gera a demanda (processo puxado). Não há compra para fazer estoque. Esta é uma importante premissa, pois, sistemas puxados objetivam manter os menores níveis de estoques possíveis;

c) estoque de segurança fixado como sendo 10% a mais em cada aquisição, para todos os PN, independente da demanda ou tempo de entrega, e objetiva atender manutenções não programadas;

d) para cálculo das quantidades a serem adquiridas são consideradas prioritariamente a necessidade informada pelo operador. Não há cálculos estatísticos de previsão de estoque, ponto de pedido ou lote econômico de compra;

e) o *lead time* de cada PN é considerado fixo, conforme valores determinados pela ICA, portanto a sua variabilidade não é considerada para o planejamento da aquisição; e

f) os dados históricos não são utilizados para otimização das previsões de demanda e cálculo do estoque de segurança.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

Seguindo a classificação proposta por Gil (1999), este trabalho pode ser classificado como uma pesquisa aplicada descritiva, baseada em pesquisa bibliográfica, de natureza quantitativa e realizada em laboratório.

3.2 ETAPAS DO ESTUDO

3.2.1 Coleta e Análise de dados

Para iniciar o estudo foi selecionado o período histórico que se desejava obter os dados, no caso, de 2009 em diante, e foram extraídas do SILOMS todas as informações das aquisições realizadas existentes no banco de dados, bem como os dados relativos aos tempos de vida.

Posteriormente, foi realizada análise crítica dos dados, onde as informações espúrias foram eliminadas, no intuito de garantir que dados inconsistentes não sejam utilizados nos cálculos.

3.2.2 Cálculo de lead time real

O cálculo de *lead time* real foi realizado para comparar com os valores fixos definidos pela ICA, no intuito de verificar se os tempos praticados pela ICA são viáveis.

Para realização do cálculo, foram extraídos do SILOMS todos os registros de aquisições ocorridas entre 2009 e 2022, ou seja, desde o início da utilização da atual versão do SILOMS.

Com esses dados, foi calculado o *lead time* real, considerando que se trata do tempo entre a colocação do pedido (inserção da requisição) e a entrega do item.

3.2.3 Análise de excessos de estoque

A análise trata de casos concretos nos quais ocorreram excesso de estoque, que teve como consequência o vencimento dos itens em prateleira.

Para análise do excesso de estoque, foram extraídos do SILOMS o histórico de itens que venceram em prateleira entre o período de 2009 e 2022.

3.2.4 Análise das metodologias propostas para o planejamento da aquisição

Com base nas referências bibliográficas estudadas, foram analisadas duas metodologias para planejamento de aquisição, revisão contínua e cálculo de necessidades líquidas, todas incorporando a variabilidade da demanda e dos tempos de entrega no planejamento de aquisição, bem como utilizando dados históricos nas previsões de demandas e definição de estoque de

segurança por item. A metodologia de revisão periódica foi descartada, pelo motivo já elencado no referencial teórico, ela foi superada pelas metodologias baseadas no MRP.

As duas outras metodologias foram simuladas e comparadas. Para realização dos cálculos, foram utilizados os seguintes dados de entrada e premissas:

a) Frota: 20 aeronaves tipo A e 30 aeronaves tipo B. Para não utilizar dados sensíveis de frota real, foi utilizada uma frota fictícia. A aplicação para diversos tamanhos de frota é simples, pois a demanda será determinada pelo tamanho da frota e datas de instalação dos CAD PAD;

b) Nível de serviço utilizado: 99% para os itens da frota das aeronaves tipo A e 95% para os PN da frota da aeronave tipo B. O modelo de cálculo pode utilizar qualquer nível de serviço escolhido para cada PN;

c) A projeção de demanda é calculada com base nas projeções de vencimentos por ano, contadas a partir de datas aleatórias de instalação. As demandas não programadas foram consideradas desprezíveis, pois tomando-se o histórico como referência, estima-se que ela seja menor do que 1% ao ano. Desta forma, o próprio estoque de segurança seria capaz de absorver uma possível demanda não programada, o que seria reposto no próximo pedido;

d) Como os custos de armazenagem e de pedido não são conhecidos e não é o foco da análise, foi padronizado como sendo de 5% do valor do item e $ 500,00 respectivamente, para permitir os cálculos; e

e) Lead time dos itens varia seguindo uma distribuição normal. As variações do *lead time* simulam atrasos na entrega, assim, será avaliado como o modelo se comporta diante dos atrasos.

