UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TÚLIO VALADÃO DOS SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PLANO AGREGADO DE PRODUÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA DE ACESSÓRIOS DE DIVINÓPOLIS - MG

JUIZ DE FORA
2023

TÚLIO VALADÃO DOS SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PLANO AGREGADO DE PRODUÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA DE ACESSÓRIOS DE DIVINÓPOLIS - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Orientador: D. Sc. Márcio de Oliveira

JUIZ DE FORA

2023

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração
automática da Biblioteca Universitária da UFJF,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Santos, Túlio Valadão dos.
Desenvolvimento de Plano Agregado de Produção para uma Indústria de Acessórios de Divinópolis - MG / Túlio Valadão dos Santos. -- 2023.
61 f. : il.

Orientador: Márcio de Oliveira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2023.

1. Planejamento e Controle da Produção. 2. Plano agregado da produção. 3. Fábrica de acessórios. I. Oliveira, Márcio de, orient. II. Título.

TÚLIO VALADÃO DOS SANTOS

DESENVOLVIMENTO DE PLANO AGREGADO DE PRODUÇÃO PARA UMA INDÚSTRIA DE ACESSÓRIOS DE DIVINÓPOLIS - MG

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Aprovada em 06 de dezembro de 2023.

BANCA EXAMINADORA

D. Sc. Márcio de Oliveira (Orientador)
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Antônio Ângelo Missiaggia Picorone
Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc. Roberto Malheiros Moreira Filho
Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todas as pessoas que fizeram parte, direta ou indiretamente, da minha formação e da elaboração deste trabalho. Ótimos momentos foram vividos nessa trajetória, boas amizades foram criadas, muitas cervejas foram tomadas e inúmeras risadas foram dadas. Isso ajudou a descansar a mente durante esse período de tantos trabalhos e estudos que foi o curso de Engenharia de Produção.

Agradeço a Deus, primeiramente, por bênçãos diárias, pela saúde, determinação e disciplina concedidas, e por me guiar por esse caminho.

Ao meu professor e orientador, Márcio, que muito me ajudou, tanto nas matérias cursadas e nos obstáculos ao longo da formação, quanto no desenvolvimento do TCC, o qual não seria possível sem sua presença, muito obrigado.

Agradeço à minha família, minha namorada e meus amigos, que sempre estiveram presentes ao longo deste caminho, nos momentos felizes e nos mais difíceis, com bastante suporte e confiança, em especial à minha irmã Rafaela, que foi fundamental na elaboração do TCC.

E, por fim, obrigado aos meus colegas de sala, aos membros da SEEPRO e da Mais que dividiram tempo comigo nesses segmentos, aos colegas de trabalho que tive onde estagiei e aos ótimos professores da UFJF com quem tive o prazer de aprender. Foi muito bom conhecer e trabalhar com vocês.

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo elaborar uma proposta de plano agregado de produção para a fábrica da Laiá Acessórios, que produz bijuterias e semijoias e está situada em Divinópolis – MG. Para a modelagem matemática, foram coletados dados referentes à fabricação dos itens, presencialmente, durante um mês e, posteriormente, as peças foram agrupadas em famílias que apresentavam semelhança na sua produção. Foi definida a capacidade da fábrica de acordo com os dados coletados e cálculos feitos e, a seguir, foi desenvolvido o modelo matemático, com o auxílio do software LINDO/PC (versão 6.1), alimentando o plano de produção, que possui o horizonte de planejamento de janeiro de 2024 a dezembro de 2024 e as restrições de balanceamento de material e de limite da produção regular. Os custos da função objetivo foram normalizados, o que fez com que não fosse transmitida a realidade financeira do plano, somente um direcionamento de acordo com o valor resultante (2910,659). Além da proposta de plano, foram desenvolvidos planos alternativos, com restrições que consideravam algumas particularidades da fábrica, os quais foram comparados com o plano original e analisados. A fábrica apresenta folga de capacidade em alguns meses, o que abre alguns caminhos de oportunidade, que foram discutidos no trabalho.

Palavras-chave: Planejamento e Controle da Produção; Plano agregado da produção; Fábrica de acessórios.

