

AURÉLIO ANDRE LANCA

IMPLEMENTAÇÃO INICIAL DE SISTEMA MRP COM POWER BI EM  
UMA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS CIRURGICOS

São Carlos

2024



AURÉLIO ANDRE LANCA

IMPLEMENTAÇÃO INICIAL DE SISTEMA MRP COM POWER BI EM  
UMA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS CIRURGICOS

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção, da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Kleber Francisco Esposto

São Carlos

2024

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO,  
POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS  
DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes da  
EESC/USP com os dados inseridos pelo(a) autor(a).

L243i Lança, Aurélio André  
IMPLEMENTACAO INICIAL DE SISTEMA MRP COM POWER BI  
EM UMA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS CIRURGICOS / Aurélio  
André Lança; orientador Kleber Esposto. São Carlos,  
2024.

Monografia (Graduação em Engenharia de  
Produção) -- Escola de Engenharia de São Carlos da  
Universidade de São Paulo, 2024.

1. PowerBI. 2. MRP. 3. PCP. I. Título.

## FOLHA DE APROVAÇÃO

<b>Candidato:</b> Aurélio André Lança
<b>Título do TCC:</b> IMPLEMENTACAO INICIAL DE SISTEMA MRP COM POWER BI EM UMA FABRICANTE DE EQUIPAMENTOS CIRURGICOS
<b>Data de defesa:</b> 24/06/2024

<b>Comissão Julgadora</b>	<b>Resultado</b>
Professor Doutor Kleber Francisco Espôsto (orientador)	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Professor Titular Fábio Müller Guerrini	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	
Doutorando Márcio Alexandre Portelinha	APROVADO
Instituição: EESC - SEP	

Presidente da Banca: **Professor Doutor Kleber Francisco Espôsto**

## RESUMO

LANÇA, A. A. Implementação inicial de sistema MRP com Power BI em uma fabricante de equipamentos cirúrgicos. 2024. 60 f. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2024.

A crescente complexidade no gerenciamento da produção e do estoque tem levado empresas de diversos setores a adotarem sistemas avançados de Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP). Um MRP eficiente permite um controle detalhado e preciso dos materiais necessários para a produção, ajudando a evitar excessos ou faltas de estoque, melhorar a eficiência operacional e reduzir custos operacionais e de produção. Empresas que não possuem um MRP frequentemente enfrentam desafios significativos, como inconsistências nos níveis de estoque, falta de coordenação entre departamentos e dificuldades no planejamento da produção, o que pode resultar em atrasos, retrabalhos e custos adicionais. Este trabalho investiga a implementação de um sistema de Planejamento de Requisitos de Materiais (MRP) utilizando o Power BI em uma empresa fabricante de equipamentos cirúrgicos. O objetivo principal é desenvolver e implementar uma ferramenta computacional análoga ao MRP, aproveitando os recursos já disponíveis na empresa para atender suas necessidades específicas de maneira eficiente e customizada. A revisão de literatura abrange conceitos fundamentais de Planejamento e Controle da Produção (PCP), detalhando a hierarquia do planejamento de manufatura, previsões de demanda e estratégias de manufatura, além de discutir as vantagens e os desafios dos sistemas MRP e ERP. O desenvolvimento inclui várias etapas: levantamento de requisitos, definição de escopo, análise de viabilidade, desenvolvimento, testes, implantação da ferramenta, treinamento dos usuários e monitoramento contínuo. Os resultados obtidos mostram que a ferramenta desenvolvida foi eficaz em melhorar a gestão de materiais e a produção da empresa. A ferramenta permitiu um controle mais preciso dos níveis de estoque, melhor planejamento da produção e uma coordenação mais eficiente entre os departamentos de PCP e Compras. Destaca-se também a importância de uma abordagem personalizada, que se mostrou viável economicamente, especialmente quando comparada com soluções de mercado que eram significativamente mais caras e complexas. A implementação do sistema MRP utilizando Power BI não só atendeu às necessidades da empresa, mas também proporcionou uma melhoria contínua nos processos produtivos e na gestão de materiais. Conclui-se que a ferramenta desenvolvida melhora a precisão das previsões de demanda, otimiza o planejamento

e controle da produção, contribuindo significativamente para a competitividade da empresa no mercado.

Palavras-chave: MRP, PCP, Power BI, Planejamento de Produção, Gestão de Materiais.

## ABSTRACT

LANÇA, A. A. Initial implementation of an MRP system using Power BI in a surgical equipment manufacturer. 2024. 60 f. Monograph (Thesis) – School of Engineering of São Carlos, University of São Paulo, São Carlos, 2024.

The increasing complexity in production and inventory management has led companies across various sectors to adopt advanced Material Requirements Planning (MRP) systems. An efficient MRP system allows for detailed and precise control of the materials needed for production, helping to avoid excesses or shortages of inventory, improve operational efficiency, and reduce operational and production costs. Companies without an MRP system often face significant challenges, such as inconsistencies in inventory levels, lack of coordination between departments, and difficulties in production planning, which can result in delays, rework, and additional costs. This case study investigates the implementation of an MRP system using Power BI in a company that manufactures surgical equipment. The main objective is to develop and implement a computational tool analogous to MRP, leveraging the resources already available in the company to meet its specific needs efficiently and in a customized manner. The literature review covers fundamental concepts of Production Planning and Control (PPC), detailing the hierarchy of manufacturing planning, demand forecasting, and manufacturing strategies, as well as discussing the advantages and challenges of MRP and ERP systems. The development includes several stages: requirements gathering, scope definition, feasibility analysis, development, testing, tool implementation, user training, and continuous monitoring. The results show that the developed tool was effective in improving the company's material management and production. The tool enabled more precise control of inventory levels, better production planning, and more efficient coordination between the PPC and Purchasing departments. It also highlights the importance of a personalized approach, which proved to be economically viable, especially when compared to market solutions that were significantly more expensive and complex. The implementation of the MRP system using Power BI not only met the company's needs but also provided continuous improvement in production processes and material management. It is concluded that the developed tool improves the accuracy of demand forecasts, optimizes production planning and control, and significantly contributes to the company's competitiveness in the market.

**Keywords:** MRP, PPC, Power BI, Production Planning, Material Management.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	11
1.1	Apresentação do tema e problemática de pesquisa.....	11
1.2	Objetivo.....	14
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
2.1	Introdução .....	14
2.2	Planejamento e controle da produção .....	15
2.2.1	Estrutura do PCP .....	16
2.2.2	O papel e elementos de um sistema PCP.....	17
2.3	Hierarquia do planejamento de manufatura .....	18
2.4	Previsão de demanda ( <i>forecasting</i> ).....	23
2.5	Plano de aquisição de recursos .....	25
2.5.1	PCP e Industria 4.0 .....	27
2.6	Sistemas MRP.....	28
2.7	Estratégias de manufatura .....	31
2.8	Tecnologia <i>Business Intelligence</i> , PowerBI e SharePoint .....	32
3	MÉTODO E DESENVOLVIMENTO.....	34
3.1	Introdução .....	34
3.2	Levantamento de requisitos .....	35
3.2.1	Previsão de demanda - forecasting .....	36
3.2.2	Controle de níveis de estoque, programação de produção e compras .....	39
3.3	Definição de escopo da ferramenta.....	41
3.4	Análise de viabilidade e arquitetura do sistema.....	42
3.4.1	Ferramentas .....	43
3.4.2	Estrutura do banco de dados.....	43
3.4.3	Conexão ao banco de dados e confiabilidade de dados.....	45
3.4.4	Capacidade técnica e de processamento.....	48
3.4.5	Publicação e distribuição dos resultados .....	49
3.5	Desenvolvimento e testes.....	50
3.6	Implantação da ferramenta.....	52
3.7	Treinamento .....	52
3.8	Suporte e Monitoramento .....	53
3.8.1.1	Giro de Estoque .....	54

3.8.1.2	Tempo de ciclo do pedido .....	54
3.8.1.3	Taxa de entrega no prazo.....	55
3.8.1.4	Taxa de requisições adicionais .....	56
3.8.1.5	Diferença de estoques entre sistemas .....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
5	CONCLUSÃO .....	58
	REFERÊNCIAS .....	59

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Apresentação do tema e problemática de pesquisa

Planejar, programar e controlar a produção, assim como quais são os níveis aceitáveis de estoque a serem mantidos, são temas de grande preocupação para as indústrias ainda nos dias atuais, com conclusões difusas que dependem do contexto.

Os estudos realizados neste trabalho remontam ao início das pesquisas sobre o sequenciamento industrial e teoria de programação na década de 1960. Foi nesse contexto que a obra "Theory of Scheduling", de Conway, Maxwell e Miller, lançada em 1967, despontou como uma contribuição significativa nesse campo, estabelecendo-se como referência na programação da produção até os dias de hoje.

A partir dos anos 1980, ficou evidente a importância de adaptar rapidamente novos produtos e serviços para atender às demandas específicas dos clientes (McKenna, 1990). Isso gerou pressão sobre as empresas para reduzir os custos totais em toda a cadeia de suprimentos, encurtar os tempos de produção, reduzir drasticamente os estoques, ampliar a variedade de produtos, fornecer datas de entrega mais confiáveis e melhorar o serviço ao cliente, além de aprimorar a qualidade para obter uma vantagem competitiva (Cox; Schleier, 2010).

Nesse cenário, nas décadas seguintes, com a evolução e redução de custos dos computadores, surgiram sistemas de apoio à produção como o Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP) e o Planejamento de Recursos de Manufatura (MRPII), principalmente voltados para a área de manufatura. Embora inicialmente considerados independentes, esses sistemas enfrentavam desafios, como uma visão dos recursos como infinitos e lead times constantes, o que resultava em planos de produção pouco confiáveis.

O Plano de Necessidades de Materiais (MRP) é um plano detalhado para a produção e compra de componentes usados na fabricação dos itens do Plano Mestre de Produção (MPS). Ele especifica as quantidades necessárias e os momentos em que esses componentes devem ser produzidos ou adquiridos. (Arnold et al., 2012; p.19).

Em 1990, os sistemas empresariais evoluíram além do foco exclusivo no planejamento de materiais, incorporando módulos específicos para áreas como recursos humanos, vendas e marketing. Esse avanço transformou essas ferramentas em verdadeiros facilitadores para todos os funcionários, em contraste com os benefícios anteriores direcionados principalmente aos setores produtivos.

À medida que as organizações buscavam uma abordagem mais integrada para o gerenciamento de materiais, houve um desenvolvimento significativo nos sistemas de tecnologia da informação (TI) para atender a essa demanda. Essa evolução resultou na criação dos sistemas de planejamento de recursos empresariais (ERP), projetados para oferecer uma solução abrangente e altamente integrada.

A busca crescente por parte das empresas nesse tipo de sistema decorre de diversas razões, como melhorar o desempenho empresarial, posicionar as organizações para o crescimento, reduzir o capital de giro e atender melhor aos clientes (Panorama Consulting Solutions, 2018; apud Mahmood et al. 2020).

Arnold et al. (2009) destacam que, apesar dos benefícios significativos em termos de poder e capacidade oferecidos pelos sistemas ERP, sua implementação frequentemente acarreta altos custos e complexidades. Os extensos requisitos de dados e a necessidade de precisão podem tornar a adoção desses sistemas demorada e desafiadora para muitas empresas. Ademais, embora a tecnologia tenha evoluído e os requisitos do mercado tenham mudado, o motor básico que impulsiona os sistemas de informação em ERP ainda é o sistema tradicional MRP, que foi desenvolvido na década de 1960 e 1970 (Guide Jr; Srivastava, 2000; Ptak; Smith, 2011).

No entanto, apesar da demanda incontestável por suas funcionalidades, os custos financeiros e, principalmente, o desafio de gerar dados relacionados aos diferentes departamentos e processos envolvidos, especialmente para empresas de pequeno e médio porte, são consideráveis. Isso é verdade mesmo para implementações básicas de módulos de MRP e MRP II.

Ademais, Coskun et al. (2022) ressaltam que, embora muitas pesquisas estejam sendo realizadas para concluir com sucesso os projetos de implementação de ERP, estudos de caso relatados mostram que as taxas de sucesso desses projetos são limitadas. Com os principais fatores de falha sendo "Incompatibilidade de Software ERP", "Falta de Apoio da Alta Administração" e "Falta de Treinamento".

De acordo com Laurindo e Mesquita (2000), na época, uma das principais barreiras à adoção dos sistemas do tipo MRP, além dos custos de aquisição de software e hardware, estava relacionada à complexidade da sua implementação. O grande volume de dados, os desafios de configuração e a exigência de treinamento para os usuários resultavam em um processo de implantação demorado e dispendioso.

Mahmood et al. (2020) destacam que as soluções de sistemas ERP geralmente implicam custos significativos, e o processo de implementação pode demandar de um a dois anos aproximadamente; no entanto, essa duração pode variar dependendo dos módulos a serem

implementados na organização. Além disso, a aplicação parcial da metodologia MRP e MRP II para uma situação específica de uma empresa, levando em conta restrições financeiras, a estrutura departamental, a dinâmica interna e as políticas de negócios, não é uma tarefa simples. Adicionalmente, personalizações no sistema para essas circunstâncias específicas ou excepcionais, quando possíveis, requerem um longo período de desenvolvimento e resultam em custos adicionais pelos serviços prestados.

É essencial compreender que a implementação do sistema não se restringe apenas a satisfazer uma necessidade já presente na empresa, mas cria também a exigência de a organização se ajustar conforme as suas necessidades. Portanto, para concretizar a implementação de um sistema MRP, MRP II ou ERP, a empresa deve não apenas suportar os custos anteriormente mencionados, mas também passar por uma reestruturação abrangente, ajustando-se às exigências do sistema.

A não implementação de sistemas MRP ou ERP pode acarretar diversos impactos negativos para uma empresa, incluindo desorganização na gestão de materiais, falta de integração entre setores, ineficiências operacionais e limitações na tomada de decisão. Isso pode resultar em problemas como excessos ou faltas de materiais, falhas na coordenação das atividades, aumento de custos e dificuldades para aproveitar oportunidades de crescimento. Em suma, a ausência desses sistemas pode comprometer a eficiência, produtividade e competitividade da empresa.

No contexto deste trabalho, dada a necessidade identificada de implementar um sistema de gestão eficiente, a empresa explorou diversas opções, incluindo a possibilidade de adaptar seu próprio sistema interno. No entanto, após uma análise detalhada das cotações recebidas, prazos de entrega e das soluções disponíveis no mercado, ficou claro que as opções externas eram significativamente mais caras em comparação com o desenvolvimento interno.

Diante das restrições orçamentárias, a empresa optou por desenvolver a ferramenta internamente. Embora essa abordagem envolvesse mais trabalho e exigisse recursos adicionais de desenvolvimento e tempo, a administração acreditava que era a opção mais viável economicamente no momento. Essa decisão foi tomada com base na busca por uma solução que atendesse às necessidades da empresa dentro das limitações financeiras existentes, permitindo o desenvolvimento gradual da ferramenta de acordo com as demandas específicas da organização. Portanto, seria possível e quais contribuições traria a uma empresa um sistema MRP desenvolvido com base em uma solução tradicional de gestão de dados? Seria capaz de atender às necessidades da empresa de forma eficaz e eficiente?

## 1.2 Objetivo

Considerando os questionamentos levantadas anteriormente, este estudo tem como objetivo apresentar o desenvolvimento e a implementação de uma ferramenta computacional análoga ao sistema de Planejamento de Necessidade de Materiais (MRP) utilizando o software Power BI, avaliando os benefícios, dificuldades e impactos desta solução para uma empresa fabricante de insumos cirúrgicos, atendendo suas necessidades específicas e avaliando os benefícios, dificuldades e impactos desta solução.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Introdução

A revisão bibliográfica é uma etapa fundamental de qualquer pesquisa acadêmica, pois oferece uma visão abrangente do estado da arte sobre o tema investigado, além de situar o trabalho no contexto teórico e metodológico existente. No caso deste estudo, que trata da implementação de um sistema de Planejamento de Requisitos de Materiais (MRP) utilizando Power BI em uma empresa fabricante de equipamentos cirúrgicos, é essencial explorar as principais teorias, métodos e ferramentas que sustentam essa área.