Em ambas as metodologias analisadas se utiliza o histórico de aquisição para cálculo do *lead time* médio e desvio padrão, incorporando a variabilidade dos tempos de entrega no planejamento de aquisição.

Vale-se destacar também que o nível de serviço desejado irá definir o tamanho do estoque de segurança e tempo ótimo de liberação do pedido, que pode ser diferente para cada item.

Outra característica é que, com estas metodologias, o estoque de segurança deixa de ser um valor fixo e igual para todos os PN e passa a ser calculado de forma individualizada, considerando as demandas e as variabilidades dos tempos de entrega.

3.2.4.1 Aplicação do modelo de revisão contínua

Parâmetros de entrada: nível de serviço desejado para o item, histórico de instalações e tamanho da frota disponível planejada.

Procedimentos para os cálculos:

1º: Projeção das demandas, de acordo com os vencimentos contados a partir das datas de instalações aleatórias geradas pelo código do Apêndice A.

2º: Cálculo de *lead time* real médio (LT) e desvio padrão do *lead time* (Slt), utilizando dados históricos.

3º: Cálculo da demanda média anual e desvio padrão referente a cinco anos.

4º: Cálculo do estoque de segurança através da equação 7.

5º: Cálculo do lote econômico de compra, utilizando a equação 4.

6º: Cálculo do ponto do pedido utilizando a equação 1.

7º: Planejamento das necessidades utilizando o ponto de pedido e estoque projetado.

8º: Elaboração do Plano de Aquisição para dois anos.

3.2.4.2 Aplicação do modelo de Cálculo de Necessidades Líquidas - MRP

Atualmente, o conceito MRP está focado na gestão de operações como um sistema corporativo que apoia o planejamento de todas as necessidades de recursos do negócio.

Diante disso, este trabalho selecionou esta metodologia como potencial opção para realizar o planejamento de necessidades de aquisição dos CAD PAD, devido a estas demandas serem totalmente dependentes, e ao fato do MRP ser projetado para trabalhar com uma grande quantidade de itens e calcular a necessidade líquida individual, com base no Programa Mestre de Produção, que é a demanda do item final, que, no caso dos CAD PAD, é determinada pelos vencimentos dos itens na aeronave ou vencimento do *shelf life*.

Parâmetros de entrada: nível de serviço desejado para o item, histórico de instalações e tamanho da frota disponível planejada.

Procedimentos dos cálculos:

1º: Cálculo de *lead time* real médio (LT) e desvio padrão do *lead time* (Slt), utilizando dados históricos.

2º: Projeção da demanda através dos dados de instalação, vencimentos e tamanho de frota.

3º: Cálculo do desvio padrão da demanda (Sd).

4º: Cálculo do tempo ótimo de liberação do pedido (T*), através da equação 6.

5º: Cálculo do estoque de segurança através da equação 7.

6º: Planejamento das necessidades projetadas utilizando a metodologia do MRP.

7º: Elaboração do Plano de Aquisição para dois anos.

3.2.4.3 Comparação dos modelos através de simulação

Para comparação dos modelos, foi realizada uma simulação de Monte Carlo no Excel, utilizando o código fonte em VBA, constante no Apêndice A. Foram realizadas 1000 simulações, realizando os cálculos de acordo com os procedimentos dos itens 3.2.4.1 e 3.2.4.2.

Foram gerados como entrada do modelo números aleatórios de datas de instalação dos itens nas aeronaves, as quais são as fontes para as demandas futuras. Os tempos de entrega dos materiais foram modelados considerando que estes assumem uma distribuição normal.

Todas as entradas e saídas do estoque são simuladas e, para cada interação da simulação, foram calculados o valor total do plano de aquisição, utilizando o método de MRP e o método por revisão contínua, os níveis de estoques, a quantidade de *stockout* e a *fill rate* obtida.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 COLETA E TRATAMENTO DOS DADOS

Foram extraídos 528 registros de aquisição do SILOMS. Na análise dos dados, foi verificado que muitos registros eram de requisições extra-sistema, que são realizadas apenas para dar entrada de itens em estoque. Estas requisições geram *lead times* irreais, pois são feitas após a entrega do item. Estes registros foram, então, excluídos da análise.

