

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E
SISTEMAS
NÍVEL MESTRADO**

JHÔNATAN FERNANDES BERTO

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA A SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM
EMPRESAS DA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO SEGMENTO ESPORTIVO**

São Leopoldo

2024

JHÔNATAN FERNANDES BERTO

**PROPOSIÇÃO DE UM MÉTODO PARA A SINCRONIZAÇÃO DA PRODUÇÃO EM
EMPRESAS DA INDÚSTRIA CALÇADISTA NO SEGMENTO ESPORTIVO**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção e Sistemas, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS).

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Junior

São Leopoldo

2024

B545p

Berto, Jhônatan Fernandes.

Proposição de um método para a sincronização da produção em empresas da indústria calçadista no segmento esportivo / Jhônatan Fernandes Berto. – 2024.

118 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2024.

“Orientador: Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Junior”.

1. Sincronização. 2. Administração da produção. 3. Calçados - Indústria. 4. Produtividade. 5. Administração do tempo. 6. Desempenho. I. Título.

CDU 658.5

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(Bibliotecária: Amanda Schuster – CRB 10/2517)

Agradecimentos

Primeiramente, gostaria de expressar minha profunda gratidão a Deus, cuja graça e orientação foram fundamentais em cada etapa desta jornada. Sua presença constante e sabedoria infinita foram fontes de força, inspiração e esperança, sustentando-me nos momentos mais desafiadores e conduzindo-me ao longo deste caminho até a conclusão desta dissertação.

Também expresso minha sincera gratidão ao meu orientador, professor e amigo Prof. Dr. José Antonio Valle Antunes Junior (Junico Antunes) pela orientação perspicaz, apoio incansável e incentivo constante ao longo deste processo. Sua dedicação e expertise foram essenciais para o desenvolvimento deste trabalho.

À empresa que tornou minha pesquisa possível, pela confiança em meu trabalho e por permitir que minhas ideias fossem aplicadas em sua unidade.

Gostaria de estender meus agradecimentos à minha família, cujo amor incondicional, apoio inabalável e encorajamento constante foram pilares de força ao longo desta jornada. Suas palavras de incentivo foram um farol de esperança nos momentos mais difíceis.

À minha querida mulher Victória Sommer Braga, expresso minha profunda gratidão por sua compreensão, amor inabalável e apoio incondicional ao longo desta jornada. Sua presença ao meu lado trouxe alegria aos momentos de desafio e celebração nos momentos de conquista. Obrigado por ser minha fonte de inspiração e motivação constante.

Agradeço também aos professores, membros da banca examinadora e demais profissionais que contribuíram com suas perspectivas e feedbacks construtivos, enriquecendo este trabalho com sua experiência e conhecimento.

Por fim, desejo expressar minha profunda gratidão a todas as pessoas cujo apoio e contribuição foram fundamentais para o sucesso desta jornada, mesmo que não mencionadas especificamente aqui. Suas contribuições foram inestimáveis e verdadeiramente apreciadas.

Este trabalho representa não apenas um esforço individual, mas sim o resultado do apoio e contribuição de muitos. Sou profundamente grato por cada pessoa que fez parte deste percurso.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo aplicação método existente	17
Figura 2 - Hierarquia da Função PCP	19
Figura 3 - Método de Trabalho para a construção do Artefato	55
Figura 4 - Definição do Fluxo da Malha Produtiva - VATI	60
Figura 5 - Análise do Problema	60
Figura 6 - Aplicação do Método Existente	62
Figura 7 - Macro etapas do Método M0	63
Figura 8 - Fluxo M0 detalhada parte 1	65
Figura 9 - Fluxo M0 detalhada parte 2	66
Figura 10 - Modelo tipo "A"	67
Figura 11 - <i>Lead times</i> dos diferentes processos de fabricação	68
Figura 12 - Indicador de Aderência aplicado na empresa	69
Figura 13 - KPI Pareto de justificativa	71
Figura 14 - Modelo de cálculo Lead Time Operacional	75
Figura 15 - Cálculo de prioridade	76
Figura 16 - Exemplo ilustrativo de capacidade versus demanda	78
Figura 17 - Resultados de aderência na preparação da costura obtidos após a implementação do método 0	82
Figura 18 - Método M1	85
Figura 19 - Etapas do Processo de Preparação.....	86
Figura 20 - Fórmula M1 para cálculo de <i>Lead time</i> Operacional.....	89
Figura 21 - Dias correspondentes para a produção	91
Figura 22 - Interferência de <i>lead time</i> no setor anterior.....	91
Figura 23 - Fluxo M1 detalhada parte 1	93
Figura 24 - Fluxo M1 detalhada parte 2	94
Figura 25 - Indicadores de aderência em maio	96
Figura 26 - Indicadores de aderência no mês de outubro	97
Figura 27 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Preparação de Costura Diária	98
Figura 28 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Preparação de Costura Mensal	99

Figura 29 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Montagem	99
Figura 30 - Motivos de não aderência da preparação de costura no mês de outubro	100
Figura 31 - Aderência e eficiência da costura	102
Figura 32 - Aderência e eficiência da montagem	102

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação dos métodos de programação	42
Quadro 2 - Tipos de Artefatos/Resultados Esperados da Design Research	52
Quadro 3 - Levantamento da polivalência produtiva	72
Quadro 4 - Capacidade de pares a serem produzidos em uma linha por turno	74
Quadro 5: Parâmetro de pulmão ajustável em função da polivalência.....	76
Quadro 6 - Escala de Cores	76
Quadro 7 - Lead time produtivo da restrição	77
Quadro 8 - Ocupação do pulmão	78
Quadro 9 - Ocupação de dias da capacidade versus demanda.....	79
Quadro 10 - Lead Time Operacional Total	79
Quadro 11 - Alocação de dias disponíveis	79
Quadro 12 - Resultado do índice de priorização	80
Quadro 13 - Identificação de prioridade	80
Quadro 14 - Prioridade de produção setor corte	81
Quadro 15 - Nível de dificuldade de acordo com as características do processo	87
Quadro 16 - Lista de prioridades conforme método M1	90
Quadro 17 - Crescimento de polivalência	92
Quadro 18 - Comparativo de Resultados Setor de Montagem.....	101
Quadro 19 - Comparação entre métodos de programação da produção segunda versão	109

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Lógica Polivalência vs Pulmão	73
Tabela 2 - Resumo Valores de Eficiência Dia	83
Tabela 3 - Resultado do caminho dos artigos	88

RESUMO

A presente dissertação foi desenvolvida tendo como pano-de-fundo a necessidade de aprimorar a sincronização da produção em empresas da indústria calçadista. Inicialmente, foram examinados os vários métodos de programação da produção tendo em vista a sua aplicabilidade nas empresas de forma geral, e nas empresas da indústria calçadista, em particular. Neste sentido, o estudo proporcionou uma contribuição acadêmica importante ao fornecer um modelo comparativo dos métodos de programação existentes, auxiliando na seleção do método mais adequado às necessidades das empresas. Da ótica do desenvolvimento empírico da pesquisa o método TPC foi selecionado devido às características do tipo de empresa tratada que envolvem a produção de uma gama variada de artigos, com uso intensivo de pessoal e alto volume de produção. Contudo a primeira aplicação do TPC não alcançou os resultados desejados de compatibilizar um bom nível de sincronização e uma elevada eficiência de utilização do pessoal. Então, apoiado pelo método de pesquisa da Design Research, foi proposto e desenvolvido um método de programação da produção intitulado Método M0. Posteriormente, com base na aplicação prática do M0 em uma empresa calçadista, foi feita uma análise crítica dos resultados obtidos, tendo sido observado um conjunto de oportunidades de melhorias. A partir daí foi projetado e desenvolvido o Método de programação M1. O Método M1, resultado mais relevante da dissertação, é composto por seis etapas principais: (i) identificação da malha produtiva e desenvolvimento do indicador de aderência; (ii) definição da restrição; (iii) estabelecimento de parâmetros de priorização; (iv) aplicação dos parâmetros para definição da produção; (v) gestão da prioridade; e (vi) gestão do planejamento. Cada etapa foi detalhada e implementada meticulosamente na empresa calçadista utilizada como laboratório para o desenvolvimento do M1, resultando em melhorias significativas nos índices de aderência de produção e no melhor cumprimento dos prazos planejados, bem como na redução dos custos operacionais envolvidos.

Palavras-chave: Sincronização; Programação; Priorização.

Abstract

This dissertation was developed against the backdrop of the need to improve production synchronization in companies in the footwear industry. Initially, the various production scheduling methods were examined with a view to their applicability in companies in general, and in companies in the footwear industry, in particular. In this sense, the study provided an important academic contribution by providing a comparative model of existing programming methods, helping to select the method most appropriate to the needs of companies. From the perspective of the empirical development of the research, the DBR method was selected due to the characteristics of the type of company treated, which involve the production of a varied range of articles, with intensive use of personnel and high production volume. However, the first application of DBR did not achieve the desired results of combining a good level of synchronization and high efficiency in the use of personnel. Then, supported by the Design Research research method, a production scheduling method entitled Method M0 was proposed and developed. Subsequently, based on the practical application of M0 in a footwear company, a critical analysis of the results obtained was carried out, and a set of opportunities for improvements were observed. From there, the M1 programming method was designed and developed. Method M1, the most relevant result of the dissertation, is composed of six main steps: (i) identification of the production network and development of the adherence indicator; (ii) definition of the restriction; (iii) establishment of prioritization parameters; (iv) application of parameters to define production; (v) priority management; and (vi) planning management. Each step was meticulously detailed and implemented in the footwear company used as a laboratory for the development of the M1, resulting in significant improvements in production adherence rates and better compliance with planned deadlines, as well as a reduction in the operational costs involved.

Key words: Synchronization; Scheduling; Prioritization.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo geral.....	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES	20
2.1.1 Etapas da TOC	22
2.1.2 Princípios da TOC para a sincronização da produção.....	23
2.2 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO	25
2.2.1 Tambor-Pulmão-Corda (TPC).....	26
2.2.2 Kanban	28
2.2.3 DEWIP	32
2.2.4 LOOR.....	33
2.2.5 Sistema MaxMin	35
2.2.6 PCMO	37
2.2.7 Método POLCA.....	38
2.2.8 Comparação de métodos existentes	40
2.3 OUTROS CONCEITOS E MÉTODOS NECESSÁRIOS	43
2.3.1 Key Performance Indicators.....	44
2.3.2 Polivalência.....	46
2.3.3 Sistema de Triagem Manchester	48
2.3.4 Gemba Walk	49
2.3.5 Síntese dos conceitos.....	50
3 MÉTODO	51
3.1 MÉTODO CIENTÍFICO – ASPECTOS GERAIS	51
3.2 DESIGN RESEARCH	52
3.2.1 Método de Trabalho.....	54
3.2.2 Objeto de estudo	58
4 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO PROPOSTO	59

4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EXISTENTE	59
4.2 Proposição do Método Zero - M0	62
4.3 Aplicação do Método Zero (M0)	67
4.3.1 Etapa 1 – Identificação da malha produtiva e desenvolvimento do KPI de aderência para a sincronização.....	67
4.3.2 Etapa 2 – definição de restrição no fluxo produtivo	70
4.3.3 Etapa 3 – definição de parâmetros de priorização.....	72
4.3.4 Etapa 4 – aplicação dos parâmetros para definição de produção	75
4.3.5 Etapa 5 – gestão da programação.....	81
4.4 Avaliação do método inicial (M0)	82
4.5 Ajuste do M0 com base na avaliação originando um método ajustado M1	84
4.6 Aplicação do Método M1: Resultados e Discussões	95
5 CONCLUSÃO	103
5.1 Conclusões do Trabalho	103
5.2 Contribuições Acadêmicas	106
5.2.1 Comparativo de métodos existentes.....	106
5.2.2 Método de Programação e Priorização.....	107
5.2.3 Quadro comparativo dos métodos de programação segunda versão	108
5.3 Limitações do trabalho	110
5.4 Sugestões/Recomendações para Trabalhos Futuros	111
REFERÊNCIAS	112

1 INTRODUÇÃO

O fenômeno da globalização, desde a década de noventa, vem promovendo a expansão da oferta de produtos em diversos setores industriais, impactando na cadeia de valor desses setores (Lund et al., 2019). Resultando no crescimento da competitividade, que gera desafios significativos para as empresas locais. Ademais, estudos indicam que novas competências devem ser geradas para enfrentar a forte competição de empresas de países asiáticos (Marques; Guedes; Ferreira, 2017; Pereira; Sellitto; Borchardt, 2010).

Simultaneamente, devido ao avanço da transformação da Indústria 4.0, os setores industriais estão em constante evolução, no que diz respeito ao desenvolvimento e utilização de tecnologias mais robustas e ágeis (Coelho, 2016). O impacto da Indústria 4.0 vai para além da simples digitalização, promovendo uma inovação mais complexa baseada na combinação de múltiplas tecnologias (Duarte et al., 2020). Isso impõe às empresas a necessidade de repensar o modo como gerem os seus negócios e processos, como se posicionam na cadeia de valor, como pensam no desenvolvimento de novos produtos e os introduzem no mercado, ajustando as ações de *marketing* e de distribuição (Guo et al., 2021).

Nesse contexto, as dimensões competitivas tradicionais, como custo, qualidade e eficiência nas entregas, estão gradativamente cedendo espaço para uma nova tendência em que os clientes demandam produtos altamente personalizados, com preços competitivos e um patamar superior de serviços (Poulin; Montreuil; Martel, 2006). A capacidade de adaptação para atender a essas exigências emergentes tornou-se um atributo diferenciador para as empresas (Nemeth, 2016). A abordagem da customização em massa (do inglês, *mass customization*) busca harmonizar as vantagens da produção em massa e da produção customizada, representando uma nova perspectiva a ser alcançada (Di Roma, 2017).

Adicionalmente, na contemporaneidade, as organizações que operam no âmbito do varejo confrontam-se cotidianamente com desafios advindos das mutações socioeconômicas e tecnológicas (Begum, 2015; McKinsey Global Institute, 2019). Tais aspectos, em conjunto com a instabilidade dos mercados, intensificaram a competição entre empresas, tornando-se um desafio complexo para a gestão empresarial. Assim, essas mudanças têm impulsionado as empresas a reconfigurar suas estratégias de

produção (Duarte et al., 2020), dada a acentuada competitividade e a necessidade de ampliar incessantemente a gama de produtos.

Paralelamente, agravam-se as dificuldades logísticas, caracterizadas pela ocorrência de atrasos e insuficiências na disponibilidade de matéria-prima no mercado (Ewedairo; Chhetri; Jie, 2018). A confluência desses fatores concorre para obstaculizar a consecução da sincronicidade no ambiente fabril. Assim, torna-se inevitável a necessidade de alcançar processos mais refinados e altamente eficazes. No entanto, isso frequentemente leva à formação de grupos e lotes de produtos que carecem da sincronia exigida pelo mercado.

No contexto da moda, com temas como a sustentabilidade ou a customização, apenas uma cadeia de abastecimento plenamente sintonizada com o cliente, com visibilidade da informação entre os seus membros e capacidade de agir e de reagir em tempo real, poderá prosperar (Pal; Sandberg, 2017). Ao nível do planeamento das operações, a informação sobre a disponibilidade dos fornecedores e subcontratados é escassa e de qualidade reduzida, bem como são demorados os processos de interação. Em fase de produção, a informação sobre o processo produtivo dos fornecedores não é partilhada com os membros da cadeia, o que diminui, severamente, a capacidade de melhoria e otimização de uma só empresa da cadeia. Quando isso acontece, o processo passa pela inserção manual de dados em portais proprietários, o que representa para as entidades a montante um elevado esforço de atualização de informação, uma vez que as próprias empresas têm também de fazê-lo nos múltiplos portais impostos pelas entidades (Sellitto et al., 2022).

Embora no mundo da moda as cadeias de abastecimento devam se adaptar aos diferentes modelos de negócio, como *fast fashion*, o segmento de luxo ou os *department stores*, uma vez que as dimensões de incerteza, *time-to-market* ou geografia da produção e distribuição, são distintas, há elementos comuns, como um elevado nível de necessidade de integração da informação e a visibilidade da informação sobre a procura por toda a cadeia (Pereira; Borchardt; Sellitto, 2014) A partilha de informação é um elemento chave da cadeia desde o ponto de venda, num contexto em que a qualidade dos dados assume uma enorme importância. O valor da partilha e do fluxo de informação é bem visível em modelos de negócio de empresas líderes no setor. O desafio da integração da cadeia de abastecimento continua a não ser devidamente endereçado pelo setor, em que se almejam ganhos de produtividade, otimização de processos acrescida, e flexibilidade para responder ao mercado. De

maneira a fazer face às expectativas exigentes dos clientes e ao *fast fashion*, esta cadeia tem uma necessidade crítica de se adaptar (Sellitto et al., 2022). Uma das características particulares da cadeia de calçadista é a mão de obra massiva (alto volume de operadores em seus parques fabris) em virtude de um elevado número de processos de fabricação e montagem artesanais, devido às características do mercado associado ao *fast fashion* e à customização de produtos (Santos, 2021).

Esse contexto da cadeia no qual a indústria calçadista se encontra, reflete drasticamente no modelo de programação de produção, visto que para atender as demandas exigidas do mercado, tal como o custo baixo, as empresas da indústria calçadista estão associadas com um número elevado de operadores. Isso implica em uma exigência de buscar alto valor de eficiência da utilização dos profissionais envolvidos visando a redução de custo e garantia de entrega nos prazos acordados com os clientes (Ribeiro; Pereira, 2018). No entanto, a busca pela alta eficiência na utilização dos operadores pode ter como consequências: (i) a obtenção de altos volumes de estoque em processo (*do inglês, Work In Process - WIP*) ao longo da fábrica; e (ii) baixa aderência produtiva a programação realizada, implicando em atrasos de produção. Ou seja, pode haver um *trade-off* entre a tentativa de obtenção de alta eficiência no uso do pessoal e os elevados estoques em processo associados com atrasos na programação.

A esfera acadêmica tem criado diversas abordagens analíticas e investigações estratégicas no âmbito da produção industrial, com uma ênfase particular na sincronicidade em detrimento da mera eficiência fabril (Offermans et al., 2021; Qu, 2015). No entanto, esse enfoque tem sido reconhecido por sua propensão a engendrar complexidades e impor obstáculos no que concerne ao realinhamento das estratégias de manufatura. Diante disto, o problema de pesquisa deste trabalho, será apresentado na próxima seção.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Os métodos de programação da produção são uma área crítica para empresas do setor calçadista. A sincronização da produção é essencial para atender à demanda de consumidores e manter a competitividade neste mercado (Di Roma, 2017). No entanto, os métodos de programação existentes são limitados no que tange as características específicas do setor, como, por exemplo, a alta variabilidade.

Nesse sentido, a proposição de um método de programação e priorização para a indústria calçadista que vise realizar a produção de maneira aderente ao programado não influenciando negativamente na eficiência produtiva de pessoal/mão-de-obra se faz necessária. Esta priorização irá considerar aspectos associados à restrição de tal maneira que seja possível sintetizar o cálculo de prioridade produtiva, sendo possível alavancar a aderência produtiva do setor, que, por consequência, irá influenciar positivamente em toda a cadeia de produção. Assim, a pergunta de pesquisa desse trabalho é: Como realizar a programação e priorização de produção em empresas no ramo calçadista mantendo a eficiência produtiva da mão de obra e, simultaneamente, melhorando a aderência programada?

1.2 OBJETIVOS

Nesta seção são apresentados o objetivo geral e os específicos desta dissertação.

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta dissertação é propor um método que possa aprimorar a sincronização dos processos produtivos, tendo impacto positivo na eficiência produtiva em empresas da indústria calçadista, a partir da revisão dos métodos atualmente empregados na programação da produção.

1.2.2 Objetivos específicos

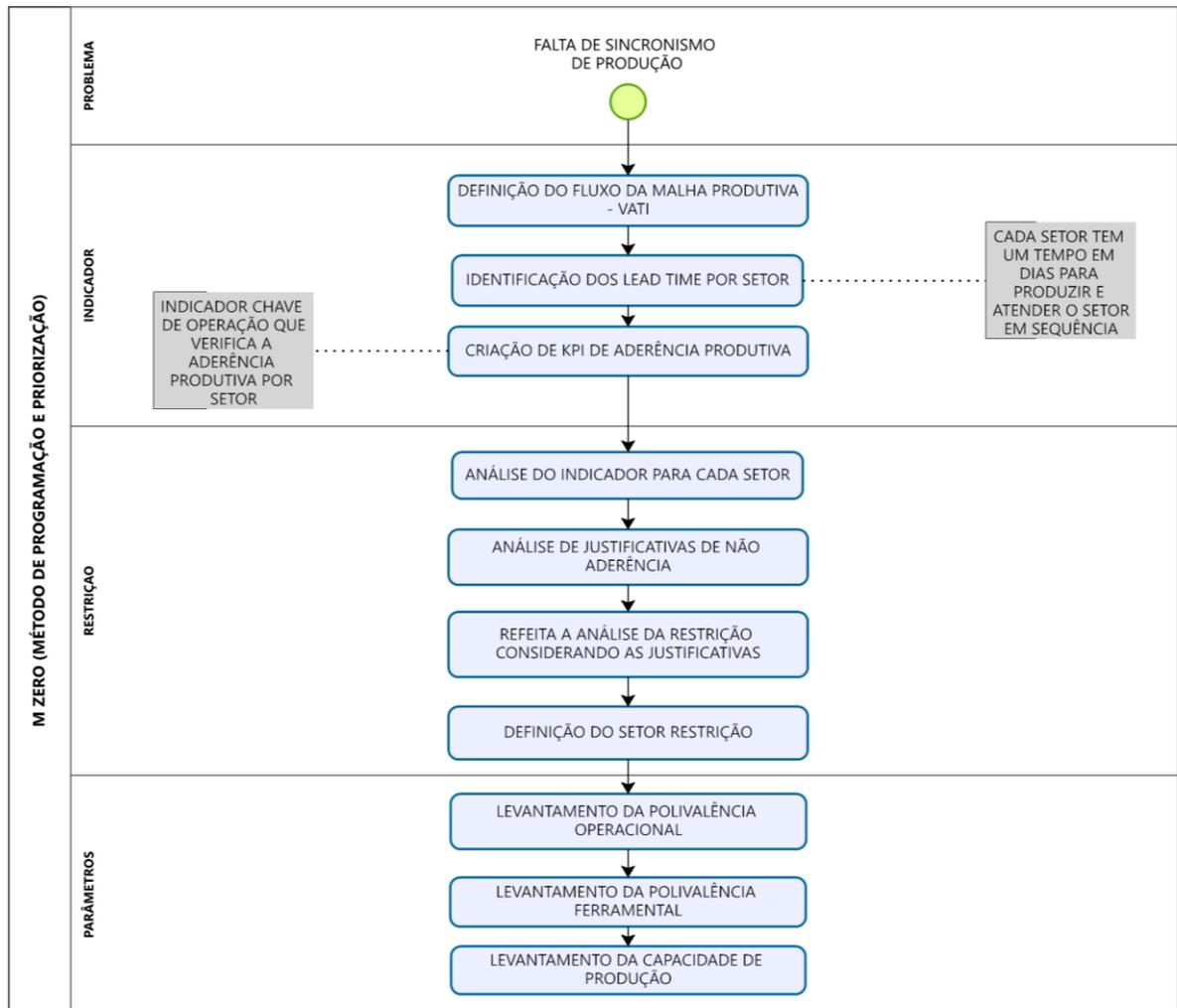
Os objetivos específicos desta dissertação são:

- a) Revisar e sintetizar os métodos de programação existentes, comparado as características de cada método;
- b) Desenvolver um método de programação e priorização que considere os fatores do setor restritivo visando o aumento de aderência produtiva;
- c) Testar o método proposto em uma empresa real, avaliar os resultados e elaborar as devidas melhorias para a validação do método.

1.3 JUSTIFICATIVA

A escolha de métodos de programação é essencial para maximizar o sequenciamento de produção. Dentre os principais métodos existentes na literatura encontram-se: Tambor-Pulmão-Corda (TPC), Kanban, *Paired cell Overlapping Loops of Cards with Authorization* (Polca), *Decentralized Work In Process* (DEWIP), *Load Oriented Order* (LOOR), MaxMin e *Pearl Chain Manufacturing Organization* (PCMO), utilizados, especialmente, pela capacidade de considerarem diferentes aspectos de produção para o sequenciamento (Dörmer; Günther; Gujjula, 2015; Etminani; Naghibzadeh, 2003; Gómez Paredes et al., 2022; Lödding, 2013; Wiendahl, 1995). No entanto, a aplicação isolada desses métodos vem sendo insuficiente para a indústria calçadista, dado as complexidades e variações inerentes da mesma (Fani; Bandinelli; Bindi, 2019). Como, por exemplo, a aplicação recente do TPC na empresa calçadista que validará o modelo proposto neste estudo. Na época, o TPC foi considerado o método mais indicado para o contexto, mas não gerou resultados satisfatórios suficientes. A linha do tempo da implementação desse método é apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Linha do tempo aplicação método existente



Fonte: Elaborado pelo autor.

A indústria de calçados, caracterizada por uma alta diversidade de produtos, variações sazonais na demanda e a necessidade de responder rapidamente às tendências de moda (Ribeiro; Pereira, 2018), exige um nível de flexibilidade e integração específico que considere as restrições do sistema. Nesse cenário, a programação da produção com base no TPC foi insuficiente para as necessidades da empresa.

Nesse contexto, neste trabalho as características dos métodos supracitados serão exploradas. A fim de sintetizar os conceitos dos mesmos e compará-los. Isso permitirá gerar um novo método, a partir dos existentes, que considere as características do objeto empírico que está sendo estudado. Com isso, será

minimizada a adoção de implementações que não produzam resultados satisfatórios para as empresas do ramo calçadista, o que geralmente gera desperdícios de tempo e custos, além dos prejuízos ao desempenho econômico-financeiro.

A importância do estudo crítico dos métodos existentes, bem como a adoção de uma lógica de comparação eficaz, pode trazer uma contribuição significativa para a academia, visto que os fatores de comparação estarão associados às características do objeto (empresa), possibilitando a escolha do método com a maior eficácia possível. No entanto, em alguns casos, os fatores de comparação considerados podem mostrar limitações em todos os métodos. Isso levará ao debate sobre a necessidade de desenvolver novos métodos de programação e priorização da produção. Este é o cenário em que esta dissertação foi concebida.

Neste sentido, o método de programação e priorização deste estudo será proposto visando identificar, gerenciar, controlar e priorizar a utilização dos recursos que possuem capacidade limitada, conhecidos como restrições, que são os recursos impossibilitam as empresas de alcançarem resultados melhores do que os atuais (Goldratt; Cox, 2014). Utilizando esses recursos de maneira mais produtiva, as empresas terão como possibilidade a maximização dos seus ganhos em termos econômico-financeiros.

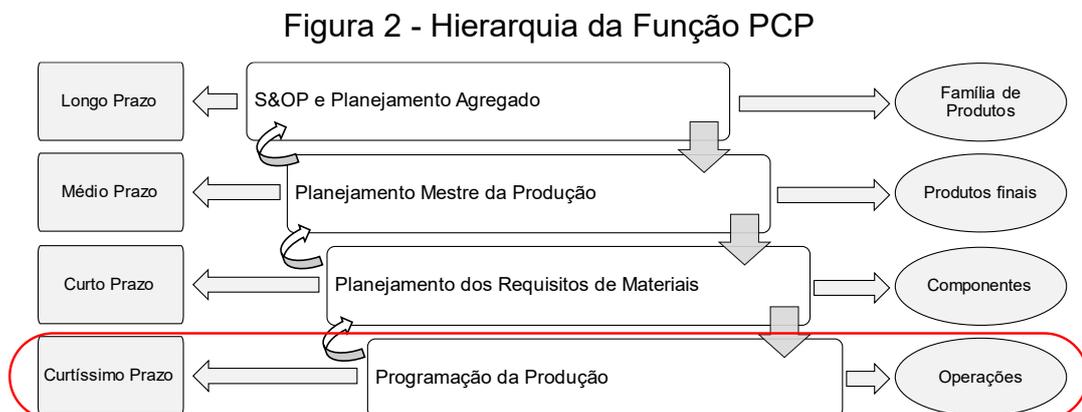
Assim, esse trabalho contribui no âmbito empresarial permitindo uma gestão racional, prioritária e efetiva dos sistemas produtivos. Especificamente, para a empresa do estudo em questão, onde as necessidades das demandas mudam constantemente (característica da indústria calçadista), fazendo-se necessário que os produtos sejam entregues dentro do prazo, justificando a aplicação do método de programação e priorização para possibilitar um melhor resultado nesse indicador. Tal tipo de situação é observado em um significativo número de empresas similares que atuam neste tipo de indústria (Di Roma, 2017). O impacto de uma alta aderência e eficiência nesta indústria, implicam na redução de custos com WIP, aumento de produtividade, redução de custos com atrasos de produto acabado devido à falta de sincronia de produção resultante da baixa na aderência produtiva.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Nessa seção são apresentadas as delimitações desta pesquisa. Que inclui os métodos de programação considerados, sendo esses: Tambor-Pulmão-Corda (TPC), Kanban, Polca, *Decentralized Work In Process (DEWIP)*, *Load Oriented Order (LOOR)*, MaxMin e *Pearl Chain Manufacturing Organization (PCMO)*. Ressalta-se que tais métodos não serão propriamente testados em campo nesta pesquisa. Assim, os quadros comparativos entre os métodos não serão provenientes de aplicação empírica, mas do estudo do referencial teórico proposto.

Além disso, ressalta-se que o método cujo objetivo é desenvolver neste estudo, terá aplicação exclusiva para área restritiva da empresa. Esse método será aplicado de maneira empírica, para realizar a análise prática do trabalho, em uma empresa. Ademais, salienta-se que o método de cálculo utilizado anteriormente pela empresa que será estudada não será avaliado, apenas seus resultados serão comparados ao do método proposto nesta dissertação.

Em relação ao método que será desenvolvido, este visa atuar no nível de programação da produção na hierarquia das funções de Planejamento e Controle da Produção (PCP). A hierarquia dessas funções pode ser observada na Figura 2.



Fonte: Entringer e Ferreira (2019).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção será apresentada a síntese dos conceitos, teorias e métodos que serão adotados para a realização deste estudo. A ideia consiste em embasar o desenvolvimento do método que será proposto nesta dissertação.