O Planejamento de Necessidades de Materiais (MRP) e o Planejamento de Recursos de Manufatura (MRPII) surgiram como soluções para a complexidade do gerenciamento de produção e estoque, proporcionando uma estrutura sistemática para o planejamento e controle dos processos produtivos. A evolução destes sistemas ao longo das décadas trouxe avanços significativos, integrando diferentes funções empresariais e aprimorando a eficiência operacional.

Esta seção abordará inicialmente a origem e a evolução dos sistemas MRP e MRPII, destacando suas características principais, benefícios e limitações. Em seguida, serão discutidos os desafios e as soluções contemporâneas para a implementação de sistemas de MRP em pequenas e médias empresas, com um foco especial nas ferramentas computacionais modernas, como o Power BI, que facilitam a visualização e análise de dados.

Adicionalmente, serão revisados estudos de caso e pesquisas recentes que demonstram a aplicação prática de sistemas MRP e MRPII em contextos industriais similares, proporcionando uma compreensão mais profunda dos fatores críticos de sucesso e das melhores

práticas. Esta análise fornecerá uma base sólida para o desenvolvimento e a implementação da ferramenta proposta, alinhando-se às necessidades e especificidades da empresa em estudo.

Por fim, a revisão bibliográfica destacará as contribuições teóricas e práticas relevantes para a área de planejamento de produção e gestão de estoques, situando este trabalho no panorama mais amplo da literatura acadêmica e industrial. Este levantamento bibliográfico não apenas justifica a relevância e a originalidade do estudo, mas também orienta as etapas subsequentes da pesquisa.

## 2.2 Planejamento e controle da produção

A distinção entre a execução das atividades de fabricação e o estabelecimento das decisões e instruções sobre o que produzir, quanto, quando, como, onde, quem e com o que, remonta ao início do século XIX. No entanto, foi por volta de 1910 que os sistemas de produção introduziram práticas de trabalho associadas a uma organização hierarquicamente estruturada. Essas práticas foram rotuladas como a "organização científica do trabalho" e seguiram os princípios do que viria a ser conhecido como Taylorismo.

O termo "Taylorismo" foi consolidado devido aos trabalhos de pesquisa e divulgação desenvolvidos por Frederick Taylor, que efetivamente revolucionou a indústria. Taylor foi pioneiro na aplicação de métodos científicos para otimizar o desempenho da mão de obra e dos processos produtivos. Sua abordagem enfatizava a análise sistemática do trabalho, a padronização de tarefas e a divisão clara de responsabilidades entre gerentes e trabalhadores.

Esses conceitos fundamentais estabelecidos por Taylor desempenharam um papel crucial no desenvolvimento dos sistemas de planejamento e controle da produção (PCP). Ao separar as funções de planejamento e execução, Taylor permitiu uma gestão mais eficiente e eficaz das operações fabris. Isso proporcionou às empresas uma maior capacidade de responder às demandas do mercado, minimizando desperdícios e maximizando a produtividade. Além disso, a abordagem de Taylor influenciou diretamente o surgimento de sistemas modernos de PCP e hierarquização do planejamento de manufatura, discutido posteriormente.

Segundo Proth (1992 apud Scarpelli, 2006), do Taylorismo a história guardou os seguintes princípios:

- Os quadros administrativos especificam as técnicas de execução dos trabalhos;
- Os trabalhadores devem ser formados nas tarefas específicas que eles irão executar;

- Os trabalhadores seguem, em seu trabalho, as especificações fornecidas pelos quadros administrativos.

Scarpelli (2006) observa que, embora ao longo do tempo as organizações tenham introduzido novas formas de relacionamento e distribuição de responsabilidades, adaptando-se às suas realidades e necessidades específicas, ainda é fundamental a realização das atividades de tomada de decisão e coordenação das diversas operações envolvidas. Essas operações abrangem desde as relações comerciais com o mercado até as atividades físicas e econômicas.

Esse conjunto abrangente de tomada de decisões e coordenação é conhecido como gestão empresarial ou administração de operações, enquanto as atividades físicas que garantem o fluxo de materiais são agrupadas sob o termo Planejamento e Controle da Produção (PCP). O PCP desempenha um papel crucial na garantia da eficiência operacional, coordenando as atividades físicas e assegurando que os recursos estejam disponíveis no momento certo e na quantidade adequada para atender às demandas da produção.

O Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenha um papel fundamental na coordenação entre o chão de fábrica, o desenvolvimento e o processo produtivo, mantendo também uma estreita colaboração com o departamento de compras. Essa interação é crucial para evitar contratempos como a falta de matéria-prima, o acúmulo excessivo de estoque e os atrasos produtivos.

Uma das áreas em que essa parceria se destaca é na tomada de decisões sobre as solicitações de compras. O PCP, com sua compreensão abrangente das necessidades de produção e do cronograma de atividades, desempenha um papel vital na avaliação e priorização das requisições de compra. Ao considerar fatores como a demanda futura, a capacidade de armazenamento e as restrições de produção, o PCP pode determinar a urgência e a quantidade necessária de cada item a ser adquirido. Essas decisões não apenas garantem que os materiais certos estejam disponíveis no momento certo, mas também contribuem para o equilíbrio entre custo e benefício.

### 2.2.1 Estrutura do PCP

A estrutura do PCP baseada nas definições de Vollmann et al. (2005) e Jacobs et al. (2018) (apud Bueno et al. 2020) frequentemente compreende uma estrutura hierárquica. As principais atividades de um departamento de PCP genérico são:

- Previsão de demanda (forecasting): processo de estimar a quantidade futura de produtos demandados. Utiliza métodos estatísticos e técnicas de análise de dados para obter previsões precisas;
- Planejamento agregado/S&OP: coordenação entre vendas e operações para alinhar oferta e demanda, equilibrando produção com expectativas de vendas, considerando capacidade de produção, estoque disponível e previsões de demanda. Envolve o plano de aquisição de recursos;
- Planejamento e controle de inventário e capacidade (INV; CAP): gestão dos níveis de estoque para atender à demanda sem gerar custos adicionais, e garantia de recursos necessários para produzir os volumes planejados. Envolve o plano de aquisição de recursos;
- MRP (Material Requirements Planning): sistema que determina quantidades e prazos de materiais para produção, garantindo disponibilidade e minimizando estoques;
- MPS (Master Production Schedule): plano detalhado que especifica produtos e quantidades a serem fabricados, garantindo eficiência e cumprimento de prazos;
- Programação da produção e controle de chão de fábrica (SFC): elaboração de cronogramas detalhados para fabricação dos produtos e supervisão das operações diárias de produção, assegurando a execução dos planos e a resolução rápida de problemas.

### 2.2.2 O papel e elementos de um sistema PCP

O sistema de planejamento e controle da produção, implementado, é formado por um conjunto de atividades que exigem a definição de uma estrutura clara e delimitada. Exigem também, a definição de um sistema de informações que conecte as diversas funções, proporcione sua atualização e forneça dinamismo e eficácia em seu escopo. Por fim, é essencial o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisões que seja coerente e capaz de otimizar o uso dos recursos disponíveis.

A definição da estrutura, é um processo que deve levar em consideração não apenas os recursos disponíveis no empreendimento, mas também as atividades que ele executa e a maneira como esses recursos são integrados às ações que abrangem o PCP. A estrutura é composta por duas dimensões principais, cuja proporção varia de acordo com o contexto específico do empreendimento.

A primeira dimensão é a amplitude, que abrange mais ou menos funções paralelas, isso é, processos que ocorrem simultaneamente ou de forma interligada dentro do empreendimento, tanto pela influência da complexidade das operações, quanto pela diversidade das atividades desempenhadas ou atribuídas ao PCP.

A segunda dimensão é a profundidade, que é determinada pelo grau de funções sequenciais incorporadas à estrutura. Isso pode variar desde atividades de previsão de demanda até o processo de distribuição de produtos aos clientes. A profundidade da estrutura depende da necessidade de coordenação e controle em cada etapa do processo produtivo.

Essa estrutura hierárquica permite uma gestão integrada e eficiente das operações de produção, desde a previsão da demanda até o controle das atividades no chão de fábrica, garantindo que todos os recursos sejam utilizados de forma otimizada e que os produtos sejam entregues conforme as expectativas dos clientes.

O sistema de informação obtém, organiza, registra, agrupa, separa, ordena, classifica, gera e seleciona dados de forma a transformá-los em informação relevante para o processo de tomada de decisão e efetivação da atividade, assim como para avaliações diversas de desempenho e formas de identificação. Além disso, o sistema de informações desempenha um papel fundamental ao estabelecer os fluxos que conectam as diferentes funções dentro da estrutura do sistema de planejamento e controle da produção.

Já o sistema de tomada de decisões, baseia-se no conjunto de regras, normas e procedimentos, definidos empiricamente ou de forma especulativa, para dar origem as linhas de ações definidas, conforme os graus de amplitude e profundidade definidos na estrutura.

### 2.3 Hierarquia do planejamento de manufatura

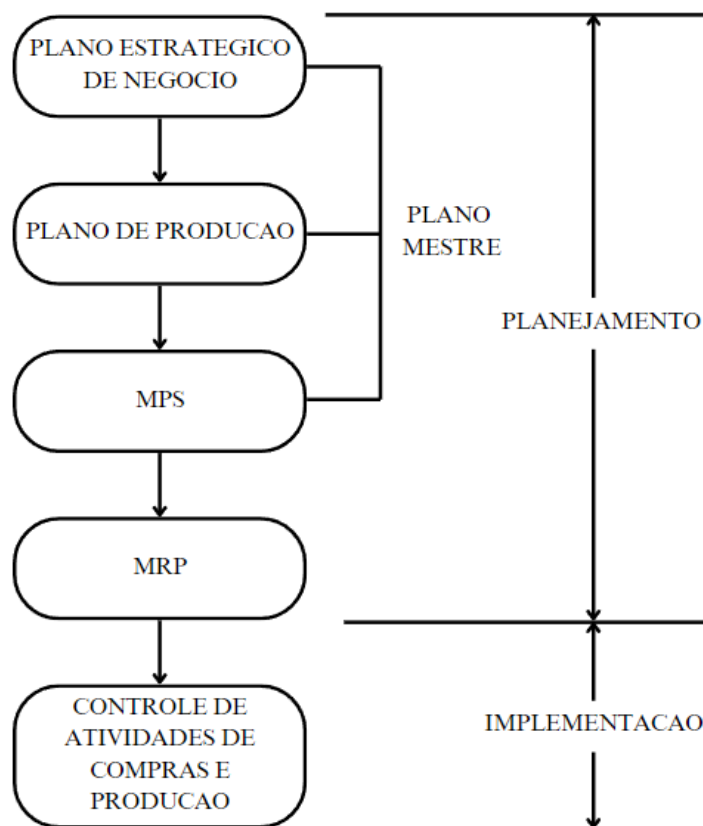
Em um cenário ideal, as empresas aplicam uma hierarquia de planejamento operacional, com diferentes horizontes e etapas de detalhamento conforme as suas necessidades e objetivos. Cada nível de planejamento, desde o estratégico até o controle da produção, tem seus próprios objetivos, horizontes temporais e detalhes específicos. As decisões em cada um dos níveis (planejamento) segundo Pedroso e Corrêa (1996, p.62), “[...] ocorrem em diferentes horizontes de tempo e períodos de replanejamento, bem como consideram diferentes níveis de agregação de informação”. Estes conceitos de níveis, estão relacionados,

[...] ao denominado planejamento hierárquico da produção, uma metodologia que propõe decompor o problema do planejamento da produção de larga escala em

subproblemas menores, resolvendo-os sequencialmente – do maior horizonte de tempo para o menor – e interativamente – as decisões nas hierarquias superiores são restrições aos problemas seguintes, bem como são realimentadas por estes. (Vollman 1992, apud Pedroso e Corrêa, 1996).

É fundamental destacar que, frequentemente, o planejamento e o controle da produção são confundidos, o que leva a uma abordagem indireta do tema do controle da produção. Isso ocorre devido à natureza complementar do planejamento e do controle, pois ambos são interligados e atuam em conjunto para garantir a eficiência operacional. Na figura 1 (adaptada), um modelo generalizado dessa hierarquia é apresentado por Arnold et al (2004), onde os quatro primeiros níveis são de planejamento e o último nível refere-se à implementação.

Figura 1 – Modelo de hierarquia de planejamento



Fonte: Adaptada de Arnold et al (2004)

O período de planejamento diminui significativamente, indo de anos para dias, à medida que nos movemos ao longo desses níveis da hierarquia. Assim como o nível de detalhe aumenta progressivamente, passando de categorias amplas para componentes individuais e estações de

trabalho específicas. Enquanto o plano estratégico de negócios estabelece metas de longo prazo e ações gerais, o controle da atividade de produção se concentra em planos detalhados para alcançar resultados imediatos.

O planejamento estratégico de negócio, geralmente liderado pelos principais executivos, define a direção geral da empresa para os próximos 2 a 10 anos (metas e objetivos). Já o plano de produção define a política de estoque, os itens a serem produzidos e os recursos necessários, tipicamente a nível de família de produtos. Os planejadores devem equilibrar a demanda do mercado com os recursos disponíveis, através da análise e elaboração de estratégias.

O *Master production schedule* (MPS) é um plano mais detalhado, que define a produção de cada item final individualmente. Ele desmembra o plano de produção em requisitos para itens finais individuais, em cada família, por data e quantidade. O plano de produção limita o MPS e, dentro desse limite, seu objetivo é equilibrar a capacidade produtiva da empresa de forma a atender os níveis estabelecidos.

Os três primeiros níveis da hierarquia: plano estratégico de negócio, plano de produção e MPS, compõem o plano mestre. O plano mestre, além de ser o resultado das três etapas e estabelecer as metas a serem seguidas, demonstra também as etapas que possuem influência da estratégia de negócio específica da empresa, isso é, o plano de ação geral que uma empresa adota para alcançar seus objetivos de longo prazo e sustentabilidade no mercado.

O *Material requirement planning* (MRP) utiliza o MPS como fonte de informações a fim de planejar a compra e produção dos componentes utilizados nos produtos acabados (finais). O MRP tem dois objetivos principais: determinar o que, quanto, quando e como pedir materiais para atender à demanda da produção, e manter as prioridades atualizadas para lidar com mudanças constantes na demanda e no fornecimento de componentes.

O controle de compras e produção representa a fase de implementação e controle do sistema de planejamento e controle da produção (PCP). O departamento de compras supervisiona o fluxo de matérias-primas para dentro da fábrica, enquanto o departamento de PCP planeja e gerencia o fluxo de trabalho interno.

O horizonte de planejamento para cada uma das etapas, assim como tempo médio para a revisão, segundo Arnold et al. (2004), é detalhado na Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 – Horizonte e revisão de planejamento segundo Arnold et al.

	<b>Horizonte de planejamento</b>	<b>Tempo de revisão esperado</b>
Plano estratégico de negócio	2 a 10 anos	6 a 12 meses
Plano de produção	6 a 18 meses	1 mês
MPS	3 a 18 meses	1 mês
MRP	3 a 18 meses	1 mês
Controle de atividades	1 dia a 1 mês	1 dia

Fonte: Adaptado de Arnold et al. (2004).