Em seguida, 80 PN (*Part Number, código usado na identificação de cada tipo de componente*) da ICA foram excluídos da análise por não apresentarem registros de aquisição no SILOMS e 2 por não apresentarem registro de validade e *service life* cadastrados.

Foi verificado que a forma de aquisição destes itens excluídos é diferente, pois são adquiridos através de contratos da aeronave, não sendo inseridas as requisições no sistema que permitam calcular o tempo médio de entrega.

Após as exclusões, foram utilizados na análise 159 registros de aquisições para cálculo do *lead time* real por PN.

Em virtude da sensibilidade das informações, os PN foram descaracterizados.

4.2 LEAD TIME REAL

Com os dados extraídos, foram calculados a média e o desvio padrão do *lead time* por PN.

Os resultados apontam diferenças de até 179% entre o *lead time* real calculado e o valor fixo definido pela ICA, conforme pode ser verificado no Apêndice B.

As grandes diferenças dos valores teóricos fixados na ICA em relação aos valores calculados com os dados reais extraídos do SILOMS, indicam que não considerar a variabilidade do *lead time* e não utilizar os valores históricos de tempos de entrega para ajuste do planejamento, pode levar a utilização de valores defasados de *lead time*, que podem resultar em atrasos na entrega esperada, causando, assim, rupturas de estoque.

4.3 EXCESSO DE ESTOQUE

Com os dados extraídos do SILOMS, referentes ao período de 2009 a 2022, foram identificados todos os itens que venceram em prateleira neste período. A Figura 01 apresenta o resultado dessa análise.

Percebe-se que, dentro do período analisado, venceram em prateleira o equivalente a R$ 12.478.632,26. Este fato demonstra que, além do atual processo de planejamento de aquisição permitir rupturas de estoque, também permitiu um valor considerável de itens vencendo em prateleira, portanto, não é um processo enxuto, pois permitiu uma quantidade considerável de itens vencidos em prateleira.

Figura 1: Valores em reais dos itens vencidos em prateleira do projeto CAD PAD.

Fonte: O autor.

4.4 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS

4.4.1 Aplicação do método de revisão continua

Os cálculos foram feitos seguindo o processo detalhado no item 3.2.4.1. Os dados de *lead time* e preço unitário foram retirados do SILOMS. Por questão de confidencialidade, o PN real foi descaracterizado.

A aquisição inicial visou elevar o estoque acima do ponto de pedido, pois atualmente não há estoque disponível de nenhum dos itens analisados, o que indica que o nível de estoque está, logicamente, abaixo do ponto do pedido. A quantidade inicialmente adquirida foi definida como sendo a quantidade do ponto de pedido mais a demanda média anual.

A partir da primeira compra, em cada período em que o estoque projetado é menor do que o ponto de pedido, se emite um pedido do tamanho do lote econômico de compra (LEC).

Ressalta-se que, como o *lead time* do item é de dois anos, o efeito da aplicação do método só ocorre a partir do ano A+2. Dessa forma, foi considerado que a demanda do ano A e ano A+1 já está em aquisição e programada para ser recebida a tempo para utilização sem causar ruptura de estoque. Estas aquisições são chamadas de recebimentos programados.

Os recebimentos futuros, a partir do ano A, ano de aplicação da metodologia, são chamados de recebimentos planejados.

O estoque de segurança calculado é fixo e individual para cada PN.

O estoque projetado é a diferença entre os itens recebidos (recebimentos programados e planejados), somados com o estoque remanescente do período anterior, subtraído da demanda no período. Um extrato das movimentações simuladas de estoque encontra-se representado no Apêndice C.

Um resumo anual dos cálculos para um PN pode ser visualizado no Quadro 1.

Quadro 1: Cálculo pelo método de revisão contínua do PN L.