2.1 TEORIA DAS RESTRIÇÕES

A Teoria das Restrições (do inglês, *Theory of Constraints* - TOC), foi idealizada pelo físico israelense Eliyahu Goldratt em 1980, expandindo-se rapidamente devido aos resultados econômico-financeiros obtidos com sua aplicação prática em várias empresas (Cox; Schleier, 2013). Os conceitos, métodos e técnicas da TOC foram aplicadas em inúmeras empresas, que divulgaram publicamente as melhorias significativas obtidas por meio da implementação da TOC, dentre essas empresas, destacam-se: *3M, Boeing, Delta Airlines, Ford Motor Company, General Electric, General Motors e Lucent Technologies* (Watson; Patti, 2008).

A TOC é uma filosofia de gestão que visa a melhoria contínua do sistema produtivo, por meio da exploração das restrições de um sistema, reduzindo-as ou suprimindo-as, para aprimorar a *performance* global da organização (Cox; Schleier, 2013; Puche et al., 2019). Todas as empresas possuem pelo menos uma restrição, ou seja, algo que limita o desempenho do sistema em relação à sua meta (Djordjevic; Stojanovic, 2009; Moura et al., 2018). Goldratt e Cox (2014) definem que a meta de toda empresa com fins lucrativos, é ganhar dinheiro hoje e no futuro.

As restrições que limitam o alcance da meta das empresas podem ser internas ou externas. Se a capacidade for inferior a demanda, há uma restrição interna do sistema produtivo. Em contrapartida, se a capacidade for superior a demanda há uma restrição de mercado, ou seja, uma limitação externa (Goldratt, 1990).

As restrições podem ser físicas, mentais ou organizacionais (Blackstone, 2001). As restrições físicas estão relacionadas aos recursos palpáveis que uma organização apresenta, tais como dispositivos, ferramentas, máquinas etc.

Enquanto as restrições mentais ou organizacionais são consideradas as atividades, processos, normas, comportamentos, procedimentos etc.

Além disso, Goldratt (1990b) aborda que as restrições também podem ser classificadas e manifestarem-se fisicamente, de mercado e política. A restrição física está relacionada à capacidade de ofertar recursos menores do que a demanda. São consideradas restrições físicas o déficit em atender uma demanda, *layout* ineficiente, orçamento limitado, mão-de-obra precária, linha de produção desequilibrada (Hinckeldeyn et al., 2014). A restrição de mercado está voltada à demanda menor do que a capacidade de disponibilizar os recursos. Enquanto a restrição política compreende as regras formais e informais que limitam a capacidade de desenvolvimento do sistema empresarial e produtivo. As restrições políticas dizem respeito à resistência da organização no que tange as modificações necessárias em termos estratégicos e táticos (Souza; Pires, 2010)

Golmohammadi e Mansouri (2015) argumentam que o cerne da TOC está na identificação dessas restrições nos sistemas e na busca de soluções para mitigá-las ou eliminá-las, visando aprimorar continuamente o desempenho organizacional. Pergoraro (2017) enfatiza que os esforços das empresas devem estar direcionados aos processos restritivos, visto que esses determinam o ritmo do processo produtivo, enquanto os esforços em recursos não restritivos não possuem uma influência significativa na capacidade da empresa.

Para a adoção da Teoria das Restrições como filosofia de gestão, faz-se necessário abordar os conceitos relacionados aos pressupostos da TOC. Chou, Lu e Tang (2012) destacam que a TOC é baseada em três pressupostos: (i) a organização deve possuir uma meta e uma série de condições devem ser atingidas para o alcance da mesma; (ii) uma organização é mais do que a soma de suas partes; e (iii) o desempenho de uma organização é limitado por poucas variáveis, ditas restrições. Além disso, de modo geral, o método de melhoria contínua proposto pela TOC, envolve a adoção dos cinco passos principais para o balanceamento da produção e o método Tambor-Pulmão-Corda (Goldratt; Cox, 2014), que serão abordados nas próximas seções.

2.1.1 Etapas da TOC

A métrica da Teoria das Restrições é uma das suas variáveis principais para tomada de decisão, consistindo na resposta a três questões básicas (Goldratt; Cox, 2014): (i) qual o impacto no ganho da empresa?; (ii) qual o impacto no inventário?; e (iii) qual o impacto na despesa operacional?. Com a intenção de administrar as restrições, Goldratt (1990b) desenvolveu um processo contínuo de 5 etapas, com o intuito de identificar, controlar e gerenciar as restrições de modo a garantir um processo de melhoria contínua. Esses cinco passos são:

- i. **Identificar as restrições do sistema:** as restrições podem ser identificadas facilmente, desde que a empresa seja bem-organizada, por meio da localização de inventários do estoque em processo (do inglês, *Work in Process - WIP*) (Noreen; Smith; Mackey, 1996). Tais inventários poderão ser concentrados na fase anterior da restrição. Outra maneira de identificar as restrições é por meio da realização de cálculos da carga que a máquina suporta *versus* a carga solicitada para a produção (Cogan, 2007);
- ii. **Decidir como explorar as restrições:** nesta etapa é preciso identificar a melhor forma de explorar as restrições, sendo necessário atingir a melhor taxa de rendimento possível, dentro dos limites dos recursos atuais do sistema, atentando ao fato de que a saída do sistema é limitada pela taxa de transferência da restrição (Watson; Blackstone; Gardiner, 2007).
- iii. **Subordinar os demais recursos:** ao subordinar os demais recursos, esses devem trabalhar no ritmo da restrição. O objetivo desta etapa é proteger o conjunto de decisões relativas ao aproveitamento da restrição durante as operações diárias. Nesse cenário, não deve haver falta de material para que não haja interrupção da produção o que afeta negativamente o desempenho do sistema. Em contrapartida, os recursos não restritivos não devem trabalhar com maior velocidade em relação à restrição, pois não estaria aumentando o nível de produção da linha, estariam apenas aumentando o nível do estoque em processo (Cox; Schleier, 2013).

- iv. **Elevar as restrições do sistema:** para elevar as restrições do sistema, deve-se “aumentar” a produção da restrição ou reduzir a demanda da mesma (por exemplo, parte do trabalho que rotineiramente passaria pela restrição pode ser enviado para fábricas externas ou outras máquinas ociosas na fábrica) (Noreen; Smith; Mackey, 1996). Ainda, se a restrição for uma máquina, outra pode ser adquirida. Nesse contexto, melhorias como redução do tempo de preparação de máquinas, redução do tempo de parada de manutenção preventiva ou aumento do nível de habilidade do colaborador podem ser realizadas para melhorar o desempenho do sistema (Cogan, 2007).
- v. **Elevar a inércia do sistema:** na última etapa, é preciso renovar o ciclo de melhoria para elevar a inércia do sistema. Se a restrição dos passos anteriores for quebrada, deve-se começar da fase inicial (Cox; Schleier, 2013).

2.1.2 Princípios da TOC para a sincronização da produção

O aprimoramento da produção deve ter como objetivo a eliminação do excesso de inventários e a melhoria nos processos, sendo necessário um menor inventário de segurança contra problemas inesperados. A TOC postula que “a soma dos ótimos locais não é igual ao ótimo total” e estabelece nove princípios básicos de sincronização da produção (Cox; Schleier, 2013; Goldratt; Fox, 1986), sendo esses:

- i. O fluxo deve ser sincronizado ao invés da capacidade, visto que a ênfase recai sobre o fluxo de materiais e não sobre a capacidade instalada dos recursos, sendo necessária a identificação do recurso restritivo de capacidade, ou seja, a restrição. A orientação é feita pela restrição do processo, pois ela é o fator que determina o desempenho do sistema.
- ii. A utilização de um recurso não restritivo não é determinada por seu próprio potencial, mas pela capacidade da restrição do sistema. Esse princípio determina que a utilização de um recurso não restritivo seja parametrizada em função das restrições existentes no sistema.

- iii. A utilização de um recurso e a sua ativação não são sinônimos. A utilização corresponde ao uso de um recurso não restritivo conforme a capacidade do recurso restritivo. Enquanto a ativação, corresponde ao uso de um recurso não restritivo em volume superior ao requerido pela restrição.
- iv. Uma perda na restrição é uma perda em todo o sistema. Portanto, o tempo de preparação dos instrumentos do recurso restritivo, ou a produção de unidades defeituosas, de produtos não demandados, será a diminuição do tempo total disponível para atender ao volume de vendas, o ganho. A TOC determina que só existem benefícios na redução de *setups* nos recursos restritivos.
- v. Não haverá benefício algum com a redução do tempo de um recurso não restritivo. As economias de preparação em não restritivos não tornam o sistema mais produtivo, apenas aumentam os seus níveis de ociosidade.
- vi. As restrições governam o ganho e o inventário. É de fácil percepção que o recurso restritivo determina o fluxo do sistema – o ganho. Da mesma forma que determina os níveis de estoques, a fim de isolar as restrições das flutuações estatísticas provocadas pelos recursos não restritivos.
- vii. Os lotes de processamento e de transferência não precisam ser iguais. Isto permite dividir os lotes e reduzir o tempo de passagem dos produtos pela fábrica.
- viii. O lote de processo deve ser variável e não fixo. Sob enfoques tradicionais, o tamanho de lote deve ser o mesmo para todas as operações de fabricação do produto, mas isso se traduz num problema de escolha do tamanho a ser adotado, visto que as características das operações individuais podem conduzir a um cálculo diferente.
- ix. Os programas devem ser estabelecidos considerando todas as restrições simultaneamente e não sequencialmente. Deve-se considerar o conjunto de restrições existentes para programação da produção.

A escolha desses princípios deve ser conduzida com base na visão conceitual e econômico-financeira da TOC (Cox; Schleier, 2013; Goldratt; Fox,

1986). A maioria desses princípios, totalmente embasados na teoria de sistemas, advém das Ciências Exatas, particularmente da Física, área de estudo de Goldratt. A TOC sustenta que é essencial concentrar os esforços de melhoria no elo mais fraco da corrente, na própria restrição, pois é ela que determina o desempenho econômico-financeiro global de qualquer sistema empresarial (Goldratt; Cox, 2014).

Por fim, a implementação da Teoria das Restrições (TOC) proporciona uma visão abrangente do processo, o que permite a identificação e o aprimoramento das interfaces funcionais, entendidas como os pontos nos quais o trabalho está sendo realizado e transferido de um setor para o seguinte (Souza et al., 2016). Isso sugere que a TOC é uma ferramenta importante para identificar as competências necessárias para cada função. Essa abordagem ressalta a relevância da TOC não apenas na otimização dos processos, mas também na gestão eficaz das competências organizacionais (Cox; Schleier, 2013).

Na próxima seção são abordados os diferentes métodos de programação da produção.

2.2 MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO

Nesta seção, são abordados diferentes métodos de programação da produção. Parte-se dos dois métodos mais conhecidos: o Método Tambor-Pulmão-Corda, propugnado pela Teoria das Restrições, e o Método Kanban, que surgiu no âmbito do desenvolvimento do Sistema Toyota de Produção. Na sequência, são tratados os métodos DEWIP, que aborda a programação do *Work in Process (WIP)*, e o método LOOR, caracterizado pela programação das capacidades dos postos de trabalho a curto prazo. Em seguida, é abordado o método MaxMin, que estabelece o ponto de pedidos mínimos e máximos conforme a diferenciação do produto. O método PCMO é abordado na sequência, sendo sua principal característica a programação de cadeia, na qual o processo produtivo é dependente de seus fornecedores. Por fim, é apresentado o método POLCA, uma variação do Kanban que utiliza cartões e se caracteriza pela divisão da fábrica em células multidisciplinares.

2.2.1 Tambor-Pulmão-Corda (TPC)

A Teoria das Restrições (TOC) propõe a adoção do método de programação e controle da produção conhecido como Tambor-Pulmão-Corda (do inglês, *Drum-Buffer-Rope - TPC*) (Goldratt; Cox, 2014). Este método, além de maximizar a produção, aborda sistematicamente os aspectos relacionados à restrição e à variabilidade, além de visar o gerenciamento abrangente da produtividade do sistema globalmente. O TPC aplica os princípios fundamentais da TOC, concentrando-se no sistema produtivo para alcançar um equilíbrio sustentável no fluxo de produção (Wahlers; Cox, 1994). A eficácia deste método na indústria o coloca entre os mais eficientes na programação de produção, proporcionando resultados tangíveis para a lucratividade da empresa, uma vez que possibilita a identificação e aprimoramento visual e efetivo das restrições. Ao considerar a implementação do TPC, há a intenção de melhorar o fluxo de operações que apresentam restrição interna ou recurso com limitação de capacidade (Corbett; Csillag, 2001; Luchese et al., 2016; Wstson; Patti, 2008).

O método TPC delinea um cronograma de trabalho para a restrição (Tambor), que armazena em um *buffer* a restrição para garantir um fluxo contínuo de suprimento (Pulmão) e estabelece um mecanismo de liberação do trabalho no início do sistema produtivo (Corda) para assegurar que o trabalho seja disponibilizado no sistema no momento e na quantidade apropriados (Goldratt; Fox, 1986). Essa abordagem sistemática protege o elo mais fraco do sistema de produção contra os diversos tipos de variação e dependência do processo, resultando na maximização da eficácia geral do sistema (Corbett; Csillag, 2001; Cox; Schleier, 2013).

Na manufatura, o Tambor corresponde ao recurso em que entra matéria-prima. Um Pulmão deve ser colocado antes da restrição e antes do CCR (o recurso que não for convenientemente programado, o fluxo não conseguirá atender a demanda) e a Corda, informa ao Tambor se o Pulmão está ou não cheio; se estiver, o Tambor não iniciará uma nova operação (Cox; Schleier, 2013). Por este funcionamento, observa-se que este sistema é um sistema híbrido, uma vez que o estoque (Pulmão) “puxa” a produção por meio da Corda (*feedback* de informação), porém o CCR é programado via o PCP central. Também pelo funcionamento se vê que a aplicabilidade do TPC é em ambientes

com linhas ou células com padrão de fluxo *flow-shop*, ou seja, sistemas de produção repetitivos.

Conforme a TOC, a produção de qualquer sistema está limitada a capacidade de seu recurso restritivo, que representa os itens em que a demanda excede a capacidade de produção, sendo que o recurso mais lento comanda o sistema de produção: a restrição (Dias, 2017). O Tambor, determina o ritmo de produção do restante do sistema, fazendo com que todos os outros recursos se sincronizem a esse ritmo (Goldratt; Fox, 1986). É crucial que o Tambor opere em sua capacidade máxima, e para garantir isso, é importante protegê-lo de incertezas e variações que possam atrasar a programação, como a falta de material (Cox; Schleier, 2013). Para evitar interrupções no Tambor, é criado um estoque em frente a restrição, proporcionando proteção em caso de falta de material, garantindo a produção contínua e evitando paradas. Essa proteção dada ao Tambor é conhecida como Pulmão (Darlington et al., 2015).

O Pulmão é um mecanismo essencial para manter o Tambor sempre em atividade e protegê-lo contra possíveis interrupções. Sua função é garantir a confiabilidade das datas de entrega ao cliente (Darlington et al., 2015). Não há uma dimensão específica para o tamanho do Pulmão, visto que ele depende das flutuações estatísticas dos processos que constituem o sistema produtivo e da capacidade protetora dos recursos que não são restritivos (Betterson; Cox, 2009). Esses recursos são aqueles que têm capacidade superior a demanda e ao recurso restritivo (Dias, 2017) e precisam de uma capacidade protetiva para garantir que o recurso restritivo sempre tenha material disponível e não pare.

É fundamental administrar os pulmões adequadamente para assegurar as programações das restrições e a entrega dos pedidos (Betterson; Cox, 2009). Pulmões muito pequenos podem levar ao estrangulamento, enquanto buffers excessivamente grandes aumentam o estoque desnecessário, os custos operacionais, o tempo de entrega e, por consequência, o capital de giro (um conceito contábil referente ao montante financeiro necessário para manter as operações em andamento). Assim, a gestão dos buffers é uma componente crucial da gestão eficaz e utilização do sistema produtivo, viabilizando o funcionamento eficiente do processo e garantindo a satisfação do cliente por meio de entregas pontuais (Darlington et al., 2015; Goldratt; Fox, 1986).

O sistema TPC é aplicável em diversas operações e fluxos de processos nas organizações. Independentemente da complexidade da operação, é inevitável que haja um número limitado de restrições, e todas elas podem ser protegidas por pulmões de tempo (Cox; Schleier, 2013). Essa abordagem garante a continuidade da produção no recurso restritivo, prevenindo qualquer interferência negativa nos ganhos da organização. Por meio da gestão adequada dos buffers de tempo, é possível assegurar a eficiência operacional e maximizar os resultados em toda a empresa (Goldratt; Fox, 1986).

2.2.2 Kanban

Com o término da Segunda Guerra Mundial, o Japão enfrentou uma devastação significativa, resultando em uma crise econômica. Diante dessa adversidade, a necessidade de encontrar soluções para reduzir custos e aumentar a produtividade tornou-se premente. Foi nesse contexto que a empresa Toyota desenvolveu uma técnica estratégica conhecida como Kanban, termo japonês que se traduz como "cartão" ou "sinalização" (Ohno, 1997). Na década de 1960, os cartões coloridos do Kanban foram introduzidos para auxiliar no controle de estoques e na gestão da produção. Esses cartões eram utilizados como uma forma visual de comunicação entre os diferentes setores da empresa, permitindo o acompanhamento do fluxo de materiais e a coordenação eficiente das atividades produtivas (Shingo, 1996). Essa abordagem inovadora promoveu uma revolução na gestão da produção, contribuindo para a eliminação de desperdícios, a redução de estoques excessivos e o aumento da flexibilidade e da eficiência operacional (Manohar et al., 2022; Shingo, 2004). O sistema Kanban se tornou uma das principais técnicas do Sistema de Produção Toyota, conhecido como Sistema Toyota de Produção, ou Lean Manufacturing, e foi adotado mundialmente como uma ferramenta eficaz para aprimorar os processos produtivos e alcançar resultados superiores em termos de qualidade, custo e tempo de entrega (Silva; Macedo, 2019; Weiss, 2015).

O Kanban constitui um sistema de controle visual de materiais e tarefas que faz uso de cartões retirados e inseridos em um quadro, movendo-se de etapa a etapa do processo e indicando o progresso e as necessidades da produção (Htun; Khaing, 2009). Além disso, o Kanban é um mecanismo que

viabiliza a transmissão das informações essenciais sobre a peça a ser produzida, sua quantidade e os postos de trabalho pelos quais passa (Ohno, 1997). Esta abordagem representa o método reconhecido no mercado como produção “puxada”, consistindo em um sistema visual de informações concebido e desenvolvido por Taiichi Ohno, tendo como inspiração os supermercados americanos, com o propósito de gerir a produção e restringir a quantidade de estoque em processo por meio de sinais por cartões (Lima; Mendes; Paulista, 2015). As informações contidas nos cartões são fixadas em painéis denominados porta-kanban, os quais devem ser posicionados em locais de fácil visualização, permitindo que todos os envolvidos tenham acesso às informações necessárias e possam realizar as tarefas no prazo ideal para um desempenho ótimo na produção (Ohno, 1997).

O sistema ‘puxado’ é uma estratégia de manufatura enxuta adotada para reduzir o desperdício no sistema de produção (Manohar et al., 2022). Nesse tipo de sistema, os componentes utilizados no processo de fabricação só são substituídos após serem consumidos, resultando em uma produção de produtos que atende exatamente a demanda dos clientes. Essa abordagem garante que todos os recursos da empresa sejam direcionados para a produção de bens que serão vendidos imediatamente, gerando lucro. Em outras palavras, significa manter no estoque apenas o necessário para a fabricação, resultando em um *lead time* mínimo (Shingo, 2004).

Esse sistema desempenha várias funções no sistema de produção. Ele estimula a iniciativa dos trabalhadores, serve como meio de controle de informações, contribui para o controle do estoque e aumenta o senso de propriedade entre os empregados (Satolo; Dos Reis; Calado, 2021). Além disso, o Kanban promove a simplificação dos mecanismos de administração do trabalho ao permitir o controle visual das informações e do estoque, facilitando assim a administração do trabalho (Senapathi; Drury-Grocan, 2021). Ressalta-se que a função do Kanban não é reduzir estoques, mas sim limitar seu nível a um valor máximo. Essa característica diferencia o Kanban do *Just in time*, tornando-o apenas uma parte desse sistema (Gozali et al., 2020).

Em relação ao tipo, o Kanban pode ser classificado como de retirada, que envolve a requisição de materiais, ou de colocação do pedido, que funciona como um comando para a estação anterior produzir lotes adicionais (Wanke,

2011). Slack, Chambers e Johnson (2005) classificam o Kanban em três segmentos:

- i. Kanban de transporte, também conhecido como Kanban de movimentação, é utilizado para alertar o estágio anterior de que o material pode ser retirado do estoque e transferido para um destino específico. Esse tipo de Kanban contém informações como o número de lote do material, a descrição do componente, o local de origem de onde foi retirado e o destino para o qual será enviado, garantindo a integridade do processo.
- ii. Kanban de produção autoriza o início da produção de um lote específico de um item determinado. Essa ação evita a produção sem uma real necessidade, evitando desperdícios.
- iii. Kanban de fornecedor é utilizado para informar ao fornecedor que é necessário enviar materiais ou componentes para um estágio específico da produção. Esse tipo de Kanban é similar ao Kanban de movimentação, mas é normalmente empregado com fornecedores externos.

O Sistema Kanban opera conjuntamente com supermercados de componentes padronizados. Esses supermercados possuem preços pré-definidos e uma quantidade estritamente limitada de estoque, calculada para garantir que o estoque disponível seja suficiente apenas para cobrir o período de reposição (Sugimori et al., 1977). Nesse contexto, um cartão Kanban é um sinal que autoriza a encomenda ou produção de peças para reabastecer aquelas que foram consumidas no supermercado, seguindo o princípio “leve um, faça um” (Pinto, 2014). Conforme Ohno (1997), o Kanban desempenha cinco funções específicas:

- i. **Informar sobre abastecer/transportar:** o processo subsequente recebe o número de itens indicados pelo cartão Kanban para o processo antecedente.
- ii. **Fornecer informação sobre produção:** produção de itens na quantidade do cartão.
- iii. **Bloquear a superprodução e transporte desnecessário:** Nenhum item é produzido ou transportado sem um cartão Kanban.

- iv. **Impedir erros de processos:** Produtos identificados durante o processo, assim os produtos defeituosos não são enviados para etapa seguinte.
- v. **Manter o controle de estoque:** Manter somente os cartões Kanban necessários ao processo.

O Kanban tem uma dupla função: é uma ferramenta de visualização do trabalho e um mecanismo de desenvolvimento de projetos ágeis (Kniberg; Skarin, 2009). Esses autores destacam que as placas e as reuniões *stand-up* diárias são os principais mecanismos para o sucesso do Kanban, sendo aplicados em três categorias: (i) materialização do fluxo de informação; (ii) visualização do fluxo de trabalho; e (iii) restrição do trabalho em processo (do inglês, *Work in Process - WIP*). Além disso, Moura (2007) descreve quatro maneiras de utilização do Kanban, ressaltando sua versatilidade e adaptabilidade para diversas abordagens e contextos:

- i. **Método de sinais:** O fornecedor recebe um cartão ou a embalagem vazia, significando que é necessária a reposição.
- ii. **Método dinâmico:** Diariamente é enviado ao fornecedor um relatório das necessidades de materiais.
- iii. **Método de sequência em tempo real:** O fornecedor recebe a informação do horário da montagem e fica responsável por abastecer no horário da montagem da linha.
- iv. **Método da sequência em lotes:** A produção é agrupada em lotes e o fornecedor é responsável por entregar os próximos lotes de produção.

Quando o Kanban é utilizado e ocorre alguma paralisação em qualquer etapa da cadeia de produção, todo o processo é suspenso (Shingo, 1996). Isso significa que todos os setores deixarão de produzir, uma vez que a fonte de abastecimento está parada. Dessa forma, somente o que é necessário será produzido, evitando desperdícios e garantindo uma produção alinhada à demanda real.

O método Kanban transcende sua função como uma simples ferramenta de controle de estoque e produção, sendo uma filosofia que valoriza a execução eficiente, a simplicidade e o respeito à dignidade humana. Além de otimizar processos, o Kanban promove uma cultura de melhoria contínua, em que cada colaborador é incentivado a contribuir para a eficácia e o aprimoramento dos

fluxos de trabalho. A ênfase na transparência, na comunicação eficaz e na eliminação de desperdícios não apenas aumenta a produtividade, mas também promove um ambiente de trabalho colaborativo e empoderador, onde cada indivíduo é reconhecido e valorizado pelo seu papel no processo produtivo (Silva; Macedo, 2019).

2.2.3 DEWIP

O sistema de coordenação de ordens ou Trabalho em Processo Descentralizado (do inglês, *Decentralized Work In Process - DWIP*) é adequado para ambientes produtivos do tipo *jobshop* (Lödding, 2013). Há uma ampla variedade de itens a serem processados, que não precisam seguir um percurso único entre os diferentes centros produtivos no chão de fábrica. O objetivo é alcançar prazos de entrega curtos e confiáveis, estabelecendo loops de controle de estoque em processo entre os centros de trabalho de fabricação (Fernandes; Godinho Filho, 2007). O *DEWIP* é um sistema híbrido, pois depende da programação de um PCP central mesmo que “puxe” a produção com características de controle descentralizado.

Nesse sistema, as ordens de produção urgentes e prontas para serem processadas são disponibilizadas em uma central de ordens. Os centros de trabalho podem retirar essas ordens conforme haja necessidade e capacidade suficiente para processá-las (Dalalah, 2012). Os níveis de *WIP* são determinados por meio de ciclos de controle entre os centros de trabalho, exigindo um alto nível de envolvimento das pessoas envolvidas no processo produtivo (Del Bianco, 2008). Portanto, a ideia fundamental do *DEWIP* é estabelecer esses ciclos de controle descentralizados entre os centros de trabalho. Fernandes e Godinho Filho (2007) determinam que o funcionamento deste Sistema de Coordenação de Ordens (SCO) baseia-se em seis regras básicas:

- i. Antes de iniciar um trabalho, o operário solicita permissão ao centro de trabalho posterior (à frente), conhecido como "*go-ahead request*" na literatura.
- ii. O operário do centro de trabalho à jusante decide conceder ou não a autorização de produção para o centro de trabalho anterior, com base em um limite de *WIP* permitido. Esse cálculo do *WIP* permitido

considera tanto o *WIP* direto do próprio centro de trabalho quanto o *WIP* indireto dos centros de trabalho antecedentes, levando em conta as autorizações de produção concedidas.

- iii. Se houver autorização para iniciar o trabalho, o operário inicia a produção; caso contrário, o centro de trabalho solicita permissão a outros centros de trabalho à jusante, visto que o ambiente é do tipo job shop.
- iv. Após processar uma ordem, o trabalhador reduz o conteúdo de trabalho do *WIP* do seu centro de trabalho. Isso reduz o nível de *WIP* abaixo do limite, permitindo novas autorizações para produção nos centros de trabalho anteriores.
- v. Um centro de trabalho sempre autoriza a produção (independentemente do nível de estoque) se o centro de trabalho solicitante for um recurso crítico.
- vi. Todas as ordens de produção são programadas por um Planejamento e Controle da Produção (PCP) central. Assim, essa programação define a prioridade de produção, enquanto o controle do *WIP* determina quando produzir.

Ao analisar-se as características de funcionamento deste sistema, é possível perceber que, embora ele 'puxe' a produção e tenha características de controle descentralizado, ainda depende de uma programação centralizada realizada pelo PCP, conforme mencionado na regra "vi". Por isso, é possível classificá-lo como um sistema híbrido (Fernandes; Godinho Filho, 2007).

2.2.4 LOOR

Esse método é utilizado em ramos de manufatura discreta, principalmente quando há necessidade de simplicidade e robustez diante de erros nas datas de planejamento ou mudanças nos níveis de pedidos. Bem como no planejamento e controle de curto prazo, pois a liberação de pedidos orientada à carga fornece um programa de trabalho confiável que permite um grau considerável de planejamento situacional no local. O sistema *Load Oriented Order (LOOR)* foi desenvolvido por (Bechte, 1988). Este sistema é também conhecido por sua sigla em alemão (BORA). No sistema LOOR uma carga limite é estabelecida para

cada centro de trabalho. Uma tarefa é liberada somente se a carga projetada para cada centro de trabalho em um horizonte de tempo for menor que esta carga limite. A carga projetada de um centro de trabalho é formada pelas tarefas sendo processadas no centro de trabalho somadas as cargas de trabalho que estão chegando de outros centros para serem processadas, devidamente descontadas por um fator de desconto probabilístico (Fernandes; Godinho Filho, 2007). No sistema LOOR, o planejamento é realizado em três níveis:

- i. Entrada das ordens e análise de capacidade de médio prazo em que as ordens de produção (contendo quantidades e datas devidas) vão para um estoque de ordens (geralmente um banco de dados).
- ii. Liberação das ordens e análise de capacidade de curto prazo que acontecem periodicamente para todas as ordens planejadas que devem se iniciar num futuro próximo;
- iii. Sequenciamento da produção, quando ocorre a programação das ordens de produção que concorrem em um mesmo centro de trabalho, mantendo uma prioridade com relação às datas programadas. Isto mantém a acurácia nos *lead times* planejados.

Conforme Yan et al. (2016), o LOOR é um sistema adequado para ambientes *job shop* pela variabilidade de itens envolvida. Também Lödding (2013) caracteriza o LOOR como um sistema voltado a ambientes com alta variedade de itens e alta complexidade do fluxo de materiais. Ainda, indica que o LOOR é um sistema que pode ser caracterizado como tendo como variável de controle primária o *WIP* e centralizado (uma vez que os níveis de *WIP* são determinados em um nível de controle centralizado e não pelas próprias estações de trabalho). O funcionamento do LOOR caracteriza este sistema como um sistema de fluxo programado que empurra produção. Porém a liberação ocorre baseada nos níveis de carga em *WIP*. Portanto, essas duas características o tornam um sistema híbrido, mas não seria um erro considerá-lo um sistema de fluxo programado visto que a programação tem um papel absolutamente vital (Fernandes; Godinho Filho, 2007).