Em relação ao PCP, Tubino (2000) descreve as suas tarefas em três grandes níveis hierárquicos de decisão:

- Estratégico: são definidas as políticas estratégicas de longo prazo da empresa, o PCP participa da formulação do planejamento estratégico da produção, gerando um plano de produção;
- Tático: são estabelecidos os planos de médio prazo para a produção, o PCP desenvolve o planejamento mestre da produção, obtendo o plano mestre da produção (PMP);
- Operacional: são preparados os programas de curto prazo de produção e realizado o acompanhamento dos mesmos, o PCP prepara a programação da produção administrando estoques, sequenciando, emitindo e liberando as ordens de compra, fabricação e montagem, bem como executa o acompanhamento e controle da produção.

Pode-se estabelecer uma correlação entre as definições hierárquicas atribuídas ao Planejamento e Controle da Produção (PCP) com o modelo da hierarquia do planejamento. Os níveis estratégico e tático que geram o Plano Mestre de Produção (PMP), conforme delineados por Tubino (2000), correspondem, respectivamente, ao plano de produção e ao MPS de Arnold et al. (2004), culminando na formulação do plano mestre ao final destas etapas. Enquanto isso, o nível operacional descrito por Tubino (2000) engloba as atividades abordadas no MRP e no controle de compras e produção apresentados por Arnold et al. (2004), caracterizado por um planejamento de prazo mais curto e revisões frequentes.

A subdivisão em níveis em um sistema integrado e hierárquico de planejamento da produção foi previamente proposta empiricamente por Taylor et al. (1981), conforme a tabela

2 (adaptada), fundamentada em estudos anteriores de Hax (1976) e Anthony (1965). Esta abordagem segmenta o processo de planejamento em diferentes níveis, cada um com sua respectiva função e horizonte temporal, proporcionando uma estrutura clara e eficiente para o gerenciamento da produção.

Tabela 2 – Comparação de níveis em um sistema integrado hierarquicamente.

	<b>Planos de necessidade de recursos</b>	<b>Planos de produção</b>	<b>Programas de produção</b>
<b>Classificação</b>	Estratégico	Tático	Operacional
<b>Saídas</b>	Plano de aquisição de recursos	Plano de utilização dos recursos	Programa de execução
<b>Horizonte</b>	Longo	Intermediário	Curto
<b>Nível de detalhe</b>	Alto	Moderado	Alto
<b>Incerteza</b>	Alto	Médio	Baixo

Fonte: Taylor, S. G., et al. (1981).

Diferentes autores oferecem diferentes definições de longo prazo no contexto do planejamento da produção, variando de 1 a 5 anos ou de 12 a 18 meses. Essas discrepâncias podem ser atribuídas aos ciclos de obtenção dos produtos e à capacidade de previsão, sendo o horizonte determinado de acordo com a natureza dos produtos, como bens de consumo ou bens de capital. Para produtos com demanda sazonal, o horizonte de longo prazo deve ser pelo menos igual ao ciclo sazonal. Os horizontes de médio e curto prazo são ajustados proporcionalmente ao longo prazo, garantindo que o horizonte de curto prazo também leve em consideração o tempo de distribuição e reposição dos produtos.

Em conclusão, a integração dos níveis hierárquicos de planejamento conforme delineado por Tubino (2000) e Arnold et al. (2004), juntamente com as bases empíricas estabelecidas por Taylor et al. (1981), Hax (1976) e Anthony (1965), proporciona uma estrutura genérica robusta e eficaz para o Planejamento e Controle da Produção. Esta abordagem não apenas facilita a coordenação entre diferentes funções dentro da empresa, mas também melhora a capacidade de adaptação a um ambiente de negócios dinâmico e competitivo.

## 2.4 Previsão de demanda (*forecasting*)

As necessidades intrínsecas a cada empresa no projeto de um sistema de PCP variam significativamente dependendo de diversos fatores. No entanto, independentemente da abordagem adotada, a previsão de demanda desempenha um papel crucial, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de planos de longo, médio e curto prazo. Ao antecipar as necessidades do mercado, a previsão de demanda possibilita a elaboração de planos abrangentes que abordam aspectos como instalações, mão-de-obra, matérias-primas e outras informações essenciais.

É importante reconhecer que alguns empreendimentos são mais sensíveis a certos elementos do que a outros, e a previsão de demanda permite uma adaptação mais precisa às suas necessidades específicas. Adicionalmente, é importante considerar que as demandas por recursos podem variar significativamente de acordo com a fase do processo industrial em que os empreendimentos operam. Por exemplo, empresas que se dedicam às etapas iniciais de transformação, como a preparação de matérias-primas, geralmente têm um alto consumo de energia devido aos processos envolvidos. Por outro lado, empreendimentos envolvidos na montagem de produtos finais, que exigem uma integração de diferentes componentes, dependem fortemente da disponibilidade de mão-de-obra qualificada.

Além disso, vale ressaltar que a natureza das demandas de recursos pode variar não apenas entre diferentes estágios do processo industrial, mas também dentro de cada fase específica. Por exemplo, em um processo de fabricação de automóveis, a demanda por energia pode variar significativamente entre a fundição de peças e a montagem final, enquanto a demanda por mão-de-obra pode ser mais estável ao longo de todo o processo, mas com diferentes níveis de habilidade e especialização exigidos em cada etapa.

De acordo com Arvan et al. (2019), os métodos de previsão de demanda são amplamente classificados em duas categorias: qualitativos e quantitativos. Os métodos qualitativos dependem exclusivamente de julgamentos e não envolvem manipulação de dados para criar a previsão. Por outro lado, os métodos quantitativos são baseados em procedimentos padronizados que produzem resultados objetivos e não requerem julgamentos subjetivos. Os métodos quantitativos são classificados segundo Ackermann e Sellitto (2022) em:

- Modelos casuais: as demandas por produtos finais, produtos relacionados ou serviços são influenciadas por variáveis anteriores, chamadas de "variáveis independentes" ou "causais", que estabelecem uma relação causa-efeito com as variáveis dependentes;

- Series temporais: utiliza o tempo como variável de entrada, sem outras variáveis explicativas externas. É uma sequência de observações geradas ao longo do tempo. A análise de séries temporais investiga o padrão de comportamento passado de um fenômeno ao longo do tempo para prever seu comportamento futuro.

Ackermann e Sellitto (2022) destacam que o método de séries temporais se baseia na expectativa de que os padrões observados no passado persistam no futuro. Eles mencionam diversos modelos de cálculo dentro dessa abordagem, como média móvel simples, média móvel ponderada, média móvel exponencialmente ponderada e suavização exponencial. Esses modelos são ferramentas matemáticas utilizadas para analisar e prever padrões futuros com base em dados históricos, enfatizando a continuidade dos padrões de demanda ao longo do tempo.

Johnson e Montgomery (1974), por sua vez, focam nos modelos autoprojativos, que são uma subcategoria específica dentro dos métodos de séries temporais. Eles explicam que esses modelos utilizam exclusivamente os dados históricos de demanda para prever futuros padrões, sem depender de informações externas. A abordagem autoprojativa assume que os padrões de demanda observados no passado tendem a se repetir no futuro e utiliza métodos estatísticos para projetar esses padrões. Este modelo é particularmente útil quando não há grandes mudanças esperadas no ambiente de mercado ou quando faltam dados confiáveis sobre fatores externos que possam influenciar a demanda.

A relação entre as duas definições reside na utilização dos dados históricos como base para prever a demanda futura, embora Ackermann e Sellitto (2022) forneçam uma visão mais abrangente dos diferentes modelos dentro dos métodos de séries temporais, enquanto Johnson e Montgomery (1974) se aprofundam em uma abordagem específica, os modelos autoprojativos. Ambas as obras enfatizam a importância da continuidade dos padrões passados para a previsão futura, destacando diferentes aspectos e aplicações dos métodos de séries temporais. Segundo Makridakis et al. (1998, apud Pellegrini e Fogliatto 2001), a aplicabilidade de um sistema de previsão de demanda como esse depende de três condições:

- Disponibilidade de informações históricas;
- Possibilidade da transformação das informações históricas em dados numéricos;
- Suposição da repetição de padrões observados em dados passados no tempo futuro.

Nesta fase, é crucial estabelecer como a previsão de demanda será aplicada e integrada às atividades organizacionais. O nível de detalhamento necessário é uma consideração fundamental, influenciada por vários fatores, como disponibilidade de dados, precisão, custo da análise e preferências gerenciais. Vale ressaltar que o custo da análise está diretamente relacionado à precisão dos dados exigida (Pellegrini e Fogliatto, 2001).

Além disso, é essencial definir o período sobre o qual a previsão será construída e o horizonte de tempo que ela deve abranger. Período é a unidade básica de tempo sobre o qual a previsão de demanda atua. O horizonte é o número de períodos futuros a qual a previsão deve atuar, sendo diretamente ligado a flexibilidade da empresa. Quanto mais flexível for uma organização, menor pode ser o tempo considerado no horizonte e, quanto menos ágil, maior o horizonte.

Pellegrini e Fogliatto (2001) também introduzem o conceito de intervalo, que representa a frequência com que novas previsões de demanda devem ser feitas. Um intervalo mais longo pode resultar na falta de detecção de mudanças significativas na série temporal de consumo recente, o que pode levar a custos adicionais ao revisar as previsões.

É benéfico aplicar grandes unidades de tempo para fazer as previsões. A aplicação de grandes unidades de tempo permite uma análise mais ampla dos padrões de demanda ao longo do tempo e pode ajudar a reduzir o erro total das previsões, especialmente devido ao efeito de compensação que ocorre em longos períodos entre os diferentes elementos agregados da série temporal.

## 2.5 Plano de aquisição de recursos

Para analisar os possíveis sistemas de planejamento de materiais, é fundamental inicialmente estabelecer sua relação com os produtos. Os produtos resultam de processos que transformam matérias-primas, podendo essas transformações envolver simples mudanças de forma ou propriedades, ou a agregação/desagregação de matérias-primas e/ou componentes. Quando as transformações envolvem apenas mudanças de forma ou propriedades, há uma relação direta entre a quantidade de matéria-prima e a unidade do produto desejado. No entanto, em processos de agregação ou desagregação, é necessário estabelecer uma relação específica entre cada estágio do processo e seu sucessor, determinando quantas unidades de material são necessárias para cada estágio subsequente.

De acordo com Orlick (1975), o atributo mais importante de um item em um processo industrial é a natureza de sua demanda, que guia a escolha do método de planejamento de

materiais. Essa demanda pode ser independente, quando não está relacionada à demanda interna de outros itens, ou dependente, quando está diretamente ligada à demanda de outros itens. Itens de demanda dependente podem também ter uma parcela de sua demanda independente, dependendo do contexto de comercialização. A previsão de demanda de itens independentes é realizada com base em dados obtidos diretamente da relação da empresa com o mercado consumidor. As relações de dependência ou independência, o tipo de processo e a natureza discreta ou contínua das matérias-primas e produtos podem resultar em diferentes abordagens no planejamento de materiais.

A função de planejamento de materiais muitas vezes se confunde com a gestão de estoques e sua reposição. De acordo com Fortuin (1977), existem dois métodos principais para a reposição de estoques na indústria: o Controle Estatístico de Estoques (Statistic Inventory Control - SIC), que se concentra em peças e não considera as interdependências entre as demandas por diferentes itens, exigindo previsões de demanda para todos os itens no nível dos componentes; e o Planejamento das Necessidades de Materiais (Material Requirement Planning - MRP), que se concentra nos produtos e trata o estoque como uma coleção de itens com demanda dependente, necessitando de uma programação mestra de produção ou previsões de demanda para os produtos acabados, seguido pelo cálculo da demanda nos níveis dos componentes.

Portanto, uma compreensão detalhada das demandas específicas de recursos em cada estágio do processo industrial é essencial para um planejamento eficaz e uma alocação otimizada de recursos, contribuindo para a eficiência operacional e o sucesso sustentável do empreendimento. Essas projeções são vitais para embasar decisões estratégicas e táticas, assegurando uma utilização eficiente de recursos e a prontidão da empresa para atender à demanda do mercado.

Taylor et al. (1981) ressaltam a importância de previsões de longo prazo, que devem contemplar um período maior do que o necessário para adquirir os recursos, dada a complexidade envolvida em sua obtenção. Ampliar o horizonte das previsões permite às empresas se prepararem adequadamente para desafios e oportunidades futuras, fortalecendo sua sustentabilidade e competitividade. No planejamento de longo prazo, a previsão de demanda é geralmente realizada de forma agregada, utilizando uma unidade comum para diferentes produtos. Quando existe uma ampla diversidade de produtos, é comum agrupá-los em famílias e quantificá-los usando uma unidade comum para essa família.

### 2.5.1 PCP e Indústria 4.0

Além das definições clássicas de sistemas de gerenciamento de produção e inventário mencionadas, há uma crescente utilização da tecnologia da Indústria 4.0 em conjunto com as atividades do PCP, especialmente na área de planejamento e aquisição de recursos.

A Indústria 4.0, embora ainda não possua uma definição formalmente aceita, é amplamente entendida como a integração de tecnologias avançadas no nível da produção e gestão de operações. Descrita como uma revolução habilitada pela aplicação generalizada de tecnologias como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial (IA), big data, computação em nuvem e sistemas ciberfísicos, a Indústria 4.0 busca trazer novos valores e serviços tanto para os clientes quanto para as organizações. Hermann et al. (2016) a define como um "termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização de cadeias de valor", enquanto Bitkom et al. (2016, apud. Santos et al., 2018) a vê como a quarta Revolução Industrial, sendo a próxima etapa na organização e controle de todo o fluxo de valor ao longo do ciclo de vida do produto.

Em uma visão holística, a Indústria 4.0 representa mudanças significativas nos processos de produção e nos modelos de negócios, configurando um novo patamar de desenvolvimento e gestão para as organizações. Essa abordagem considera o potencial disruptivo da integração de objetos físicos na rede de informação, revolucionando a tradicional indústria de transformação. Essas tecnologias permitem uma maior automação, conectividade e análise de dados em tempo real, resultando em processos mais eficientes, flexíveis e personalizados. A Indústria 4.0 facilita a coleta e análise de grandes volumes de dados provenientes de máquinas e sensores, melhorando a tomada de decisões e a previsibilidade das operações. Com isso, as empresas podem otimizar a produção, reduzir custos, melhorar a qualidade dos produtos e aumentar a competitividade no mercado global.

Esse vínculo entre o PCP e a Indústria 4.0 é explorado no trabalho de Bueno et al. (2020), onde a revisão sistemática da literatura resultou na análise de 102 artigos. Segundo os autores, para a área de planejamento e aquisição de recursos, os pontos atingidos pelas tecnologias foram principalmente relacionados aos dados das empresas como:

- Otimização de recursos e capacidade: inclui a alocação eficiente de mão de obra, máquinas e materiais com base em dados em tempo real e análises preditivas.
- Gestão de fornecedores: comunicação mais eficaz e colaborativa com os fornecedores, melhorando a cadeia de suprimentos como um todo;

- Monitoramento de desempenho: coleta de dados em tempo real sobre a eficiência das máquinas, a produtividade da mão de obra e o uso de materiais, permitindo ajustes rápidos e decisões baseadas em dados para otimização do desempenho.

Essas soluções exigem uma integração eficiente entre os departamentos da empresa ligados às atividades do PCP, como o almoxarifado para controle de estoques e as células produtivas no chão de fábrica. Além disso, requerem uma capacidade de processamento de dados elevada e, conseqüentemente, uma equipe de TI especializada, familiarizada com as tecnologias implementadas e capaz de realizar as manutenções necessárias nos sistemas.