Revisão Contínua								
		Ano A-1	**Ano A**	**Ano A+1**	**Ano A+2**	**Ano A+3**	**Ano A+4**	**Ano A+5**
Demanda Projetada (a)	Saída	0	0	2	7	6	3	2
Estoque de Segurança	Fixo	8	8	8	8	8	8	8
Recebimentos programados (b)	Entrada	0	2					
Recebimentos planejados (c)	Entrada	0	0	0	16	0	6	4
Estoque projetado (di)	b+c-a+ (d(i-1))	**0**	**2**	**0**	**9**	**3**	**6**	**8**
Emissão do pedido			16	0	4	6	4	2

Fonte: Elaborado pelo autor.

Um ponto que merece destaque é que, como este método emite a ordem de compra na quantidade referente ao lote econômico de compras, no caso de variações bruscas de demandas, o estoque pode não atender a necessidade, pois este é considerado um modelo reativo de gestão de estoques, não possuindo capacidade de se adequar rapidamente às variações.

4.4.2 Aplicação da metodologia de cálculo de necessidades líquidas - MRP

Seguindo os mesmos procedimentos do método anterior, porém utilizando a metodologia detalhada no item 3.2.4.2, foram realizados os cálculos para o PN L utilizando a metodologia de cálculo de necessidades líquidas, cujos resultados encontram-se no Quadro 2.

Quadro 2: Cálculo de Necessidades - PN L.

Cálculo de Necessidades – PN L								
Item	**Tipo**	**Ano A-1**	**Ano A**	**Ano A+1**	**Ano A+2**	**Ano A+3**	**Ano A+4**	**Ano A+5**
Necessidades Brutas (a)	Saída	0	0	2	7	6	3	2
Estoque de Segurança	Fixo	8	8	8	8	8	8	8
Recebimentos programados (b)	Entrada	0	2					
Recebimentos planejados (c)	Entrada	0	0	6	12	6	0	1
Estoque projetado (di)	b+c-a+ (d(i-1))	**0**	**2**	**6**	**11**	**11**	**8**	**7**
Liberação da ordem de compra			15	5	1	0	0	0

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim como na metodologia anterior, a primeira aquisição é consideravelmente maior. Ela objetiva estabelecer o estoque de segurança e atender a demanda do ano A+3, atualmente inexistente. Neste método, a aquisição inicial é determinada pela soma do estoque de segurança com a demanda projetada para o Ano A+3.

O Mesmo procedimento de cálculo foi aplicado aos demais PN.

4.5 ELABORAÇÃO DO PLANO DE AQUISIÇÃO

O plano de aquisição foi gerado utilizando o método baseado no MRP e o método de revisão contínua para os três PN de cada aeronave (tipo A e B), considerando os itens com os maiores valores do produto entre o consumo anual pelo custo de aquisição, conforme apresentado nos Quadros 3 e 4.

Quadro 3: Plano de Aquisição pelo método MRP.

PN	**ANV**	**VALOR UNITÁRIO**	**QTD**			**PREÇO TOTAL**		
			ANO A	**ANO A+1**	**ANO A+2**	**ANO A**	**ANO A+1**	**ANO A+2**
L	A	$32.599,00	17	5	1	$561.340,03	$163.158,00	$32.631,60
R	A	$25.186,00	18	2	1	$443.195,44	$50.422,37	$25.211,19
AA	A	$27.692,02	21	4	1	$586.945,21	$110.878,85	$27.719,71
G	B	$5.842,02	22	5	1	$599.113,31	$138.598,56	$27.719,71
O	B	$4.100,76	25	2	1	$686.222,49	$55.439,42	$27.719,71
N	B	$4.100,76	25	3	4	$686.144,27	$83.159,14	$110.878,85
Total								**$4.416.497,86**

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 4: Plano de Aquisição pelo método de revisão contínua.

PN	PROJETO	VALOR UNITÁRIO	QTD			PREÇO TOTAL		
			ANO A	ANO A+1	ANO A+2	ANO A	ANO A+1	ANO A+2
L	A	$32.599,00	16	0	4	$522.105,58	$0,00	$130.526,40
R	A	$25.186,00	5	18	13	$126.055,93	$453.086,93	$327.031,00
AA	A	$27.692,02	21	0	2	$583.363,44	$0,00	$55.439,42
G	B	$5.842,02	20	0	0	$560.915,54	$0,00	$0,00
O	B	$4.100,76	28	0	0	$772.729,60	$0,00	$0,00
N	B	$4.100,76	27	0	5	$760.084,09	$0,00	$138.598,56
Total								**$4.429.936,49**