ABSTRACT

The present study aims to develop a proposal for an aggregate production plan for the Laiá Acessórios factory, which produces costume jewelry and semi-jewelry and is located in Divinópolis – MG. For mathematical modeling, data regarding the manufacture of the items were collected in person for a month and, subsequently, the pieces were grouped into families that showed similarity in their production. The factory capacity was defined according to the data collected and calculations made and then the mathematical model was developed, with the help of the LINDO/PC software (version 6.1), feeding the production plan, which has a horizon of planning from January 2024 to December 2024 and the material balancing and regular production limit constraints. The costs of the objective function were normalized, which meant that the financial reality of the plan was not transmitted, only guidance according to the resulting value (2910.659). In addition to the plan proposal, alternative plans were developed, with constraints that considered some particularities of the factory, which were compared with the original plan and analyzed. The factory has capacity slack in some months, which opens up some opportunities, which were discussed at this work.

Keywords: Planning and production control; Aggregate production plan; Accessories factory.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo mais completo entre as famílias 27

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Valores dos tempos de produção obtidos, em segundos 29
Quadro 2 – Unidades da família *i* que podem ser produzidas por um operário no período t ... 30
Quadro 3 – Valores das demandas das famílias por período, em unidades 31
Quadro 4 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 34
Quadro 5 – Plano de produção da família C 34
Quadro 6 – Análise de sensibilidade das restrições de limite da produção regular 35
Quadro 7 – Valores de alguns dos maiores *dual prices* do plano 36
Quadro 8 – Valores de alguns dos menores *dual prices* do plano 37
Quadro 9 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 2 38
Quadro 10 – Plano de produção 2 das famílias G, H, I, J e K 39
Quadro 11 – Plano de produção 1 das famílias B, C, D e F 39
Quadro 12 – Plano de produção 2 das famílias B, C, D e F 40
Quadro 13 – Plano de produção 1 da família L 40
Quadro 14 – Plano de produção 2 da família L 40
Quadro 15 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 3 41
Quadro 16 – Plano de produção 1 das famílias B, C, D, F e L 42
Quadro 17 – Plano de produção 2 das famílias B, C, D, F e L 42
Quadro 18 – Plano de produção 3 das famílias B, C, D, F e L 43
Quadro 19 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 4 47

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Demandas e produções da família B nos diferentes planos 43
Gráfico 2 – Demandas e produções da família C nos diferentes planos 44
Gráfico 3 – Demandas e produções da família D nos diferentes planos 44
Gráfico 4 – Demandas e produções da família F nos diferentes planos 45
Gráfico 5 – Demandas e produções da família L nos diferentes planos 45
Gráfico 6 – Demandas e produções da fábrica nos diferentes planos 46
Gráfico 7 – Capacidade disponível e realizada da fábrica nos diferentes planos 47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 13

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 13
1.2 JUSTIFICATIVA 14
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 15
1.4 OBJETIVOS 17
1.5 METODOLOGIA 17
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 19

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 21

2.1 INDÚSTRIA DE GEMAS E ACESSÓRIOS 21
2.2 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO 22

3. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA O PLANO AGREGADO 26

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO 26
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO 26
3.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO 28
3.4 SAÍDAS DO MODELO E ANÁLISES 33
3.5 RESULTADOS ALCANÇADOS 48
3.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS 49

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS 51

REFERÊNCIAS 53

ANEXO A – MODELO MATEMÁTICO LINDO 55

ANEXO B – MODELO DE FICHA TÉCNICA ATUAL 57

ANEXO C – SUGESTÃO DE VERSO PARA A FICHA TÉCNICA 59

ANEXO D – TERMO DE AUTENTICIDADE..... 60

ANEXO E – DECLARAÇÃO DA EMPRESA 61

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos dias atuais, é imprescindível que uma empresa, de qualquer setor que seja, busque o máximo de eficiência possível em sua produção e nos processos produtivos, para poder competir num mercado aquecido e disputar clientes que estão cada vez mais exigentes, dado que a competitividade cada vez mais acirrada e globalizada tem forçado as empresas a desenvolver produtos com maior qualidade em um menor tempo (BUTTON, 2014).

Segundo Leite (2007), o segmento de empresas fabricantes de joias é composto, basicamente, por empresas de pequeno e médio porte. Além disso, Ribeiro (2011) afirma que existe um elevado grau de informalidade nos segmentos de extração e comercialização de pedras preciosas. Isso indica que muitas organizações dessa indústria não têm noção de sua capacidade produtiva e não planejam a produção com base em sua força de trabalho. Tal característica implica em várias desvantagens, como atrasos de pedidos, altos níveis de estoques e ineficiência da fábrica de modo geral.