Portanto, embora existam ferramentas mais avançadas no mercado amplamente implementadas, essas soluções estão fora do escopo deste projeto e, portanto, não serão abordadas. No entanto, alguns conceitos dessas tecnologias, como um sistema de produção adaptativo que se ajusta às mudanças na demanda, podem ser indiretamente alcançados na implementação da ferramenta desenvolvida neste trabalho.

## 2.6 Sistemas MRP

O sistema MRP, concebido por Joseph Orlick na década de 1970, representou um marco na gestão da produção. Seu propósito inicial era calcular as necessidades líquidas de matérias-primas, subconjuntos e componentes discretos para atender à demanda de produtos, organizada em períodos discretos. Inicialmente, o sistema era aplicado principalmente a processos de agregação e de simples alterações de forma ou propriedade de materiais.

A atividade de aquisição de diferentes itens e conjuntos, em quantidades distintas, implica em operações e tempos de execução variados. No sistema MRP completo, as ordens de produção ou compra de materiais e componentes são geradas a partir dos prazos dos itens finais, considerando seus respectivos tempos de obtenção específicos. Esses tempos, conhecidos como *leads times*, representam o intervalo entre a liberação da instrução para iniciar a obtenção de um item ou conjunto e o momento em que ele se torna disponível para uso.

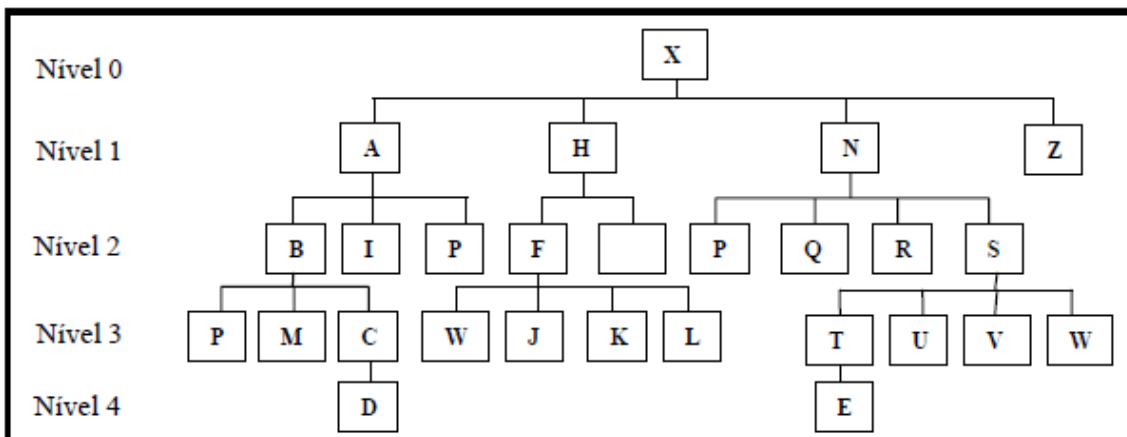
O MRP não apenas deve determinar a quantidade necessária de cada item, mas também estabelecer quando esses itens devem estar disponíveis e quando as medidas para sua obtenção devem ser iniciadas. Sua estrutura foi criada para determinar as quantidades estritamente necessárias a serem obtidas nos momentos exatos. Entretanto, diferentes estratégias são adotadas para a emissão de ordens de produção ou compra, dependendo de decisões estratégicas da empresa, bem como das características do produto. Por exemplo, alguns produtos podem ter

uma demanda mais previsível, permitindo ordens mais estáveis, enquanto outros podem exigir uma abordagem mais flexível para lidar com flutuações na demanda.

O sistema MRP supõe para a sua aplicação a existência do plano mestre de produção com demandas consolidadas e um cadastro de itens que descreva as estruturas dos produtos manufaturados em forma de lista de materiais (*Bill Of Material* – BOM).

O MRP possui uma lógica retroativa que, dada a visão de necessidade futura de produtos acabados normalmente estipulada pelo plano mestre, “explode” as necessidades de componentes intermediários e de consumo (matéria prima) nível a nível, retroativamente no tempo, baseando-se no *lead time* definido para cada um dos itens. Por isso, é chamada de lógica de “programação para trás” (Correa et al., 2008). Uma representação estrutural da composição de um produto é dada por Orlick (1975) na figura 2.

Figura 2 – Representação da estrutura hierárquica de composição de um produto.



Fonte: Adaptada de Orlick (1975).

O item no nível  $n$  que possua ao menos um item a ele atrelado no nível  $n+1$  é denominado de item pai. De maneira complementar, cada item do nível  $n+1$  são denominados filhos do respectivo item de nível  $n$  ao qual estão atrelados. Além disso, um mesmo componente pode ser utilizado mais de uma vez em uma mesma estrutura de um produto ou ser utilizado em mais de um produto em níveis diferentes.

O cálculo das necessidades dos itens é sempre realizado de forma hierárquica, onde cada nível é processado individualmente. Nos casos em que um item está presente em vários níveis da estrutura de um ou mais produtos, a estrutura é reconfigurada de modo que o item seja posicionado no nível mais baixo possível. Essa técnica é conhecida como código de baixo nível.

Em qualquer situação, o MRP requer o cadastro dos itens, associando-os aos seus respectivos pais e indicando as quantidades necessárias do item por unidade do pai. Este sistema

é especialmente eficaz para a montagem de conjuntos e subconjuntos e, conseqüentemente, aplicável aos sistemas de fabricação de componentes, seja como parte desses subconjuntos, conjuntos e produtos, seja como itens individuais. No entanto, quando utilizado para itens individuais, a estrutura de informações do MRP pode estar superdimensionada, especialmente para pais/produtos com apenas um filho, como é o caso de matérias-primas.

Em sistemas onde as matérias-primas são discretas, é comum haver um projeto que define exatamente as propriedades, dimensões e quantidades necessárias de cada item para cada produto. Isso ocorre devido à existência de uma correlação bem estabelecida e compreendida entre esses fatores. Por outro lado, em sistemas onde as matérias-primas são contínuas (como líquidos, gases) ou são consideradas como tal, nem sempre a relação entre quantidades, propriedades e dimensões é clara. Mesmo quando essa relação está estabelecida, as quantidades não necessariamente correspondem às disponibilidades de mercado ou apresentam preços aceitáveis. De acordo com Rutten (1981 apud Scarpelli, 2006), variações das matérias-primas (filho) podem causar variações nas suas proporções em relação ao produto acabado (pai), nas especificações estabelecidas.

Por outro lado, é essencial considerar a possibilidade de ocorrência de consumos adicionais não planejados, seja total ou parcialmente, dos itens filhos necessários para a produção do item pai. Erros no processo de medição ou registro de consumo, desperdício ou perdas durante a produção, mudanças nas condições ambientais e desvios de matéria-prima são alguns exemplos desses consumos adicionais que não podem ser previstos exclusivamente com base no desenho do produto. Portanto, uma abordagem que leve em conta dados reais de produção é necessária para lidar com essas situações.

Uma estratégia viável é determinar a proporção entre as quantidades de unidades do item filho por unidade do item pai com base na média histórica observada dessa relação. Esse método de cálculo de necessidades por relação segue a mesma estrutura em níveis definida no sistema MRP. Na prática, a utilização da média histórica atenua o impacto dos consumos adicionais, funcionando como um estoque de segurança para garantir o correto funcionamento produtivo. Essa abordagem parte do pressuposto de que os consumos adicionais, especialmente em casos com dispersão acentuada, tendem a ocorrer com a mesma frequência observada no histórico. A implementação de estratégias flexíveis e adaptáveis na utilização do MRP como uma vertente na atividade de tomada de decisão, no sistema de Planejamento e Controle da Produção, é essencial para lidar eficientemente com os desafios inerentes à complexidade do processo produtivo.

## 2.7 Estratégias de manufatura

Uma empresa altamente orientada para o mercado concentra-se em atender ou superar as expectativas dos clientes e em fatores decisivos de pedidos. Nesse contexto, todas as funções devem contribuir para uma estratégia vencedora. Assim, as operações desempenham um papel crucial, desenvolvendo estratégias que garantam a capacidade de atender às demandas do mercado de forma eficiente e oportuna. Isso implica em uma abordagem ágil e flexível, capaz de se adaptar rapidamente às mudanças nas preferências dos clientes, à flutuação na demanda e às condições do mercado, assegurando uma resposta rápida e eficaz às necessidades do cliente.

A entrega rápida e pontual é uma prioridade para maioria dos casos neste contexto. A capacidade de fornecer produtos ou serviços dentro do prazo estipulado é essencial para manter a satisfação do cliente e ganhar vantagem competitiva. Além disso, uma entrega eficiente e no prazo pode ser um fator determinante na fidelização do cliente e na construção de uma reputação positiva no mercado, fortalecendo a posição da empresa em relação à concorrência.

A eficiência no gerenciamento do tempo de entrega é crucial para a competitividade de uma empresa no mercado. Para os fornecedores, o tempo de entrega não se resume apenas ao intervalo entre o recebimento do pedido e a entrega do produto, mas também envolve processos internos de preparação e logística. Da perspectiva do cliente, o tempo de entrega é ainda mais abrangente, incluindo não apenas o período de espera pelo produto, mas também o tempo necessário para o processamento do pedido e sua transmissão. É fundamental que as empresas entendam e atendam às expectativas dos clientes em relação ao tempo de entrega, o que requer estratégias robustas de fabricação e logística. Arnold et al (2012), define quatro estratégias básicas de manufatura:

- Engenharia por encomenda: envolve especificações únicas do cliente, com alto envolvimento deste no design do produto. O inventário é adquirido conforme necessário, resultando em longos prazos de entrega devido ao tempo de compra e design;
- Fabricação sobre encomenda: o fabricante não inicia a fabricação do produto até receber um pedido do cliente. O produto final geralmente é feito a partir de itens padrão, mas pode incluir componentes projetados sob medida também. O tempo de entrega é reduzido porque há pouco tempo de design necessário e o inventário é mantido como matéria-prima;

- Montar sobre encomenda: a fabricação de produtos é feita a partir de componentes padrão, permitindo uma redução no tempo de entrega devido à ausência de tempo de design e ao estoque prévio dos componentes. O envolvimento do cliente no design é limitado à seleção das opções de peças de componentes necessárias;
- Fazer para estoque: o fornecedor fabrica os produtos e vende a partir de um estoque de produtos acabados. O tempo de entrega é o mais curto. O cliente tem pouco envolvimento direto no design do produto.

Estas estratégias de manufatura desempenham um papel crucial na eficiência e na capacidade de resposta das organizações às demandas do mercado. Desde o engenheiro para encomenda até o fabricante para estoque, cada abordagem oferece vantagens e desafios únicos.

A capacidade de oferecer produtos personalizados, reduzir o tempo de entrega e manter um estoque eficiente são aspectos críticos para a competitividade no ambiente de negócios atual. No entanto, a implementação dessas estratégias muitas vezes enfrenta obstáculos, como altos custos, complexidades técnicas e desafios de integração de dados.

“Uma boa fábrica não pode, simultaneamente, tornar-se excelente em todos os critérios de desempenho como baixo custo, alta qualidade, investimento mínimo, baixos prazos de entrega e rápida introdução de novos produtos.” (Correa e Gianesi, 1993, p.17)

Portanto, é essencial para as organizações compreenderem suas necessidades específicas e avaliarem cuidadosamente as diferentes estratégias de manufatura disponíveis, considerando tanto os benefícios potenciais quanto os desafios envolvidos, a fim de alcançar uma operação eficiente e ágil que atenda às demandas do mercado.

## 2.8 Tecnologia *Business Intelligence*, PowerBI e SharePoint

Para competir efetivamente no mercado atual, as empresas precisam tomar decisões embasadas em informações relevantes e atualizadas. Segundo Turban et al (2009), as empresas estão sendo compelidas a coletar, compreender e explorar seus dados para embasar a tomada de decisões e aprimorar as suas operações comerciais. Nesse contexto, os Sistemas de Apoio à Decisão (SAD) surgiram como uma resposta crucial, permitindo o suporte à tomada de decisões complexas e a resolução de problemas.

De acordo com Shim et al. (2002), esses sistemas são soluções computacionais desenvolvidas para oferecer funcionalidades avançadas, incluindo o gerenciamento de bancos de dados sofisticados, capacidades de modelagem poderosas e interfaces de usuário intuitivas. No entanto, essa definição foi substituída por outras denominações, como *Business Intelligence* (BI), refletindo uma mudança no cenário tecnológico e na compreensão dos sistemas de suporte à decisão.

O termo "Business Intelligence" foi introduzido pela primeira vez nos Estados Unidos da América (EUA) em um artigo escrito por Hans Peter Luhn, pesquisador da IBM, em 1958. Luhn utilizou o termo para descrever o processo de coleta, organização e análise de dados para ajudar na tomada de decisões empresariais. Desde então, o conceito evoluiu significativamente, incorporando uma variedade de tecnologias e práticas para fornecer insights acionáveis às organizações.

Um software de *Business Intelligence* (BI) é uma ferramenta ou conjunto de tecnologias projetadas para ajudar as empresas a coletar, organizar, analisar e apresentar dados de forma significativa. Esses sistemas permitem que as organizações transformem grandes volumes de dados brutos em informações úteis e acionáveis, ajudando na tomada de decisões estratégicas e operacionais. O software de BI geralmente inclui recursos como relatórios interativos, dashboards, análises de dados, mineração de dados, visualização de dados e recursos de inteligência artificial para previsões e insights avançados.

Os principais objetivos do BI, segundo Turban et al. (2009), são de facilitar a interação com os dados, permitindo sua manipulação, e capacitar gerentes e analistas de negócios para realizar análises eficazes. Eckerson (2003, apud Turban 2009) compartilha os resultados de uma pesquisa realizada com 510 corporações, destacando os benefícios percebidos do BI conforme relatado pelos participantes, com melhorias significativas em economia de tempo, consistência de informações, aprimoramento de estratégias e planos, melhoria das decisões táticas, aumento da eficiência dos processos, e redução de custos.

O Power BI é uma plataforma de análise de negócios desenvolvida pela Microsoft. Foi lançado pela primeira vez em 2013 como uma versão beta e, desde então, passou por várias atualizações e aprimoramentos para se tornar uma das principais ferramentas de *Business Intelligence* (BI) disponíveis atualmente. O objetivo inicial do Power BI era fornecer às empresas uma maneira fácil e eficaz de coletar, analisar e visualizar dados para tomar decisões informadas. Com o tempo, o Power BI evoluiu para oferecer recursos avançados, como análise preditiva, inteligência artificial e integração com uma ampla variedade de fontes de dados, tornando-se uma solução completa para as necessidades de análise de dados das empresas.

O Power BI se destaca como uma ferramenta altamente alinhada aos objetivos do Business Intelligence (BI), oferecendo uma plataforma completa para lidar com dados de forma eficiente. Com recursos avançados de relatórios, dashboards personalizados e análises poderosas, a ferramenta capacita as organizações a transformar grandes volumes de dados em insights úteis e acionáveis. Sua capacidade de integração com várias fontes de dados possibilita a consolidação, análise e visualização integrada dos dados, proporcionando uma visão abrangente da organização e auxiliando na tomada de decisões estratégicas em empresas de todos os tamanhos e setores.

Entre as principais características da plataforma, destaca-se a integração perfeita com o Office 365, permitindo incorporação nativa em outros aplicativos da plataforma, como Excel, SharePoint e Outlook. Além disso, o Power BI está disponível em aplicativos desktop, móveis e web, proporcionando flexibilidade e acessibilidade aos usuários. Outro destaque é o suporte a uma ampla gama de conexões de dados, incluindo MS SQL Server, Oracle, Azure, Salesforce, Facebook, Analysis Services, Excel e Access, entre outros.