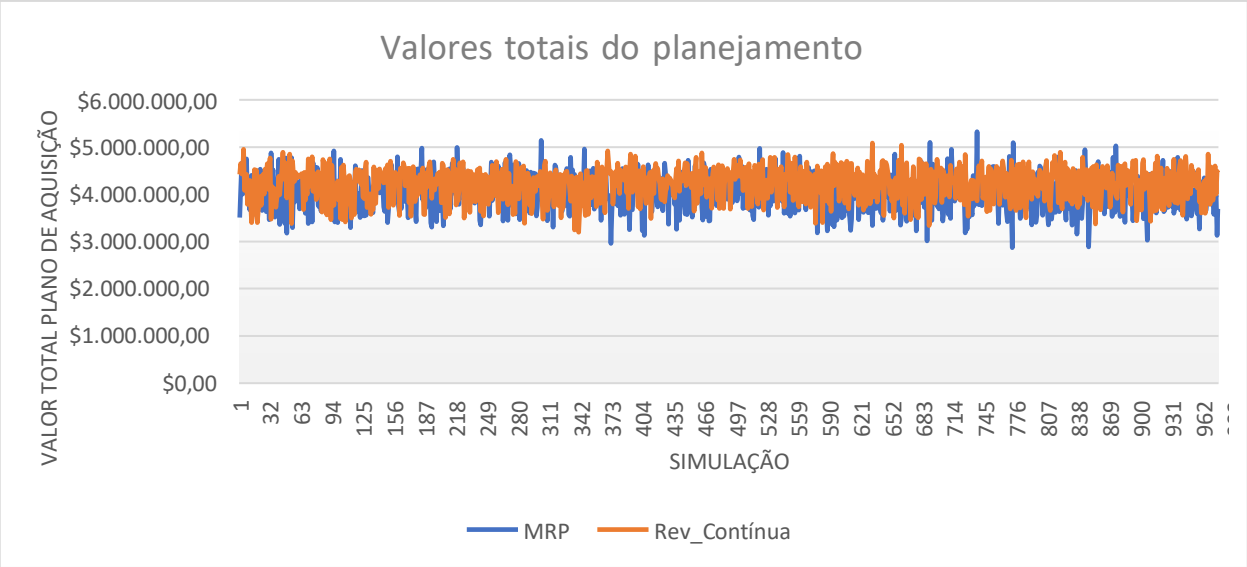
Fonte: Elaborado pelo autor.

4.6 SIMULAÇÃO E COMPARAÇÃO DOS MODELOS

Após a simulação, foram gerados 1000 mapas de aquisição. O processo de cálculo dos itens 4.4.1, 4.4.2 e 4.5 é executado 1000 vezes para cada PN, e os resultados armazenados na planilha de simulação.

A Figura 3 apresenta um gráfico comparativo dos valores do mapa de aquisição obtidos em cada interação, utilizando a metodologia MRP e Revisão Contínua.

Figura 3: Valores totais do plano de aquisição – 1000 simulações.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi verificado que, após 1000 simulações, o plano de aquisição utilizando MRP teve o valor médio 5,89% menor quando comparado aos valores dos mapas gerados utilizando a metodologia de revisão contínua.

Além do aspecto financeiro, os modelos foram comparados em relação às características apresentadas no Quadro 5.

Quadro 5: Resultado da simulação para 5 anos (1000 simulações).

Método	Estoque médio	Número médio de pedidos	Número Médio de *Stockout*	Tempo médio de Indisponibilidade (dias)	*Fill Rate*
MRP	42,9	76	4,33	352,66	96%
Revisão Contínua	43,5	41	16,89	2063,98	76%

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O número médio de *Stockout* representa a quantidade média de rupturas de estoques que ocorreram após 1000 simulações, considerando o período de 5 anos.

O tempo médio de indisponibilidade é a média dos valores, em dias, após 1000 simulações, que a ruptura de estoque se manteve, ou seja, é o somatório de dias que a frota de aeronaves ficou indisponível por falta de um dos CAD PAD estudados, no período de 5 anos.