Pensando nisso, o planejamento da produção é fundamental para que a organização alcance níveis satisfatórios de qualidade e quantidade a se produzir e indicadores como o tempo da produção de uma peça ou produto, os níveis de desperdício e o atendimento à demanda prevista para um horizonte de tempo, sempre com o objetivo de minimizar os custos, pois na ótica de Arantes (1998), a função de planejamento é prioritária ao se comparar com outras funções gerenciais. Dela necessitam tanto a direção quanto o controle.

A Laiá Acessórios, empresa onde se deu a realização deste estudo, faz parte da indústria de bijuterias e semijoias e, por isso, está sujeita às tendências da moda, o que ocasiona em dificuldades no planejamento, como a imprevisibilidade presente nas diferentes coleções e a dinamicidade do mundo da moda.

Tais fatores que dificultam o planejamento foram uma grande motivação pessoal para o desenvolvimento deste estudo, além do fato de se tratar de uma empresa familiar, contendo muito valor simbólico, e do fato de não existirem muitos estudos focados em planejamento de produção nesta indústria. Ademais, foi relatada pela proprietária uma falta de conhecimento por parte da empresa de características como a capacidade de produção necessária para se produzir os itens. Buscou-se, portanto, mitigar esse problema também.

Ao fim do trabalho, o leitor terá visibilidade do impacto gerado e dos obstáculos encontrados, bem como adquirirá conhecimento quanto ao plano agregado de produção, suas características e possíveis alternativas, além de entender um pouco das particularidades da moda e de como isso influencia no planejamento da produção e na modelagem matemática de um plano de longo prazo para a indústria de bijuterias e semijoias.

Além disso, buscou-se apresentar para a empresa os benefícios que o trabalho e seus resultados puderam oferecer para a empresa, como um maior conhecimento acerca da produção da fábrica e embasamento nas decisões, possíveis caminhos a serem explorados pelo setor de vendas buscando aumentar as taxas de produção, sem necessidade de contratação de novo funcionário para a produção.

1.2 JUSTIFICATIVA

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia de Produção (Abepro), uma das áreas do conhecimento relacionadas à Engenharia de Produção é a Engenharia de Operações e Processos da Produção, que abrange a subárea de Planejamento, Programação e Controle da Produção. Porém, na perspectiva dessa subárea, não se encontram muitos trabalhos científicos focados na indústria de bijuterias e semijoias, o que faz com que o estudo do tema possa acrescentar à comunidade científica.

Além disso, numa caracterização do setor de gemas, joias e metais preciosos feita pelo SENAI, estima-se que 93% das empresas do setor sejam de micros e pequenos empresários. Isso fortalece o argumento de que muitas vezes tais organizações não vão priorizar assuntos como o PCP, ou que isso talvez nem mesmo seja do conhecimento das empresas.

Apesar da falta de priorização ou não conhecimento do Planejamento e Controle da Produção por parte das empresas, os benefícios gerados pelo uso das ferramentas do PCP podem compensar o esforço e tempo dedicados a isso. Para elaborar um planejamento de longo prazo, por exemplo, é necessário planejar, como o nome já diz. Ao passar por esse processo, as indústrias investem seu valioso tempo, mas, no final, têm em suas mãos um plano que apoia na tomada de decisões referentes à produção.

Dito isso, é razoável considerar que a realização de um trabalho na área pode ajudar em grande escala uma empresa de pequeno porte desse setor, entregando mais autonomia e conhecimento sobre sua produção e sua capacidade, e fornecendo ferramentas que permitam planejar melhor a produção.

Os dados mais recentes do Instituto Brasileiro de Gemas e Metais - IBGM - (2018) sobre a cadeia produtiva de gemas, joias e afins mostram, reafirmando a grandeza do setor, que:

- em 2018, no Brasil, o setor empregou 76.542 trabalhadores, sendo o comércio, responsável por 58% dos postos de trabalho;
- o número de estabelecimentos manteve-se próximo a 14.000;
- o valor exportado de gemas, joias e bijuterias é de, aproximadamente, US$ 254 milhões;
- ao analisar o mercado doméstico é possível perceber que as vendas do varejo, em 2018, atingiram R$ 12,6 bi e, até 2023, espera-se que este número ultrapasse R$ 13 bilhões.