O SharePoint é uma plataforma de colaboração e gestão de conteúdo desenvolvida pela Microsoft. Ele permite que as organizações criem sites para compartilhar informações e documentos com colegas de trabalho, além de facilitar a colaboração em projetos e processos de negócios. Com o SharePoint, os usuários podem criar sites, armazenar e organizar documentos, gerenciar fluxos de trabalho, criar e compartilhar listas e bibliotecas de documentos, e muito mais. É uma ferramenta flexível que pode ser personalizada de acordo com as necessidades específicas de uma organização, ajudando a melhorar a produtividade e a eficiência no local de trabalho.

Portanto, para empresas que já têm integração com outros produtos da Microsoft, a implementação do Power BI em conjunto ao Sharepoint pode ser realizada de maneira simplificada e eficiente, aproveitando ao máximo os recursos oferecidos pelas plataformas e impulsionando a análise de dados, compartilhamento de conteúdo e principalmente a tomada de decisões estratégicas.

### 3 MÉTODO E DESENVOLVIMENTO

#### 3.1 Introdução

O objetivo central deste trabalho foi desenvolver uma ferramenta que incorpore os princípios fundamentais dos sistemas MRP, adaptando-os às demandas específicas de uma

empresa de pequeno a médio porte. Esse empreendimento precisa levar em consideração as particularidades operacionais e as limitações de implementação existentes. O grande desafio desse projeto foi utilizar os recursos técnicos e computacionais já disponíveis na organização, de modo a não aumentar os custos totais da empresa com tecnologia, enquanto se busca oferecer uma solução que atenda plenamente às suas necessidades.

O trabalho foi realizado em uma empresa estabelecida no interior de São Paulo, com mais de 15 anos de experiência na produção de insumos cirúrgicos e equipamentos médicos, inclusive com presença em mercados internacionais. Esta iniciativa visa aprimorar os processos de planejamento e controle da produção, otimizando a alocação de recursos e assegurando uma gestão mais eficaz das operações do dia a dia.

Para garantir o sucesso do projeto e a eficácia da ferramenta desenvolvida, foram estabelecidas diversas etapas que guiaram todo o processo. Essas etapas, definidas com o time de desenvolvimento da empresa, incluíram desde o levantamento inicial de requisitos até a implantação e monitoramento contínuo da ferramenta. Ademais, conceitos apresentados por Deschamps (2023) em seu curso de desenvolvimento web também foram utilizados. Cada uma dessas etapas desempenhou um papel fundamental na criação de uma solução personalizada e eficiente para atender às necessidades da empresa.

### 3.2 Levantamento de requisitos

O desenvolvimento de ferramentas ou sistemas requer uma compreensão completa das necessidades e requisitos da empresa. A etapa de Levantamento de Requisitos desempenha um papel crucial nesse processo, envolvendo a identificação e documentação detalhada das necessidades da empresa, bem como dos requisitos específicos que a ferramenta deve atender. Essa fase inicial é essencial para garantir que o produto atenda às expectativas e requisitos do cliente, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento subsequente.

Nesta etapa, realizou-se um levantamento detalhado das necessidades do projeto, identificando os desafios enfrentados pela empresa e os resultados esperados. Verificou-se que o software unificado desenvolvido por terceiros não atendia às necessidades específicas da empresa em termos de gestão de previsão de estoque e controle de consumo de itens primários, intermediários e finais. Além disso, a empresa não tinha uma noção clara de quanto deveria estocar de cada item final, não conseguia determinar quando o estoque estava abaixo ou acima do ponto de reposição e não possuía um planejamento adequado para manter os níveis desejados de estoque. As quantidades solicitadas para compra frequentemente estavam distorcidas devido

a preocupações financeiras e à falta de confiança nos dados disponíveis. Também havia dificuldade em priorizar os grupos de produtos de forma eficaz. Consequentemente, a empresa enfrentava uma situação de desequilíbrio no estoque, com produtos de alta rotatividade mantidos em quantidades mínimas, enquanto itens de baixa demanda acumulavam estoques excessivos, em alguns casos, por anos, em descompasso com o consumo real.

Ademais, havia uma ambiguidade nas responsabilidades entre os departamentos de PCP e Compras, o que gerava confusão na tomada de decisões relacionadas ao controle de estoque e produção. As responsabilidades setoriais não estavam claramente definidas, o que resultava em uma falta de coordenação entre as equipes e dificultava a implementação de estratégias eficazes de gestão de estoque. Isso contribuía para o desequilíbrio nos níveis de estoque e na dificuldade em atender às demandas de produção de maneira eficiente.

No início do projeto, foram estabelecidas as responsabilidades de cada setor, com a participação ativa dos gestores e representantes da diretoria. Em seguida, foram identificadas as partes interessadas na ferramenta, incluindo aqueles responsáveis por validar seus resultados, monitorar seu uso, gerenciar equipes e os próprios usuários finais, que compõem os membros da equipe.

Após a análise detalhada, ficou estabelecido que o PCP seria responsável pelo controle de estoques, solicitações de compras e produção de itens, enquanto o departamento de Compras ficaria encarregado de formalizar e efetivar essas solicitações, em colaboração com o setor Financeiro. O gestor do PCP teria a responsabilidade de supervisionar a implementação e usabilidade da nova ferramenta, trabalhando em estreita colaboração com o responsável pelo desenvolvimento do projeto para garantir sua eficácia. Além disso, todos os membros da equipe receberiam treinamento para utilizar a ferramenta, e seriam incentivados a relatar quaisquer dúvidas ou problemas encontrados durante sua utilização.

Assim, as necessidades identificadas pela empresa em termos de funcionalidades que o sistema deve fornecer incluem: previsão de demanda (*forecasting*), controle de níveis de estoque, planejamento de produção, programação de compras e monitoramento geral.

### 3.2.1 Previsão de demanda - forecasting

A decisão por parte da empresa foi que o período considerado seria de um mês, com um horizonte de previsão de 2 anos (24 períodos), levando em conta que o intervalo de lead time dos itens de matéria-prima comprados varia de 15 a 360 dias. Além disso, o conceito do intervalo entre as previsões será mantido no mínimo possível, uma vez que o sistema deve

atualizar os dados diariamente ou, no máximo, semanalmente, dependendo da rotina de trabalho do setor de Planejamento e Controle da Produção na utilização da ferramenta.

O detalhamento será amplo, englobando a previsão de cada item registrado na empresa, desde a matéria-prima até o produto final para venda. Os produtos finais serão classificados em três grandes grupos denominados A, B e C, cada um seguindo uma estratégia diferente de manufatura. Embora as diretrizes para classificação dos produtos nos diferentes grupos não sejam detalhadas neste trabalho, as distinções no tratamento entre eles serão abordadas:

- Grupo A: representa a prioridade máxima da empresa, abrigando seus principais produtos. Aplica a estratégia de fazer para estoque, com estoque de segurança adicional;
- Grupo B são os produtos normais da empresa. Aplica a estratégia de fazer para estoque, sem estoque de segurança;
- Grupo C, representa os produtos com certa sazonalidade ou requisição sobre medida. Aplica a estratégia de fabricação sobre encomenda.

O modelo de previsão de demanda adotado pela empresa foi o quantitativo, com o método de média móvel simples (MMS). Este, utiliza a média dos valores passados da demanda para prever o futuro imediato. É aplicado em situações em que a demanda é estável em torno de um valor médio. No entanto, pode apresentar uma reação lenta a mudanças na demanda ao longo do tempo e não é eficaz para capturar variações sazonais.

Essa estratégia, adotada pela diretoria, visa garantir que o consumo seja representativo em qualquer período do ano, embora não leve em conta possíveis picos de demanda. Esta estratégia foi implementada após uma análise histórica de vendas, que não indicava uma sazonalidade tão pronunciada para os dois primeiros grupos. A fim de mitigar reação lenta dessa escolha, uma regra de controle de estoque foi imposta, detalhada no próximo tópico.

Portanto, para calcular o consumo dos produtos finais, é considerada a média mensal dos últimos 12 meses encerrados. Por exemplo, se estivermos em junho de 2024, o período considerado será de 1º de maio de 2023 a 31 de maio de 2024. Essa média é obtida somando o total de saídas do item de venda ao longo dos 12 meses correspondentes:

Para os produtos intermediários e matéria-prima, a aplicação do MRP (Material Requirements Planning) é fundamental. Para isso, é essencial empregar a Lista de Materiais (Bill of Materials), juntamente com o fator de relação entre as quantidades de material pai e filho em cada uma das relações. Dessa forma, em cada nível da hierarquia dos produtos finais,

o consumo é transmitido aos materiais filhos que o compõem, sendo o cálculo realizado através de uma simples multiplicação do consumo pelo fator.

Esse fator, crucial na relação entre o item pai e filho, pode ser obtido de duas maneiras distintas: indiretamente, por meio da estrutura de desenho produtivo do item final ou intermediário, durante o projeto de engenharia, ou calculado com base no processo produtivo real.

No projeto do item pai, se as quantidades utilizadas do item filho para a produção de uma unidade do item pai forem devidamente cadastradas, essa informação pode ser usada como fator. No entanto, se o cadastro não estiver preciso ou houver perdas ou variações significativas no consumo efetivo do item filho durante o processo produtivo, esse fator pode se tornar impreciso em relação ao cenário real.

Portanto, a melhor abordagem para obter esse fator seria calcular a partir do histórico de operações produtivas do item pai, registrando as quantidades verdadeiramente utilizadas de todos os itens filhos. Dessa forma, uma simples média da quantidade de utilização de cada um dos itens filhos para cada operação produtiva seria equivalente ao fator a ser considerado. No entanto, essa estratégia exige dois elementos essenciais: um registro minucioso de todos os consumos de cada processo produtivo já realizados e um histórico de operações confiável.

Nas atividades produtivas da organização onde o projeto foi implementado, o cadastro minucioso das quantidades utilizadas durante o processo produtivo já faz parte da rotina de trabalho de todos os operadores, a fim de controlar os estoques corretamente. Dessa forma, a segunda estratégia foi adotada, utilizando o histórico de operações produtivas efetuadas do item pai para calcular o fator necessário.

A classificação dos materiais intermediários e de base em um dos três grupos considerados é determinada pela Lista de Materiais (Bill of Material). Assim como o item filho recebe o consumo do item pai corrigido pelo fator, ele também é atribuído a um dos três grupos. No entanto, surgem situações em que uma mesma matéria-prima é utilizada na produção de um ou mais produtos, que podem pertencer a múltiplos grupos de classificação. Nessas circunstâncias, o consumo do produto intermediário ou de base (matéria-prima) é a soma de todos os consumos recebidos ajustados aos seus respectivos fatores calculados em cada uma das relações. Sua classificação é determinada pelo grupo mais prioritário entre os produtos atendidos. Por exemplo, se uma mesma matéria-prima é empregada tanto na fabricação de um produto do grupo C quanto na de um produto do grupo A, ela será classificada como pertencente ao grupo A. Assim, dado o consumo de cada item e a diferença da regra, a previsão de demanda

pode ser obtida distribuindo o consumo ao longo de cada mês (período) no horizonte estabelecido (24 meses).

### 3.2.2 Controle de níveis de estoque, programação de produção e compras

Por determinação da diretoria, o sistema deve garantir que os estoques sejam mantidos em todos os níveis hierárquicos dos produtos, em quantidades suficientes para atender à demanda durante o lead time de cada item, além de incluir um acréscimo para estoque de segurança em grupos de produtos prioritários. Esta regra visa manter os estoques ligeiramente acima do necessário, pois a prioridade da empresa é agilizar a entrega dos produtos aos distribuidores e clientes.

Os níveis de estoque a serem mantidos variam de acordo com as estratégias de manufatura e as regras organizacionais. Para os produtos de venda dos grupos A e B, o estoque deve ser equivalente aos seus respectivos consumos. Seguindo uma regra organizacional específica, o grupo A deve aplicar um estoque de segurança, ou seja, uma porcentagem arbitrária do consumo (definida pela diretoria) que deve ser mantido em estoque. Por outro lado, o grupo B não possui estoque de segurança, assim como o C, para os quais não é necessário estoque algum.

Para os produtos intermediários e matérias-primas adquiridos, além de receberem o valor de consumo ajustado dos produtos de venda aos quais estão vinculados na hierarquia, eles também são categorizados de acordo com os fornecedores, e uma regra é aplicada a eles com base nessa classificação. Estas regras não serão detalhadas neste trabalho.

Considerando o consumo projetado para cada item, o nível de estoque esperado é calculado de acordo com uma regra administrativa da organização. Esse cálculo é feito multiplicando o consumo individual do item pelo seu lead time (em meses) correspondente, resultando no que é denominado neste trabalho como estoque regra. Dessa forma, temos os seguintes estoques regra:

- Grupo A:  $\text{consumo}^{MED} * (\text{lead time} + \text{fator de segurança})$ ;
- Grupo B:  $\text{consumo}^{MED} * \text{lead time}$ ;
- Grupo C:  $\text{consumo}^{MED} * 0$  (não controla estoque).

No entanto, a ferramenta não se limitará a mostrar apenas o estoque regra para cada item. Seu principal objetivo é exibir a quantidade de cada item a ser atendida, visando auxiliar

o PCP na gestão da produção dos itens hierárquicos. Portanto, teremos dois fatores a serem considerados, relacionados à gestão produtiva pelo PCP: o estoque regra a ser alcançado, de acordo com a estratégia de manufatura, e as pendências atuais de itens que devem ser entregues para solicitações de estoque já existentes, seja de pedidos de venda para os produtos finais ou solicitações referentes a operações produtivas.

Assim, a comparação entre o estoque real da empresa e o estoque regra calculado deve ser feita considerando a pendência individual de cada item. A pendência a ser considerada, independente da classificação nos grupos, é determinada pela quantidade total de itens a serem entregues em solicitações válidas da empresa, ou seja, pedidos de venda confirmados que serão realizados efetivamente, ou solicitações de estoque para operações produtivas.

Dessa forma, a discrepância entre o estoque efetivo (estoque menos pendências) e o estoque regra calculado, se positiva ou nula, indica que os níveis de estoque atuais atendem toda a pendência de pedidos da empresa e satisfazem os níveis de estoque esperados, eliminando a necessidade de produção ou compra. Por outro lado, uma diferença negativa indica a existência da necessidade de produção ou compra do item. Essa diferença negativa, em termos absolutos, representa exatamente a quantidade a ser obtida para atender à pendência e à regra afim de manter-se dentro dos patamares estabelecidos. Essa quantidade é denominada neste trabalho como “diferença da regra”.

Com o intuito de minimizar custos adicionais, a organização implementa o conceito de lote econômico de compra para todas as matérias-primas. Conforme Machline (1961), esse conceito define a quantidade de material a ser adquirida de uma única vez para alcançar o menor custo total, considerando os custos de armazenamento, os juros do capital investido e as despesas gerais de compra. Além disso, cada item possui um lote produtivo econômico estabelecido no projeto de engenharia, que também deve ser observado. Esse lote representa a quantidade ideal a ser produzida de uma só vez para cada item intermediário e final de venda. Portanto, a demanda de cada item ao longo dos meses deve ser consolidada em quantidades equivalentes ao lote econômico de compra e produção, a fim de atender efetivamente às solicitações de compra e de produção.

Dado que as quantidades de consumo e a discrepância em relação à regra raramente serão múltiplos desses lotes, é necessário ajustá-las para corresponder à demanda real. A quantidade efetivamente requisitada em um determinado mês deve ser calculada multiplicando o lote mínimo pela divisão da quantidade necessária pelo lote mínimo, arredondada para cima sem casas decimais. Portanto o resultado para a quantidade efetiva a ser requisitada é igual a um múltiplo do lote econômico.