Analisando os dados, percebe-se que, com a metodologia do MRP, obteve-se menor número médio de *stockout*, menor tempo médio de indisponibilidade e, consequentemente, maior *Fill Rate*.

Conforme consta no Quadro 5, o método MRP proporcionou um tempo de indisponibilidade 82% menor quando comparado ao método de revisão contínua.

Além disso, o MRP também proporcionou uma *fill rate* 21% maior do que o método de revisão contínua.

Vale-se destacar que este resultando está alinhado ao que foi verificado no estudo de Freire e Santoro (2004) e Souza (2012), que concluíram consideráveis vantagens do modelo de cálculo de necessidades em comparação aos outros modelos de gestão de estoques estudados.

Este fato pode ser explicado pela característica deste modelo determinar as quantidades a serem adquiridas através das demandas projetadas, permitindo adquirir a quantidade necessária para suprir uma necessidade futura específica. Isto é conseguido através da chamada programação para trás, que facilita a liberação do pedido no momento ideal, garantindo o seu recebimento no momento adequado. Por outro lado, o uso do LEC do modelo de revisão contínua, que define quantidades fixas de ordens de compra, contribuiu para um maior nível de estoque quando comparado com o MRP, o que resulta em maior custo.

Observou-se que o método de necessidades líquidas teve o maior número médio de pedidos, o que se refletiu em maior custo associado quando comparado ao método por revisão contínua.

Salienta-se que o LEC é diretamente afetado pelos custos envolvidos no seu cálculo, como o custo de pedido e custo de manutenção de estoque. Estes custos nem sempre são precisamente conhecidos, como é o caso do objeto deste estudo, o que dificulta o cálculo do lote econômico, tornando-o mais suscetível a erros.

Outro ponto importante é que o momento de liberação do pedido no modelo de revisão contínua é o ponto de pedido, ou seja, a ordem de compra é realizada após o estoque atingir seu nível determinado. Este fato torna o modelo com menor capacidade de suportar variações de demanda ou *lead time*, quando comparado com o MRP.

Com os resultados obtidos, foi verificado que, apesar da metodologia do MRP não ser amplamente divulgada como modelo de gestão de estoques de itens não empregados na produção, ela se mostrou promissora para a gestão de estoques dos itens estudados neste trabalho.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando os resultados obtidos no estudo, concluiu-se que o objetivo deste trabalho de propor uma metodologia para gestão de estoques e planejamento de aquisição aplicável aos itens CAD PAD, através da comparação de modelos de gestão de estoques existentes na literatura e simulação, foi atingido.

Retomando a questão analisada neste trabalho, foi verificado que o atual processo regulamentado pela ICA não define uma política clara de gestão de estoques, não considera as variações de *lead time* no planejamento e utiliza-se de um valor fixo de estoque de segurança e tempo de entrega, independente do item e da variação do tempo de entrega.

Através da análise dos dados, foi possível verificar que os tempos de entrega dos CAD PAD analisados possuem consideráveis variações, o que indica que não considerar tal variabilidade de *lead time* no planejamento da aquisição pode levar a previsões defasadas e resultar em rupturas de estoque.

A utilização das metodologias da literatura simuladas no Excel, através do código fonte em VBA, permitiu comparar a aplicação de duas metodologias (revisão contínua e cálculo de necessidades) para a realização do planejamento de aquisição, ambas integrando a variabilidade do *lead time* e calculando estoques de segurança individualizados por PN. O estudo mostrou que é possível integrar tais variabilidades no planejamento da aquisição dos CAD PAD, o que, juntamente com a utilização dos dados históricos para refinar os cálculos, permite um planejamento mais eficiente.

Considerando os resultados e as premissas adotadas, a metodologia do cálculo de necessidades líquidas, baseada no MRP, se mostrou mais adequada para o planejamento da aquisição dos itens estudados.

O plano de aquisição utilizando o MRP teve um valor médio 5,89% menor quando comparado aos valores dos mapas de aquisição gerados utilizando a metodologia de revisão contínua. Verificou-se também que, com a metodologia MRP, obteve-se a menor quantidade de *stock out* e uma *fill rate* 21% maior do que a obtida com o método de revisão contínua.