Tais dados elucidam a relevância e o impacto que a indústria em questão tem no mercado brasileiro, além de se tratar de produtos e acessórios que envolvem o bem-estar do consumidor, o que reforça a importância social de uma empresa do setor.

Todos esses aspectos foram considerados para a escolha do tema. Ademais, o fato de se tratar de uma empresa familiar também foi de grande importância para tal, dado que o conhecimento da fábrica e da operação é um fator que pode ajudar no desenvolvimento do estudo.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O trabalho foi desenvolvido na fábrica da Laiá Acessórios, que produz bijuterias e semijoias e se encontra na cidade de Divinópolis - MG.

Na coleta dos tempos de produção, foram considerados os tempos médios como determinísticos, apesar de serem probabilísticos. Ao produzir uma mesma peça repetidas vezes, pode ser que o funcionário responsável por determinada etapa gaste um tempo diferente para cada repetição, mas o método disponível para adequar esse dado é calcular a média de tempo gasto nas repetições.

Os produtos foram agrupados em famílias que apresentassem similaridade quanto aos recursos requeridos e à carga de trabalho utilizada, o que pode trazer incertezas para o modelo. Ademais, um ponto de limitação no que tange à agregação dos itens é o ponto de vista dos funcionários da fábrica, que tendem a pensar na semelhança das peças em termos de design e acabamento. Isso pode enviesar alguma agregação a ser feita, se baseando nas opiniões dessas pessoas.

A sazonalidade dos produtos, devido aos diferentes lançamentos e coleções, faz com que eles tenham ciclos de vida curtos. Além disso, faz com que o catálogo de produtos da

empresa apresente grande variedade e cresça mais a cada nova coleção. Tal fato impacta os cálculos de tempo médio de determinada etapa para certa família, dado que a próxima coleção não necessariamente apresentará os mesmos produtos da atual.

Os processos produtivos da fábrica em questão apresentam operações externas (terceirizadas), como banho e solda. Pela dependência do fornecedor, a empresa não tem muito controle sobre esses processos e seus prazos, o que pode influenciar na carga de trabalho avaliada.

Este estudo se limitou ao uso de restrições para a modelagem com base nos dados coletados durante parte dos meses de julho e agosto de 2024, em alguns momentos, através de entrevistas. Como os processos da fábrica não possuem, por completo, padronização e mapeamento, algumas restrições foram ajustadas para simplificação do modelo.

Um ponto que se mostra como limitação é que nas coleções seguintes vão existir produtos inéditos, o que pode fazer com que os tempos calculados, a partir da coleta de dados, para cada família, apresentem variações. Isso torna necessário que a fábrica passe a fazer essa medição de tempos dos produtos constantemente, para que uma mudança brusca nas tendências não altere significativamente o tempo de produção de certa família considerado por este estudo.

A coleta de tempos do trabalho, como já citado, teve um tempo limitado. Além disso, nos dias de coleta, não necessariamente seriam feitos produtos de todas as famílias, pois isso dependia da organização da fábrica. Por isso, não foram coletados os tempos de todas as famílias passando por todas as etapas. Isso fez com que fosse necessário estimar, de acordo com o que foi coletado e calculado, os tempos-padrão de etapas em que não houve coleta, para algumas famílias.

O modelo matemático utilizado para o plano de produção foi simplificado por conta da disponibilidade de dados por parte da fábrica, usando custos somente de estoque, sem considerar custos com produção regular, por exemplo, com horário extraordinário e com subcontratação. Isso deixa o modelo sem escape num período em que a demanda é maior que a capacidade produtiva e o faz, necessariamente, estocar no período em questão. O modelo, além disso, leva em conta a força de trabalho regular da fábrica como constante.

Ademais, o custo de estoque utilizado não foi o custo de estoque real (custo de estocar uma unidade do produto em questão num determinado período), pelo fato de a fábrica não possuir tal informação. O parâmetro usado foi normalizado de acordo com o custo com material dos produtos, da seguinte forma: a família que apresenta a maior média de custos com material dos seus produtos passou a ter valor de custo de estoque igual a 1. Tais custos das demais

famílias foram calculados proporcionalmente aos seus custos com material, tendo resultado entre 0 e 1.

1.4 OBJETIVOS

Teve-se como pretensão, com o trabalho, elaborar um plano de produção de longo prazo para uma fábrica de acessórios de pequeno porte que produz bijuterias e semijoias em Divinópolis - MG.