Entretanto, esse processo deve ser repetido para cada mês, uma vez que, devido ao arredondamento para cima, o excesso de itens deve ser deduzido das necessidades e solicitações do período subsequente. A tabela 3 representa um exemplo para um item com uma diferença da regra de 50 unidades, uma previsão de demanda de 150 unidades e um lote mínimo de 400 unidades.

Tabela 3 – Exemplo de cálculo de solicitação efetiva

		Imediata	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Necessidade	Diferença da Regra	50						
	Previsão de demanda		150	150	150	150	150	150
Solicitação efetiva		400	0	0	400	0	0	400
Excesso		350	250	100	350	250	100	350

Fonte: Elaborado pelo autor.

Assim, a exigência imediata deve corresponder à discrepância em relação à regra atual, enquanto a demanda nos meses seguintes equivale à previsão de demanda do próprio item. Portanto, a ferramenta deve apresentar a diferença da regra calculada, a previsão de demanda para cada mês dentro do horizonte estabelecido, juntamente com as quantidades calculadas para as solicitações imediatas e para os períodos futuros, para cada um dos itens.

Portanto, a responsabilidade de acompanhar essas informações recai, no contexto da organização, sobre o setor de PCP. É neste setor que a ferramenta deve indicar a quantidade e o momento em que as solicitações de produção e compra devem ser realizadas, enquanto a equipe é encarregada de transmitir essas informações ao software integrado da empresa e aos demais setores. Além disso, considerando que a atualização da ferramenta ocorre diariamente ou semanalmente, como já mencionado, também é necessário realizar atividades de monitoramento para verificar alterações nos valores e tomar decisões com base nos dados, caso o que foi previsto no sistema não possa ser concretizado na realidade.

### 3.3 Definição de escopo da ferramenta

O escopo da ferramenta se estende por uma variedade de funcionalidades cruciais para a eficiente gestão do Planejamento e Controle da Produção (PCP). Isso abrange desde a monitoração e previsão da demanda por produtos intermediários e finais até o processamento de pedidos de compra de matéria-prima, além do planejamento, programação e controle da

produção de itens intermediários e finais. Além disso, a ferramenta busca emular as principais características dos sistemas MRP, como o cálculo das necessidades de materiais pela hierarquia do produto, a programação da produção e o controle de estoques.

A adaptação às particularidades da empresa é uma prioridade central, especialmente considerando o contexto de uma empresa de pequeno a médio porte no setor de produção de insumos para centro cirúrgico. Nesse sentido, é fundamental que a ferramenta atenda às regras operacionais específicas e às limitações de implementação do negócio, garantindo assim sua eficácia e utilidade prática no ambiente operacional da organização.

### 3.4 Análise de viabilidade e arquitetura do sistema

Ao identificar as necessidades de funcionalidades da ferramenta, ficou claro que era crucial desenvolver um sistema que gerenciasse diversos aspectos da produção de maneira integrada e eficaz. No entanto, é essencial garantir que o desenvolvimento dessa ferramenta não resulte em custos adicionais para a organização. Além do custo, para a viabilidade técnica do desenvolvimento da ferramenta, foram levantados cinco fatores principais:

- Estruturação das informações no banco de dados: A forma como os dados estão organizados no banco influenciará diretamente na viabilidade do projeto. Uma estruturação eficiente permitirá uma recuperação rápida e precisa dos dados necessários para análise;
- Conexão ao banco de dados: A capacidade de conectar ao banco de dados é fundamental para acessar os dados necessários para análise. A facilidade e estabilidade dessa conexão impactam diretamente na eficiência e eficácia do projeto;
- Confiabilidade dos dados: A precisão e integridade dos dados são cruciais para garantir resultados confiáveis e precisos. A confiabilidade dos dados envolve aspectos como a qualidade dos dados, a consistência e a atualização adequada das informações;
- Capacidade técnica e de processamento: A capacidade de realizar os cálculos necessários é crucial para a viabilidade técnica do projeto. Isso envolve avaliar a complexidade das operações matemáticas e garantir uma capacidade de processamento adequada, especialmente ao lidar com grandes volumes de dados ou cálculos complexos, onde uma capacidade insuficiente pode levar a análises lentas ou falhas;
- Publicação e distribuição dos resultados: A capacidade de publicar e distribuir os resultados da análise de forma acessível e compreensível é essencial para garantir que

as informações sejam utilizadas de forma eficaz pela equipe e demais interessados. Isso inclui a facilidade de compartilhamento dos relatórios e a capacidade de exportar os resultados para diferentes formatos.

#### 3.4.1 Ferramentas

As ferramentas empregadas no desenvolvimento deste projeto, foram as plataformas já disponíveis no pacote Office 365 da Microsoft. Optou-se por essas ferramentas devido à sua implementação prévia na empresa e à compatibilidade com os sistemas já existentes desenvolvidos com essas tecnologias. Para garantir uma integração eficiente dos dados e uma visão abrangente das operações da empresa, o Power BI será configurado para se conectar ao banco de dados central da empresa. A partir desse banco de dados, serão extraídos os dados sobre estoques, produção, vendas e outras métricas relevantes. Essa integração permitirá que o Power BI analise, visualize e manipule uma cópia dos dados, fornecendo insights valiosos para a atuação do setor de PCP.

Assim, o Power BI assume a responsabilidade de consultar e manipular as tabelas do banco de dados principal da empresa, executando os cálculos necessários e exibindo os resultados esperados em um *dashboard* intuitivo, de fácil utilização pelos gestores e membros da equipe. *Dashboard* segundo Bach et al. (2023) é onde as informações cruciais para alcançar um ou mais objetivos são exibidas visualmente em uma única tela, consolidadas e organizadas para permitir uma rápida monitoria.

Uma alternativa inicialmente considerada, porém, descartada devido a restrições de tempo, seria a utilização de um algoritmo programado para consultar as tabelas relevantes do banco de dados principal, realizar os cálculos necessários e manipular as informações para se adequarem ao projeto no Power BI. Posteriormente, esses dados já processados poderiam ser carregados para um banco de dados secundário, que serviria de consulta para o Power BI na formação dos dashboards.

#### 3.4.2 Estrutura do banco de dados

Taipalus (2024) define um banco de dados como coleção de dados inter-relacionados, geralmente armazenados de acordo com um modelo de dados. Segundo o autor, existem três modelos que são aplicados aos bancos:

- Modelo Conceitual: descreve as inter-relações e características dos dados, sem especificar a forma de armazenamento. Denominado modelo entidade-relacionamento;
- Modelo Lógico: relacionado ao armazenamento e apresentação dos dados, mas não aborda a localização física dos dados ou a estrutura de índices. Denominado modelo relacional;
- Modelo Físico: define a implementação concreta dos dados em nível de armazenamento físico, incluindo detalhes como a localização dos dados no disco, os tipos de índices utilizados e os operadores de recuperação de dados disponíveis.

Um índice em um banco de dados é uma estrutura de dados que melhora a velocidade de recuperação de registros de uma tabela. Ele funciona criando uma estrutura organizada que mapeia os valores de uma ou mais colunas de uma tabela para os seus respectivos registros. Essa estrutura permite que o banco de dados localize rapidamente os registros que correspondem a determinados critérios de pesquisa, sem precisar percorrer toda a tabela.

Na estrutura do software integrado da organização, é adotado o modelo relacional para organizar os dados de forma lógica. As informações são organizadas em tabelas divididas por funcionalidade, garantindo uma estruturação coesa e eficiente. Para estabelecer conexões entre as tabelas, é utilizado o conceito de chave estrangeira, onde uma coluna em uma tabela secundária faz referência à chave primária da tabela principal, facilitando a integração e a busca de informações relacionadas.

No contexto da chave estrangeira, os índices são frequentemente usados para otimizar consultas que envolvem junções entre tabelas relacionadas. Quando uma coluna é usada como chave estrangeira, é comum criar um índice nessa coluna para acelerar a recuperação de registros correspondentes na tabela referenciada. Isso é especialmente útil em consultas que envolvem operações de junção, onde a presença de um índice na chave estrangeira pode reduzir significativamente o tempo necessário para buscar registros relacionados. Portanto, os índices ajudam a melhorar o desempenho das consultas em bancos de dados relacionais, incluindo consultas que envolvem chaves estrangeiras, permitindo que o sistema de gerenciamento de banco de dados (SGBD) localize rapidamente os registros relevantes durante a execução de consultas complexas (*query*).

O termo "*query*" não foi criado por um único indivíduo, mas é amplamente utilizado na computação e nos sistemas de gerenciamento de banco de dados (SGBDs) para se referir a instruções ou comandos que recuperam dados de um banco de dados. Ele faz parte do

vocabulário técnico há décadas e sua origem remonta ao desenvolvimento dos primeiros sistemas de bancos de dados relacionais e linguagens de consulta associadas, como o SQL (Structured Query Language). O termo é utilizado rotineiramente por desenvolvedores, analistas de dados e profissionais de TI para descrever operações de consulta e manipulação de dados em bancos de dados.

No Power BI, essa tecnologia é empregada na ferramenta chamada Power Query, que permite aos usuários consultar e manipular os dados conectados à ferramenta. De acordo com a Microsoft (2023), o Power Query no Power BI é uma ferramenta de preparação de dados que possibilita a extração, transformação e carga de dados de várias fontes para criar visualizações e relatórios no Power BI. Ele apresenta uma interface intuitiva e fácil de usar para realizar diversas operações de transformação de dados, como limpeza, filtragem, combinação e agregação, facilitando a preparação eficiente dos dados para análise e visualização.

Com as relações estabelecidas entre as tabelas no banco de dados, a manipulação eficaz dos dados é essencial para construir a ferramenta no Power BI. Essas conexões cruciais não apenas simplificam essa manipulação, mas também formam a base para criar visualizações significativas e realizar cálculos necessários. Elas também facilitam a elaboração de relatórios dinâmicos e interativos, proporcionando uma experiência de visualização completa e intuitiva. Dada a natureza específica das funcionalidades da ferramenta, é imperativo acessar os dados relacionados ao cadastro de materiais, histórico de vendas e operações produtivas no banco de dados.

### 3.4.3 Conexão ao banco de dados e confiabilidade de dados

Dada a conexão ao banco através do Power Query no Power BI, as principais informações a serem consultadas no sistema único integrado da organização para o desenvolvimento da ferramenta deste projeto são:

- Cadastro de material:
  - Identificação: cada material registrado no sistema possui uma identificação única, geralmente um código ou número;
  - Hierarquia do produto (BOM): uma lista detalhada de todos os materiais que compõem cada item, fornecendo informações sobre os componentes individuais e suas quantidades;
  - Lead time: o tempo necessário para obter o produto (venda ou produção);

- Classificações internas: agrupamento genérico de consultas relacionadas às classificações internas de cada material, como categorias, tipos ou outras características relevantes para a organização e visualização de dados.
- Histórico de vendas:
  - Datas relevantes: inclui datas como as de venda efetiva, de pedido, entre outras, essenciais para cálculos por período;
  - Materiais e quantidades: registra os materiais vendidos e as quantidades entregues.
- Histórico de operações produtivas:
  - Datas relevantes: engloba datas importantes para cálculos por período, como a data da operação e o tempo de produção;
  - Materiais e quantidades: indica os materiais produzidos, os consumidos, as quantidades correspondentes, e o fator de produção da operação.

É essencial salientar que, devido à estrutura do banco de dados, todas essas informações estão dispersas por várias tabelas, o que demanda múltiplas consultas adicionais. Além disso, identificamos dois problemas: o fator de quantidade entre os itens da estrutura e a hierarquia dos produtos em si, não estão alinhados com a realidade da produção. Esses dados não oferecem uma representação precisa das operações no chão de fábrica, uma vez que não consideram consumos adicionais decorrentes de erros ou problemas durante as atividades de produção.

Para garantir informações confiáveis para o ambiente produtivo, especialmente para as atividades do PCP, é crucial que elas sejam derivadas de dados reais do histórico de produção. As soluções propostas para os desafios encontrados:

- Fator quantidade: o fator entre o item produzido e o consumido pode ser determinado através da média recente das quantidades produzidas em relação às quantidades consumidas, considerando também a média histórica das quantidades adicionais solicitadas.
- Hierarquia dos produtos: a real estrutura dos produtos, considerando as requisições de materiais adicionais além da estrutura dada pela engenharia, pode ser formada através da relação de produtos produzidos e consumidos nas ordens de operações produtivas, sendo a estrutura formada a partir do item final, em uma lógica similar ao MRP. Essa abordagem foi considerada devido a um projeto paralelo na empresa de revisão de desenhos de produtos antigos que, portanto, não representavam a realidade.

A estrutura de relacionamentos da ferramenta, considerando as consultas ao banco de dados e os cálculos relacionados, é apresentada na Figura 3 a seguir. Embora esteja intencionalmente ilegível para manter a confidencialidade dos dados, a figura ilustra a complexidade dos relacionamentos.

Figura 3 – Estrutura de relacionamento dos dados da ferramenta



Fonte: Elaborado pelo autor (Power BI).

A partir da Figura 3, é possível observar a complexidade do relacionamento entre os dados integrados na ferramenta, que proporciona uma visão abrangente e detalhada do ambiente produtivo. O Power BI, a ferramenta escolhida, mostrou-se capaz de fornecer uma visualização intuitiva e simplificada para a elaboração de toda a estrutura. Apesar das limitações nas vertentes de cálculo e manipulação de dados comparadas a alternativas como linguagens de programação, a ferramenta demonstrou total eficácia na proposta estabelecida. A Figura 4 a seguir mostra o fluxo de dados das consultas:

Figura 4 – Fluxo de dados da consulta



Fonte: Adaptado pelo autor do Power BI online.

#### 3.4.4 Capacidade técnica e de processamento

A ferramenta utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, o Power BI, oferece recursos robustos para integração, análise e visualização de dados, atendendo às necessidades do projeto e garantindo a confiabilidade das informações obtidas. Sua alta capacidade de processar grandes volumes de dados é essencial. Essa característica foi crucial para assegurar a viabilidade da análise, considerando a quantidade significativa de informações extraídas do banco de dados da empresa.

Além disso, o Power BI proporciona soluções escaláveis que podem ser adaptadas às necessidades crescentes da organização. A empresa pode optar por utilizar a versão desktop (como neste trabalho) ou investir em soluções na nuvem para atender às suas demandas de processamento e armazenamento de dados. Ademais, seus recursos robustos de segurança e facilidade de uso garantem a proteção das informações confidenciais da empresa e a democratização do acesso à análise de dados, o que é relevante no contexto do trabalho.

Para a empresa, o controle de acesso granular permite determinar quem pode acessar os dados e como eles podem ser utilizados. Isso significa que apenas usuários autorizados podem visualizar, editar ou compartilhar informações confidenciais, minimizando o risco de acessos indevidos e vazamentos de dados. A interface intuitiva e amigável da ferramenta permite que usuários com diferentes níveis de conhecimento técnico realizem análises de dados com eficiência. Isso promove a democratização do acesso à informação, permitindo que colaboradores de diversas áreas da empresa (se necessário futuramente) explorem os dados e extraiam insights valiosos para o negócio.

No contexto deste trabalho, além das demoradas atualizações de dados (devido ao grande volume de dados) e do alto uso de memória RAM, nenhuma outra limitação de capacidade ou processamento foi identificada para o Power BI.

#### 3.4.5 Publicação e distribuição dos resultados

A comunicação eficiente dos resultados obtidos neste trabalho foi fundamental para garantir a compreensão e o aproveitamento das informações por parte dos stakeholders. Para tanto, foram utilizadas ferramentas robustas e sinérgicas: Power BI Desktop, Power BI Online e SharePoint.