Vale-se destacar, ainda, que este é o mesmo resultando obtido nos estudos de Freire e Santoro (2004) e Souza (2012), que concluíram haver consideráveis vantagens do modelo de cálculo de necessidades em comparação aos outros modelos de gestão de estoques estudados por eles em seus trabalhos.

Este estudo carece de um maior aprofundamento sobre os itens que não possuem registros de *lead time* no SILOMS, os quais são adquiridos através de contratos diretos com os fabricantes das aeronaves, de forma a verificar se esta metodologia também é aplicável a eles. Também pode-se abordar as mesmas simulações para diferentes dimensionamentos de LEC, objetivando verificar se em alguma ocasião o modelo de revisão contínua supera o modelo de cálculo de necessidades no planejamento de aquisição dos itens objeto deste estudo. Um outro ponto que pode ser abordado em trabalhos futuros é verificar a aderência dos dados de *leads time* reais à distribuição normal de probabilidades assumida neste estudo, para verificar se este comportamento reflete à distribuição dos dados dos tempos de entrega de todos ou da maioria dos itens CAD PAD.

REFERÊNCIAS

BALLOU, R. H. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial**. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL. **ICA 135-23 Controle de itens CAD PAD**. Brasília: Ministério da Defesa, 2021.

DEPARTMENT OF DEFENSE. ***Detail Specification: Initiators, Electric, General Design Specification For***. Washington, D.C., 2010. Disponível em: < http://everyspec.com/MIL-SPECS/MIL-SPECS-MIL-DTL/MIL-DTL-23659F_31544/ >. Acesso em: 10 jul. 2022.

FLEURY, Paulo F.; WANKE, Peter; FIGUEIREDO, Kleber F. **Logística empresarial: a perspectiva brasileira**. São Paulo: Atlas, 2000.

FREIRE, Gilberto; SANTORO, Miguel Cezar. Análise comparativa entre modelos de estoque. **Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional.** 23 a 26/11/04, São João Del Rei, Minas Gerais.

GAITHER, N & FRAZIER, G., **Administração da Produção e Operações**. 8ª ed. São Paulo: Pioneira, 2005.

GIL, A.C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1999.

GARCIA, Letiene de Cássia; PEREIRA, Moacir; OSÒRIO, Wislei Riuper Osório. Gestão dos parâmetros de estoque: Estudo de caso de itens de medicamentos em farmácias hospitalares e convencionais. **Revista Gestão Industrial,** v.05, n. 01, p.109-121, 2009.

ROSA, Hobed; MAYERLE, Sergio Fernando; GONÇALVES; Mirian Buss. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Produção**, Santa Catarina, v.20, n.4, p. 626-638, out./dez. 2008.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. Tradução de Daniel Vieira. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2018.

SOUZA, Kátia Cristina Garcia Nunes de. **Modelo de gestão de estoques para bens de consumo em supermercados**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TUBINO, D. F. **Manual de planejamento e controle da produção.** São Paulo: Atlas, 2000.

APÊNDICE A: Código fonte em VBA.

```
Sub Calc_nec()
' Gerador de datas aleatórias
Dim Min As Date
Dim Max As Date
Set rd = Worksheets("MRP")
Min = Planilha15.Cells(2, 10)
Max = Planilha15.Cells(3, 10)
Sheets("MRP").Select
For i = 9 To 163
Planilha15.Cells(i, 10) = WorksheetFunction.randbetween(Min, Max)
Next
End Sub

Sub Simul()
For i = 4 To 1003
Call Calc_nec
Sheets("Simulação").Select
Planilha14.Cells(i, 2) = Planilha15.Cells(378, 10)
Planilha14.Cells(i, 3) = Planilha15.Cells(378, 22)
Planilha14.Cells(i, 4) = Planilha15.Cells(394, 3)
Planilha14.Cells(i, 5) = Planilha15.Cells(394, 4)
Planilha14.Cells(i, 6) = Planilha15.Cells(270, 46)
Planilha14.Cells(i, 7) = Planilha15.Cells(270, 30)
Planilha14.Cells(i, 8) = Planilha15.Cells(270, 49)
Planilha14.Cells(i, 9) = Planilha15.Cells(270, 48)
Planilha14.Cells(i, 10) = Planilha15.Cells(270, 52)
Planilha14.Cells(i, 11) = Planilha15.Cells(270, 51)
Next
End Sub
```

APÊNDICE B – Cálculo de *lead time* – Comparação dos valores teóricos da ICA e os reais calculados.