Yan et al. (2016) evidenciam que o LOOR tem sido amplamente ignorado desde que sua robustez foi criticada. Especificamente, Land e Gaalman (1998) e Oosterman, Land e Gaalman (2000) questionaram a eficácia do LOOR quando combinado com uma regra de despacho orientada por prazos de entrega. No

entanto, o LOOR possui algumas vantagens em relação a outros métodos de liberação do WLC, pois adota uma abordagem mais avançada de balanceamento de carga, observando como os pedidos se movem pela empresa ao longo do tempo. Contudo, o procedimento aplicado para selecionar pedidos para liberação ainda é considerado míope - ele não antecipa pedidos um pouco menos urgentes que poderiam equilibrar melhor a carga (Land; Gaalman, 1998; Yan et al., 2016). Nesse aspecto, o LOOR não otimiza o equilíbrio entre as funções de liberação de pedidos em relação ao tempo e ao balanceamento de carga. Assim, as pesquisas recentes têm negligenciado a aplicação do LOOR (Yan et al., 2016).

2.2.5 Sistema MaxMin

Quando empresas estabelecem que precisarão se diferenciar ao máximo em uma dimensão e ao mínimo em outra, tem-se o Princípio da Diferenciação Máxima Mínima e propõem-se utilizar o modelo bidimensional padrão MaxMin. Empresas que tem produtos que podem ser diferenciados em duas dimensões (ou mais), diferenciam-se ao máximo em uma dimensão e minimamente na outra, que é o Princípio da Diferenciação Max-Min (Etminai; Naguibzadeh, 2003).

O sistema MaxMin reage a variações tanto no suprimento quanto no consumo, definindo-se um estoque de segurança para cada item. Isso é feito para que atrasos temporários no fornecimento ou aumentos de consumo não provoquem falta de estoque. Em seguida, é necessário definir um estoque de segurança para cada item, a fim de evitar falta de estoque devido a atrasos temporários no fornecimento ou aumentos de consumo. São estabelecidos limites de estoque, em que a variação normal ocorrerá entre o nível do estoque de segurança e o nível aumentado pelo lote de entrega (Fernandes; Godinho Filho 2007). Variações significativamente fora desses limites merecem atenção de modo a prevenir a falta ou excesso de estoque. Os limites de controle, mínimo e máximo, não necessariamente devem ser definidos como sendo (estoque de segurança) e o (estoque de segurança + lote de entrega). Inclusive esses limites podem variar, refletindo certa sazonalidade do produto (Etminai; Naguibzadeh, 2003).

Então, devem-se emitir ordens na forma de programas de necessidades. Uma requisição de compra típica do sistema MaxMin mostra que o programa é enviado ao fornecedor como um pedido global, e ele então passa a fazer as entregas de acordo com o programa, não sendo acompanhado (e então alterado) de nenhum modo, a menos que o estoque saia dos limites de controle (Stützle; Hoos, 2000). Finalmente devem-se manter registros de estoque e usá-los para controle. Por este funcionamento se vê que o sistema MaxMin é um sistema híbrido, pois apesar deste sistema ser programado via Plano Mestre de Produção (PMP) (no inglês, *Master Planning Schedulling – MPS*), são os registros de estoque que ‘puxam’ a produção. Geralmente, no sistema MaxMin as entregas devem ser feitas a intervalos regulares para cobrir uma necessidade fixa por período. Referente à aplicabilidade, conforme Fernandes e Godinho Filho (2007) este sistema é adequado para controlar o fornecimento de componentes e materiais de demanda independente, comprados com valor unitário baixo e demanda regular, e de fácil previsibilidade por conta da sua flexibilidade com suprimentos. É essencial manter registros de estoque e usá-los para controle. Esse funcionamento mostra que o sistema MaxMin é um sistema híbrido, pois, embora seja programado via MPS (PCP central), é o registro de estoque que puxa a produção. Geralmente, no sistema MaxMin, as entregas devem ser feitas em intervalos regulares para atender a uma necessidade fixa por período (Pérez-Carabaza; Besaba-Portas; López-Orozco, 2024).

Em relação à aplicabilidade, conforme mencionado por Burbidge (1988), o sistema é adequado para controlar o fornecimento de componentes e materiais com demanda independente, que são adquiridos com valor unitário baixo e apresentam demanda regular e fácil previsibilidade. Esse sistema oferece uma série de vantagens e desvantagens significativas, cruciais para a gestão eficaz dos estoques em ambientes empresariais. No que tange às vantagens, o MaxMin demonstra eficiência no controle de custos, sendo economicamente vantajoso em comparação com soluções mais complexas. Além disso, sua capacidade de lidar com altas taxas de rotatividade de estoque é essencial para empresas operando em setores voláteis. O sistema também proporciona flexibilidade operacional, permitindo ajustes nos estoques de reserva para acomodar variações no mercado. Contudo, apresenta o risco de perdas financeiras devido à previsão de programas de produção para períodos mais longos, o que pode

resultar em desequilíbrios nos níveis de estoque. Além disso, sua capacidade limitada de resposta a mudanças súbitas no ambiente de negócios pode gerar ineficiências operacionais. Em suma, embora ofereça vantagens em termos de controle de custos e flexibilidade operacional, as desvantagens do SCO MAXMIN exigem uma avaliação cuidadosa antes de sua implementação (Del Bianco, 2008).

2.2.6 PCMO

O *Pearl Chain Manufacturing Organization (PCMO)* é adequado para produção e compras em um sistema de cadeia de suprimentos com vários fornecedores não concorrentes, um fabricante e vários compradores não idênticos. O fabricante adquire matérias-primas de fornecedores, converte-as em produtos acabados e envia os produtos para cada comprador em um intervalo de tempo fixo ao longo de um horizonte de planejamento finito. A demanda do produto acabado é dada pelos compradores e o tamanho do envio para cada comprador é fixo (Unger; Teich, 2009).

Identifica-se características de sistema de produção “puxada” e excelência para análise de capacidade produtiva em PCMO. Isto, também pode ser descrito como um processo robusto e estável de apoio dentro de implementações *Lean*. O próprio conceito pode ser descrito como um sistema de produção de sequência fixa em cadeias de suprimentos síncronos sob encomenda. Significa um planejamento dinâmico de sequência de ponto congelado e sistema de controle envolvendo fornecedores de sistemas e distribuidores. Um elemento básico do sistema cobre o ponto de nivelamento da fabricação e deve trazer estabilidade de processo para a rede de valor agregado. O conceito *Pearl Chain* como uma estratégia adaptada dentro da produção síncrona (estabilidade controlada) ajudará a garantir os objetivos do planejamento Lean em projetos de otimização de processos com atividades enxutas (Unger; Teich, 2009). Escolheu-se o PCMO para abranger o entendimento teórico de um processo de produção objetivada à sincronização na produção calçadista. É por este caminho que seguir-se-á agora, ampliando o entendimento do uso do Pearl Chain.

2.2.7 Método POLCA

O método *Paired cell Overlapping Loops of Cards with Authorization* (POLCA) foi desenvolvido por Suri (2018). O método faz parte de uma estratégia mais ampla chamada *Quick Response Manufacturing* (QRM). Essa estratégia busca obter vantagem competitiva por meio da redução dos *lead times*, e, portanto, o Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenha um papel fundamental nesse processo. Antes da implementação do POLCA, como parte da estratégia QRM, a empresa deve reorganizar sua produção em uma estrutura celular (Fernandes; Godinho Filho, 2007).

O método POLCA é uma variante do sistema Kanban adaptada para empresas que fabricam uma ampla gama de produtos ou produzem itens específicos para cada cliente em grande quantidade. Para implementar o POLCA, o ambiente de produção é subdividido em células de trabalho flexíveis e multidisciplinares (Severino; Godinho Filho, 2019). Estas células são responsáveis por fabricar apenas produtos semiacabados destinados às células receptoras, desde que estas últimas possuam capacidade livre para processar esses produtos posteriormente. Cartões Kanban modificados são empregados para facilitar o fluxo de materiais entre as células de trabalho, indicando quais células a jusante possuem capacidade disponível no momento (Thürer et al., 2019). Para garantir o funcionamento eficaz do sistema POLCA, sugere-se a integração deste sistema com trocas eletrônicas de dados. A lógica subjacente ao sistema POLCA também pode ser aplicada para coordenar o fluxo de produção entre uma empresa e seus fornecedores (Fernandes; Do Carmo-Silva, 2006).

Conforme Riezebos (2010), o funcionamento do POLCA se dá quando uma empresa recebe uma ordem de cliente. O sistema HL/MRP usa os *lead times* planejados de cada célula para determinar quando cada célula no roteiro do produto pode iniciar o processamento da tarefa. Estas datas de autorização serão seguidas somente se um cartão POLCA estiver disponível na célula que inicia a operação. Fernandes e Godinho Filho (2007) descrevem que o POLCA deve apresentar quatro características principais:

- i. Autorização de liberação por meio do sistema *Higher Level MRP* (HL/MRP). Esse sistema é similar ao MRP convencional, porém com

duas diferenças: utiliza uma estrutura simplificada de produtos, com os *lead times* das células ao invés dos *lead times* individuais dos centros de trabalho dentro de cada célula; as datas planejadas pelo HL/MRP são consideradas datas de autorização, não de liberação, indicando apenas o momento em que as tarefas podem ser iniciadas. O início concreto da produção ocorre mediante a autorização e a disponibilidade do cartão POLCA na célula responsável pelo trabalho.

- ii. Método de controle de material baseado em um cartão POLCA. Esses cartões são utilizados para comunicação e controle entre as células. Dentro das células, pode-se utilizar outro sistema de controle, como o Kanban.
- iii. Os cartões POLCA se referem a pares de células, e não a produtos específicos. Por exemplo, se o roteiro de uma ordem sair da célula A para a célula B, é criado um cartão POLCA A/B. Esse procedimento garante que a célula A só irá trabalhar em tarefas para as quais a célula B tem capacidade disponível.
- iv. O cartão POLCA permanece com a tarefa durante todo o seu processamento, passando pelas duas células envolvidas. Depois de finalizado o processamento na segunda célula, o cartão retorna para a primeira célula, permitindo que ela inicie outra tarefa.

Suri (2018) define o sistema POLCA como uma abordagem híbrida que combina elementos dos sistemas de "puxar" e "empurrar" na produção. Esta metodologia une as vantagens dos sistemas baseados em cartões que "puxam" a produção com os sistemas que "empurram" a produção, ao mesmo tempo em que utiliza um sistema de programação centralizado de PCP (Planejamento e Controle da Produção), programação visual e análise de capacidade produtiva. Essa combinação coloca o sistema POLCA na categoria de processo híbrido.

Com relação ao ambiente de produção mais adequado para a implementação do POLCA, Suri (2018) destaca que este sistema é especialmente direcionado a ambientes com uma grande variedade de produtos. Lödding (2013) também caracteriza o POLCA como um sistema adequado para ambientes com alta diversidade de itens e complexidade elevada no fluxo de materiais. Além disso, os autores afirmam que o POLCA é um sistema descentralizado, cuja variável primária de controle é o WIP.

2.2.8 Comparação de métodos existentes

A partir da pesquisa realizada para identificar os métodos de programação existentes, foi desenvolvido uma comparação que apresenta os critérios oriundos dos métodos estudados (Quadro 1). Esse quadro apresenta uma marcação "OK" para os critérios que são atendidos por cada método e "X" para aqueles que não são. Tais critérios foram definidos a partir do conhecimento prévio do autor e do conhecimento obtido por meio da análise da literatura. Esses critérios são:

- **Análise de Capacidade Produtiva:** Este critério leva em consideração a capacidade operacional dos processos de produção durante o planejamento da produção.
- **Controle do Nível de Estoque (CNE):** Considera a gestão do estoque em um formato finito, controlando sua ocupação.
- **Definição da Restrição:** Avalia a identificação do processo que atua como restrição produtiva no fluxo de produção.
- **Estoque de Segurança:** Avalia a utilização de estoque em processo ao longo do fluxo de produção para garantir a continuidade operacional.
- **Flexibilidade de Consumo:** Refere-se às características produtivas da empresa, relacionadas ao portfólio de produtos, sendo que uma maior diversidade de produtos pode implicar em maior complexidade na programação.
- **Flexibilidade de Suprimentos:** Refere-se às características de abastecimento da empresa, relacionadas ao portfólio de matéria-prima e consumíveis, onde uma maior variedade pode tornar a programação mais complexa.
- **Produção Empurrada:** Avalia se o fluxo produtivo é conduzido de maneira que a produção em cada etapa depende do término da etapa anterior.
- **Produção Puxada:** Avalia se o fluxo produtivo é conduzido de maneira que a produção em cada etapa é iniciada independentemente do término da etapa anterior.

- **Programação Visual:** Considera a disponibilidade de um sistema de programação visual ao longo do processo produtivo, que permite a identificação visual das etapas de produção.

Quadro 1 - Comparação dos métodos de programação

FATORES DE ANÁLISE	DBR	Kanban	DEWIP	LOOR	MaxMin	PCMO	POLCA
 Análise de Capacidade Produtiva	OK	X	X	OK	X	OK	OK
 Controle Nível de Estoque (CNE)	OK	OK	OK	X	OK	OK	OK
 Definição da Restrição	OK	X	X	X	X	X	X
 Estoque de Segurança (CONWIP)	OK	OK	OK	OK	OK	X	OK
 Flexibilidade Consumo	X	X	OK	X	OK	X	OK
 Flexibilidade Suprimentos	X	X	X	X	OK	X	OK
 Produção Empurrada	X	X	OK	X	OK	X	OK
 Produção Puxada	OK	OK	X	OK	X	OK	OK
 Programação Visual	X	OK	X	X	X	X	OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 1 é apresentada a síntese das principais características dos métodos de programação de produção conforme os critérios estabelecidos neste estudo. Tal conhecimento contribui tanto no âmbito acadêmico como no empresarial, visto que a compreensão sobre as características de implementação dos métodos pode apoiar gestores e pesquisadores na escolha do método adequado para cada situação conforme os contextos específicos.

Além disso, a partir do Quadro 1, é possível identificar que nenhum dos sete métodos considerados neste estudo atende os nove critérios de avaliação propostos. Sendo o Polca, o método que atende a maioria dos critérios, mas não considera a definição da restrição do que sistema, o que é uma limitação, visto que a identificação e exploração das restrições é importante para o alcance das metas de um sistema (Goldratt; Cox, 2014). Nesse sentido, torna-se relevante a proposição de um método que compreenda todos esses critérios.

2.3 OUTROS CONCEITOS E MÉTODOS NECESSÁRIOS

Nesta seção são abordados outros conceitos e métodos teóricos pertinentes para o desenvolvimento deste estudo. Esses conceitos constituirão o arcabouço de construção que, por sua vez, sustentará a eficácia da aplicação da proposta metodológica delineada neste estudo.

Inicialmente, será discutido o conceito de Indicadores-chave de Desempenho (KPI), abordando sua importância, definição e metodologia de construção. Em seguida, será explorado o conceito de polivalência, especialmente no contexto produtivo, dado que a empresa objeto de estudo caracteriza-se pelo elevado número de artigos e processos manufaturados de forma artesanal, o que demanda uma compreensão profunda da polivalência de máquinas e mão de obra.

O terceiro tópico será dedicado ao sistema de Triagem *Manchester*, que desempenhará um papel fundamental ao oferecer suporte visual para a definição da prioridade de produção. Por fim, será abordado o método do Gemba Walk, que, embora não esteja diretamente associado a construção da metodologia proposta, revelou-se crucial para a identificação de métricas que não foram previamente percebidas em virtude do insucesso do método inicialmente proposto.

2.3.1 Key Performance Indicators

Indicadores Chave de Performance (do inglês, *Key Performance Indicators* - KPIs) ou são definidos como os indicadores focados nos aspectos da performance organizacional mais cruciais para o sucesso atual e futuro da organização como um todo (Parmenter, 2015). São parâmetros que permitem avaliar e monitorar o desempenho de processos em uma empresa. Em outras palavras, os KPIs fornecem informações sobre o que a organização precisa fazer para melhorar significativamente seu desempenho. Conforme Francischini (2017), indicadores são medidas que podem ser qualitativas ou quantitativas e que revelam o estado de uma operação, processo ou sistema. O autor também destaca que indicadores de desempenho são medidas que comparam o resultado alcançado por uma operação com uma expectativa ou objetivo. Ressalta que, embora indicadores mostrem a situação, eles não solucionam problemas. Em suma, os KPIs são ferramentas valiosas para a gestão e tomada de decisões estratégicas, permitindo que as organizações identifiquem áreas de melhoria e alcancem resultados mais eficientes e eficazes em seus processos.

Outra definição apresentada por Francischini (2017) é de que a tarefa básica de um indicador é expressar, de maneira simples, uma determinada situação que se deseja avaliar. O resultado de um indicador é uma representação estática de um dado momento, e demonstra, por meio de uma base de medida, aquilo que está sendo realizado ou o que está planejado para ser feito. Os KPIs fornecem uma maneira de acompanhar o desempenho da organização ao longo do tempo em determinadas áreas ou atividades consideradas vitais para o sucesso organizacional. Isso é fundamental para garantir que as metas elencadas estejam sendo aos poucos transformadas em realidade, ou no caso de um desempenho insatisfatório, a gestão possa propor ações corretivas para tentar reverter a situação o mais cedo possível (Domínguez et al., 2019). Quanto ao desenvolvimento desses indicadores, conforme Kerzner (2017), é necessário que possuam 5 características:

- i. Especificidade: o KPIs devem ser claros e focados na performance ou objetivos de negócio;

- ii. Medição: deve ser apresentado de forma quantitativa;
- iii. Alcançáveis: as metas definidas devem ser razoáveis;
- iv. Relevante: o KPI precisa ser diretamente relevante ao trabalho sendo realizado;
- v. Temporalidade: o KPI é medido dentro de um período.

O processo de desenvolvimento e gestão de KPIs é longo e delicado. Medir a performance das organizações é também medir o desempenho das pessoas. Por essa e outras razões é que Parmenter (2015) aponta como uma das pedras fundamentais da elaboração e medição de KPIs ao longo do tempo ter o time ao seu lado nesse processo, pois cada grupo de indivíduos desempenhará um papel: as pessoas encarregadas desses procedimentos precisam da confiança e aval dos gestores estratégicos, a colaboração dos gerentes de nível tático na obtenção de dados e informações e a confiança do time operacional de que a elaboração de KPIs é algo benéfico a todos envolvidos.

O propósito dos KPIs é mensurar as atividades executadas de um determinado processo, refletindo-os em dados concretos sobre seu desempenho. Na seleção dos KPIs, a organização deve garantir que as informações sejam mensuráveis, precisas, confiáveis e utilizáveis para implementar ações corretivas quando o desempenho não está satisfatório ou para aprimorar a eficiência e eficácia dos processos. A escolha adequada dos KPIs proporciona uma complementaridade entre eles, formando um relatório informativo valioso para evidenciar tanto os aspectos positivos quanto negativos do trabalho realizado, indicando as melhores formas de otimizá-lo. A presença de indicadores estimula a busca por lucratividade, pois eles orientam o caminho delineado pelo planejamento estratégico (Cassettari; Pedroso; Cassettari, 2009). Os objetivos estratégicos de uma empresa estão geralmente relacionados aos indicadores de desempenho, os quais representam medidas importantes de atividades e resultados cruciais para o sucesso global da organização ou de um processo específico.

2.3.2 Polivalência

Polivalência refere-se à capacidade de um trabalhador ou operador executar múltiplas tarefas ou funções em um ambiente de produção ou manufatura (Berkenbrock, 2016). Essa habilidade permite que o profissional atue em diferentes etapas ou processos produtivos, realizando diversas atividades que agregam valor ao sistema de produção. Nesse contexto, surge a necessidade de um trabalhador mais conectado, flexível e dinâmico, que esteja apto a adquirir novas competências. Estas habilidades, quando associadas a práticas de requalificação e dotadas de senso crítico, permitem a polivalência e o desenvolvimento de uma compreensão profunda dos aspectos políticos, econômicos e sociais envolvidos nas atividades laborais. Dessa forma, o trabalhador se torna mais próximo de seu trabalho, reduzindo ou eliminando o distanciamento entre ambos, ao mesmo tempo em que expande suas capacidades para enfrentar as demandas emergentes da era digital.

No início do século XX, com as contribuições de Henry Ford e Frederick Taylor, foi estabelecido um paradigma na indústria, em que os operadores foram designados a postos de trabalho executando operações repetitivas e especializadas. Esse novo formato de trabalhador na indústria implicou uma mudança significativa em relação aos operadores que anteriormente atuavam como artesãos, possuindo competências abrangentes na produção de produtos. Com a adoção do sistema proposto por Ford, os operadores passaram a realizar atividades específicas e fragmentadas, resultando em uma redução da necessidade de conhecimentos mais amplos sobre os processos produtivos (Ford, 1927). Esses processos foram de grande significância para a sociedade, uma vez que atividades realizadas em processos altamente padronizados resultaram em uma produtividade notável. No entanto, à medida que o mercado evoluiu para atender a demandas diversas, incluindo a personalização de produtos e preocupações com a qualidade, as limitações desse tipo de abordagem se tornaram evidentes. A rigidez dos processos padronizados dificultava a adaptação rápida e eficaz às necessidades individuais dos clientes, além de não oferecer a flexibilidade necessária para lidar com mudanças repentinas no mercado. Como resultado, surgiram novas abordagens de

produção e gestão, visando aprimorar a capacidade de resposta e a qualidade dos produtos, ao mesmo tempo em que mantêm níveis elevados de eficiência e produtividade (Sloan Jr., 2001)

O conceito de polivalência refere-se à capacidade de flexibilidade do trabalho, no qual o operador possui a habilidade de desempenhar diversas operações distintas. Tal capacidade é considerada essencial para garantir a continuidade das atividades em uma linha de produção, evitando possíveis paralisações decorrentes da ausência de colaboradores-chave nas operações integrantes do sistema produtivo.

Conforme Benevides Filho (1999), empresas cujos operadores são restritos a executar tarefas repetitivas enfrentam desafios significativos em alcançar a flexibilidade em seus processos. Nesse contexto, os operadores tendem a se tornar especialistas em suas atividades específicas, o que dificulta a implementação de melhorias nos processos, uma vez que os paradigmas de produção se tornam profundamente enraizados. A resistência à mudança é refletida pelo uso frequente do argumento "sempre foi assim", que se torna uma crença compartilhada por todos os envolvidos nos processos. Essa rigidez pode comprometer a capacidade da empresa em adaptar-se a novas demandas do mercado e limitar sua capacidade de inovar e aprimorar seus processos produtivos.

A necessidade de operadores polivalentes é exemplificada de forma clara durante o processo de maquinização (Ohno, 1997). Suponha que existam cinco tornos mecânicos, cinco máquinas de usinagem e cinco perfuradeiras alinhadas em duas filas paralelas. Se um único operador manuseia somente um dos tipos de máquinas (por exemplo, os cinco tornos mecânicos), este sistema de operação pode ser classificado como multi-unidades. O mesmo se aplica se o operador trabalha apenas com um dos outros tipos de máquinas (cinco máquinas de usinagem ou cinco perfuradeiras). Esse sistema é frequentemente adotado por empresas que operam de acordo com práticas tradicionais. Por outro lado, se um operador é capaz de manusear diferentes tipos de máquinas, como um torno mecânico, uma máquina de usinagem e uma perfuradeira (ou seja, vários processos), esse arranjo é conhecido como sistema de operação de multiprocessos. Nesse caso, o número de operadores é reduzido, e eles se tornam multifuncionais ou polivalentes, pois podem executar diversas tarefas em

diferentes etapas do processo produtivo. Essa abordagem permite maior flexibilidade na alocação de mão de obra e maior capacidade de adaptação às demandas e variações no processo de produção (Ohno, 1997). Portanto, a polivalência em engenharia de produção representa a capacidade de um profissional desempenhar múltiplas funções de forma competente, contribuindo para a eficiência, flexibilidade e produtividade do sistema produtivo como um todo.

2.3.3 Sistema de Triage Manchester

O Protocolo de Triage de Manchester é um sistema de classificação de risco utilizado em serviços de urgência e emergência, como hospitais e unidades de pronto atendimento, para priorizar o atendimento aos pacientes de acordo com a gravidade de sua condição clínica. O protocolo foi desenvolvido pelo Manchester Triage Group em 1994, com o objetivo de estabelecer um consenso sobre a triagem de pacientes em situações de superlotação e alta demanda (Manchester Triage Group, 2010).

O sistema é composto por cinco níveis de classificação de risco, representados por cores, números e denominações, que indicam a prioridade de atendimento de cada paciente. Cada nível tem um tempo máximo aceitável para o primeiro atendimento médico, o que auxilia na agilidade do atendimento e na identificação de casos que requerem atenção imediata (Coutinho; Cecílio; Mota, 2012).

A classificação dos pacientes é realizada por enfermeiros treinados, que avaliam os sinais e sintomas apresentados pelo paciente e utilizam o protocolo para determinar a gravidade de sua condição. Dessa forma, o Protocolo de Manchester ajuda a otimizar o fluxo de atendimento, garantindo que os pacientes mais graves sejam atendidos prontamente, enquanto os casos menos urgentes aguardam de forma segura e organizada. O protocolo é amplamente utilizado em diversos países e tem se mostrado eficaz na melhoria da qualidade e segurança do atendimento em serviços de saúde de urgência e emergência (Shiroma; Pires, 2011).

2.3.4 Gemba Walk

O *Gemba Walk* é uma metodologia que tem origem na palavra japonesa "*gemba*", que significa "lugar real ou atual" (Kerem et al., 2013). Essa técnica consiste em observar e compreender como o processo produtivo é efetivamente realizado (Dalton, 2019).

Conforme Shook (2010) o *Gemba Walk* é fundamentado na teoria de que é possível identificar todas as ineficiências produtivas e aspectos essenciais da transformação de produtos por meio da presença direta no local de trabalho. Dalton (2019) identifica três elementos fundamentais na metodologia:

- I. Observação: Observar os colaboradores a trabalharem na primeira pessoa;
- II. Localização: Observar o local e como os colaboradores se movimentam;
- III. Colaboração: Observar como os trabalhadores interagem entre si.

Tais elementos fornecem uma visão detalhada e próxima dos comportamentos em ação e são uma ferramenta poderosa para identificar oportunidades de melhoria de processos e novas formas de apoiar a equipe. Eles também são métodos úteis para os líderes verem como as equipes estão demonstrando valores ágeis (Dalton, 2019).

Conforme Womack e Jones (1996), o *Gemba Walk* atua como uma técnica para identificar de forma precisa os problemas antes de tomar medidas relativas a eles. Ele descreve que essa metodologia é uma ferramenta essencial, considerando que, atualmente, a maioria das organizações apresenta uma estrutura vertical, mas o valor agregado flui horizontalmente, percorrendo os diversos departamentos até alcançar o cliente. Segundo Dalton (2019), para garantir o sucesso de um *gemba walk*, são requeridos os seguintes comportamentos:

- Realizar o *gemba walk* no local onde as atividades são executadas;
- Observar os procedimentos da equipe de trabalho e fazer perguntas, quando necessário;
- Compreender a perspectiva do trabalhador em relação à tarefa que desempenha, ouvindo suas opiniões sobre problemas existentes e ideias para melhorias;

- O *gemba walk* não deve ser utilizado para resolver problemas diretamente;
- Registrar as observações e as oportunidades de melhoria identificadas;
- Fornecer feedback à equipe de trabalho de forma oportuna.

Esse método serve como base para uma identificação precisa das ineficiências presentes na célula, abrangendo tanto aspectos materiais quanto a forma como os processos são conduzidos.

2.3.5 Síntese dos conceitos

Os conceitos e métodos apresentados podem ser aliados aos métodos apresentados na seção 2.2 deste estudo, bem como, ao método que será proposto nesta pesquisa. Visto que a integração desses conceitos aos métodos de programação pode resultar em uma abordagem holística e eficaz. Visto que os KPIs fornecem uma base sólida para o monitoramento do progresso e a identificação de áreas que necessitam de atenção. A polivalência dos funcionários cria uma força de trabalho adaptável e resiliente. A Triagem Manchester garante que os problemas mais urgentes sejam priorizados, enquanto o *Gemba Walk* proporciona uma compreensão profunda das operações diárias e promove uma cultura de melhoria contínua. Juntos, esses elementos formam a base para um método de programação robusto e adaptável, capaz de responder de maneira eficaz aos desafios e oportunidades que surgem no ambiente empresarial e acadêmico.

3 MÉTODO

Neste capítulo, é apresentado o método científico para coleta, análise e interpretação dos dados, bem como as estratégias adotadas para garantir a validade, confiabilidade e o rigor do estudo. A escolha criteriosa das ferramentas e técnicas de pesquisa reflete a busca por uma abordagem que possibilita uma compreensão aprofundada e abrangente do problema em foco (Escudero-Mancebo et al., 2023). A clareza e a transparência na descrição dos procedimentos metodológicos garantem a replicabilidade do estudo, permitindo que outros pesquisadores possam verificar, ampliar ou refinar as análises realizadas (Dresch; Lacerda; Cauchick-Miguel, 2019). Este capítulo apresenta, portanto, o método científico adotado, a *Design Research*, e o método de trabalho, ou seja, os passos lógicos utilizados para a elaboração desta dissertação.

3.1 MÉTODO CIENTÍFICO – ASPECTOS GERAIS

Segundo Gil (2002), o objetivo da pesquisa científica é encontrar a veracidade das observações e fatos de pesquisa, sendo uma das principais características a verificabilidade e rigor da pesquisa. Para que o conhecimento seja considerado uma ciência, é necessário identificar as técnicas e métodos que permitem chegar ao resultado esperado. Os métodos podem ser divididos em duas categorias: (i) determinar a lógica; e (ii) definir os processos usados. O plano de pesquisa inclui formular perguntas, estabelecer objetivos dos dados coletados, previsões analíticas e as conclusões (Van Aken; Chandrasekaran; Halman, 2016).. A abordagem para caracterizar a pesquisa realizada neste trabalho foi a *Design Research*. Esta escolha foi feita na medida em que a questão de pesquisa utilizada, bem como os objetivos geral e específicos daí derivados, apontam para a necessidade de busca de uma prescrição da solução a ser buscada. Na sequência é descrito os principais pontos associados com a *Design Research*.