O Power BI Online oferece uma plataforma robusta para a publicação dos relatórios, permitindo que os usuários acessem as informações de forma rápida e eficiente, independentemente de onde estejam. A integração com o SharePoint complementa esse processo, proporcionando um meio fácil e organizado de compartilhar os relatórios com a equipe. Com essa configuração, os relatórios são facilmente acessíveis, melhorando a colaboração e a comunicação entre os membros da equipe. Além disso, a capacidade de configurar permissões de acesso específicas no SharePoint garante que apenas usuários autorizados possam visualizar ou editar os relatórios, aumentando a segurança e a confidencialidade dos dados.

A utilização do SharePoint para a distribuição dos resultados permite uma gestão eficiente do conteúdo, com ferramentas que facilitam a organização, a busca e o acesso aos relatórios publicados no Power BI Online. A interface amigável do SharePoint, aliada à interatividade do Power BI Online, proporciona uma experiência de usuário intuitiva, independentemente do nível técnico dos colaboradores. No contexto deste trabalho, a publicação dos relatórios no Power BI Online e sua distribuição via SharePoint não apresentaram limitações significativas. Ambas as plataformas suportaram eficientemente a distribuição dos resultados, garantindo que todas as partes interessadas tivessem acesso às informações necessárias para suas análises e decisões estratégicas.

Para otimizar o uso de recursos e evitar sobrecarregar a capacidade de processamento da empresa e do banco de dados, foi implementada uma programação agendada de atualização dos dados. Essa abordagem garante que os dados sejam atualizados regularmente sem causar interrupções ou lentidão no sistema. As atualizações são realizadas em horários estratégicos, geralmente fora do expediente, para minimizar o impacto no desempenho das operações diárias da empresa.

A programação agendada de atualização dos dados no Power BI Online permite que as informações sejam sempre atuais e precisas, sem a necessidade de consultas constantes ao banco de dados em tempo real. Isso não apenas preserva a eficiência do banco de dados, mas também garante que os usuários tenham acesso a dados relevantes e atualizados para suas análises e tomadas de decisão. Essa estratégia de atualização programada é especialmente útil em ambientes onde o volume de dados é grande e as consultas frequentes podem afetar o desempenho geral do sistema.

Além disso, o Power BI Online permite configurar essas atualizações de forma flexível, adaptando-se às necessidades específicas da organização. É possível ajustar a frequência das atualizações e selecionar apenas os conjuntos de dados necessários, evitando o processamento desnecessário de informações. Essa personalização contribui para um uso mais eficiente dos recursos de TI da empresa, garantindo que a capacidade de processamento e armazenamento seja utilizada de maneira otimizada.

Adicionalmente, a atualização agendada dos relatórios no Power BI Online também contribui significativamente para o estabelecimento de uma rotina de trabalho consistente para a equipe, facilitando a organização das tarefas diárias. Com as atualizações programadas ocorrendo em horários definidos, os colaboradores podem planejar suas atividades em torno desses momentos, garantindo que sempre trabalhem com dados atualizados. Isso cria um ambiente de trabalho mais estruturado, onde os membros da equipe sabem exatamente quando novas informações estarão disponíveis, permitindo uma melhor coordenação e colaboração entre os departamentos. A previsibilidade das atualizações reduz a incerteza e ajuda a manter um fluxo de trabalho contínuo e eficiente.

Neste trabalho, a implementação de uma programação agendada de atualização dos dados mostrou-se uma solução eficaz para equilibrar a necessidade de informações atualizadas com a preservação do desempenho do sistema. Essa prática assegura que os relatórios no Power BI Online estejam sempre baseados em dados recentes, enquanto minimiza o impacto no banco de dados e na infraestrutura de TI da empresa.

### 3.5 Desenvolvimento e testes

O desenvolvimento e os testes foram etapas cruciais para garantir a precisão e a eficiência dos relatórios gerados pelo Power BI. No entanto, devido ao envolvimento de dados confidenciais e estratégias comerciais específicas, os detalhes do processo não serão amplamente abordados neste trabalho.

O processo de desenvolvimento começou com a definição clara dos requisitos do projeto, identificando as principais métricas e indicadores de desempenho que precisavam ser monitorados. A partir daí, foi realizada a coleta e integração dos dados provenientes de diversas fontes, utilizando as ferramentas de ETL (Extração, Transformação e Carga) do Power BI para assegurar a qualidade e consistência dos dados.

Durante a fase de desenvolvimento, foram criados diversos relatórios e dashboards no Power BI Desktop. Esses relatórios passaram por várias iterações, com ajustes e refinamentos contínuos baseados no feedback dos stakeholders e na análise das necessidades do negócio. A construção dos relatórios envolveu a aplicação de melhores práticas de visualização de dados, garantindo que as informações fossem apresentadas de forma clara e intuitiva. Knafllic (2019) apresenta os principais conceitos de apresentação de dados, e ressalta que o sucesso na visualização de dados não começa com a visualização de dados, mas sim a partir do entendimento do contexto da necessidade de comunicação com os dados.

A fase de testes foi igualmente rigorosa. Inicialmente, os relatórios foram testados internamente pela equipe de desenvolvimento para verificar a precisão dos cálculos e a integridade dos dados. A estratégia envolveu a definição de uma bateria de testes, onde os resultados eram calculados manualmente para valores arbitrários escolhidos aleatoriamente, e a ferramenta era testada para garantir que esses resultados fossem obtidos corretamente.

Em seguida, uma série de testes de validação foram conduzidos, envolvendo usuários finais do PCP assim como de diferentes departamentos da empresa. Esses testes foram fundamentais para identificar quaisquer discrepâncias ou problemas de usabilidade, permitindo que fossem feitos os ajustes necessários antes do lançamento final dos relatórios.

Os testes também incluíram a verificação do desempenho dos relatórios, assegurando que eles pudessem ser carregados e atualizados rapidamente, mesmo com grandes volumes de dados. A implementação de atualizações agendadas foi testada para garantir que não haveria impacto negativo na capacidade de processamento do sistema. Além disso, foram realizados testes de segurança para assegurar que os dados confidenciais estivessem devidamente protegidos, com permissões de acesso configuradas de acordo com as políticas da empresa.

No final do processo de desenvolvimento e testes, os relatórios do Power BI estavam prontos para serem publicados no Power BI Online e distribuídos via SharePoint (duas das implementadas estão no apêndice I e apêndice II).

### 3.6 Implantação da ferramenta

A implantação da ferramenta Power BI na organização foi uma etapa fundamental para garantir que todos os usuários pudessem tirar proveito máximo dos recursos de análise e visualização de dados disponíveis. O processo de implantação envolveu várias fases, desde a configuração inicial até a integração completa com os sistemas existentes da empresa, assegurando uma transição suave e eficiente para o novo ambiente de BI.

A primeira fase da implantação foi a configuração do Power BI, que incluiu a instalação da versão desktop nas máquinas dos analistas de dados e a configuração do Power BI Online para acesso compartilhado. Foram estabelecidas conexões seguras com as fontes de dados da empresa, garantindo que todas as informações necessárias estivessem disponíveis para análise. Essa fase também envolveu a configuração de permissões e acessos, assegurando que os dados confidenciais fossem protegidos e acessíveis apenas aos usuários autorizados.

A fase seguinte consistiu na integração do Power BI com os sistemas existentes da empresa. Isso envolveu a utilização de conectores específicos para garantir que os dados fossem sincronizados corretamente e que as atualizações ocorressem sem problemas. Dados auxiliares ao banco de dados foram consultados no SharePoint da equipe, acessando informações de diversos sites da organização.

### 3.7 Treinamento

O treinamento é um componente essencial para a implementação bem-sucedida de novos sistemas, como o MRP integrado ao Power BI. Para garantir que todos os usuários, desde analistas de dados até executivos, estejam familiarizados com as funcionalidades do Power BI e possam utilizá-lo de maneira eficaz, foram conduzidas sessões de treinamento abrangentes.

Esta etapa foi dividida em duas partes distintas: a equipe de analistas recebeu treinamento específico para garantir a escalabilidade e a manutenção da ferramenta, enquanto os usuários finais dos relatórios no SharePoint participaram de sessões voltadas para o uso eficaz e seguro do sistema. Essa abordagem estruturada no treinamento garantiu que todos os envolvidos estivessem capacitados para utilizar a ferramenta de forma eficiente, promovendo uma cultura de tomada de decisão baseada em dados, essencial para a competitividade e eficiência no setor de produção.

### 3.8 Suporte e Monitoramento

A fase de acompanhamento e monitoramento contínuo garante que a implementação do sistema MRP integrado com Power BI funcione conforme o planejado e traga os resultados esperados. Este processo envolve várias etapas e estratégias para assegurar que os dados sejam precisos, atualizados e úteis para a tomada de decisões. Para monitorar a eficácia do sistema, é fundamental definir métricas de desempenho claras e mensuráveis. O acompanhamento dessas métricas permite identificar rapidamente quaisquer desvios ou problemas que possam surgir.

Para garantir que todas as partes interessadas estejam alinhadas e cientes do desempenho do sistema, é recomendável realizar reuniões de revisão periódica. Nessas reuniões, as métricas de desempenho são revisadas, e quaisquer problemas ou oportunidades de melhoria são discutidos. A frequência dessas reuniões definida pela empresa foi mensal. Nessas reuniões, além das métricas, o feedback contínuo dos usuários, que é crucial para o sucesso do sistema, também deve ser analisado.

Os usuários finais devem ser incentivados a relatar quaisquer dificuldades ou sugestões de melhoria. Esse feedback pode ser coletado por meio de reuniões de equipe, pesquisas internas dos analistas ou um canal de comunicação dedicado com o suporte. Com base nesse feedback, ajustes e melhorias podem ser implementados de forma contínua para aprimorar o sistema e sua usabilidade. No contexto deste trabalho, um canal direto entre usuários finais e analistas foi implementado.

A criação de dashboards interativos no Power BI permite uma visualização clara e acessível dos dados monitorados. Esses dashboards devem ser configurados para exibir as métricas de desempenho definidas e permitir uma análise detalhada de diferentes aspectos da operação. Além disso, é importante que esses relatórios sejam facilmente acessíveis a todos os níveis da organização, desde a equipe operacional até a alta administração.

Dessa forma, as métricas definidas para a organização, em conjunto aos gestores e executivos, foram: giro de estoque, tempo de ciclo do pedido, taxa de entrega no prazo, taxa de requisições adicionais, diferença de eficiência entre sistemas. O dashboard implementado não será detalhado por requisição da empresa.

### 3.8.1.1 Giro de Estoque

A métrica de giro de estoque mede a frequência com que o estoque é renovado em um determinado período. Este indicador ajuda a avaliar a eficiência da gestão de estoque, mostrando quantas vezes o estoque foi completamente renovado em um ano:

$$\text{Giro de Estoque} = \frac{\text{Custo dos Produtos Vendidos}}{\text{Valor de Estoque Médio}}$$

O Custo dos Produtos Vendidos (CPV) representa o valor total das mercadorias vendidas durante um período específico, que pode ser um ano, trimestre ou mês. Esse valor é obtido somando o valor do estoque no início do período com o valor das compras de mercadorias ou matérias-primas feitas durante o período e subtraindo o valor do estoque no final do período.

Já o Valor Médio do Estoque (VME) é uma métrica que representa o valor médio do estoque ao longo de um período específico. Ele é usado para calcular a média dos valores de estoque no início e no final do período, proporcionando uma visão mais precisa da quantidade de capital imobilizado em estoque ao longo do tempo. O VME é calculado pela média aritmética entre o valor do estoque inicial e o valor do estoque no final do período.

### 3.8.1.2 Tempo de ciclo do pedido

O Tempo de Ciclo do Pedido (TCP) é um indicador crucial para avaliar a eficiência da cadeia de suprimentos em uma empresa. Ele revela o tempo total que leva desde a solicitação de compra até a entrega do produto final ao cliente, fornecendo insights valiosos sobre a velocidade dos processos internos e a capacidade de atendimento à demanda. A fórmula para calcular o TCP é composta por cinco etapas distintas:

$$\text{TCP} = \text{Tempo de Solicitação} + \text{Tempo de Aprovação} + \text{Tempo de Aquisição} \\ + \text{Tempo de Produção} + \text{Tempo de Entrega}$$

O tempo de solicitação representa o período desde a identificação da necessidade de compra até a formalização da solicitação, geralmente pelo setor de compras, mas no caso dessa ferramenta seria o tempo do PCP formalizar a solicitação no sistema da empresa. Já o tempo de

aprovação corresponde ao período necessário para que a solicitação de compra seja aprovada por gestores ou responsáveis pelo orçamento, podendo variar de acordo com a hierarquia da empresa e os critérios de aprovação definidos para cada tipo de produto.

O tempo de aquisição refere-se ao período para encontrar fornecedores, negociar preços e condições de pagamento, emitir a ordem de compra e finalizar o processo de aquisição. Esse tempo pode ser afetado pela disponibilidade dos produtos no mercado, pela complexidade da compra e pela eficiência do departamento de compras. O tempo de produção envolve o período necessário para fabricar o produto, desde a preparação da matéria-prima até a finalização e inspeção do produto final. Esse tempo pode variar de acordo com a complexidade do produto, a capacidade produtiva da empresa e a disponibilidade de mão de obra.

Por fim, o tempo de entrega corresponde ao período necessário para que o produto seja transportado do local de produção até o cliente final. Esse tempo pode ser influenciado pela distância entre o fornecedor e o cliente, pelo tipo de transporte utilizado, pelas condições do trânsito e pela eficiência da logística da empresa.

O valor do TCP indica a rapidez com que a empresa consegue atender às solicitações de compra e entregar os produtos aos seus clientes. Um TCP alto pode indicar gargalos na cadeia de suprimentos, processos ineficientes ou problemas na logística, enquanto um TCP baixo indica que a empresa está conseguindo atender à demanda de forma rápida e eficiente.

### 3.8.1.3 Taxa de entrega no prazo

A Taxa de Entrega no Prazo (TED) é um indicador crucial para avaliar a confiabilidade da logística em uma empresa. Ela revela a porcentagem de pedidos entregues aos clientes dentro do prazo acordado, fornecendo insights valiosos sobre a eficiência da operação e o nível de atendimento às expectativas dos clientes:

$$\text{TED} = (\text{Pedidos Entregues no Prazo} / \text{Total de Pedidos}) \times 100\%$$

O número de pedidos entregues no prazo refere-se ao total de pedidos que foram entregues aos clientes dentro do prazo acordado, considerando a data de entrega prometida no momento da compra. Já o número total de pedidos corresponde ao total de pedidos realizados no período.

#### 3.8.1.4 Taxa de requisições adicionais

Revela a porcentagem de pedidos que necessitam de requisições adicionais de produtos para atender à demanda, fornecendo insights valiosos sobre a precisão das previsões de demanda, a eficiência dos processos de compra e o nível de estoque de segurança.

$$\text{TRSA} = (\text{Operações com Requisições Adicionais} / \text{Total de Operações}) \times 100\%$$

O número de operações com requisições adicionais refere-se ao total de operações que necessitaram de requisições adicionais de materiais para atender à produção, além da quantidade originalmente prevista pela engenharia. Já o número total de operações corresponde ao total de operações realizados no mesmo período. Essa métrica serve para o processo de revisão da estrutura de desenho dos materiais.