PN	*Lead Time* ICA 135-23 (meses)	*Lead Time* médio real (meses)	Desv_Pad *lead time*	Diferença
A	12	34	30,45	179,3%
B	12	29	17,84	143,6%
C	12	20	8,97	66,8%
D	12	17	6,25	43,3%
E	12	16	3,72	30,5%
F	12	15	4,49	22,8%
G	18	22	6,25	21,7%
H	18	22	2,59	20,9%
I	12	14	6,95	12,7%
J	18	18	2,07	1,3%
L	24	24	5,79	-1,9%
M	18	17	3,95	-3,4%
N	30	29	11,21	-4,2%
O	30	28	8,91	-6,2%
P	12	11	3,96	-6,9%
Q	16	15	2,53	-7,0%
R	24	22	4,98	-9,1%
S	12	11	3,50	-9,3%
T	24	21	5,74	-10,6%
U	12	10	2,40	-12,8%
V	18	16	0,61	-13,8%
X	16	14	2,59	-14,7%
Z	12	10	2,22	-14,8%
AA	24	20	4,80	-17,2%
AB	12	10	2,52	-17,9%
AC	12	10	4,20	-18,0%
AD	12	10	4,29	-18,2%
AE	12	10	1,91	-20,7%
AF	12	9	2,50	-21,9%
AG	12	9	1,84	-21,9%
AH	24	19	2,08	-22,3%
AI	24	19	2,08	-22,3%
AJ	24	19	6,71	-22,8%
AL	12	8	2,13	-33,2%
AM	12	8	0,83	-34,7%

PN	*Lead Time* ICA 135-23 (meses)	*Lead Time* médio real (meses)	Desv_Pad *lead time*	Diferença
AN	12	7	1,87	-39,5%
AO	12	7	2,12	-40,6%
AP	36	21	11,19	-41,2%
AQ	54	28	15,86	-47,8%
AR	156	37	3,74	-76,5%
AS	144	31	19,20	-78,1%

APÊNDICE C – Simulação das movimentações de estoque – PN A

PN A	jan-20	fev-20	mar-20	abr-20	mai-20	jun-20	jul-20	ago-20	set-20	out-20	nov-20	dez-20
estoque	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
saída	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Pedir	10	0	0	0	0	0	0	1	0	0	6	0
Previsão de entrega	jan-22	-	-	-	-	-	-	mar-22	-	-	jun-22	-
entrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A entregar	10	10	10	10	10	10	10	11	11	11	17	17
PN A	**jan-21**	**fev-21**	**mar-21**	**abr-21**	**mai-21**	**jun-21**	**jul-21**	**ago-21**	**set-21**	**out-21**	**nov-21**	**dez-21**
estoque	4	3	3	3	2	2	2	1	1	0	0	0
saída	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0
Pedir	0	3	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
Previsão de entrega	-	jan-23	-	-	-	-	abr-23	-	mai-23	-	-	-
entrada	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A entregar	17	20	20	20	20	20	21	21	22	22	22	22
PN A	**jan-22**	**fev-22**	**mar-22**	**abr-22**	**mai-22**	**jun-22**	**jul-22**	**ago-22**	**set-22**	**out-22**	**nov-22**	**dez-22**
estoque	10	10	11	11	11	16	14	13	12	12	12	11
saída	0	0	0	0	0	1	2	1	1	0	0	1
Pedir	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	1
Previsão de entrega	-	-	jun-23	-	-	-	-	-	-	-	-	jul-24
entrada	10	0	1	0	0	6	0	0	0	0	0	0
A entregar	12	12	14	14	14	8	8	8	8	8	8	9
PN A	**jan-23**	**fev-23**	**mar-23**	**abr-23**	**mai-23**	**jun-23**	**jul-23**	**ago-23**	**set-23**	**out-23**	**nov-23**	**dez-23**
estoque	14	13	12	11	12	11	11	11	11	10	8	8
saída	0	1	1	2	0	1	0	0	0	1	2	0
Pedir	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Previsão de entrega	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
entrada	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
A entregar	6	6	6	5	4	4	4	4	4	4	4	4