3.2 DESIGN RESEARCH

Entende-se como *Design Research* um aglomerado de soluções a fim de realizar uma pesquisa seguindo um método lógico previamente estabelecido visando a geração de um determinado artefato: conceito, método, modelo, *framework*, instanciação, visando solucionar/equacionar um problema previamente definido (Dresch; Lacerda; Antunes, 2015). O método considera a necessidade de analisar os diferentes aspectos do desenvolvimento proposto, de tal forma que seja possível compreender e verificar as diferentes alternativas disponíveis para equacioná-lo da melhor forma possível (You; Hands, 2019). Em outras palavras o DR tem como proposta buscar solucionar problemas reais de pesquisa, por meio de um método que permita tratar adequadamente o tema, onde se vislumbra obter propostas de solução de problemas que possibilitem a implantação do artefato projetado/proposto. Ressalta-se que os artefatos propostos devem estar aptos a equacionar/contribuir em achar uma solução razoável para uma determinada classe de problemas previamente explicitados, neste caso ligado a temas do Planejamento, Programação e Controle da Produção na indústria calçadista. Na sequência apresenta-se uma síntese dos tipos de resultados/ artefatos genéricos passíveis de serem obtidos com a aplicação da DR - Quadro 2.

Quadro 2 - Tipos de Artefatos/Resultados Esperados da Design Research

Construtos e conceitos	Construtos ou conceitos formam o vocabulário de um domínio e constituem uma conceituação utilizada para descrever os problemas dentro do domínio e para especificar respectivas soluções. Definem os termos usados para descrever e pensar sobre as tarefas.
Modelos	Modelo é um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre os construtos. Em atividades de design, os modelos representam situações como problemas e afirmações de soluções. Um modelo pode ser visto simplesmente como uma descrição, isto é, como uma representação de como as coisas são.
Método	Um método é um conjunto de passos (um algoritmo ou orientação) usado para executar uma tarefa. Métodos baseiam-se em um conjunto de constructos subjacentes (linguagem) e uma representação (modelo) em um espaço de solução. Os métodos podem ser ligados aos modelos, onde as etapas do método podem utilizar partes do modelo como uma entrada que o compõe. Os métodos são muitas vezes utilizados para traduzir de um modelo ou representação em um curso para resolução de um problema.
Instanciação	A instanciação é a realização de um artefato em seu ambiente. A instanciação operacionaliza construtos, modelos e métodos. Porém,

	uma instanciação pode, na prática, preceder a articulação completa de seus constructos, modelos e métodos. Demonstram a viabilidade e a eficácia dos modelos e métodos que contemplam.
Melhorias nas teorias	A construção de um artefato de maneira análoga à ciência natural experimental.

Fonte: Adaptado de Piccoli (2017).

Conforme Dresch, Lacerda e Antunes (2015), um ponto relevante consiste em obter um entendimento das etapas genéricas de construção do DR. Elas estão explicitadas a seguir:

- Etapa 1 – Conscientização: trata da questão do autor buscar entender e compreender o problema. A partir da compreensão do problema é possível descrevê-lo formalmente. Esta etapa dá início ao trabalho de pesquisa. Várias são as formas que podem ser utilizadas para a conscientização do problema, a saber: informações de mercado, revistas, jornais acadêmicos – busca de lacunas conceituais existentes, academia – aulas/exposições, conversa com especialistas, verificação de questões relevantes a partir de abordagens empíricas etc. Ao final deste processo é relevante a formulação de uma questão precisa e simples de pesquisa
- Etapa 2 – Sugestão: Nesta etapa o autor da pesquisa se voltará na tentativa de buscar uma ou mais sugestões no intuito de equacionar o problema de pesquisa proposto. É fundamental buscar, inicialmente, várias possibilidades de artefatos para que seja possível abrir o leque de possibilidades de equacionamento do problema proposto. O pesquisador necessita identificar estas oportunidades, bem como analisá-las criticamente visando chegar a uma sugestão de artefato que possa ser avaliado na sequência.
- Etapa 3 – Avaliação: após a construção da proposta é necessário que ela seja testada ou aplicada em uma unidade experimental que deverá ser escolhida para que seja possível verificar sua aplicabilidade na resolução dos problemas. Este processo pode levar ao equacionamento do problema ou contribuir para a geração de melhorias no artefato proposto gerando outras opções mais eficazes. Mas, independentemente do que ocorrer o autor irá obter um maior conhecimento do assunto em tema, sendo possível, inclusive, que o

autor retornar a etapa 1 para que possa buscar mais conhecimento e compreensão do problema no intuito de buscar novas soluções. Neste caso, as etapas serão novamente conduzidas.

- Etapa 4 – Conclusão: nesta etapa é realizado o fechamento do projeto. Neste sentido será formalizada o máximo possível o artefato proposto buscando evidenciar os resultados obtidos. Alguns elementos podem ser considerados como os limites de aplicabilidade do artefato proposto, o conhecimento conceitual adquirido, problemas que não puderam ser solucionadas e que podem gerar mais pesquisas no assunto.

3.2.1 Método de Trabalho

Tendo como base a utilização da DR, ou seja, partindo da lógica proposta no método da DR, foi estabelecido o método de trabalho proposto, ou seja, os passos lógicos para a elaboração da presente pesquisa. Na Figura 3 está explicitado o método de trabalho utilizado para a construção do Artefato proposto.

Figura 3 - Método de Trabalho para a construção do Artefato



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 3 apresenta todas as etapas em uma ordem cronológica para a realização do trabalho. Essas etapas são detalhadas como:

- Etapa 1 – Conscientização do problema: Com o aumento do volume de produção na área calçadista, que por característica é associado com sistema de produção com processos altamente manufaturados e artesanais, ocorre um estímulo empírico a necessidade de mensurar a eficiência da mão de obra produtiva (profissionais) no intuito de reduzir o custo de produção global. Uma das consequências observadas como impacto do foco na obtenção da eficiência da utilização das pessoas é a redução da aderência produtiva nas empresas a programação da produção, altos níveis de estoque intermediários e de produtos acabados. Estes pontos estão associados, provavelmente, ao fato de que a deficiente sincronização do sistema da produção acarreta a falta de aderência e os aumentos do estoque em processo e dos produtos acabados. Decorrente da exposição acima o problema desta

dissertação está associado à questão da necessidade de identificação e construção de um método que atenda a necessidade desta classe de problemas. A ideia é que seja buscado um método de programação e priorização buscando alavancar os índices de aderência produtiva através da sincronização e, simultaneamente, preservar a busca da eficiência da mão de obra. E, como pano-de-fundo é necessário ter em mente assegurar que as dimensões competitivas que asseguram a competitividade na indústria de calçado.

- Etapa 2 – Construção do Referencial Teórico: uma vez estabelecida a definição do problema de pesquisa, foram analisados os principais livros e publicações a respeito dos distintos métodos de programação existentes visando aprofundar o conhecimento a respeito do tema. Esta etapa da pesquisa tornou possível adquirir um conhecimento aprofundado dos métodos de programação. Nesta etapa faz-se uma análise crítica e comparativa da utilização dos métodos existentes e é formatado a sugestão de encaminhamento preliminar para a buscar uma solução satisfatória para esta classe de problemas. Ainda, percebeu-se a necessidade de colocar no Referencial Teórico outros tópicos conceituais relevantes para o desenvolvimento do método, a saber: Os **Indicadores-chave de Desempenho (KPIs)** são parâmetros essenciais que possibilitam a avaliação e o monitoramento do desempenho dos processos dentro de uma empresa. A **polivalência**, por sua vez, refere-se à capacidade de um trabalhador ou operador desempenhar múltiplas tarefas ou funções dentro de um ambiente de produção ou manufatura. O Sistema de **Triagem Manchester** é uma metodologia de classificação de risco amplamente utilizada em serviços de urgência e emergência. Por fim, o **Gemba Walk** é uma técnica que envolve a observação e compreensão direta de como os processos produtivos são efetivamente realizados.
- Etapa 3 – Aplicação do Método Existente: visando dar partida ao trabalho foi feita uma análise crítica do método atualmente utilizado na empresa onde foi realizada a parte empírica da dissertação. As observações e análises críticas mostraram a dificuldade de atender os clientes dado que o índice de aderência foi baixa e os estoques altos.

Desta forma, evidenciou-se a necessidade da construção do método zero (M0);

- Etapa 4 – Proposição de um método zero (M0): a partir do referencial teórico consolidado foi proposto/criado um método (M0), levando em consideração as características da empresa atuante na indústria calçadista.
- Etapa 5 – Aplicação do método zero (M0) no objeto de pesquisa: o método foi testado no ambiente empresarial objeto da pesquisa com o propósito de avaliar o desempenho do mesmo em condições reais. Importante destacar que o método M0 foi aplicado em uma parte específica da empresa (espaço delimitado para a elaboração do teste) e um tipo de produto com um volume menor visando verificar a eficácia da aplicação e dos resultados obtidos sem impacto negativo no processo produtivo.
- Etapa 6 – Avaliação do método inicial (M0) a partir do teste: feita a aplicação foi feita uma análise do desempenho do teste realizado. Nesta etapa foram observados os diferentes elementos que necessitam ser ajustados.
- Etapa 7 – Ajuste do M0 com base na avaliação originando um método ajustado M1: A partir das oportunidades de melhoria observadas e evidenciadas a partir da aplicação empírica, foram feitas as modificações no método M0, gerando os elementos necessários para gerar a M1;
- Etapa 8 – Aplicação método um M1: Na etapa de aplicação do Método M1, este foi implementado na mesma área específica da empresa que foi selecionada para o M0, porém desta vez abrangendo todo o portfólio de produtos fabricados pela organização. Os resultados obtidos indicaram um aumento significativo na aderência à programação em todos os produtos, além de uma redução no volume de calçados atrasados. Esses resultados positivos tiveram um impacto favorável em toda a cadeia produtiva da empresa.

- Etapa 9 – Conclusão: nessa etapa são apresentados os principais resultados do trabalho, da ótica conceitual e prática. Ou seja, são apresentadas as principais contribuições acadêmicas e empresariais.

3.2.2 Objeto de estudo

O objeto de estudo selecionado foi uma empresa atuante na indústria calçadista fundada em meados do século XX, que está sediada no estado do Rio Grande do Sul, no Brasil. Essa empresa possui uma história consolidada no setor de calçados esportivos, especialmente a partir da década de 70, em que, além de vender seus produtos nacionalmente, passou a atuar no mercado internacional.

Por esse motivo, a empresa mantém um elevado número de SKUs caracterizando-se, ainda, pelo fato de ter uma coleção rotativa e uma contínua renovação de produtos. Possui uma capacidade produtiva, máquina e pessoas, considerável. A capacidade, em geral, está associada com postos de trabalho envolvendo máquina/pessoas ou pessoas, sendo que parte do processo é automatizada. Enquanto a outra parte envolve somente pessoas em uma produção que pode ser considerada artesanal.

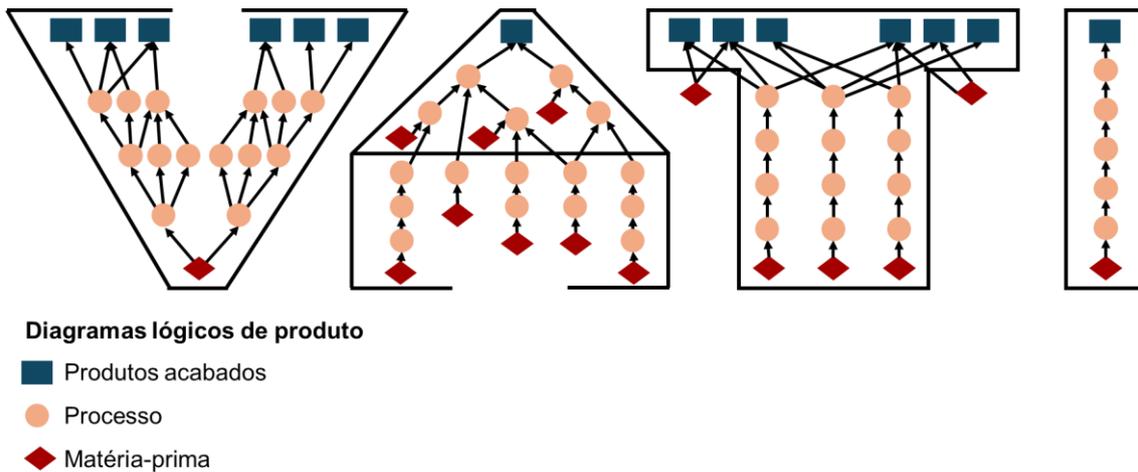
4 DESENVOLVIMENTO DO ARTEFATO PROPOSTO

Neste capítulo, é apresentado o desenvolvimento do artefato proposto neste estudo. Inicialmente, são apresentados detalhadamente os passos descritos conforme o método de trabalho adotado para desenvolvimento do artefato. Na sequência é exposta, a etapa 3 do método de trabalho, que se refere a aplicação do Método Existente e apresentação dos resultados obtidos a partir de sua aplicação. A seguir é descrita a etapa 4, proposição de um método zero (M0), no qual é apresentado o método projetado. Na etapa 5, aplicação do método zero (M0), é apresentada a aplicação do método proposto no objeto empírico da pesquisa. Na etapa 6, Avaliação do método inicial (M0), são apresentados os resultados obtidos na aplicação do Método M0 e são colocadas as oportunidades existentes e que não foram possíveis serem melhoradas com o Método M0. Na etapa 7, o MO ajustado conforme as avaliações, ou seja o M1, é apresentado, evidenciando quais foram as alterações necessárias. Finalmente na última etapa, Aplicação do método M1, o M1 foi aplicado na empresa descrita na seção 3.2.2 deste estudo.

4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EXISTENTE

O problema inicial identificado na empresa foi a sincronização deficiente dos fluxos nos sistemas produtivos. Adicionalmente, era possível observar uma baixa taxa de aderência produtiva em relação a programação na entrega final dos produtos. Logo, após a identificação do problema, foi analisado o fluxo de malha produtiva na instalação de produção da indústria, dentre os tipos existentes, conforme apresentado na Figura 4, foi possível identificar que se trata de um Modelo A.

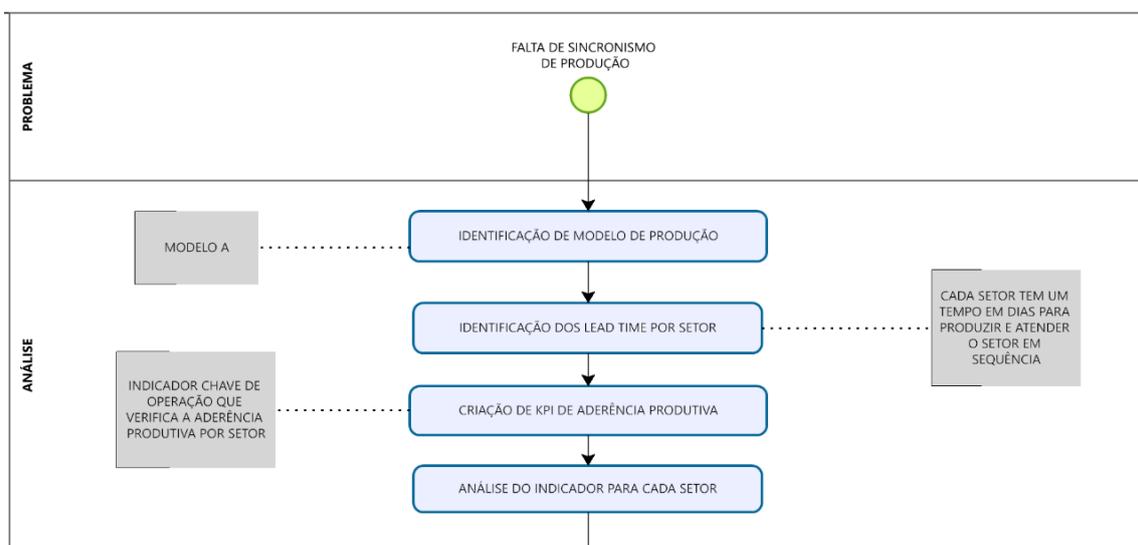
Figura 4 - Definição do Fluxo da Malha Produtiva - VATI



Fonte: Adaptado de Goldratt e Fox (1986).

Na sequência, foram identificados os tempos de atravessamento/*Lead Times* de cada dos setores da empresa. Isto porque cada setor possui um tempo em dias para produzir e, conseqüentemente, atender o setor subsequente. Após essa etapa, foi criado um KPI de aderência produtiva, visto que se trata do indicador chave para a análise do desempenho do sistema produtivo. Este KPI verifica a aderência produtiva por setor. Dessa forma, foi realizada a análise do indicador para cada setor, no intuito de medir a aderência atual conforme ilustra a Figura 5.

Figura 5 - Análise do Problema



Fonte: Elaborado pelo autor.

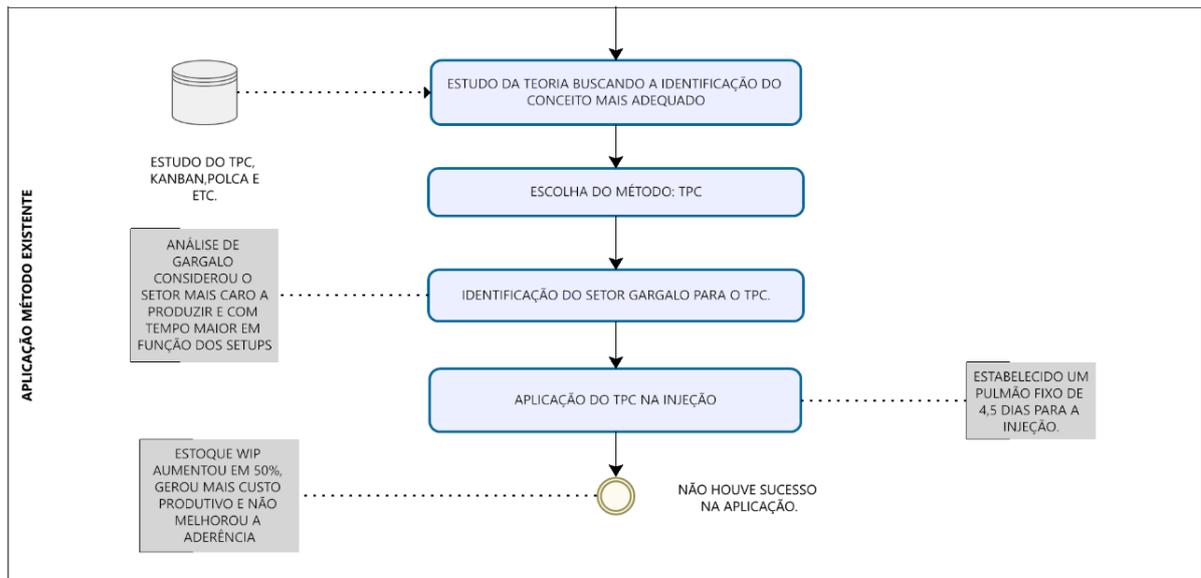
Para a aplicação de um método existente primeiramente foi realizado um estudo do objeto de pesquisa no intuito de identificar os fatores a serem considerados em função das características da empresa visando escolher o método de programação que melhor se adequa às suas necessidades. Dessa forma, apoiado ao quadro comparativo de métodos de programação (Quadro 1), foi possível escolher o método mais alinhado com os fatores críticos identificados.

As principais características da empresa são: (i) alto número de SKU's derivado do amplo portfólio de produtos; (ii) adoção de elevados estoques de segurança em virtude da empresa buscar obter uma alta eficiência produtiva; (iii) controle de nível de estoque para não ocorrer super produção e ter assertividade na aderência; e (iv) necessidade de análise da capacidade produtiva sendo este aspecto fundamental para a eficácia da programação de produção. A partir da análise realizado foi possível apontar o método TPC como a escolha que atende as características da empresa em cena.

Considerando a aplicação do método TPC, inicialmente, foi realizada a identificação do setor restritivo. A análise considerou como restrição o setor com um tempo maior em função dos *Setups* em que, simultaneamente é o setor com maiores investimentos envolvidos - setor de injeção. Ao aplicar-se o TPC na injeção, foi estabelecido um pulmão fixo de 4,5 dias para a injeção em função do *lead time* produtivo ser de 9 dias, esse número foi estabelecido com base nas especificações de tempo adotadas pela empresa em análise. Isto gerou um aumento de estoque *WIP* em 50% em relação a situação anterior. Isto ocasionou um maior custo produtivo em função do incremento dos custos financeiros envolvidos. Como a empresa aplica custos associados a área física com estoque a empresa considerou que estes custos aumentaram. Um ponto relevante é que a taxa de aderência não melhorou, como era esperado.

Diante do exposto, verificou-se que o método escolhido não apresentou os resultados desejados na sua aplicação. Em todo o estudo dos sistemas produtivos é possível notar que os métodos de programação existentes tem fatores similares. Porém, temas como a necessidade de ajustes dos pulmões e suas relações com a eficiência produtiva são difíceis de serem compreendidos pelos métodos utilizados. A Figura 6 apresenta a aplicação do Método Existente, sintetiza os elementos dessa aplicação.

Figura 6 - Aplicação do Método Existente



Fonte: Elaborado pelo autor.

As evidências oriundas dos KPIs utilizados implicaram na necessidade de criação de um novo método capaz de suprir estes fatores, que é chamado neste trabalho de Método Zero (M0). Na sequência apresenta-se a proposição do Método M0.

4.2 PROPOSIÇÃO DO MÉTODO ZERO - M0

Conforme apresentado no primeiro capítulo desta dissertação, o objetivo da proposição do Método M0 é melhorar a sincronização do sistema produtivo e, simultaneamente, manter estável ou melhorar a eficiência da mão-de-obra. A seguir é apresentado cada um dos passos lógicos do M0 método proposto, um método de planejamento de priorização de produção. O método de planejamento e priorização foi dividido em 5 macro etapas conforme Figura 7.

Figura 7 - Macro etapas do Método M0



Fonte: Elaborado pelo autor.

Os pontos considerados na Figura 7 são: (i) identificação de malha produtiva e desenvolvimento do KPI de aderência para a sincronização; (ii) definição da restrição no fluxo produtivo; (iii) definição de parâmetros de priorização; (iv) aplicação dos parâmetros para definição de produção; e (v) gestão da programação.

Na etapa 1 parte-se do sistema produtivo existente, identificando o desenho do fluxo produtivo. A ideia consiste em construir KPI de aderência mais coerente com o modelo proposto e executado. Em outras palavras, tendo em mente a necessidade de sincronizar o sistema produtivo é necessário desenvolver um adequado KPI de aderência a programação da produção. O desenvolvimento deste indicador chave utiliza os dados existentes nas ordens de fabricação de produção a empresa. Nelas é possível identificar as necessidades de produção para cada produto, contendo as informações de volume, características e prazo para produção para atendimento das necessidades do mercado. Com estas informações é possível criar o indicador no qual se compara a data programada para produzir a ordem de fabricação e a data em que ocorreu a fabricação do produto. Desta forma é possível determinar os parâmetros de ordem na data, ordem adiantada e ordem atrasada.

A etapa 2 está associada a determinação do setor restrição do sistema de produção. O procedimento pode ser auxiliado por características que são similares ao sistema de produção TPC. Enquanto definição de fábrica/sistema produtivo é possível propor que a restrição possa ser 'projetada' em função de

certos aspectos como, por exemplo, os recursos de maior investimento da empresa.

A etapa 3 constitui a definição dos parâmetros de produção no qual irão estabelecer a lógica de prioridade de produção dentro do fluxo produtivo. Isto irá balizar a classificação da ordem de fabricação em prioridade alta e baixa. Estes parâmetros irão se apoiar no setor/posto de trabalho escolhido como restrição do sistema produtivo. Assim, se a definição foi que o setor X, por exemplo, é escolhido como restrição por ele ser o recurso mais oneroso para levantar a capacidade da fábrica (por exemplo, via aquisição de equipamentos), o parâmetro de prioridade deverá considerar este projeto/definição do sistema produtivo.

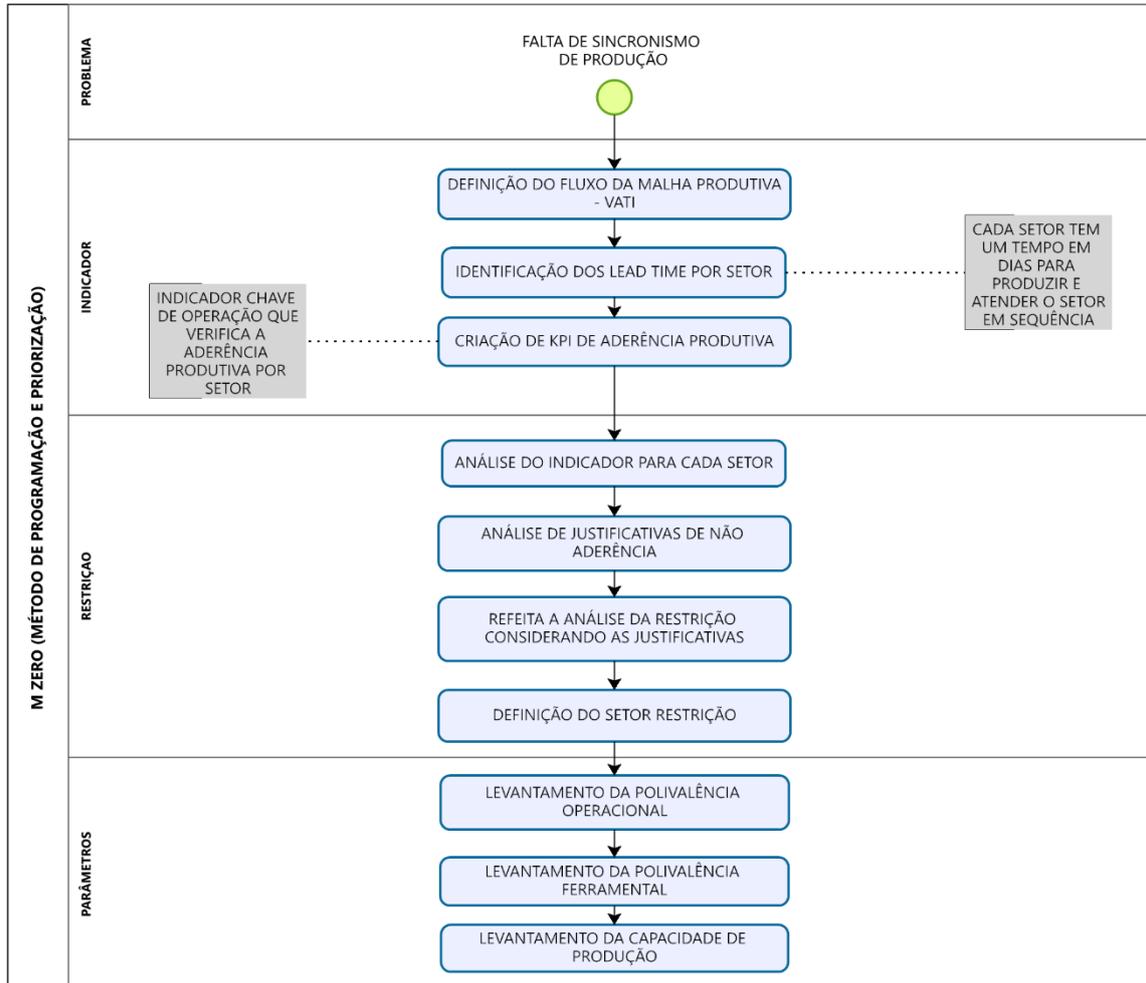
A etapa 4 compreende a aplicação dos parâmetros de priorização as ordens de fabricação estabelecendo a programação do sistema de produção. Nesta etapa será definido quais são as ordens de fabricação que primeiro devem ser fabricadas no setor restritivo, observando as prioridades e, também, a eficiência produtiva e a disponibilidade da matéria prima. A ideia aqui é informar qual será a prioridade sem considerar exclusivamente a data da ordem (na qual se busca produzir sempre a mais antiga) o que pode implicar em adiantamento da produção de alguns produtos seguindo estes parâmetros. Outros produtos poderão ser atrasados no setor anterior a restrição para obter uma melhor performance de eficiência. Porém, este atraso não irá impactar no sincronismo do setor restritivo em função da prioridade ser mais baixa. Ou seja, esta ação não irá interferir no fluxo produtivo. Nesta etapa a partir dos parâmetros que definem a prioridade, é associado peso nos artigos em forma de dias de pulmão, o que irá acarretar um impacto no *lead time* operacional, sendo que este cálculo será apresentado na sequência do trabalho.

A etapa 5 compõe a gestão da programação, ou seja, aplicação do método em toda a cadeia, desde suprimentos até o setor restritivo. É particularmente relevante acompanhar os KPIs de aderência quando forem introduzidos novos produtos dentro da cadeia produtiva. Em todos os casos é relevante fazer o acompanhamento dos KPI de aderência observando a evolução do sincronismo da produção, sem perder de vista os KPIs de eficiência da mão-de-obra.