#### 3.8.1.5 Diferença de estoques entre sistemas

A diferença de estoques entre sistemas (DES) é uma comparação direta da porcentagem dos níveis de estoques anteriores à implantação do sistema com os níveis previstos pela nova ferramenta. Esse indicador calcula ambos os resultados: o nível de estoque antes da implementação do sistema, utilizando o algoritmo anterior (não detalhado neste trabalho), e o nível de estoque previsto pela nova ferramenta. Além da métrica geral da empresa, essa comparação foi feita para cada material, desde a matéria-prima até o produto final de venda, permitindo uma análise mais detalhada.

$$\text{DES} = \frac{(\text{Estoque Pré Implementação} - \text{Estoque Previsto pelo Sistema})}{\text{Estoque Pré Implementação}} \times 100\%$$

Uma DES positiva significa que o novo sistema previu um nível de estoque menor do que o nível atuado pela empresa anterior a ferramenta, indicando uma otimização do estoque e uma redução dos custos de armazenamento. Uma DES negativa, por outro lado, significa que o novo sistema previu um nível de estoque maior do que o nível real existente, o que pode indicar uma necessidade de ajuste das previsões do sistema ou uma falha na sua implementação.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a implementação do sistema MRP utilizando o Power BI, diversos resultados positivos foram observados. A integração bem-sucedida com os sistemas existentes da empresa, utilizando conectores específicos, permitiu uma sincronização eficiente dos dados e atualizações contínuas sem interrupções. A consulta de dados auxiliares no SharePoint foi realizada com sucesso, garantindo que todas as informações relevantes estivessem acessíveis e integradas aos relatórios gerados.

Os testes rigorosos realizados internamente pela equipe de desenvolvimento asseguraram a precisão dos cálculos e a integridade dos dados. A estratégia de definir uma bateria de testes, onde os resultados eram calculados manualmente para valores arbitrários escolhidos aleatoriamente, comprovou a eficácia do sistema ao verificar que os resultados obtidos pela ferramenta coincidiam com os valores esperados.

Os resultados indicam que a implementação do sistema MRP com Power BI trouxe melhorias significativas na gestão de materiais e na coordenação entre os departamentos de PCP e Compras. A clareza nas responsabilidades setoriais e a definição das funções de cada equipe contribuíram para uma maior eficiência na tomada de decisões. A ferramenta permitiu um controle mais preciso dos estoques, otimizando as solicitações de compras e a produção de itens. A integração com o SharePoint foi particularmente benéfica, facilitando o acesso e a atualização de dados. Isso permitiu que os usuários finais, incluindo analistas e gestores, pudessem visualizar e interagir com os relatórios de maneira mais intuitiva e colaborativa.

A escolha de desenvolver internamente a ferramenta, apesar das restrições orçamentárias, mostrou-se uma decisão acertada. A capacidade de personalizar a solução de acordo com as necessidades específicas da empresa garantiu um ajuste mais fino às suas operações e dinâmicas internas. Comparado com as soluções externas disponíveis no mercado, o desenvolvimento interno ofereceu uma relação custo-benefício mais favorável, apesar do maior tempo e recursos inicialmente investidos.

Além disso, a implementação trouxe uma série de benefícios adicionais. O controle mais preciso dos estoques resultou na redução de desperdícios e na otimização dos níveis de inventário, contribuindo diretamente para a redução de custos operacionais. A capacidade de gerar relatórios detalhados e personalizados permitiu uma análise mais profunda dos dados, auxiliando na identificação de tendências e na tomada de decisões estratégicas. A colaboração entre os departamentos foi fortalecida pela visibilidade compartilhada dos dados, promovendo uma abordagem mais integrada e coesa na gestão dos recursos.

## 5 CONCLUSÃO

A implementação do sistema MRP integrado ao Power BI demonstrou ser uma decisão estratégica e eficiente para a empresa, proporcionando melhorias significativas na gestão de materiais e na coordenação entre os departamentos de PCP e Compras. A integração com o SharePoint facilitou o acesso e a atualização de dados, promovendo uma cultura de tomada de decisão baseada em dados. A escolha de desenvolver internamente a ferramenta, mesmo com restrições orçamentárias, mostrou-se acertada, permitindo uma personalização alinhada às necessidades específicas da empresa. Esse ajuste fino resultou em uma relação custo-benefício mais favorável em comparação com as soluções externas disponíveis no mercado.

O treinamento estruturado dos usuários garantiu a capacitação necessária para o uso eficaz e seguro da ferramenta, enquanto o suporte contínuo e o monitoramento constante asseguraram que o sistema funcionasse conforme o planejado. A definição clara das responsabilidades setoriais e a criação de dashboards interativos no Power BI contribuíram para uma gestão mais precisa e eficiente dos estoques.

Apesar dos benefícios, alguns desafios foram enfrentados, como a complexidade inicial na configuração do sistema e a necessidade de treinamento contínuo dos usuários. Além disso, a manutenção e atualização constante da ferramenta são essenciais para acompanhar as mudanças nas demandas e processos internos da empresa.

Em resumo, a implementação do sistema MRP com Power BI revelou-se eficaz, promovendo melhorias na gestão de estoques e na integração entre os departamentos. A ferramenta desenvolvida internamente atendeu às necessidades específicas da organização, aumentando a eficiência e precisão nas operações. No entanto, o sucesso contínuo dependerá da capacidade da empresa em manter e atualizar o sistema, além de continuar investindo no treinamento dos usuários.

## REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, A. E. F.; SELLITO, M. A. Métodos de previsão de demanda: uma revisão da literatura. *Innovar*, v. 32(85), p. 83-95, 2022. DOI: 10.15446/innovar.v32n85.100979.
- ARNOLD, J. R. T.; CHAPMAN, S. N.; CLIVE, L. M. *Introduction to Materials Management*. 7. Ed. Bangalore: Pearson Education India, 2004.
- ARVAN, M.; FAHIMNIA, B.; REISI, M.; SIEMSEN, E. Integrating human judgement into quantitative forecasting methods: A review. *Omega*, v. 86, p. 237-252, 2019. DOI: 10.1016/j.omega.2018.07.012.
- BACH B. et al. Dashboard Design Patterns. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, v. 29, n. 1, p. 342-352, Jan. 2023, DOI: 10.1109/TVCG.2022.3209448.
- BUENO, A.; FILHO, M. G.; FRANK, A. G. Smart production planning and control in the Industry 4.0 context: A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, v. 149, 2020. DOI: 10.1016/j.cie.2020.106774.
- CORRÊA, H. L. e GIANESI, I. G. N. *Just In Time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*. 2 Ed. São Paulo: Atlas, 1996.
- CORREA, H. L.; GIANESE, I. G.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção*. 4. Ed. São Paulo: Atlas, 2001.
- CORREA, H. L.; GIANESE, I. G.; CAON, M. *Planejamento, programação e controle da produção: MRP II / ERP*. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- COSKUN, E. *et al.* ERP failure: A systematic mapping of the literature. *Data & Knowledge Engineering*. v. 142, 2022.
- COX, J.; SCHLEIER, J. *Theory of constraints handbook*. McGraw Hill Professional, 2010.

DESCHAMPS, F. Curso de desenvolvimento web. 2023. Disponível em: <https://curso.dev/>. Acesso em 02 fev. 2024.

FORTUIN, L. A survey of literature on reordering of stocks items for production inventories. *International Journal of Production Research*. v. 15, n. 1, p. 87-105, 1977.

GUIDE, V. D. R.; SRIVASTAVA, R. A review of techniques for buffering against uncertainty with MRP systems. *Production Planning & Control*, v. 11(3), p. 223-233, 2000. DOI: 10.1080/095372800232199.

HEINRICHS, J. H.; LIM, J. S. Integrating web-based data mining tools with business models for knowledge management. *Decision Support Systems*, v. 35, n. 1, p. 103-112, 2003.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industry 4.0 scenarios: a literature review. *Annual Hawaii International Conference on system sciences*, Washington, IEEE Computer Society, 2016.

JACOBS, F. R. et al. *Manufacturing planning and control for supply chain management: the CPIM reference*. 2018.

JOHNSON, L. A.; MONTGOMERY, D. C. *Operations research in production planning, scheduling and inventory control*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1974.

KNAFLIC C. N. *Storytelling com dados: um guia sobre visualização de dados para profissionais de negócios*. Rio de Janeiro, Alta Books, 2019.

LAURINDO. F. J. B.; MESQUITA, M. A. de. Material Requirements Planning: 25 anos de história – Uma revisão do passado e prospecção do futuro. *Gestão & Produção*, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 320-337, dez. 2000.

MACHLINE, C. Inflação e lote econômico de compra. *Revista de Administração de Empresas*, v. 1, n. 1, p. 17–34, maio 1961.

MAHMOOD, F.; KHAN, A. Z.; BOKHARI, R.H. ERP issues and challenges: a research synthesis, *Kybernetes*, v. 49 n. 3, p. 629-659, 2020. DOI: 10.1108/K-12-2018-0699.

MAKRIDAKIS, S., WHEELWRIGHT, S. C. & HYNDMAN, R. J. Forecasting - methods and applications, 3. ed., New York, John Wiley & Sons, Inc., 1998.

MCKENNA, R. Marketing is everything. Harvard Business Review, v. 69, p. 65-79, 1990.

MICROSOFT. Microsoft Learn, 2023. Documentação do Power BI. Disponível em: <https://learn.microsoft.com/pt-br/power-bi/>. Acesso em: 18 abril 2024.

ORLICK, J. Material Requirements Planning. McGraw-Hill Book Company, 1975.

PELLEGRINI, F. R., FOGLIATTO, F. S. Passos para implantação de sistemas de previsão de demanda: técnicas e estudo de caso. Production, n. 11(1), p. 43-46, 2001. DOI: 10.1590/S0103-65132001000100004.

PTAK, C.; SMITH, C. Orlicky's material requirement Planning. 3. Ed. McGraw Hill Professional, 2011.

SANTOS, B. P. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, n. 4(1), p. 111-124, 2018. DOI: 10.32358/rpd.2018.v4.316

SCARPELLI, M. Sistemas de produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção. Tese (Doutorado) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006.

SHIM, J. P. *et al.* Past, present, and future of decision support technology. Decision Support System, v. 33, n. 2, p. 111-126, 2002.

TAIPALUS, T. Database management system performance comparisons: A systematic literature review. Journal of Systems and Software, v. 208, 2024. DOI: 10.1016/j.jss.2023.111872.

TAYLOR, S. G. *et al.* Process industry production and inventory planning framework: a summary. Production and Inventory Management, p. 15-32, First Quarter, 1981.

TUBINO, D. F. Manual de planejamento e controle da produção. 2. Ed. São Paulo: Atlas, 2000.

TURBAN E.; KING, D.; ARONSON, J. E.; SHARDA, R. Business Intelligence: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio. São Paulo: Bookman, 2009.

VOLLMAN, T. et al. Manufacturing planning and control systems for supply chain management: the definitive guide for professionals. 5. Ed. Sydney: McGraw-Hill Professional, 2004.

## APÊNDICE I

### TABELA 1 DE DADOS IMPLEMENTADA

MATERIAL	CONSUMO CALCULADO	LEADTIME	ESTOQUE REGRA	ESTOQUE REAL					DIFERENÇA DA REGRA	PREVISÃO 6 MESES	SOLICITADO
	26,21%	5.143,09	30,00	15.429,26	13.616,00	79,42	-1.813,26	0,00 A	-1.813,26	-32.671,79	0,00
	2,95%	382,31	90,00	1.911,55	484,63	38,03	-1.426,92	365,00 A	-1.061,92	-3.355,79	0,00
	4,70%	260,38	30,00	260,38	-58,00	-6,68	-318,38	0,00 A	-318,38	-318,38	1.000,00
	0,15%	492,71	30,00	492,71	340,00	20,70	-152,71	0,00 A	-152,71	-152,71	0,00
	0,00%	0,00	0,00		-100,00	0,00	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	0,00
	0,00%	0,00	0,00		-100,00	0,00	-100,00	0,00	-100,00	-100,00	0,00
	0,00%	30,00	0,00	60,00	-30,00	-30,00	-90,00	0,00 B	-90,00	-270,00	30,00
	0,00%	11,66	150,00	81,65	0,00	0,00	-81,65	0,00 B	-81,65	-151,64	60,00
	0,00%	33,52	60,00	67,04	0,00	0,00	-67,04	0,00 A	-67,04	-67,04	0,00
	0,00%	32,34	60,00	64,68	0,00	0,00	-64,68	0,00 A	-64,68	-64,68	0,00
	0,00%	32,34	60,00	64,68	0,00	0,00	-64,68	0,00 A	-64,68	-64,68	0,00
	0,00%	19,75	30,00	19,75	-25,00	-37,97	-44,75	1,00 A	-43,75	-43,75	1,00
	0,64%	39,37	30,00	39,37	0,00	0,00	-39,37	0,00 A	-39,37	-39,37	0,00
	1,11%	22,75	30,00	22,75	-18,00	-23,74	-40,75	2,00 A	-38,75	-38,75	0,00
	40,23%	35,55	30,00	35,55	-2,00	-1,69	-37,55	0,00 A	-37,55	-37,55	0,00
	5,41%	34,10	30,00	34,10	0,00	0,00	-34,10	0,00 A	-34,10	-34,10	0,00
	14,18%	33,90	30,00	33,90	0,00	0,00	-33,90	0,00 A	-33,90	-33,90	0,00
	0,00%	32,35	30,00	32,35	0,00	0,00	-32,35	0,00 A	-32,35	-32,35	0,00

## APÊNDICE II

### TABELA 2 DE DADOS IMPLEMENTADA

MATERIAL.DESCRICAO	SOLICITARIO	SOLICITADO	SALDO.T	SALDO.R	CONSUMO	SOLICITAR1	SOLICITADO	SALDO.T	SALDO.R	CONSUMO	SOLICITAR2
	0,00	0,00	763.686,67	763.686,67	209.248,26	0,00	0,00	554.438,41	554.438,41	209.248,26	0,00
	0,00	0,00	139.027,47	139.027,47	27.506,51	0,00	0,00	111.520,96	111.520,96	27.506,51	0,00
	0,00	0,00	738,95	738,95	83,44	0,00	0,00	655,50	655,50	83,44	0,00
	0,00	0,00	1.018,08	1.018,08	332,83	0,00	0,00	685,24	685,24	332,83	0,00
	0,00	0,00	894,15	894,15	200,55	0,00	0,00	693,60	693,60	200,55	0,00
	0,00	0,00	263.116,89	263.116,89	24.908,26	0,00	0,00	238.208,62	238.208,62	24.908,26	0,00
	0,00	0,00	42.436,87	42.436,87	4.859,28	0,00	0,00	37.577,59	37.577,59	4.859,28	0,00
	0,00	0,00	18.951,19	18.951,19	3.360,30	0,00	0,00	15.590,88	15.590,88	3.360,30	0,00
	0,00	0,00	28.513,95	28.513,95	3.422,01	0,00	0,00	25.091,95	25.091,95	3.422,01	0,00
	0,00	0,00	6.773,07	6.773,07	1.983,12	0,00	0,00	4.789,95	4.789,95	1.983,12	0,00
	0,00	0,00	8.560,26	8.560,26	1.800,46	0,00	0,00	6.759,80	6.759,80	1.800,46	0,00
	0,00	0,00	26.198,04	26.198,04	2.983,66	0,00	0,00	23.214,38	23.214,38	2.983,66	0,00
	0,00	0,00	6.208,15	6.208,15	1.280,23	0,00	0,00	4.927,92	4.927,92	1.280,23	0,00
	0,00	0,00	6.211,15	6.211,15	1.280,23	0,00	0,00	4.930,92	4.930,92	1.280,23	0,00
	0,00	0,00	9.569,36	9.569,36	1.487,08	0,00	0,00	8.082,29	8.082,29	1.487,08	0,00
	0,00	0,00	1.702,32	1.702,32	849,29	0,00	0,00	853,03	853,03	849,29	0,00
	8.361,27	0,00	8.344,70	-16,57	5,62	0,00	0,00	8.339,08	-22,19	5,62	0,00
	0,00	0,00	11.493,35	11.493,35	1.529,61	0,00	0,00	9.963,74	9.963,74	1.529,61	0,00
	0,00	0,00	3.614,63	3.614,63	834,30	0,00	0,00	2.780,34	2.780,34	834,30	0,00