Para elucidar todo o desenvolvimento do M0 seguindo as macros etapas, foi desenvolvido o fluxo de implementação, Figuras 8 e 9, é possível identificar

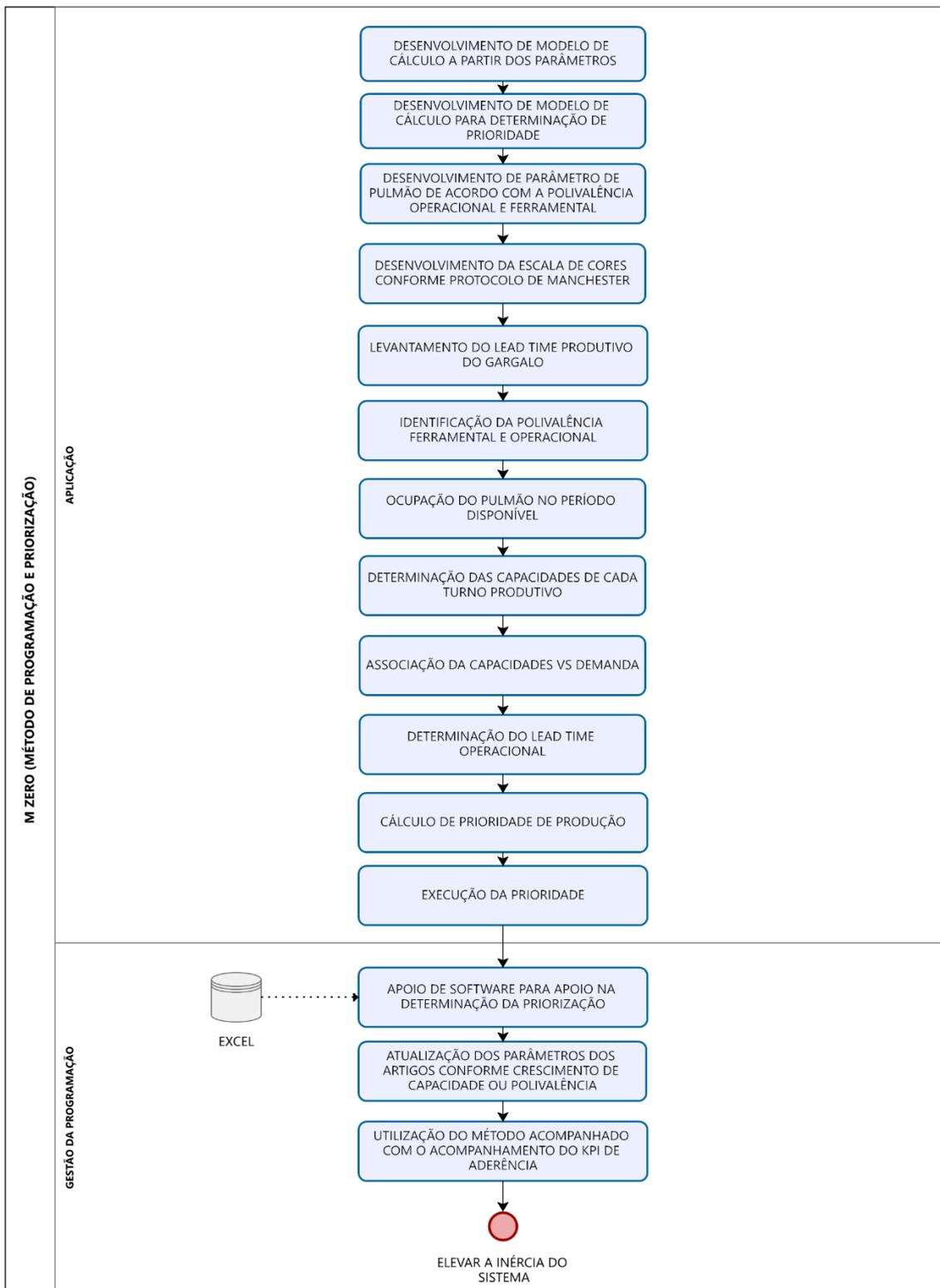
etapa por etapa no intuito de esclarecer os passos lógicos adotados no âmbito do método.

Figura 8 - Fluxo M0 detalhada parte 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 9 - Fluxo M0 detalhada parte 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

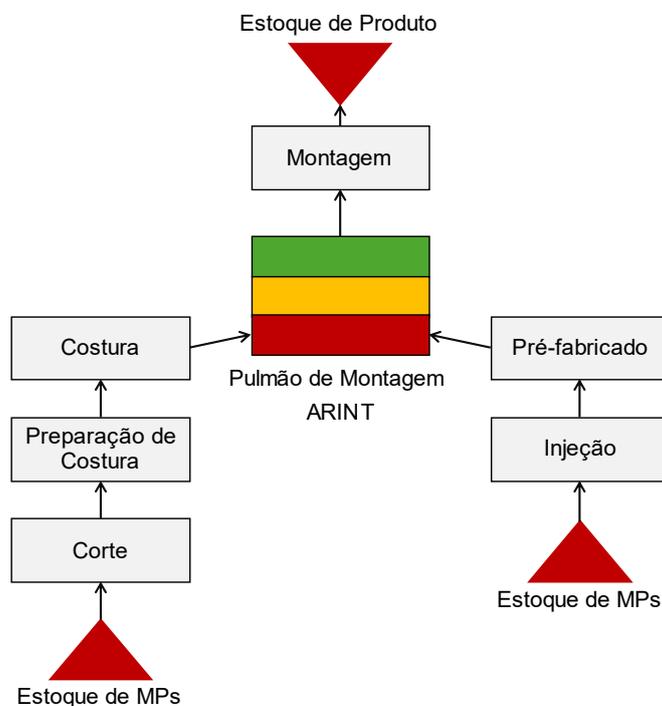
4.3 APLICAÇÃO DO MÉTODO ZERO (M0)

O método foi desenvolvido e aplicado em uma empresa do ramo calçadista. Desde o ano de 2021 a empresa vem buscando melhorar o processo de sincronização da produção adotando uma série de ações visando mitigar os distúrbios e variabilidades de seu sistema produtivo. A seguir estão apresentados os passos/etapas de implantação do M0.

4.3.1 Etapa 1 – Identificação da malha produtiva e desenvolvimento do KPI de aderência para a sincronização

O *kick off* do desenvolvimento e aplicação do método iniciou pelo mapeamento dos fluxos do sistema produtivo da empresa calçadista apoiado na definição da malha produtiva, apresentado na Figura 4. Ao ser realizado o mapeamento da malha produtiva na empresa, identificou-se que o modelo de processo de produção é do tipo “A”. Na Figura 10 é apresentado um esquema didático de representação da empresa em cena.

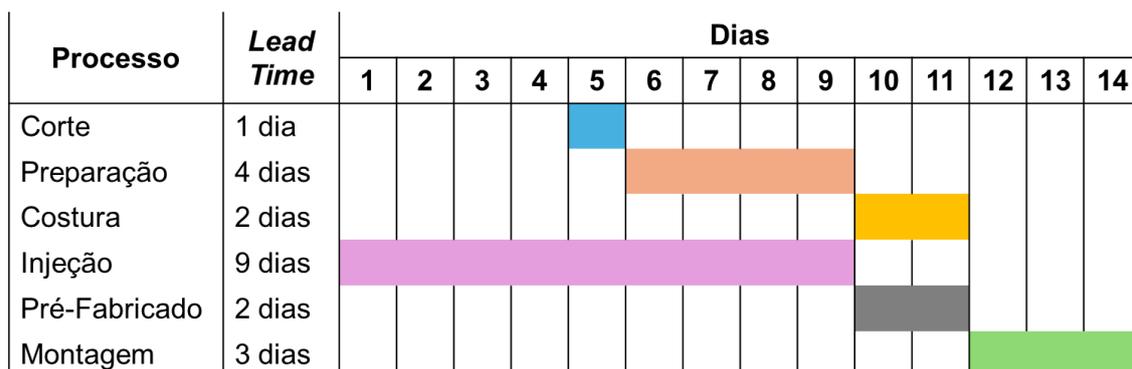
Figura 10 - Modelo tipo “A”



Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi identificado que uma linha está voltada para a produção da sola. Enquanto a outra linha está voltada a produção do cabedal (parte do tecido do calçado). No processo de montagem o cabedal e a sola são unidos. Após essa etapa de análise da malha produtiva foram identificados os *lead times* de cada etapa ao longo do fluxo produtivo, conforme estabelecido pela empresa (Figura 11).

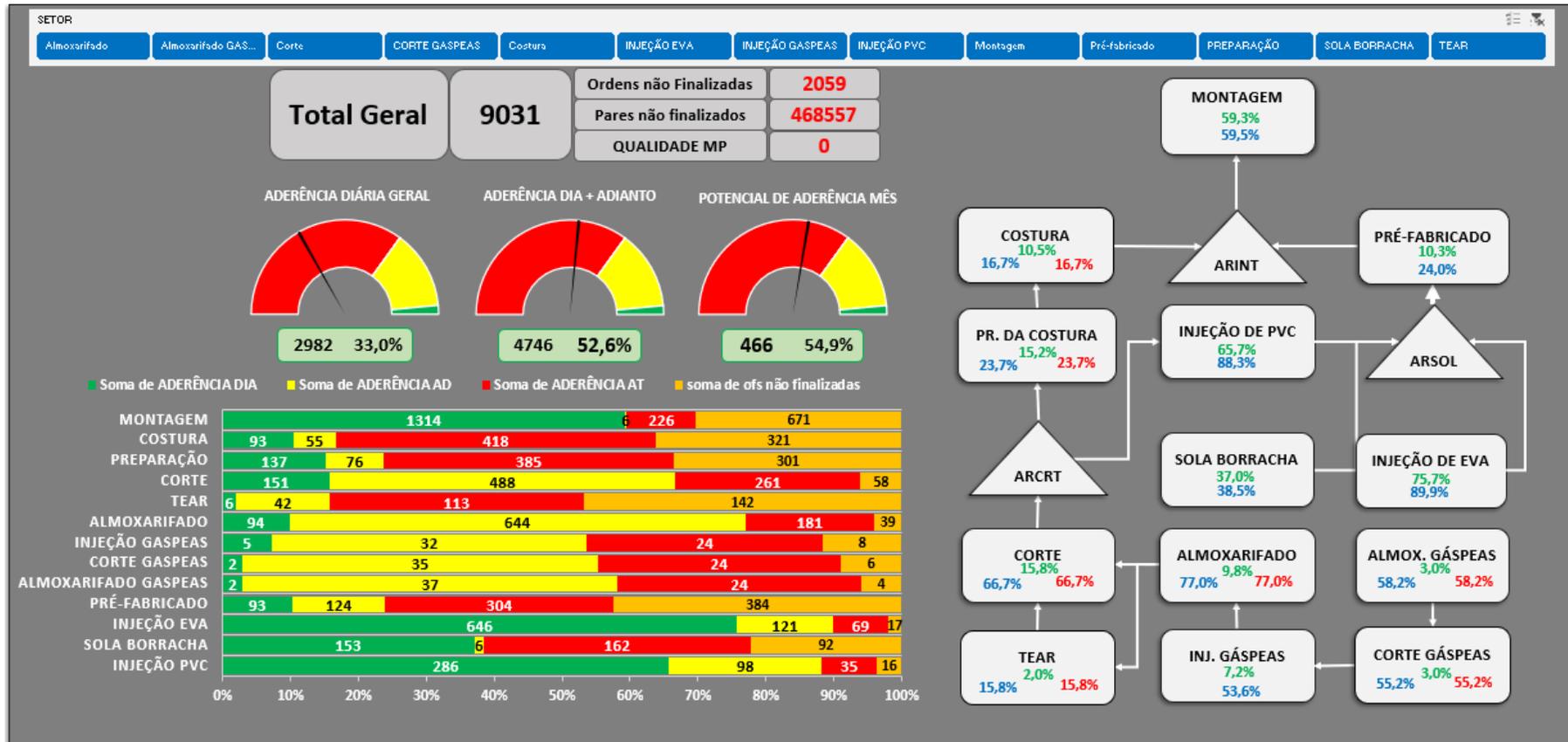
Figura 11 - *Lead times* dos diferentes processos de fabricação



Fonte: Elaborado pelo autor.

Uma vez estabelecido, por meio da análise e da coleta de dados, os *lead times* existentes foi desenvolvido o indicador de aderência. Este indicador utiliza as ordens de fabricação como balizados do indicador. É estabelecido uma referência pela data de entrega *versus* a data de realização para determinar se a ordem foi produzida em dia, adiantada ou atrasada conforme. Este procedimento é ilustrado na Figura 12.

Figura 12 - Indicador de Aderência aplicado na empresa



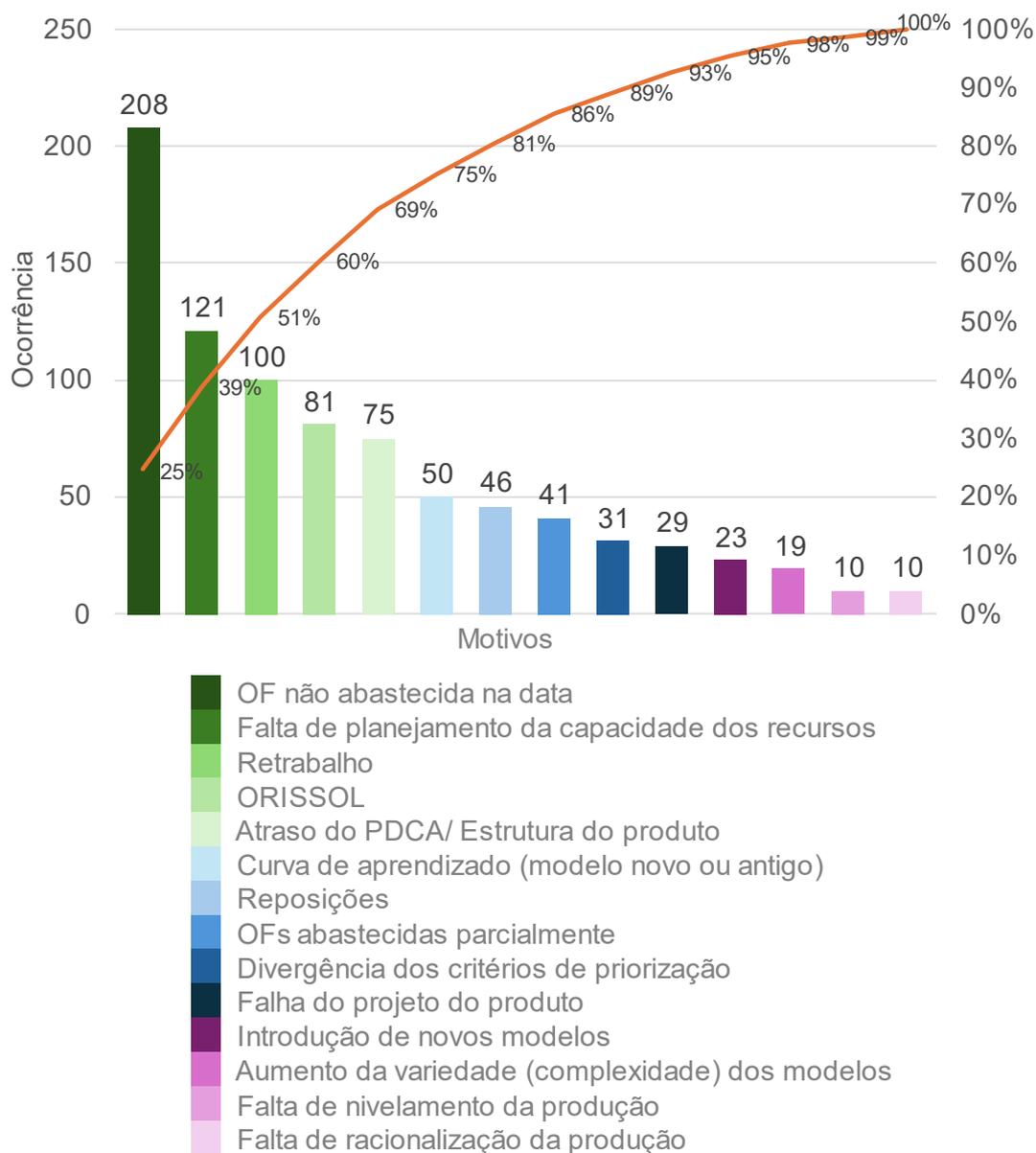
Fonte: Dados internos da empresa.

Por meio do indicador proposto e implantado é possível identificar a aderência produtiva para cada setor e etapa do processo. Além disso, é possível informar a quantidade de ordens ainda não finalizadas no período analisado e a quantidade de pares de calçados atrasados em virtude da não aderência a programação.

4.3.2 Etapa 2 – definição de restrição no fluxo produtivo

Após a implementação do indicador e identificando os lead times produtivos, foi solicitado aos gestores que justificassem as ordens de produção que estivessem atrasadas. Isto pode ser observado por meio do diagrama de Pareto da Figura 13..

Figura 13 - KPI Pareto de justificativa



Fonte: Elaborado a partir de dados da empresa.

A partir da análise obtida pelo gráfico de Pareto, Figura 13, é possível que os gestores façam a investigação dos potenciais motivos dos atrasos para cada setor. A partir da análise dos motivos da não aderência, os setores de montagem e costura sugeriram a importância de tratar a razão da ordem de fabricação completa. Porém, no setor de preparação de costura os motivos da não aderência eram mais distribuídos. Outro ponto importante foi a análise do indicador no qual foi possível notar que ao longo do fluxo produtivo, desde o setor de suprimentos até a montagem, o setor de preparação de costura tinha uma queda de mais de 50% de aderência em relação ao setor de corte. Através da

técnica do *Gemba Walk*, foi possível aprofundar a compreensão dos motivos pelos quais a aderência à programação não estava ocorrendo conforme o esperado. Destacaram-se várias questões, incluindo a falta de polivalência operacional, que resultava em restrições na capacidade produtiva devido à diversidade de produtos, bem como restrições relacionadas ao ferramental necessário para lidar com essa diversidade. Além disso, foi identificada uma curva de aprendizado decorrente da introdução de novos modelos de produtos, o que afetava diretamente a eficiência da mão de obra. Outras questões incluíam divergências nos critérios de priorização adotados pelos líderes do processo no chão de fábrica, entre outros. Com base nessas análises, foi possível determinar que o setor de preparação de costura a restrição produtiva na operação.

4.3.3 Etapa 3 – definição de parâmetros de priorização

A partir da definição da restrição foram considerados 3 bases para a priorização: (i) polivalência da mão de obra; (ii) polivalência ferramental; e (iii) capacidade produtiva. Uma vez que foi definido que a mão de obra é um recurso muito valioso na empresa e que, por conta deste quesito, quanto mais polivalentes forem as linhas na preparação de costura, menor será a prioridade do calçado específico, realizou-se o levantamento de polivalência operacional e ferramental conforme apresentado no Quadro 3. O levantamento realizado consiste em um mapa detalhado das linhas de produção do setor de preparação, identificando os turnos e os artigos para os quais cada linha é competente em termos operacionais. Além disso, foi elaborado um mapeamento semelhante, mas focado na capacidade ferramental de cada linha.

Quadro 3 - Levantamento da polivalência produtiva

GRUPOS	FÁBRICA	ARTIGO 1	NOME 1	ARTIGO 2	NOME 2
LINHA01 T1		43470145	Estilo / 145		
LINHA01 T2		43470145	Estilo / 145		
LINHA01 T3		43286101	Atmos/101	43421160	Urano/160
LINHA02 T1		43392128	Mega/128	43434168	Zex/168
LINHA02 T2		43449124	Alfa / 124		

GRUPOS	FÁBRICA	ARTIGO 1	NOME 1	ARTIGO 2	NOME 2
LINHA02 T3		-			
LINHA03 T1					
LINHA03 T2		43380133	Reverso/13 3	101046046	MIZUNO SPACE3
LINHA03 T3		41895559	G- EXACT/559		

Fonte: Elaborado com base nos dados da empresa.

A partir deste levantamento da polivalência, é possível evidenciar as restrições nas linhas produtivas. Posteriormente, é possível visualizar os artigos/produtos que estas linhas são capazes de produzir, tanto em relação as pessoas (considerando a eficiência produtiva usual da empresa), quanto e em relação aos equipamentos disponíveis.

A partir da análise da polivalência operacional e ferramental, foi estabelecido um pulmão de ocupação variável do lead time operacional. Este pulmão foi determinado com base nos resultados desse levantamento. Para ilustrar essa relação, a Tabela 1, foi apresentada, evidenciando que a maior polivalência produtiva está associada a um menor número de dias do pulmão, enquanto o oposto é verdadeiro. Por exemplo, se um artigo pode ser produzido em até 2 turnos produtivos, o pulmão será de 3 dias; por outro lado, se o artigo pode ser produzido em 5 ou mais turnos, o pulmão será de apenas 1 dia. Essa constatação terá um impacto significativo na determinação da prioridade de produção.

Tabela 1 - Lógica Polivalência vs Pulmão

Lógica Polivalência vs pulmão	Quantidade de turnos produtivos	Pulmão
Até:	2	3
De 3 até:	4	2
Igual ou maior:	5	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi conduzido o mapeamento da capacidade produtiva, o qual consistiu na determinação da quantidade de pares que podem ser produzidos em um único turno de uma linha, considerando a eficiência produtiva usual do objeto de pesquisa, conforme o Quadro 4. Em outras palavras, essa análise avaliou o volume de produção alcançado, independentemente do tempo operacional,

levando em conta o desempenho produtivo de cada artigo ao longo do processo de preparação da costura.

Quadro 4 - Capacidade de pares a serem produzidos em uma linha por turno

DESCRICAÇÃO	ARTIGO	PREPARAÇÃO	COSTURA	TSETUP (MIN)	CAPACIDADE PREPARAÇÃO
		TPROC (MIN)	TPROC (MIN)		
UA CHARGED PULSE SE	3025919	17,779	30,318	0	400
G-UA CHARGED PURSUIT 2	3124046	13,359	27,727	0	400
UA CHARGED IMPULSE	3023498	16,946	31,707	0	500
UA CHARGED EXTEND	3024045	12,025	24,69	0	500
UA CHARG.SPREAD KNIT	3024047	9,495	28,848	0	500
UA CHARGED BLAST	3024048	10,686	24,203	0	500
UA CHARGED BANDIT 6	3024670	12,881	25,058	0	500
UA CH.ENVOLVE 2	3024685	11,245	28,563	0	500
UA CH.PROSPECT SE	3024686	13,259	30,472	0	500
UA CHARGED RAZE SE	3024687	12,458	29,415	0	500
UA HOVR INFINITE 3	3025279	14,027	29,358	0	500
UA HOVR PHANTOM 2	3025280	5,79	30,033	0	500
UA CHARGED QUEST	3025916	15,34	36,64	0	500
UA HOVR PHANT2 INKNT	3025922	3,878	27,375	0	500
Ua Char Advance/555	3026555	12,569	23,353	0	500

Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Um parâmetro adotado que acabou não sendo utilizado foi o de *setup* de item. Isto ocorre devido aos valores envolvidos serem, para o caso do setor de preparação, próximos a zero. Em outras partes da fábrica, no entanto, é preciso considerar os tempos de preparação (*setup*), caso esses impactem significativamente nos tempos de produção.

4.3.4 Etapa 4 – aplicação dos parâmetros para definição de produção

Após a definição dos parâmetros de priorização torna-se possível sintetizar um modelo de cálculo que seja possível calcular o lead time operacional necessário para a execução do artigo no setor restritivo, conforme Figura 14.

Figura 14 - Modelo de cálculo Lead Time Operacional

$$\frac{QT \text{ de pares}}{\text{Capacidade de turno}} / 2 + \text{Setup} + \text{Pulmão} = \text{Lead Time Operacional}$$

Sendo:

- Quantidade de pares: Volume de pares a serem produzidos conforme determinado pelas ordens de produção;
- Capacidade de turno: Capacidade de produção (ferramental e pessoas para realização do artigo);
- Setup: Tempo necessário para troca de um artigo por outro (utilizado tempo padrão de 1 min);
- Pulmão: Tempo em dias necessários para proteger a restrição, (pulmão será dimensionado conforme a polivalência produtiva do setor conforme os grupos, linhas, esteiras, injetoras e etc.)

Fonte: Elaborado pelo autor.

Determinado os parâmetros de priorização, foi desenvolvido o cálculo (Figura 15) que determina a priorização em que se considera o saldo de tempo disponível (dias disponíveis para produzir no setor restritivo) *versus* o *Lead time* operacional (dias ocupados em função da priorização).

Figura 15 - Cálculo de prioridade

$\text{Saldo de tempo} / \text{Lead Time Operacional} = \text{Prioridade de produção}$
<p>Sendo:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Saldo de tempo: tempo disponível entre o dia atual até a data de finalização da ordem; • Prioridade de produção: quanto mais próximo de zero o resultado, maior a prioridade de execução.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para se estabelecer o padrão de dias ocupados pelo pulmão ajustável em função da polivalência se estruturou o Quadro 5.

Quadro 5: Parâmetro de pulmão ajustável em função da polivalência.

Artigo	Quantidade de turnos	Dias de pulmão	Nível
X	0 – 2	3	Difícil
Y	3 – 4	2	Médio
Z	=> 5	1	Fácil

Fonte: Elaborado pelo autor.

As datas foram sendo calibradas de modo que seja possível mostrar que o número de linhas polivalentes para cada produto/artigo é inversamente proporcional aos dias ocupados no *lead time* operacional, ou seja, quanto mais polivalente menor o número de dias. Somado a polivalência utiliza-se o volume necessário da OF a produzir dividido pela capacidade produtiva e o resultado é multiplicado por 1 dia de trabalho. Desta forma ter-se-á o *Lead Time* operacional.

A prioridade de produção usa como base uma escala de cores associado ao protocolo de Manchester sendo que o resultado obtido no cálculo de prioridade irá corresponder a um percentual que associado a escala pré-determinada, corresponderá ao índice de prioridade, conforme Quadro 6.

Quadro 6 - Escala de Cores

Resultado	Cor
< 0%	Preto
> 0% e <= 100%	Vermelho
> 100% e <= 150%	Amarelo
> 150% e <= 200%	Verde

Resultado	Cor
> 200%	Branco

Fonte: Elaborado pelo autor.

Conforme o valor da prioridade de produção se aproximar de zero por cento maior será a prioridade de produção. Ao ser determinada a prioridade no início do dia, foi utilizado esta informação para estabelecer o que se deveria produzir no dia considerando a eficiência. Por exemplo, se a prioridade de um artigo for de 50%, porém se opta por não realizar em função de não atingir a eficiência do dia necessário, se identifica qual é a próxima OF com valor menor que atinja a eficiência seguindo a escala de prioridade.

Para uma melhor compreensão do método desenvolvido/proposto tem-se o detalhamento das etapas a serem seguidas:

1. Levantamento do *lead time* produtivo da restrição: este corresponde aos dias produtivos do setor restritivo (pré-costura correspondendo a 4 dias) e aos dias dos setores anteriores ao mesmo (corte 1 dia e almoxarifado 1 dia) – Quadro 7.

Quadro 7 - Lead time produtivo da restrição

	AX	CO	PRÉ-COSTURA			
LOF	-1	0	+2	+1	0	-1
LT	6	5	4	3	2	1

Fonte: Elaborado pelo autor.

2. Identificação da polivalência ferramental e operacional: Conforme explicitado no Quadro 3, se faz necessário o levantamento de linhas capazes de produzirem cada artigo no setor de preparação da costura (pré-costura).
3. Ocupação do pulmão no período disponível: O resultado de turnos correspondentes a polivalência irá ocupar o espaço disponível de *lead time* produtivo da preparação de costura conforme exemplo do Quadro 8, ou seja, quanto maior a polivalência menor o pulmão. No Quadro 8, tem-se a representação do artigo "X" no qual apresenta uma quantidade de turnos igual ou inferior a 2, correspondendo a 3 dias de pulmão, o artigo "Y" no qual apresenta uma quantidade de turnos igual a 3 ou a 4 irá corresponder a 2 dias de pulmão e o artigo "Z" no qual

apresenta uma quantidade de turnos igual ou superior a 5 de capacidade operacional irá corresponder a 1 dia de pulmão.

Quadro 8 - Ocupação do pulmão

	AX	CO	PRÉ-COSTURA			
LOF	-1	0	+2	+1	0	-1
LT	6	5	4	3	2	1
OF	PREENCHIMENTO PULMÃO					
X				PULMÃO		
Y				PULMÃO		
Z					PULMÃO	

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Determinação das capacidades de cada turno produtivo: Conforme mostra o Quadro 4, se faz necessário o levantamento da capacidade produtiva para cada turno produtivo, ou seja, o volume de pares que um turno de uma linha é capaz de realizar com o nível de eficiência planejado/esperado pela empresa.
- Associação da Capacidade versus Demanda: conforme exemplo da Figura 19, é realizado a associação da demanda de pares da ordem de produção pela capacidade produtiva. O processo consiste em dividir a quantidade de pares demandados pelo número de pares correspondentes à capacidade produtiva do turno, conforme ilustrado no Quadro 4. Em seguida, o resultado dessa divisão é novamente dividido pelo número de linhas capazes de produzir o artigo, conforme determinado pelo levantamento da polivalência produtiva. O resultado desse cálculo corresponderá ao tempo necessário para a produção do item, expresso em dias.

Figura 16 - Exemplo ilustrativo de capacidade versus demanda

$$\frac{(Quantidade\ de\ pares / Capacidade\ de\ Turno)}{2}$$

$$\frac{(1000 / 500)}{2} = 1\ Dia$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

- Determinação do *Lead Time* Operacional: conforme explicitado no Quadro 9, tem-se, a título de exemplo ilustrativo, três ordens de

produção de 1000 pares de demanda, e este artigos tem a capacidade de 500 pares por turno, assim, o resultado de ocupação é igual a um dia de produção.

Quadro 9 - Ocupação de dias da capacidade versus demanda

			AX	CO	PRÉ-COSTURA				
			LOF	-1	0	+2	+1	0	-1
			LT	6	5	4	3	2	1
VOL	CAP	OF	PREENCHIMENTO PULMÃO						
1000	500	X			1	PULMÃO			
1000	500	Y				1	PULMÃO		
1000	500	Z					1	PULMÃO	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com os valores identificados de pulmão e o tempo correspondente de produção da capacidade versus demanda é possível identificar o *lead time* total operacional para a execução de cada artigo, conforme Quadro 10.

Quadro 10 - Lead Time Operacional Total

			AX	CO	PRÉ-COSTURA				
			LOF	-1	0	+2	+1	0	-1
			LT	6	5	4	3	2	1
VOL	CAP	OF	PREENCHIMENTO PULMÃO						
1000	500	X			LEAD TIME OPERACIONAL (LTO)				
1000	500	Y			LTO				
1000	500	Z			LTO				

Fonte: Elaborado pelo autor.

7. Cálculo de prioridade de produção: Conforme apresentado na Figura 15, se faz necessário o cálculo da prioridade produção utilizando o saldo de tempo disponível, ou seja, a quantidade de tempo/dias disponíveis para a execução da ordem pelo *Lead time* operacional calculado. Para auxiliar o cálculo como exemplo será considerado que o dia atual é dia 3 de dezembro e que todas as ordens no processo de preparação de costura deverão ser encerradas no dia 6 de dezembro, ou seja, o saldo de tempo disponível é de no total 4 dias, conforme Quadro 11.

Quadro 11 - Alocação de dias disponíveis

			AX	CO	PRÉ-COSTURA				
			LOF	-1	0	+2	+1	0	-1

			AX	CO	PRÉ-COSTURA			
			LT		4	3	2	1
VOL	CAP	OF	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12
1000	500	X			LEAD TIME OPERACIONAL (LTO)			
1000	500	Y			LTO			
1000	500	Z			LTO			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Com o saldo de dias identificado, deverá ser realizado o cálculo conforme apresenta o Quadro 12.

Quadro 12 - Resultado do índice de priorização

OF	ST	LTO	RESULTADO
X	4	4	100%
Y	4	3	133%
Z	4	2	200%

Fonte: Elaborado pelo autor.

No Quadro 12 é possível observar-se o cálculo do resultado do índice de prioridade e a cor que a ordem irá apresentar conforme a escala de cores sugerida na (Quadro 6).

- Execução da prioridade: Conforme observado no Quadro 13, por meio do resultado alcançado no cálculo de prioridade realizado anteriormente, é possível identificar qual ordem a prioridade de produção para o dia 3 de dezembro e, assim, executá-la.

Quadro 13 - Identificação de prioridade

			AX	CO	PRÉ-COSTURA			
			LOF		+2	+1	0	-1
			LT		4	3	2	1
RESULTADO		OF	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12
100%		X						
133%		Y						
200%		Z						

Fonte: Elaborado pelo autor.

Caso não seja possível realizar a produção da ordem "X", é possível identificar qual a ordem subsequente a ser realizada seguindo o método de programação e priorização. O resultado do índice de prioridade deverá ser utilizado pelos setores anteriores conforme o Quadro 14, visto que o objetivo do método além de identificar a prioridade de produção para o setor restritivo, é também identificar a prioridade de entrega dos produtos neste setor.

Considerando que o dia atual fosse o dia 2 de dezembro, o setor de corte irá identificar a priorização de produção conforme pode ser visualizado no Quadro 14.

Quadro 14 - Prioridade de produção setor corte

		AX	CO	PRÉ-COSTURA			
	LOF	-1	0	+2	+1	0	-1
	LT	6	5	4	3	2	1
RESULTADO	OF	1/12	2/12	3/12	4/12	5/12	6/12
125%	X						
166%	Y						
250%	Z		B				

Fonte: Elaborado pelo autor.

A relação de disponibilidade de ordem também segue o mesmo princípio do setor restritivo, ou seja, quando o almoxarifado não conseguir entregar todo o material do dia, para que se possa ocupar o ferramental e atingir a eficiência e o volume de produção, se faz necessário realizar adiantamentos. Neste sentido, deve-se utilizar a orientação de prioridade da ferramenta para adiantar justamente o que é restritivo para a pré costura.

Da mesma forma que quando o almoxarifado 'pagar' os ordens atrasadas e se não for possível aumentar a capacidade produtiva (tanto em ferramental quanto em pessoas), se faz necessário estabelecer quais não serão produzidas para o pagamento deste atraso. Considerando tal situação, a área deverá considerar as prioridades do setor restritivo, ou seja, se for para não produzir alguma ordem na data, que seja aquelas que não serão prioridade na restrição em um curto prazo de tempo.

4.3.5 Etapa 5 – gestão da programação

Toda a lógica de programação e priorização fez uso de tabelas em Excel. Isto exige da equipe envolvida a atualização das tabelas quando: (i) novos artigos são introduzidos na fábrica; (ii) ocorre alteração de capacidade de produtiva por artigo (por exemplo: aumentou uma pessoa na linha a capacidade aumenta); e (iii) maior polivalência do artigo no setor. O método foi expandido para o setor de corte e almoxarifado para que estes saibam quais são os artigos prioridade para a restrição e que, portanto, não podem atrasar. Ainda, saber

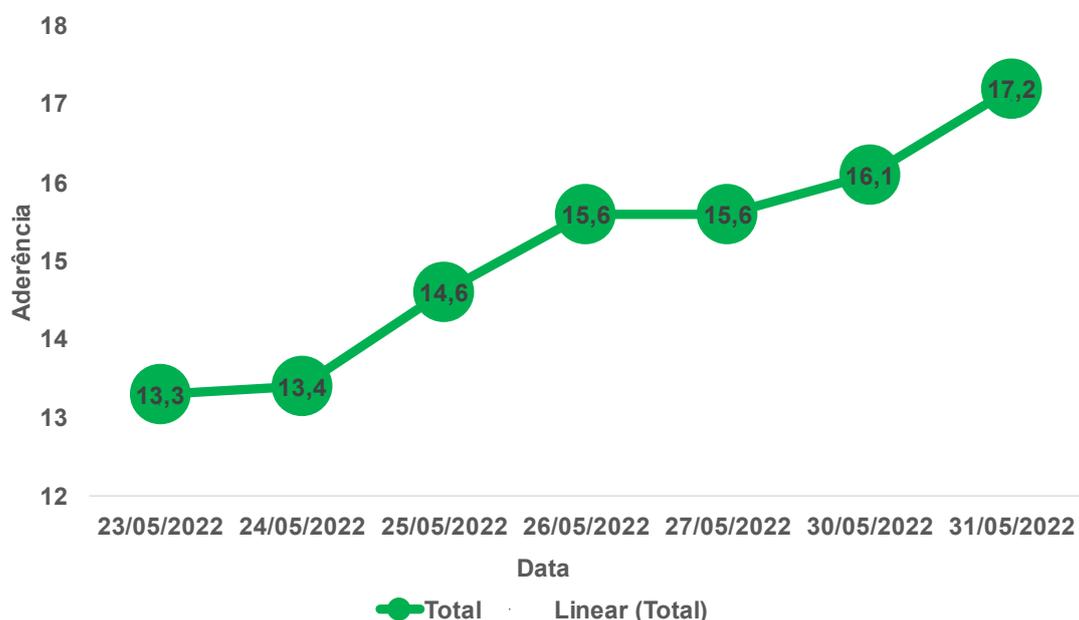
quais são os artigos que, caso ocorram atrasos ou de suprimentos ou no processo de corte, possam ser adiantados e que sejam coerentes com a necessidade do setor de preparação o que, por consequência, irá qualificar o WIP entre o corte e preparação da costura.

Quando a aderência necessária for atingida, se faz necessário assim como a Teoria das restrições, a revisão da restrição utilizando o passo 5, ou seja, não deixar que a inércia tome conta do sistema.

4.4 AVALIAÇÃO DO MÉTODO INICIAL (M0)

O método M0 foi aplicado em uma marca específica de produtos com volume menor na empresa. Para os produtos desta marca específica foi acompanhado a aderência por um período de 7 dias, conforme apresentado na Figura 17.

Figura 17 - Resultados de aderência na preparação da costura obtidos após a implementação do método 0



Fonte: a Empresa

Foi possível observar que a aderência subiu de 13,3% para 17,2% ao longo da implementação do método zero, sem que a eficiência da mão de obra regredisse ou oscila-se conforme a performance habitual conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo Valores de Eficiência Dia

	23/ maio Seg	24/ maio Ter	25/ maio Qua	26/ maio Qui	27/ maio Sex	28/ maio Sáb	29/ maio Seg	30/ maio Ter
Produção	31.352	30.336	30.804	31.192	33.816	31.748	36.600	32.628
Artigo	2.076	2.332	1.916	3.224	3.276	3.188	2.592	2.808
N° de Pessoas	585	584	588	619	623	615	614	620
Pares/pessoa/ hora	7,66	7,43	7,48	7,20	7,76	7,38	7,59	7,52
Tempo médio pond.	5,90	6,21	6,00	6,10	5,93	6,24	6,07	6,09
Eficiência dia	75,2%	76,8%	74,8%	73,2%	76,7%	76,8%	76,8%	76,2%

Fonte: Dados da empresa.

Ou seja, foi realizado um estudo inicial em um segmento específico da empresa, o qual gerencia uma das marcas. Durante essa etapa, identificou-se a flexibilidade de produção dos artigos/produtos, ou seja, a capacidade de produzir estes artigos/produtos diferentes ferramentas e turnos de trabalho. Quanto mais 'polivalente' um produto (ou seja, quando maior for a possibilidade de o produto ser fabricado em diferentes 'linhas', através da utilização de roteiros alternativos), menor é sua prioridade, uma analogia à vazão de uma mangueira que precisa escoar a água de acordo com sua capacidade. Produtos menos 'polivalentes' são iniciados antes na medida em que não pode ser produzido em 'roteiros alternativos'. Enquanto os produtos mais 'polivalentes' podem ser produzidos mais tarde.

Aplicando o M0 a esse segmento com menor volume de produção, foi possível estabelecer a prioridade de produção de cada produto através da utilização de cores para indicar essa prioridade. Produtos que podem utilizar uma maior capacidade da fábrica e 'polivalência' são marcados em verde. Enquanto os com menor possibilidade de utilização da capacidade e menor polivalência recebem vermelha. Conforme os dias passam, a cor dos produtos vai mudando de acordo com sua prioridade, permitindo uma produção mais eficiente e adequada à demanda. Dessa forma, estabeleceu-se um contexto para a produção em função da prioridade, complementando as análises anteriores.

Porém, ao aplicar o M0 em outros segmentos de produto não foi possível obter os mesmos resultados referente à eficácia de aderência, pois estava sendo utilizado a polivalência operacional e ferramental, sendo considerado o volume de produção e o quanto poderia ser produzido por linha. Assim, ao utilizar o método M0 para dois segmentos que possuem um volume de produção maior,

e um maior número de variedades de artigos de produtos, notou-se que nesses setores a aderência não apresentou evolução. Uma vez realizado um levantamento minucioso, verificou-se que a aderência não apresentava evolução pois a lógica de cálculo que determinava o resultado da prioridade de produção não estava alinhada com a realidade prática do sistema produtivo adotado pela fábrica.

4.5 AJUSTE DO M0 COM BASE NA AVALIAÇÃO ORIGINANDO UM MÉTODO AJUSTADO M1

Após a etapa inicial da construção do M0 foi identificado, especialmente, uma lacuna no método M0 no que tange a uma variável importante na análise: a complexibilidade tecnológica do produto. Esta variável pareceu relevante para melhorar significativamente a gestão da prioridade na empresa. No M0, apenas havia contemplado as questões associadas ao volume de produção, a 'polivalência' em termos de ferramental e de pessoas, além da data.

Por meio da ferramenta do *Gemba Walk*, feita com os profissionais da empresa que incluem gerente e líderes do setor de preparação da costura, engenharia e programadores de produção, que foi utilizada para buscar a causa raiz da razão pelo qual alguns artigos estavam tendo aderência e outros não. A partir deste trabalho foi evidenciado que havia uma diferença nos processos internos dentro do centro de trabalho escolhido, ou seja, fazendo com que alguns processos fossem mais fáceis de serem realizados e outros não.

Então, percebeu-se que dependendo do método e processo de produção adotados e, até mesmo, pela complexidade dentro do próprio posto operacional, mesmo tendo uma 'polivalência' alta e uma capacidade alta, esses fatores não eram suficientes para determinar a quantidade de dias disponíveis para a produção. O método M0 não se revelou adequado para tratar do tema em cena, porque embora o produto pudesse estar disponível para a produção e dada a devida prioridade, pois mesmo um produto com muitos caminhos possíveis para ser produzido no sistema produtivo (alta 'polivalência'), em função da sua complexidade em termos de tecnologia, não era entregue no prazo. Sendo assim, tornou-se necessário repensar elementos do método M0 proposto.

De maneira geral, é possível dizer que considerando a complexidade tecnológica (volume alto de operações distintas que dificultam a fluidez do processo produtivo), verifica-se que produtos mais complexos exigem que a produção da Ordem de Fabricação seja feita com certo tempo de antecedência. Enquanto os produtos menos complexos podem aguardar alguns dias, desde que a aderência seja alcançada. Além disso, a produção do setor anterior que no caso trata-se do setor de corte de tecido, também é afetada pelas prioridades estabelecidas dado que o setor em questão precisa disponibilizar rapidamente as ordens designadas com prioridade, a fim de garantir que o setor restritivo "preparação de costura" tenha o prazo necessário para executá-las no período determinado.

Além de revisão dos fatores a serem considerados fez-se necessário agregar uma nova macro etapa no método zero- MO. Tal etapa está associada com a análise de capacidade versus demanda versus prioridade. Propõe-se, portanto, a geração do Método M1 (Figura 18).

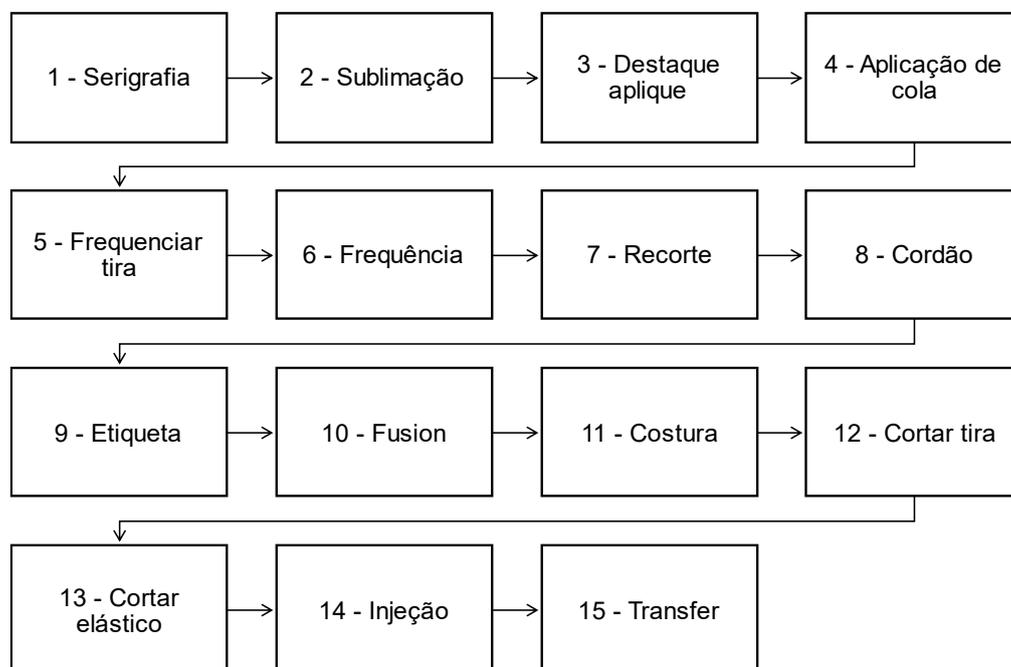


Fonte: Elaborado pelo autor.

No M1 propõe-se a inclusão da variável tecnológica. Esta variável tecnológica engloba a capacidade do produto de ser produzido com as ferramentas disponíveis, a capacidade de escoamento do processo, o volume de produção e a associação entre estes tópicos. Considera-se que um produto pode ser difícil de produzir não apenas por sua complexidade, mas também por fatores como o baixo volume de produção e a 'polivalência' atendida por ferramentas disponíveis.

Para entender melhor essa variável tecnológica propõe-se analisar como os produtos se comportam no processo de preparação, quebrando-o em quinze etapas distintas - Figura 19.

Figura 19 - Etapas do Processo de Preparação



Fonte: Elaborado pelo autor com base em informações da empresa.

Em cada etapa, é considerado o nível de dificuldade dos produtos. Por exemplo, produtos com degradê ou pintura de cor lisa foram classificados como mais fáceis, enquanto aqueles com duas ou três cores foram considerados mais difíceis. Embora o tempo operacional fosse um fator facilitador, percebeu-se que apenas considerar o tempo de roteiro não era suficiente. Portanto, optou-se por analisar a dificuldade real do produto em cada etapa do fluxo produtivo.

Ao avaliar todos os produtos em relação às etapas de produção, cada um deles foi classificado em relação a sua complexidade. Produtos que passavam por etapas com maior fluidez e sem contrafluxos eram classificados como fáceis. Enquanto aqueles produtos que exigiam retornos a etapas anteriores eram considerados como mais complexos.

Com essa análise detalhada, buscou-se uma abordagem mais abrangente e precisa para a identificação das restrições e a priorização da produção nos diferentes segmentos da empresa.

O método M1 proporcionou uma compreensão mais aprofundada dos desafios enfrentados, permitindo uma abordagem mais eficiente na gestão da produção. Em cada etapa, os produtos foram classificados como sendo de fácil, média ou difícil complexidade. Foram atribuídas pontuações de um a três para representar essa classificação (Quadro 15).

Quadro 15 - Nível de dificuldade de acordo com as características do processo

Legenda	Número	1	2
Dificuldade	Pontuação		
Fácil	1	Placa Pequena Placa com apenas uma cor Desenho simples Peças com um lado só	Somente com couraça Peças sem lado Poucas peças de aplicação Componentes grandes Material sem plástico
Médio	2	Duas placas no gabarito Apenas uma cor Slik sem amasso ou precisão no contorno	Material com lado (Número a Número) Gabarito grande com couraça e outros componentes
Difícil	3	Placas grandes Placas com friso Slik com amassos precisos na frequência Placas com lados	Muitas peças para separar lados Peças para retirar lados Passagem de cola antes do posicionamento Variação de cor na matéria-prima
Descrição	Artigo	Serigrafia	Sublimação
Cyan Juvenil/180	43692180	1	
Cyan/194	43624154	1	3
Dynamic/343	43298343	1	3
Atmos/101	43286101	2	

Fonte: Informações da Empresa.

Durante a análise considerou-se o fluxo produtivo de cada produto e verificou-se a presença de contrafluxos, ou seja, situações em que o produto precisava retornar a uma etapa anterior devido ao seu roteiro de fabricação impactando diretamente na sua complexidade. Ao realizar essa análise detalhada da complexidade tecnológica dos produtos e compreender como eles se comportavam em cada etapa do processo produtivo, tornou-se possível determinar o grau de dificuldade de cada produto através da pontuação que determinado artigo genérico atingiu.

Para determinar a complexidade tecnológica foi avaliado a dificuldade de cada produto ao longo do fluxo produtivo. Quanto mais complexo tecnologicamente fosse o produto, mais cedo ele deveria ser iniciado na

produção. Em contrapartida, os produtos menos complexos poderiam ser iniciados mais tarde, sem prejudicar o fluxo produtivo e a aderência a programação.

Para o peso do caminho do produto, foi calibrado o valor de 2 dias de ocupação do caminho para a determinação do *lead time* operacional, sendo que a pontuação mais alta necessitará de 1.920 minutos o que equivale a 2 dias de pulmão a mais. Enquanto a menor pontuação terá o equivalente de, no mínimo, meio-dia de pulmão. Na Tabela 3 é apresentado o resultado do caminho dos artigos.

Tabela 3 - Resultado do caminho dos artigos

Artigo	Resultado	Resultado em dias
43380133	25	1.920
43298343	20	1.835
43732981	20	1.835
43927547	19	1.751
30266556	19	1.751
43624154	18	1.666
43522987	18	1.666
43592180	16	1.581
43421160	15	1.496
43259650	15	1.496

Fonte: Dados da Empresa.

Quanto mais complexo tecnologicamente for um produto, mais cedo ele deveria ser iniciado na produção. Por outro lado, os produtos menos complexos poderiam ser iniciados mais tarde sem prejudicar o fluxo produtivo.

Essa nova variável tecnológica foi, então, incorporada ao método, acrescentando-a às variáveis de 'polivalência' ferramental e de mão de obra, bem como à capacidade de produção e o escoamento de produtos complexos. Com essa abordagem aprimorada desenvolveu-se o método M1 que passou a levar em consideração todos esses fatores para priorizar a produção de forma o mais eficiente possível.

Com a incorporação da variável de complexidade tecnológica do produto, a fórmula do cálculo do *Lead time* operacional necessitou ser alterado para compor tal variável, conforme Figura 20.

Figura 20 - Fórmula M1 para cálculo de *Lead time* Operacional

$$Qt \text{ de pares} / \text{Capacidade de turno} \times \text{Polivalência} + \text{Setup} + \text{Pulmão} = \text{Lead Time Operacional}$$

Sendo:

- Quantidade de pares: Volume de pares a serem produzidos conforme determinado pelas ordens de produção;
- Capacidade de turno: Capacidade de produção (ferramental e pessoas para realização do artigo);
- Setup: Tempo necessário para troca de um artigo por outro (utilizado tempo padrão de 1 min);
- Pulmão: Tempo em dias necessários para proteger a restrição, (pulmão será dimensionado conforme a polivalência produtiva do setor conforme os grupos, linhas, esteiras, injetoras e etc.)

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir desta alteração na fórmula de cálculo do Lead Time Operacional no qual abrangeu as variáveis identificadas, o processo de cálculo de Prioridade, conforme a Figura 15, não foi alterado.

Ao aplicar o Método M1 em outros setores da empresa, caracterizados pelo processamento de artigos ou produtos com maior volume de produção e uma gama mais ampla de variedades, conseguimos obter uma compreensão mais abrangente das restrições e das prioridades em cada etapa do fluxo produtivo do sistema de produção. Essa análise mais abrangente nos permitiu identificar de forma mais precisa as prioridades e, como resultado, melhorar a eficácia e eficiência global da produção, garantindo que os produtos mais complexos fossem fabricados no momento adequado para evitar atrasos e restrições no fluxo produtivo.

No Quadro 16, é possível visualizar, por meio de uma representação da situação real, a lista dos produtos que devem ser realizados de acordo com sua prioridade de produção, independentemente da data de vencimento, desde que essa data não esteja classificada como atrasada, pois os itens atrasados sempre terão prioridade para cumprir os prazos de entrega.

Quadro 16 - Lista de prioridades conforme método M1

Ordem	Qtd Prevista	Qtd Rea	Dt. Ult. Fase	QTD	ADERÊNCIA	QTD_P	QTD_R	SALDO	PRÉ-FABRICAÇÃO	TPROC (MIN)	TSETUP (MIN)	PULMÃO (DIAS)	LEAD TIME	TEMPO DISPONÍVEL	%	FAIXA
402002828	504	488	04/05/2022	16	ATRASADO	504	488	16	16	53,118	53	6	5822,6	-40320	-692%	PRETO
402003666	504	392	27/05/2022	112	ATRASADO	504	392	112	112	28,67	53	2	2008,84	-24000	-1195%	PRETO
402004629	504	328	30/06/2022	176	TPC	504	328	176	176	28,612	53	6	5889,8	960	16%	VERMELHO
402004630	1308	1072	30/06/2022	236	TPC	1308	1072	236	236	28,612	53	6	5915,98 1818	960	16%	VERMELHO
402004645	1764	728	30/06/2022	1036	TPC	1764	728	1036	1036	10,619	53	6	6039,03 6364	960	16%	VERMELHO
402004646	1188	480	30/06/2022	708	TPC	1188	480	708	708	10,619	53	6	5967,47 2727	960	16%	VERMELHO
402004651	1908	1856	04/07/2022	52	TPC	1908	1856	52	52	5,269	27	2	1955,32	2880	147%	AMARELO
402004653	1404	1372	30/06/2022	32	TPC	1404	1372	32	32	6,111	53	2	1978,12	960	49%	VERMELHO
402004815	1524	0	06/07/2022	1524	TPC	1524	0	1524	1524	19,19	53	2	2460,68	4800	195%	VERDE
402004816	1452	0	06/07/2022	1452	TPC	1452	0	1452	1452	7,275	53	2	2205,32	4800	218%	BRANCO
402004817	2952	0	06/07/2022	2952	TPC	2952	0	2952	2952	10,619	53	6	6457,07 2727	4800	74%	VERMELHO
402004818	936	0	06/07/2022	936	TPC	936	0	936	936	0	0	2	2069,76	4800	232%	BRANCO
402004819	1668	0	06/07/2022	1668	TPC	1668	0	1668	1668	9,979	53	6	6079,88	4800	79%	VERMELHO
402004821	2712	0	06/07/2022	2712	TPC	2712	0	2712	2712	0	0	2	2353,92	4800	204%	BRANCO
402004823	1908	0	08/07/2022	1908	TPC	1908	0	1908	1908	5,269	27	2	2252,28	5760	256%	BRANCO
402004825	1404	0	06/07/2022	1404	TPC	1404	0	1404	1404	6,111	53	2	2197,64	4800	218%	BRANCO

Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Ainda, agregado ao Método M1 foi adicionado uma nova etapa anterior a etapa de gestão de programação. Isto porque foi evidenciada a importância da necessidade de avaliação da capacidade *versus* demanda *versus* prioridade. Esta etapa é sintetizada a seguir:

1. Capacidade *versus* demanda *versus* prioridade: conforme a dinâmica do mercado competitivo ou aceitação do produto, o item pode gerar demandas de produção além das atuais, o que poderá acarretar uma ocupação além do *lead time* disponível de produção conforme exemplo da Figura 21, na qual as ordens de produção aumentam de mil para dois mil pares.

Figura 21 - Dias correspondentes para a produção

			AX	CO	PRÉ-COSTURA			
LOF			-1	0	+2	+1	0	-1
LT			6	5	4	3	2	1
VOL	CAP	OF	PREENCHIMENTO PULMÃO					
2000	500	X		2	1	PULMÃO		
1000	500	Y				LTO		
1000	500	Z				LTO		

$$\frac{Qt \text{ de Pares}}{Capacidade \text{ de turno}} / 2 = \frac{2000}{500} / 2 = 2 \text{ dias}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

O que irá acarretar o aumento do lead time operacional interferindo no tempo de produção do setor antecessor, conforme Figura 22.

Figura 22 - Interferência de *lead time* no setor anterior.

			AX	CO	PRÉ-COSTURA			
LOF			-1	0	+2	+1	0	-1
LT			6	5	4	3	2	1
VOL	CAP	OF	PREENCHIMENTO PULMÃO					
2000	500	X		Lead Time Operacional				
1000	500	Y				LTO		
1000	500	Z				LTO		

$$\frac{Qt \text{ de Pares}}{Capacidade \text{ de turno}} / 2 = \frac{2000}{500} / 2 = 2 \text{ dias}$$

Fonte: Elaborado pelo autor.

Desta forma a avaliação de capacidade *versus* demanda *versus* prioridade se faz necessário, em virtude da prioridade em estabelecer pulmões ajustáveis conforme os fatores da etapa 3 do M1 que interferem diretamente no resultado do *lead time* operacional. Desta forma, mesmo que por meio da análise da capacidade *versus* demanda não evidencie a necessidade de aumento da capacidade operacional, com a agregação da prioridade no cálculo, o resultado poderá ser diferente.

Duas ações poderão ser realizadas para o ajuste do índice de priorização. A primeira é o aumento de capacidade produtiva por turno, ou seja, aumentar a capacidade produtiva de 500 pares para 1000 pares turno, o que irá implicar na redução de ocupação de 2 para 1 dia no *lead time* operacional. A segunda é o aumento de polivalência produtiva reduzindo o pulmão existente (Quadro 17).

Quadro 17 - Crescimento de polivalência

Artigo	Qt de Turno	Pulmão	Nível
X	0 - 2	3	Difícil
Aumento de turnos		↑	
X	3 - 4	2	Médio

Fonte: Elaborado pelo autor.

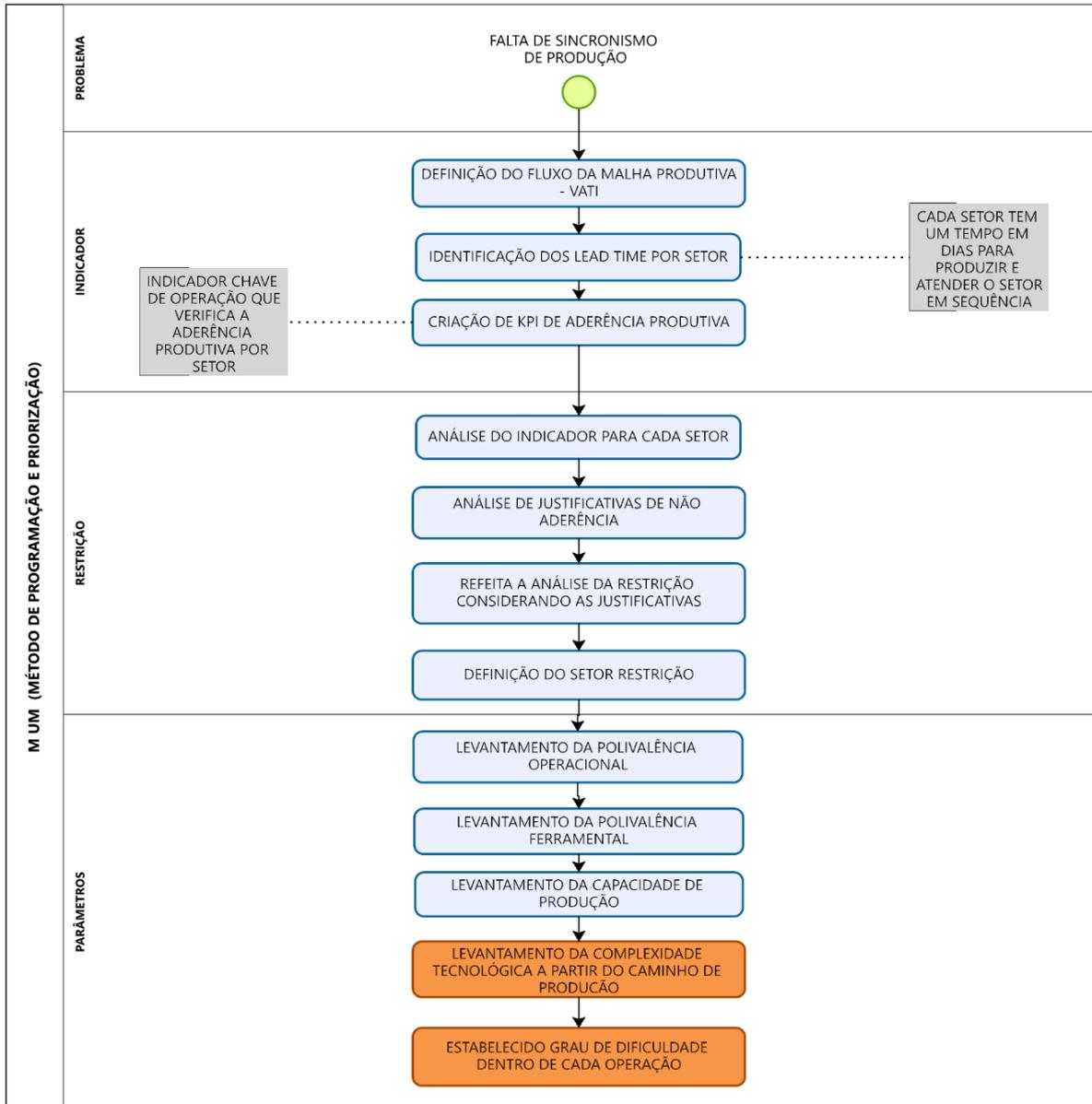
Desta forma será possível gerenciar quais os itens que necessitam de crescimento em capacidade sejam por número de pares a serem produzidos nas linhas, ou aumento de 'polivalência produtiva'. Isso implica em expandir tanto as linhas de produção quanto a capacidade operacional da mão de obra para fabricar um determinado artigo.

A partir da agregação de uma nova variável determinante, a etapa 6 no M1, implica na necessidade de avaliar o tópico da capacidade *versus* demanda *versus* prioridade. Isto pode implicar no aumento de capacidade e terá interferência na complexidade tecnológica, porém de modo diferente, pois as alterações no sistema produtivo poderão ser alcançadas nos produtos que atualmente são realizados. Quanto a uma análise para os produtos futuros, ou seja, quando for realizada uma nova coleção de artigos, os caminhos nos quais os produtos forem realizados, devem ser considerados logo na sua criação. Isto porque artigos com caminhos mais fáceis e fluídos no processo produtivo,

acarretam a necessidade de um menor tempo de pulmão em virtude da baixa complexidade tecnológica envolvida.

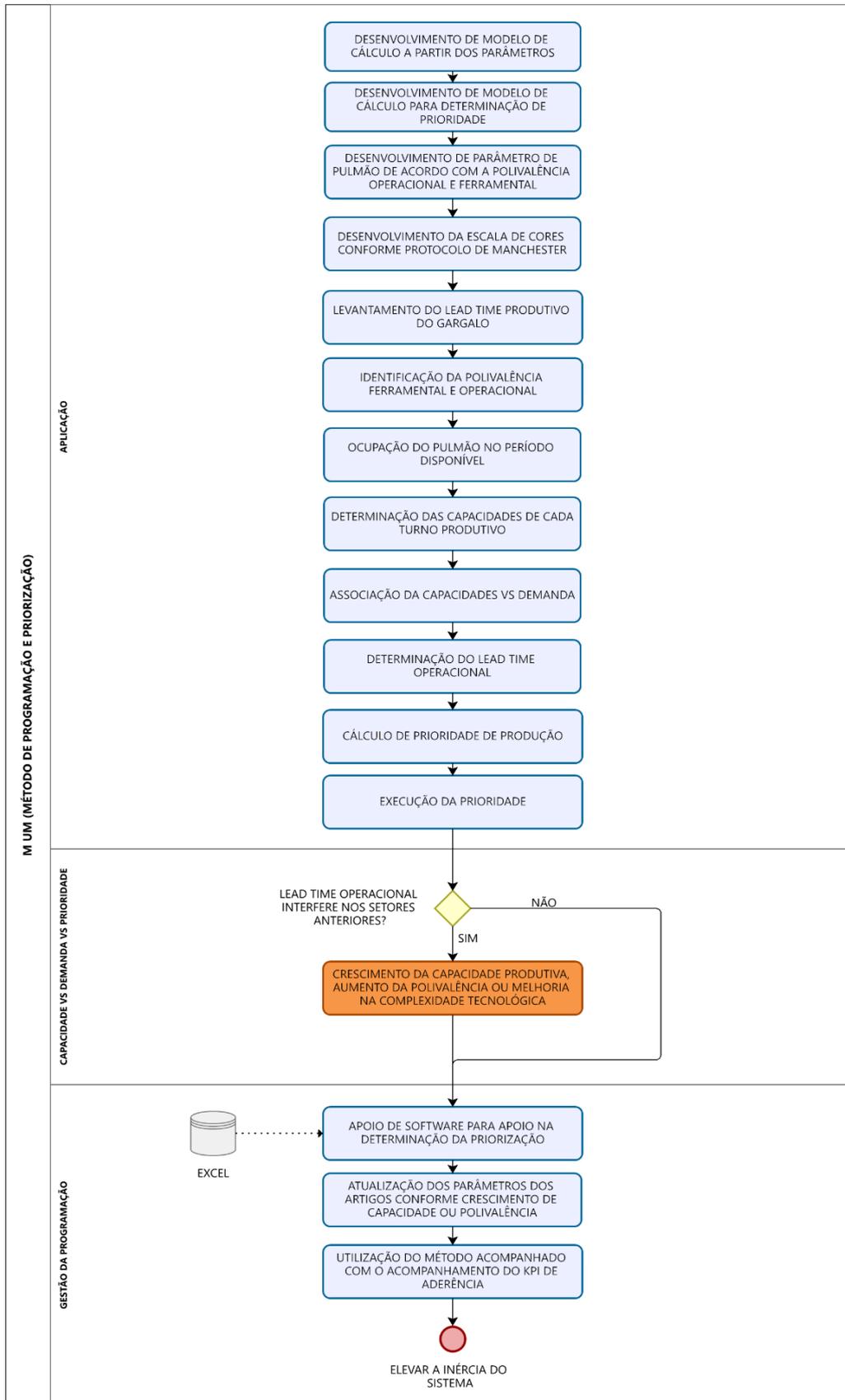
Porém, com a adição destes novos elementos os passos do M0 necessitaram de algumas alterações conforme explicitado nas Figuras 23 e 24.

Figura 23 - Fluxo M1 detalhada parte 1



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Fluxo M1 detalhada parte 2



Fonte: Elaborado pelo autor.

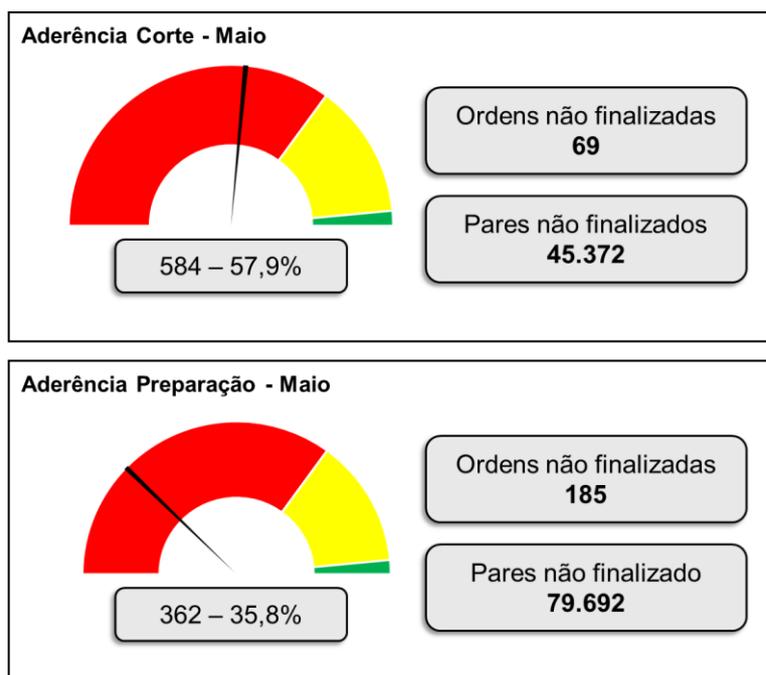
Dessa forma, ao aplicar o método M1 nos outros segmentos da empresa, foi possível obter uma visão mais completa e precisa das prioridades de produção, considerando não apenas o volume e a “polivalência”, mas também a complexidade tecnológica de cada produto. Essa abordagem refinada nos permitiu aprimorar a gestão da produção, garantindo maior eficiência e evitando restrições e atrasos.

4.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO M1: RESULTADOS E DISCUSSÕES

Um dos principais objetivos da empresa em que foi aplicado o método M1 consistia em alcançar um resultado de aderência a programação da produção elevado uma vez que a média dos pares atrasados se aproximava na casa de 6 dias de produção. A consequência era o não atendimento de prazos projetados e, por consequência, o aumento de custos (frete, horas extras etc.) e o não atendimento as necessidades dos clientes.

O indicador de medição da aderência é mensurado na montagem. Este indicador encontrava-se em um percentual de aderência oscilando entre 5 e 10% no primeiro semestre de 2022. Este indicador é um reflexo da baixa aderência dos setores a montante. Ainda, é possível adotar como parâmetro de comparação o setor identificado como restrição para o método de programação e priorização – setor de preparação, bem como o setor anterior – o setor de corte. Desta forma ao iniciar o processo de aplicação do método no mês de maio de 2022, foi possível levantar a aderência de produção, volume de ordens não finalizadas e quantidade de pares não finalizados nos setores de Corte e o setor de Preparação conforme pode ser visualizado na Figura 25.

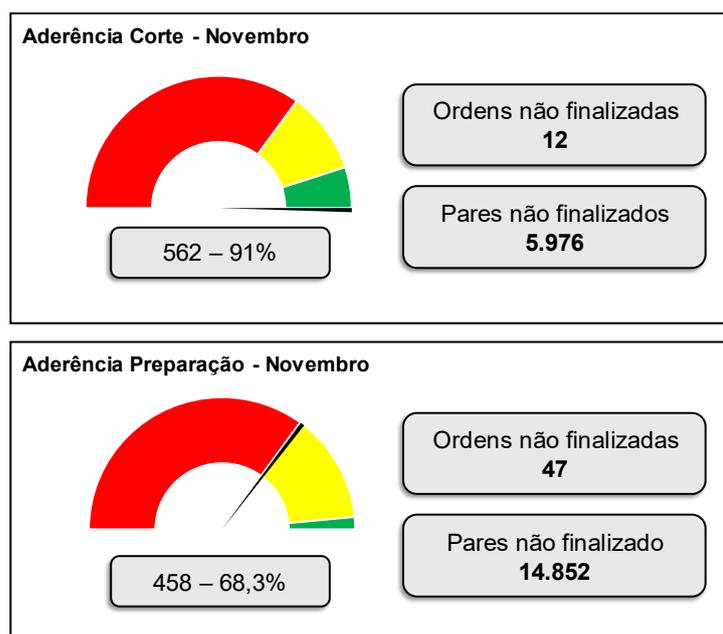
Figura 25 - Indicadores de aderência em maio



Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Na Figura 25, é possível observar que no mês de maio de 2022, no setor de corte, foram finalizadas 584 ordens de produção, sendo que 69 ordens permaneceram atrasadas. Portanto, a aderência de produção atingida no setor foi de 57,9% e o volume de pares atrasados neste setor foi de 45.372 pares. Enquanto no setor de preparação de costura, definido como a restrição no sistema produtivo foram finalizadas 362 ordens de produção e 185 ordens permaneceram atrasadas. Ou seja, a aderência da produção à programação foi de 35,8% e o volume de pares atrasados neste setor foi de 79.692 pares. Uma vez feita a aplicação do M1 foi observada uma significativa evolução como ilustrado para o mês de outubro de 2022 (Figura 26).

Figura 26 - Indicadores de aderência no mês de outubro



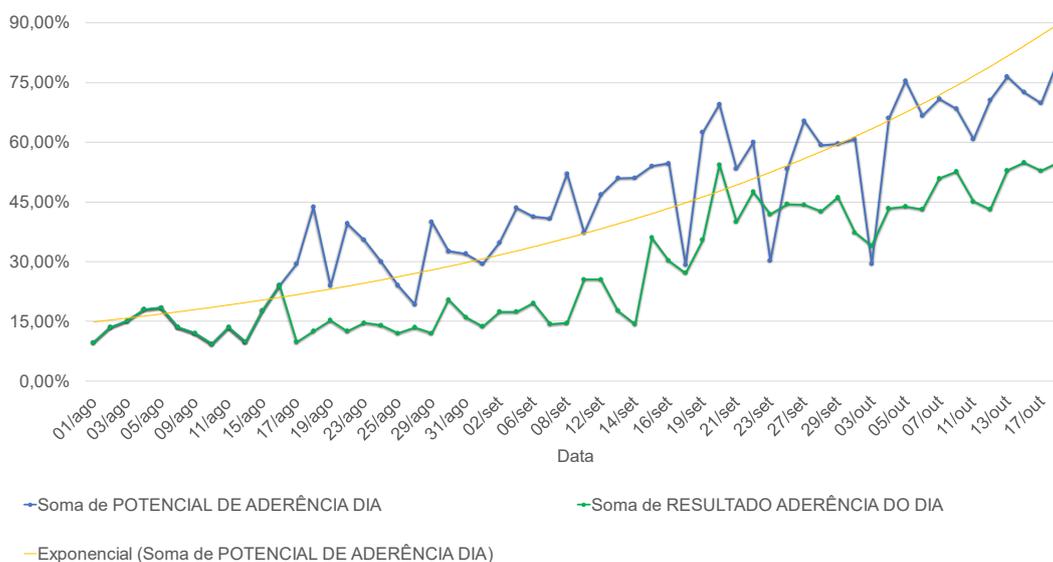
Fonte: Empresa

Na Figura 26, observa-se que no mês de outubro de 2022 no setor de corte, foram finalizadas 562 ordens de produção e 12 ordens permaneceram atrasadas. A aderência de produção atingida no mês foi de 91,1% e o volume de pares atrasados neste setor foi de 5976 pares. No setor de preparação de costura no mês de outubro foram finalizadas 458 ordens de produção e 47 ordens permaneceram atrasadas. Em consequência disto a aderência de produção atingida no foi de 68,3% e o volume de pares atrasados neste setor foi de 14.852 pares.

Houve uma melhoria significativa nos resultados de aderência. Constatou-se, então, que no setor de preparação de costura (setor restrição), ocorreu um crescimento de 91% na aderência a programação comparando-se os meses de maio de 2022 até outubro de 2022, uma redução de cerca de 81% na quantidade de pares atrasados. Ademais, para medir a aderência à programação nos setores, foi proposto e desenvolvido um indicador de acompanhamento do potencial de aderência. Esse indicador demonstra o volume de ordens de produção disponíveis dentro do prazo para atender à aderência diariamente. A partir dessas informações, o setor de costura prioriza a produção dessas ordens, aumentando assim a probabilidade de alcançar sua aderência.

Esse indicador começou a ser medido a partir de agosto nos setores de costura e montagem. A partir da Figura 27 é possível identificar que com a implementação do Método UM durante o período controlado, houve um aumento na aderência do setor de preparação. Isso resultou em mais ordens propensas a alcançar a aderência no setor de costura, que, da mesma forma, priorizou a produção das ordens completas recebidas, seguindo um conceito de prioridade. No dia 1º de agosto de 2022, o setor de costura tinha um potencial de aderência de 10% e alcançou efetivamente 10% de aderência. Conforme o método aplicado amadureceu, os dados de controle mais recentes, até 17 de outubro, mostram que o setor de costura aumentou seu potencial de aderência para 78%, e efetivou 57% de aderência.

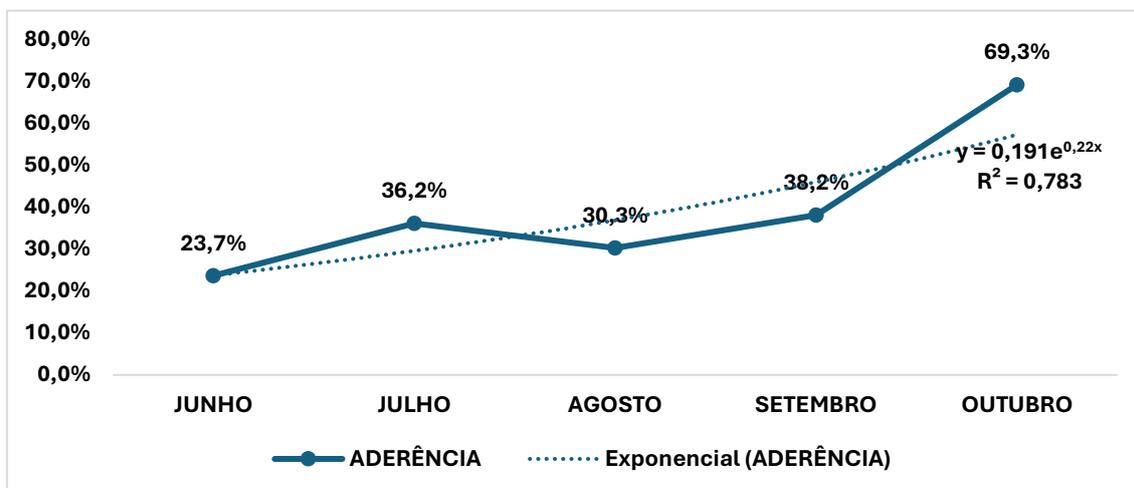
Figura 27 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Preparação de Costura Diária



Fonte: Elaborado pelo autor com base em dados da empresa.

Após a análise diária da aderência da costura, realizou-se a avaliação mensal da aderência na preparação da costura. A fim de identificar a evolução da área ao longo dos meses após a implementação do método, conforme pode ser observado na Figura 28.

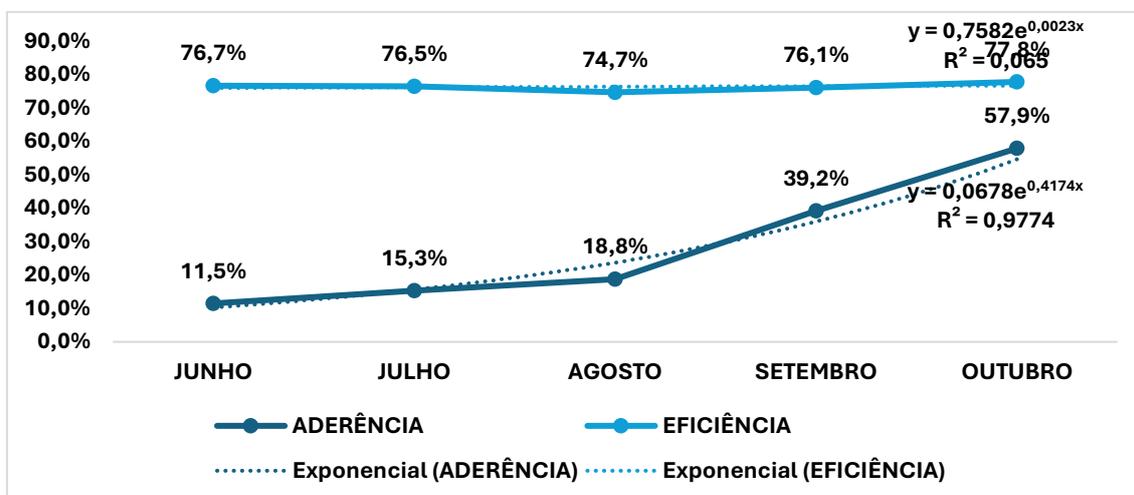
Figura 28 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Preparação de Costura Mensal



Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Além do setor de costura, torna-se relevante avaliar o setor montagem, visto que esse resulta em mais pares finalizados e entregues aos clientes. A aderência na montagem progrediu de maneira gradual. Em agosto de 2022, devido às ordens disponíveis para o setor, o máximo de aderência alcançável era de aproximadamente 18,8%. No entanto, à medida que o método foi aplicado e refinado, o potencial de aderência foi aumentando. Em 19 de outubro, última data de acompanhamento, a aderência mensal da montagem ultrapassou 50%, conforme Figura 29.

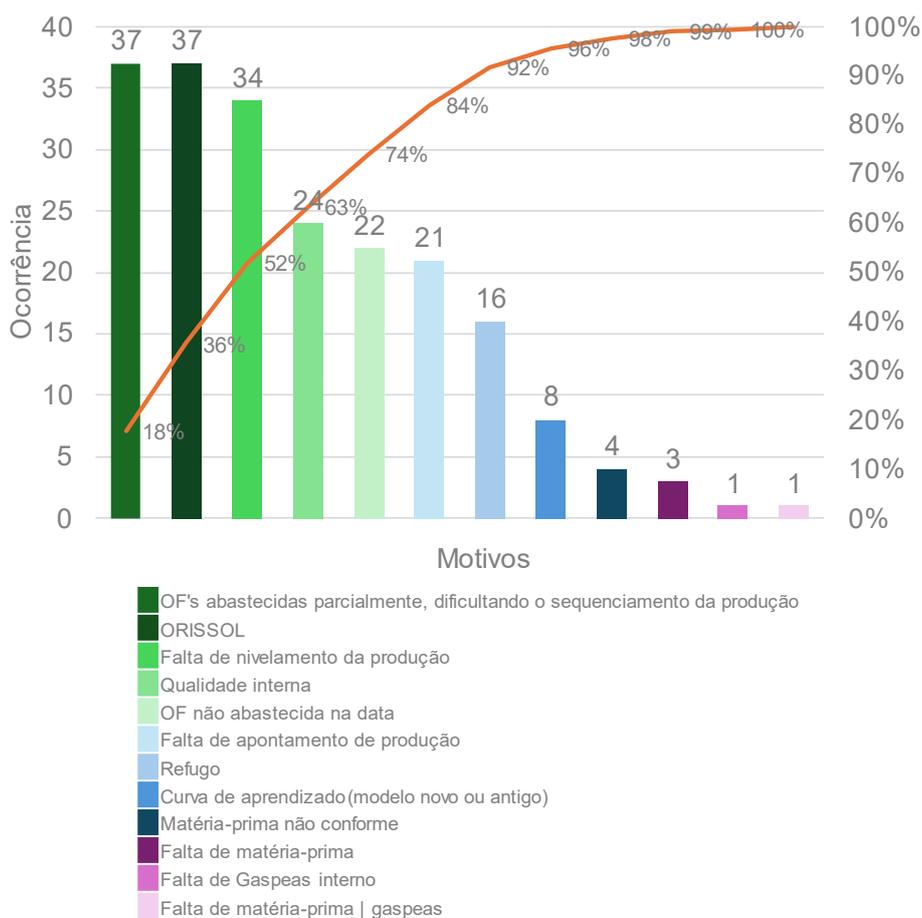
Figura 29 - Evolução do Potencial e Atingimento de Aderência na Montagem



Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Além do indicador de aderência, outro acompanhamento realizado ao longo do estudo foi o de justificativas que impediam o alcance de melhores índices de aderência. Em maio de 2022, conforme foi apresentado na Figura 13 deste estudo, o Pareto apresentava mais de 800 ocorrências das causas que interromperam a programação da produção. Nessa análise, observou-se que os principais motivos da não aderência no setor de preparação da costura eram “OFs não abastecidas na data” e “Falta de planejamento da capacidade dos recursos” o que estava diretamente atrelada a programação. Juntas estas duas causas representavam 39% dos motivos da não aderência. Com a aplicação e performance do método M1 notou-se uma mudança drástica no motivo pelo qual gera a maior não aderência no setor produtivo, conforme Figura 30.

Figura 30 - Motivos de não aderência da preparação de costura no mês de outubro



Fonte: Elaborado com dados da empresa.

Na Figura 30 é possível observar que no mês de outubro as OFs não abastecidas na data representam apenas 17% da não aderência sendo que a quantidade de ordens com esse motivo foi de apenas 37 ordens. Como resultado foi possível alcançar um resultado de aderência de produção mais elevada, o qual é possível identificar no Quadro 18, em que no mês de maio de 2022 o volume de pares atrasados no setor de montagem entre todas as ordens de produção correspondia a mais de 52 mil pares de produção no final do mês de maio e um total de 534 ordens não finalizadas na data. Após a aplicação e maturação do método o volume de pares atrasados diminuiu para menos de 7 mil pares e o total de 68 ordens atrasada. O impacto do método trouxe uma redução de 87,3% de ordens atrasadas e uma redução de 85,4% de pares atrasados. Isto se refletiu no atendimento dos prazos e, por consequência, em obter faturamentos mais rápidos, na diminuição de custos, fretes entre outros.

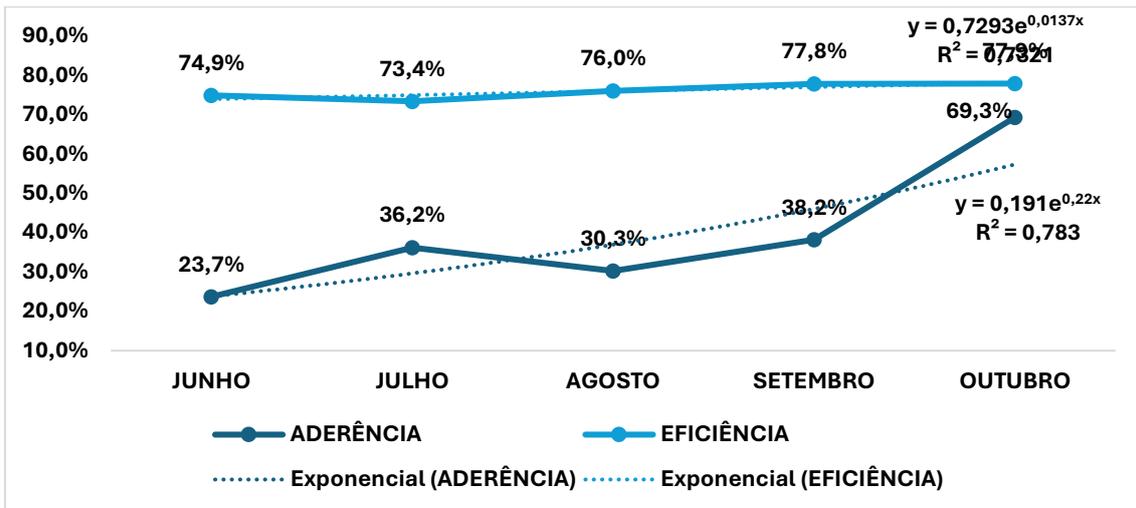
Quadro 18 - Comparativo de Resultados Setor de Montagem

Identificação	31/05/2022	31/10/2022	Diferença
Ordens não finalizadas	534	68	↓ 87,3%
Pares não finalizados	52.232	7.620	↓ 85,4%

Fonte: Elaborado pelo autor.

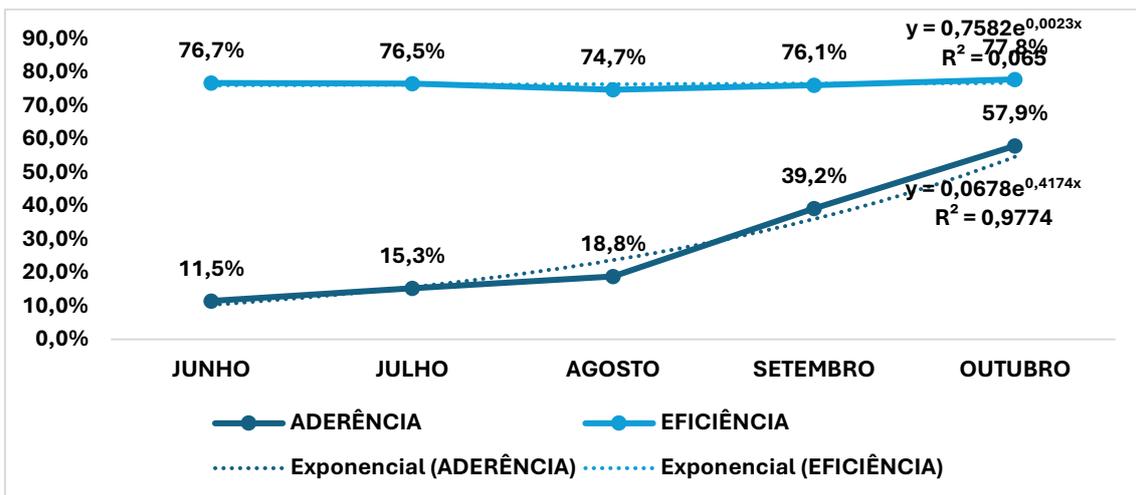
Ressalta-se ainda, que além de melhorar a aderência a programação da produção, um dos objetivos deste trabalho era realizar isso sem impactar negativamente na eficiência fabril. Nesse sentido, nas Figuras 31 e 32 são apresentados os gráficos da costura e montagem, respectivamente, comparando a evolução da aderência em relação a estabilidade da eficiência. Em que se pode perceber que o método proposto não afetou negativamente a eficiência dos processos.

Figura 31 - Aderência e eficiência da costura



Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Figura 32 - Aderência e eficiência da montagem



Fonte: Elaborado com base em dados da empresa.

Nesse contexto, os resultados obtidos e expostos nesta seção indicam que os objetivos da pesquisa foram alcançados. Assim, as conclusões e considerações provenientes do estudo serão discutidas na próxima seção.

5 CONCLUSÃO

O propósito principal deste estudo consistiu na concepção e implementação de um método inovador voltado para a programação e priorização de atividades. Esta abordagem foi meticulosamente elaborada, submetida à aplicação prática e a revisões iterativas, refinada mediante a incorporação de feedbacks, submetida a testes empíricos e a uma avaliação criteriosa conforme preconizado pela metodologia da Design Research (DR). Neste capítulo são apresentadas as conclusões mais relevantes derivadas deste empreendimento e suas implicações no cunho empresarial, delineando, ademais, suas implicações de cunho acadêmico, elencando eventuais limitações constatadas e sugerindo direções para futuras pesquisas.

5.1 CONCLUSÕES DO TRABALHO

O avanço da indústria calçadista tem sido acompanhado por uma série de desafios significativos, incluindo a escassez de mão de obra qualificada, a intensificação da concorrência por parte de empresas estrangeiras, a compressão dos prazos de produção e a crescente pressão por produtos com valores cada vez mais competitivos. Nesse contexto, a falta de sincronia produtiva e os desafios relacionados aos indicadores de aderência produtiva têm sido negligenciados, impactando substancialmente na saúde financeira das organizações do setor.

Diante desse cenário, uma análise mais aprofundada dos motivos subjacentes à falta de aderência produtiva ao longo do fluxo produtivo foi requerida. Além disso, torna-se essencial considerar a importância das programações de produção que visem, além da maximização da eficiência produtiva, a redução dos custos operacionais. Esses aspectos são cruciais para o aprimoramento do sincronismo entre as atividades produtivas e para garantir o cumprimento dos prazos de entrega, aspectos vitais para a sustentabilidade e competitividade das organizações do setor calçadista.

O artefato elaborado neste estudo teve como propósito o desenvolvimento de um método de programação que seja capaz de contemplar as variáveis e os fatores produtivos, visando atender a aderência produtiva sem comprometer a

eficiência da mão de obra. A partir desse objetivo macro, foi concebido o método designado como M1, uma versão refinada e aprimorada do método da primeira versão desenvolvida, o M0. O método M1 visa estabelecer uma abordagem estruturada de programação e priorização da produção com base nos fatores que influenciam a prioridade produtiva.

Na elaboração do método, foram considerados diversos elementos, tais como o portfólio de produtos, sua complexidade, o volume de produção e as datas de execução. Com base nessas informações, foram definidos os 'pulmões' associados a cada produto, determinando-se, dessa forma, a ordem de prioridade de produção. Produtos de maior complexidade e volume foram atribuídos prioridade de execução, respeitando-se a sequência estabelecida por todos os setores envolvidos, enquanto produtos de menor complexidade foram programados posteriormente.

Posteriormente, foi conduzida uma avaliação da aderência produtiva para verificar se os resultados obtidos estavam alinhados com as expectativas estabelecidas. Nesse sentido, adotou-se a classificação por cores durante o processo de programação, seguindo o protocolo de Manchester, a fim de indicar a prioridade relativa de cada produto. À medida que a data de conclusão se aproximava, essa classificação era ajustada para refletir a ordem de prioridade atualizada.

Optou-se em seguir a cadeia de conclusão da produção, priorizando a execução dos itens mais complexos e desafiadores antes de prosseguir com os produtos de complexidade média e, por fim, os mais simples. Dessa maneira, buscou-se otimizar o fluxo produtivo e garantir uma produção mais eficiente e eficaz, alinhada com as demandas do mercado e as capacidades da organização.

Ressalta-se que os resultados alcançados e as expectativas estabelecidas foram superados no âmbito deste projeto. Este êxito deve-se pela concepção de um método para a programação de produção e pela obtenção de outros benefícios que merecem destaque:

- Observou-se uma melhoria significativa nos índices de aderência produtiva, sendo este um aspecto de particular relevância, dado que um aumento no indicador de aderência produtiva está diretamente

associado a melhoria das condições para cumprimento dos prazos de entrega.

- Os índices de eficiência foram preservados, evidenciando que a programação que incorpora esse fator possibilitou a manutenção desses índices em níveis satisfatórios.
- Houve uma melhoria observável nos índices de despesas relacionadas a assistência técnica. Tal avanço decorre do fato de que a produção de produtos com maior qualidade reduz o risco de problemas no mercado, refletindo diretamente na necessidade de menos intervenções técnicas e, conseqüentemente, em menores custos associados a esse tipo de suporte.
- A redução de pares de calçados atrasados foi observada como resultado direto da melhoria na aderência produtiva. Esse aprimoramento contribui diretamente para a diminuição dos atrasos ao longo do fluxo produtivo, resultando em uma operação mais eficiente e eficaz.
- A implementação do método, respaldada pela adoção do protocolo de Manchester, possibilitou a ampliação da identificação visual das ordens de produção prioritárias até o nível operacional. Tal ação, por sua vez, promoveu uma melhoria na gestão dos setores envolvidos no processo, contribuindo para uma maior eficácia na coordenação e execução das atividades produtivas.
- A partir dos fatores que influenciam a prioridade de produção, torna-se possível considerar a viabilidade de um planejamento estratégico. Essas informações podem ser empregadas na concepção dos produtos, visando a criação de artigos com fluxos produtivos mais eficientes e otimizados. Essa abordagem possibilita uma melhor alocação de recursos e uma maior adequação às demandas do mercado, resultando em uma produção mais eficaz e competitiva.
- A análise comparativa entre capacidade, demanda e prioridade proporcionou a gestão uma visão mais precisa das áreas que demandam desenvolvimento de polivalência operacional. Esse enfoque permitiu uma identificação mais acurada das lacunas e necessidades de capacitação do pessoal em diferentes linhas de

produção, facilitando a implementação de estratégias eficazes para otimizar a flexibilidade e a adaptabilidade dos recursos humanos em resposta às demandas variáveis do processo produtivo.

O método *Design Research* (DR) revelou-se fundamental para o desenvolvimento deste artefato. No entanto, é crucial destacar que, sem o suporte da gestão e o engajamento dos colaboradores diretos, este produto não teria alcançado a robustez necessária para ser implementado com sucesso. O apoio e a participação ativa da gestão e dos colaboradores diretos foram determinantes para garantir a viabilidade e eficácia prática do artefato desenvolvido.

5.2 CONTRIBUIÇÕES ACADÊMICAS

Neste capítulo, serão apresentados os detalhes das contribuições acadêmicas, iniciando com a exposição de um quadro comparativo entre os métodos. Em seguida, será oferecido um resumo do método de programação e priorização desenvolvido neste estudo. Finalmente, será apresentada uma nova versão do quadro comparativo, a qual incluirá novos fatores e contemplará o método proposto neste trabalho.

5.2.1 Comparativo de métodos existentes

Este estudo contribui academicamente com a elaboração de um modelo comparativo dos métodos de programação existentes, fundamental para a análise e seleção do método mais apropriado às necessidades da empresa, apesar de não ter alcançado o sucesso esperado. O Quadro 1 expôs os critérios de avaliação e os métodos disponíveis, fornecendo subsídios para a tomada de decisão quanto à escolha do método mais alinhado com as características da empresa a ser implementado.

Isso implica que a seleção do método de programação depende das circunstâncias e características específicas da empresa em questão. Ao considerar esse contexto, é possível identificar qual método melhor se adequa às necessidades de implementação. Fatores como o controle do nível de estoque podem ser relevantes para empresas que não possuem uma alta taxa

de ocupação do produto acabado, falta de capacidade de investimento em dispositivos ou espaço fabril limitado. Outro aspecto relacionado ao negócio da empresa é a flexibilidade de suprimentos, sendo que empresas com um portfólio reduzido de produtos não necessitarão que o método atenda essa característica.

Empresas que demandam programação visual geralmente possuem uma elevada quantidade de mão de obra, e a tomada de decisões sobre o que deve ser produzido é delegada aos colaboradores. Essas empresas têm a necessidade de comunicar suas instruções de maneira clara e objetiva.

A escolha dos métodos de programação está intimamente relacionada aos objetivos e dimensões competitivas da empresa. Empresas que não possuem controle efetivo da eficiência ou aderência em seus processos produtivos, mas têm capacidade financeira para suportar grandes volumes de trabalho em progresso (WIP), tendem a utilizar métodos como DEWIP e LOOR. Enquanto, empresas que possuem uma estrutura totalmente horizontal podem se beneficiar do método POLCA em seu modelo de negócio.

O critério decisivo na escolha do método de programação está diretamente ligado aos objetivos e resultados que a programação precisa alcançar, pois o melhor método é aquele que se alinha com os objetivos e necessidades específicas da empresa.

5.2.2 Método de Programação e Priorização

A segunda contribuição acadêmica deste estudo consistiu no desenvolvimento do método de programação e priorização intitulado de M1, apresentado na Figura 21 deste estudo. Este modelo foi concebido a partir da ausência de sucesso do método previamente selecionado na literatura, levando em consideração fatores que não haviam sido identificados anteriormente.

O método proposto M1 faz a explicitação dos procedimentos necessários para a aplicação bem-sucedida do método, produzindo resultados esperados. Destaca-se a introdução do conceito de capacidade versus demanda versus Prioridade, que visa gerenciar o pulmão de prioridade desenvolvido neste estudo.

5.2.3 Quadro comparativo dos métodos de programação segunda versão

Por último, uma contribuição acadêmica significativa deste estudo é a introdução de um novo modelo comparativo dos métodos de programação existentes, que agora inclui o método de programação e priorização desenvolvido neste trabalho. No novo quadro comparativo, conforme Quadro 19, foram adicionados três novos critérios de avaliação.

Quadro 19 - Comparação entre métodos de programação da produção segunda versão

FATORES DE ANÁLISE		DBR	Kanban	DEWIP	LOOR	MaxMin	PCMO	POLCA	MPP
	Análise de Capacidade Produtiva	OK	X	X	OK	X	OK	OK	OK
	Controle Nível de Estoque (CNE)	OK	OK	OK	X	OK	OK	OK	X
	Definição da Restrição	OK	X	X	X	X	X	X	OK
	Estoque de Segurança (CONWIP)	OK	OK	OK	OK	OK	X	OK	X
	Flexibilidade Consumo	X	X	OK	X	OK	X	OK	OK
	Flexibilidade Suprimentos	X	X	X	X	OK	X	OK	OK
	Produção Empurrada	X	X	OK	X	OK	X	OK	X
	Produção Puxada	OK	OK	X	OK	X	OK	OK	OK
	Programação Visual	X	OK	X	X	X	X	OK	OK
	Manutenção da Eficiência Produtiva	X	x	x	OK	x	x	OK	OK
	Pulmão Fixo	OK	OK	OK	OK	OK	X	X	X
	Pulmão Ajustável	X	X	x	X	OK	X	X	OK

Fonte: Elaborado pelo autor.

Os três critérios adicionados referem-se a:

- **Manutenção da Eficiência Produtiva:** Este fator considera a capacidade de manter a eficiência produtiva da empresa, garantindo que a aderência produtiva seja alcançada sem comprometer os indicadores internos de eficiência da fábrica. Empresas com características de mão de obra intensiva tendem a buscar altos níveis de eficiência de produção para redução de custos.
- **Pulmão Fixo:** Este fator leva em conta a utilização de pulmões fixos ao longo do processo produtivo. O pulmão fixo é caracterizado pelo uso de tempos de ciclo de produção fixos, ou seja, sem variação do tempo em função do item ou da data de entrega.
- **Pulmão Ajustável:** Este fator considera a utilização de pulmões ajustáveis ao longo do processo produtivo. O pulmão ajustável é caracterizado pelo uso de tempos de ciclo de produção ajustáveis, ou seja, com variação do tempo em função do item ou da data de entrega.

É crucial salientar que as conclusões acerca dos resultados dos fatores mencionados no quadro, conforme representado no Quadro 3, baseiam-se no estudo dos métodos descritos no referencial teórico. Em outras palavras, apenas os métodos DBR e MPP foram submetidos a testes de campo.

5.3 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Este trabalho limita-se aos seguintes aspectos:

- Não foram identificados os tempos de preparação (*setups*) dos artigos tratados no sistema de produção o que pode afetar diversos aspectos no método proposto, incluindo a possibilidade de alteração nos valores projetados e reais dos tempos de atravessamento (*lead time*) o que causar impacto na redução da capacidade de produção para uma variedade maior de itens e, por consequência, nos critérios de definição de prioridade de produção;
- Não foi feita suficiente consideração do impacto das chamadas curvas de aprendizagem dos produtos, ou seja, o período de entrada dos novos produtos/itens que envolve o atingimento dos valores nominais teóricos propostos e projetados. Este aspecto é especialmente

relevante em processos dependentes de mão de obra especializada, na medida em que pode influenciar significativamente os tempos de atravessamento (*lead time*) e, por consequência, a determinação de prioridades.

- É possível observar a falta de distinção entre os tamanhos de lotes de produção, que se refere ao volume de produtos a serem fabricados por ordem de produção. A falta de diferenciação entre lotes menores, médios e maiores pode impactar o tempo de atravessamento (*lead-time*) e a definição de prioridades na programação de produção.

5.4 SUGESTÕES/RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Recomenda-se para trabalhos futuros:

- Realizar estudos através da aplicação do método M1 em um conjunto de distintas empresas da indústria de calçados, visando avançar e aprimorar o Método M1 o que, provavelmente, abrirá a possibilidade de considerar outros elementos como tempos de preparação (*setup*), curva de aprendizagem dos produtos etc.
- Realizar estudos visando verificar a possibilidade (ou não) de aplicação do M1 em empresas de indústria com características similares a calçadista (por exemplo: empresas da indústria de vestuário);
- Efetivar estudos visando criar e desenvolver softwares ou sistemas automatizados que permitam facilitar a implantação do Método M1 nas empresas. Nestes sistemas, também podem ser inseridos informações relevantes para tratar da identificação e dimensionamento da polivalência operacional e ferramental, bem como a determinação das prioridades de produção a serem executadas.
- Propor a realização de estudos para identificar desde a fase de concepção dos calçados na engenharia, os parâmetros que influenciam nas prioridades, tais como o roteiro de fabricação a análise da dificuldade de fabricação dos itens nas máquinas. Esses parâmetros tendem a ter significativo impacto nos tempos de atravessamento (*lead time* operacional) que devem ser considerados tanto na programação da produção, quanto da aderência obtida a partir da programação.

REFERÊNCIAS

BECHTE, W. Theory and practice of load-oriented manufacturing control. **International Journal of Production Research**, v. 26, n. 3, p. 375–395, mar. 1988.

BEGUM, H. **Challenges in the path of Retail Industry**Hassina Begum, **IJSRM**. 2015. Disponível em: <www.ijssrm.in>.

BENEVIDES FILHO, S. **A Polivalência como Ferramenta para a Produtividade**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1999.

BERKENBROCK, F. **ANÁLISE DA PRÁTICA DA POLIVALÊNCIA EM UMA COOPERATIVA DE CRÉDITO RESUMO ANALYSIS OF THE PRACTICE OF VERSATILITY IN A CREDIT COOPERATIVE**. 2016.

BETTERTON, C. E.; COX, J. F. Espoused drum-buffer-rope flow control in serial lines: A comparative study of simulation models. **International Journal of Production Economics**, v. 117, n. 1, p. 66–79, jan. 2009.

BLACKSTONE, J. H. Theory of constraints - A status report. **International Journal of Production Research**, v. 39, n. 6, p. 1053–1080, 2001.

BURBIDGE, J. L. **Planejamento e Controle da Produção**. São Paulo: Atlas, 1988.

CASSETTARI, A.; PEDROSO, M.; CASSETTARI, E. **Obtenção de melhoria contínua através da gestão de indicadores**. V Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **Anais...**Belo Horizonte: 2009.

CHOU, Y.-C.; LU, C.-H.; TANG, Y.-Y. Identifying inventory problems in the aerospace industry using the theory of constraints. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 16, p. 4686–4698, 15 ago. 2012.

COELHO, P. M. N. **Rumo a indústria 4.0**. Tese—Coimbra: Universidade de Coimbra, 2016.

COGAN, SAMUEL. **Contabilidade gerencial: uma abordagem da teoria das restrições**. Saraiva, 2007.

CORBETT, T.; CSILLAG, J. M. Analysis of the effects of seven drum-buffer-rope implementations. **Production & Inventory Management Journal**, p. 17+, 2001.

COUTINHO, A. A. P.; CECÍLIO, L. C. O.; MOTA, J. A. C. . Classificação de risco em serviços de emergência: uma discussão da literatura sobre o Sistema de Triagem de Manchester. **Rev Med Minas Gerais**, v. 22, p. 188–198, 2012.

COX, J. F.; SCHLEIER, J. G. **Handbook da Teoria das Restrições**. Porto Alegre: Bookman, 2013.

DALALAH, D. **Decentralized Work-In-Process Optimization in Cooperative Resource Allocation**. 7th International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing, 2012.

DALTON, J. **Gemba walks**. Great Big Agile: An OS for Agile Leaders, 2019.

DARLINGTON, J. et al. Design and implementation of a Drum-Buffer-Rope pull-system. **Production Planning & Control**, v. 26, n. 6, p. 489–504, 26 abr. 2015.

DEL BIANCO, V. S. **Sistema de Coordenação de Ordens de Produção Baseado na Estratégia Bata de Manufatura**. . Dissertação de mestrado—São Paulo: UFSCar/DEP, 2008.

DI ROMA, A. Footwear Design. The paradox of “tailored shoe” in the contemporary digital manufacturing systems. **Design Journal**, v. 20, n. sup1, p. S2689–S2699, 28 jul. 2017.

DIAS, C. **Aplicação dos ToC Thinking Processes a uma Área de Produção Industrial Engenharia Biológica**. [s.l: s.n.].

DJORDJEVIC, M.; STOJANOVIC, M. ТЕОРИЈАТА НА ОГРАНИЧЕНИЈАТА-НОВА УПРАВЛЕНСКА ФИЛОСОФИЈА THEORY OF CONSTRAINTS-NEW MANAGEMENT PHILOSOPHY. **Economics and Management**, p. 43–50, 2009.

DOMÍNGUEZ, E. et al. A taxonomy for key performance indicators management. **Computer Standards & Interfaces**, v. 64, p. 24–40, maio 2019.

DÖRMER, J.; GÜNTHER, H. O.; GUJJULA, R. Master production scheduling and sequencing at mixed-model assembly lines in the automotive industry. **Flexible Services and Manufacturing Journal**, v. 27, n. 1, p. 1–29, 1 mar. 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. **Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia**. 1º ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; CAUCHICK-MIGUEL, P. A. DESIGN SCIENCE IN OPERATIONS MANAGEMENT: CONCEPTUAL FOUNDATIONS AND LITERATURE ANALYSIS. **Brazilian Journal of Operations and Production Management**, v. 16, n. 2, p. 333–346, 1 jun. 2019.

DUARTE, A. Y. S. et al. Technological innovations in the production of sportswear: from conventional production to Industry 4.0. **Product Management & Development**, v. 18, n. 1, p. 19–25, 2020.

ENTRINGER, T. C.; FERREIRA, A. D. S. Proposta de um modelo de referência em notação BPMN para um sistema de MRP. **Revista Gestão Industrial**, v. 15, n. 4, 2019.

ESCUDERO-MANCEBO, D. et al. Research methods in engineering design: a synthesis of recent studies using a systematic literature review. **Research in Engineering Design**, v. 34, n. 2, p. 221–256, 1 abr. 2023.

ETMINANI, K.; NAGHIBZADEH, M. **A Min-Min Max-Min Selective Algorithm for Grid Task Scheduling**. 3rd IEEE/IFIP International Conference in Central Asia on Internet, 2003.

EWEDAIRI, K.; CHHETRI, P.; JIE, F. **Estimating transportation network impedance to last-mile delivery a case study of maribyrnong city in melbourne**. International Journal of Logistics Management. **Anais...Emerald Group Publishing Ltd.**, 2018.

FANI, V.; BANDINELLI, R.; BINDI, B. **BALANCING ASSEMBLY LINE WITH A SIMULATION-OPTIMIZATION MODEL: A CASE STUDY IN THE FOOTWEAR INDUSTRY**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <www.anylogic.com>.

FERNANDES, F. C. F.; GODINHO FILHO, M. Sistemas de coordenação de ordens: revisão, classificação, funcionamento e aplicabilidade. **Gestão & Produção**, v. 14, n. 2, p. 337–352, 2007.

FERNANDES, N. O.; DO CARMO-SILVA, S. Generic POLCA—A production and materials flow control mechanism for quick response manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 104, n. 1, p. 74–84, nov. 2006.

FORD. **Hoje e amanhã**. 1927.

FRANCISCHINI, A. **Indicadores de desempenho: dos objetivos à ação -Métodos para elaborar KPIs e obter resultados**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2017.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOLDRATT, E. **Theory of Constraints**. 1. ed. North River: Croton-on Hudson, 1990a. v. 1

GOLDRATT, E. M. **THE HAYSTACK SYNDROME - Sifting Information Out of The Data Ocean**. Great Barrington: The North River Press Publishing Corporation, 1990b.

GOLDRATT, E. M.; COX, J. **A Meta**. 3a. ed. São Paulo: NOBEL, 2014.

GOLDRATT, E. M.; FOX, R. E. **The Race**. [s.l.] North River Press, Inc., 1986.

GOLMOHAMMADI, D.; MANSOURI, S. A. Complexity and workload considerations in product mix decisions under the theory of constraints. **Naval Research Logistics (NRL)**, v. 62, n. 5, p. 357–369, 9 ago. 2015.

GÓMEZ PAREDES, F. J. et al. **Factors for choosing production control systems in make-to-order shops: a systematic literature review.** **Journal of Intelligent Manufacturing** Springer, , 1 mar. 2022.

GOZALI, L. et al. Kanban System and Calculation of Kanban Production in Stamping Division of PT. XYZ. **Advances in Social Science, Education and Humanities Research**, v. 439, p. 1–6, 2020.

GUO, D. et al. Synchroperation in industry 4.0 manufacturing. **International Journal of Production Economics**, v. 238, p. 108171, ago. 2021.

HINCKELDEYN, J. et al. Expanding bottleneck management from manufacturing to product design and engineering processes. **Computers & Industrial Engineering**, v. 76, p. 415–428, out. 2014.

HTUN, A.; KHAING, C. C. Lean Manufacturing, Just in Time and Kanban of Toyota Production System (TPS). **International Journal of Scientific Engineering and Technology Research**, v. 8, n. 1, p. 469–474, 2009.

KEREM, C. et al. Learning to see—managers working in the gemba as part of the tidhar way training program. **Proceedings IGLC-21**, 2013.

KERZNER, H. **Project Management Metrics, KPIs, and Dashboards.** [s.l.] Wiley, 2017.

KNIBERG, H.; SKARIN, M. **Kanban e Scrum: Obtendo o melhor de ambos.** Estados Unidos: C4Media Inc, 2009.

LAND, M. J.; GAALMAN, G. J. C. The performance of workload control concepts in job shops: Improving the release method. **International Journal of Production Economics**, v. 56–57, p. 347–364, set. 1998.

LIMA, M.; MENDES, M.; PAULISTA, P. Kanban, o sistema japonês que se globalizou. **Revista Científica Universitas**, p. 1–4, 2015.

LÖDDING, H. Decentralized WIP Oriented Manufacturing Control. Em: **Handbook of Manufacturing Control.** Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013. p. 435–452.

LUCHESE, J. et al. IMPLANTAÇÃO DA LÓGICA TAMBOR-PULMÃO-CORDA EM UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA MOVELEIRA. **HOLOS**, v. 8, p. 262–276, 13 jan. 2016.

LUND, S. et al. **GLOBALIZATION IN TRANSITION: THE FUTURE OF TRADE AND VALUE CHAINS.** Washington: 2019.

MANCHESTER TRIAGE GROUP. **Sistema Manchester de classificação de risco: classificação de risco na urgência e emergência.** Belo Horizonte: 2010.

MANOHAR, M. et al. **Pull-based Operations in a Hostel Mess: A Case Study.** Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management. **Anais...**Michigan, USA: IEOM Society International, 16 ago. 2022.

MARQUES, A. D.; GUEDES, G.; FERREIRA, F. **Competitive strategies in fashion industries: Portuguese footwear industry.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...**Institute of Physics Publishing, 8 nov. 2017.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Navigating a World of Disruption.** 2019.

MOURA, D. P. C. et al. Contribuições da teoria das restrições para a gestão da produção: aplicação em uma indústria de laticínios. **Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas**, v. 13, n. 3, p. 237, 1 set. 2018.

MOURA, R. A. **Kanban: a simplicidade do controle de produção.** São Paulo: Imam, 2007.

NEMETH, C. Layered Resilience. Em: **Resilience Engineering Perspectives.** Taylor & Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742: CRC Press, 2016. p. 149–163.

NOREEN, E. W.; SMITH, D.; MACKEY, J. **A teoria das restrições e suas implicações na contabilidade gerencial: um relatório independente.** . 1. ed. v. 1. 1996.

OFFERMANS, T. et al. Automatically optimizing dynamic synchronization of individual industrial process variables for statistical modelling. **Computers & Chemical Engineering**, v. 152, p. 107402, set. 2021.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção: Além da Produção em Larga Escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

OOSTERMAN, B.; LAND, M.; GAALMAN, G. The influence of shop characteristics on workload control. **International Journal of Production Economics**, v. 68, n. 1, p. 107–119, out. 2000.

PAL, R.; SANDBERG, E. **Sustainable value creation through new industrial supply chains in apparel and fashion.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. **Anais...**Institute of Physics Publishing, 8 nov. 2017.

PARMENTER, D. **Key Performance Indicators: Developing, Implementing and Using Winning KPIs.** New Jersey: Wiley, 2015.

PEREIRA, G. M.; BORCHARDT, M.; SELLITTO, M. A. Fast fashion in the footwear industry: Sector intervention in the productive network of Nova Serrana. **Gestao e Producao**, v. 21, n. 3, p. 555–570, 1 jul. 2014.

PEREIRA, G. M.; SELLITTO, M. A.; BORCHARDT, M. Changes in competitive factors in footwear export industry due to arrival Asian producers. **Producao**, v. 20, n. 2, p. 149–159, 2010.

PÉREZ-CARABAZA, S.; BESADA-PORTAS, E.; LÓPEZ-OROZCO, J. A. Minimizing the searching time of multiple targets in uncertain environments with multiple UAVs. **Applied Soft Computing**, v. 155, 1 abr. 2024.

PERGORARO, F. APLICAÇÃO DOS CINCO PASSOS DA MELHORIA CONTÍNUA DA TEORIA DAS RESTRIÇÕES (TOC): UM ESTUDO EM UMA INDÚSTRIA DE CAL. **Revista Cereus**, v. 9, n. e, p. 80–97, 10 dez. 2017.

PICCOLI, G. **Proposição de um método para concepção de estratégias de atendimento ao mercado a partir da gestão do portfólio de produtos**. 2017.

PINTO, J. **PENSAMENTO LEAN - A FILOSOFIA DAS ORGANIZAÇÕES**. 6. ed. Brasil : Lidel, 2014.

POULIN, M.; MONTREUIL, B.; MARTEL, A. Implications of personalization offers on demand and supply network design: A case from the golf club industry. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 3, p. 996–1009, mar. 2006.

PUCHE, J. et al. The effect of supply chain noise on the financial performance of Kanban and Drum-Buffer-Rope: An agent-based perspective. **Expert Systems with Applications**, v. 120, p. 87–102, 2019.

QU, T. Internet-of-things based Dynamic Synchronization of Production and Logistics : Mechanism, System and Case Study. **Journal of Mechanical Engineering**, v. 51, n. 20, p. 36, 2015.

RIBEIRO, S.; PEREIRA, C. Plataforma de eCommerce Business-to-Business para o setor do calçado: O cluster de Felgueiras. **IEEE Explore**, 2018.

RIEZEBOS, J. Design of POLCA material control systems. **International Journal of Production Research**, v. 48, n. 5, p. 1455–1477, 28 mar. 2010.

SANTOS, V. D. DOS. METODOLOGIA DA UNIDADE PADRÃO DE TEMPO (UP) EM UMA INDÚSTRIA DE CONFECÇÕES. **REVISTA CIENTÍFICA ACERTTE - ISSN 2763-8928**, v. 1, n. 2, p. e1217, 19 ago. 2021.

SATOLO, E. G.; DOS REIS, M. E. D. M.; CALADO, R. D. Pull Production Systems. p. 80–112.

SELLITTO, M. A. et al. Comparing Competitive Priorities of Slow Fashion and Fast Fashion Operations of Large Retailers in an Emerging Economy. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 23, n. 1, p. 1–19, 18 mar. 2022.

SENAPATHI, M.; DRURY-GROGAN, M. L. Systems Thinking Approach to Implementing Kanban: A case study. **Journal of Software: Evolution and Process**, v. 33, n. 4, 5 abr. 2021.

SEVERINO, M. R.; GODINHO FILHO, M. POLCA system for supply chain management: simulation in the automotive industry. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, n. 3, p. 1271–1289, 17 mar. 2019.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Producao Do Ponto**. [s.l.] Bookman, 1996.

SHINGO, S. **Sistema De Producao Com Estoque Zero**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2004.

SHIROMA, L. M. B.; PIRES, D. E. P. . Classificação de risco em emergência – um desafio para as/os enfermeiras/os. . **Enfermagem em Foco**, p. 14–17, 2011.

SHOOK, J. How to change a culture: Lessons from NUMMI. . **Sloan Management Review**, 2010.

SILVA, J.; MACEDO, F. **Método Kanban como Ferramenta de Controle de Gestão Kanban Method as a Management Control Tool**. [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://idonline.emnuvens.com.br/id>>.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSON, R. **Administração da Produção**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2005.

SLOAN JR., A. . **Meus anos com a General Motors**. Negócio Editora, 2001.

SOUZA, F.; PIRES, S. R. I. Theory of constraints contributions to outbound logistics. **Management Research Review**, v. 33, n. 7, p. 683–700, 18 jun. 2010.

SOUZA, F. S. R. N. et al. PROGRAMA NETUNO: INOVAÇÃO PARA A MELHORIA DA GESTÃO NA MARINHA DO BRASIL. **RACE - Revista de Administração, Contabilidade e Economia**, v. 15, n. 3, p. 843, 4 out. 2016.

STÜTZLE, T.; HOOS, H. H. – Ant System. **Future Generation Computer Systems**, v. 16, n. 8, p. 889–914, jun. 2000.

SUGIMORI, Y. et al. Toyota production system and Kanban system Materialization of just-in-time and respect-for-human system. **International Journal of Production Research**, v. 15, n. 6, p. 553–564, 1 jan. 1977.

SURI, R. **The Practitioner's Guide to POLCA**. CRC Press, 2018.

THÜRER, M. et al. POLC-A: an assessment of POLCA's authorization element. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 30, n. 6, p. 2435–2447, 3 ago. 2019.

UNGER, K.; TEICH, T. Pearl Chain Design for Synchronous Production. **IFAC Proceedings Volumes**, v. 42, n. 4, p. 115–120, 2009.

VAN AKEN, J.; CHANDRASEKARAN, A.; HALMAN, J. Conducting and publishing design science research. **Journal of Operations Management**, v. 47–48, n. 1, p. 1–8, nov. 2016.

WAHLERS, J. L.; COX, J. F. Competitive factors and performance measurement: Applying the theory of constraints to meet customer needs. **International Journal of Production Economics**, v. 37, n. 2–3, p. 229–240, dez. 1994.

WANKE, P. **Gestão de estoques na cadeia de suprimentos: Decisões e modelos quantitativos**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2011.

WATSON, K. J.; BLACKSTONE, J. H.; GARDINER, S. C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. **Journal of Operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387–402, 12 mar. 2007.

WATSON, K. J.; PATTI, A. A comparison of JIT and TOC buffering philosophies on system performance with unplanned machine downtime. **International Journal of Production Research**, v. 46, n. 7, p. 1869–1885, abr. 2008.

WEISS, J. A. Análise dos fatores para implantação do sistema Kanban em uma empresa cerâmica de Rio Negrinho, SC. **Ágora : revista de divulgação científica**, v. 20, n. 1, p. 50–68, 6 ago. 2015.

WIENDAHL, H.-P. **Load-Oriented Manufacturing Control**. Springer Berlin Heidelberg, 1995.

WOMACK, J. P.; JONES, D. T. From lean production to the lean enterprise. **IEEE Engineering Management Review**, 1996.

YAN, H. et al. Load-Oriented Order Release (LOOR) revisited: bringing it back to the state of the art. **Production Planning & Control**, v. 27, n. 13, p. 1078–1091, 2 out. 2016.

YOU, X.; HANDS, D. A Reflection upon Herbert Simon's Vision of Design in The Sciences of the Artificial. **Design Journal**, v. 22, n. sup1, p. 1345–1356, 1 abr. 2019.