Como objetivos específicos, decorrentes do objetivo principal, buscou-se agregar os produtos em famílias de acordo com seus processos produtivos, estudar os tempos de produção de cada processo, definir a capacidade produtiva da fábrica e sugerir mudanças que torne possível que a fábrica tenha mais previsibilidade.

1.5 METODOLOGIA

No trabalho em questão, inicialmente, foi feita uma revisão bibliográfica, com intuito de estudar sobre a produção de bijuterias, acessórios e outras manufaturas, sobre plano de produção e agregação de produtos e de famílias de produtos. Além disso, buscou-se pesquisar também sobre tempos e movimentos, capacidade dos recursos, e, por fim, sobre células e linhas de produção em manufaturas.

O objetivo desta revisão era definir algumas premissas básicas para a elaboração do trabalho e descobrir qual a melhor forma para fazer o plano agregado e o modelo utilizado, buscando responder, entre outras, as seguintes perguntas:

- Quais famílias de produtos seriam usadas? Como agregar os produtos?
- Qual a maneira adequada para medir os tempos de produção?
- Após medir os tempos, como seria definida a capacidade?
- Como os processos produtivos seriam estudados?

A revisão foi feita consultando fontes nacionais e internacionais, principalmente com trabalhos como livros e artigos. No caso destes, pretendia-se priorizar os publicados em revistas de Engenharia de Produção ou congressos e que haviam sido publicados a partir de 2013. Porém, pela falta de abundância de estudos na área, foi necessário buscar fontes que ultrapassaram esta fronteira.

Para a construção do planejamento agregado da produção, após a revisão bibliográfica, foi feita a coleta de dados, presencialmente, durante um mês. Foram coletados dados quantitativos e qualitativos, de acordo com o que cada etapa do projeto requeria.

Foi realizada uma pesquisa documental, buscando fichas técnicas e outros documentos para fazer o levantamento das famílias dos produtos, assim como construção dos fluxogramas dos processos, que também levaram em consideração dados coletados em entrevistas com a proprietária e os funcionários da fábrica.

Foram coletados os tempos de produção de cada família para cada centro de trabalho presente na fábrica, para, posteriormente, calcular as capacidades requeridas de acordo com os tempos. O estudo trata de um processo produtivo manual e muito detalhista, o que faz o produto passar por várias operações.

Para tal etapa (coleta dos tempos), o estudo tomou como base a publicação de Barnes (1977 apud BAHR et al., 2012), que divide a tomada dos tempos e movimentos, dependendo do tipo de operação a ser analisada, em oito passos básicos:

- obtenha e registre informações sobre a operação e o operador em estudo;
- divida a operação em elementos e registre uma descrição completa do método;
- observe e registre o tempo gasto pelo operador;
- determine o número de ciclos a serem cronometrados;
- avalie o ritmo do operador;
- verifique se foi cronometrado um número suficiente de ciclos;
- determine as tolerâncias;
- determine o tempo-padrão para a operação.

Para reunir informações sobre a capacidade disponível dos recursos e a capacidade requerida pelos produtos, nas entrevistas com a proprietária foram pautados tópicos como o horário de trabalho dos funcionários da produção e, em adição, foi usada a coleta dos tempos das operações para entendimento do consumo de recursos.

Foram estudados os processos de fabricação dos diferentes tipos de acessórios, bem como os tempos envolvidos na produção. De acordo com os recursos disponíveis, foi feito um cálculo de capacidade. E levando em consideração a previsão de demanda informada pela proprietária da fábrica e as restrições e custos da produção, foi elaborado, posteriormente, um plano agregado de produção.

O agrupamento das peças foi feito de forma que numa mesma família se encontrem produtos de produções semelhantes. Isto é, com processo produtivo e consumo de recursos semelhantes. A capacidade requerida das famílias foi calculada como sendo a média das capacidades requeridas dos produtos da família.

Os tempos coletados foram registrados em tabelas separadas por famílias de produtos e, para determinação do tempo-padrão de cada operação para cada família, como já citado, foi calculada uma média levando em conta todas as observações e as particularidades de cada centro de trabalho, além de estimativas de tempos para dados faltantes, de acordo com as medições coletadas.

Após reunir e analisar essas informações, foi elaborado o modelo matemático. Para tal, foi usado como referência o estudo de Sipper e Bulfin Jr. (1997), que apresenta como proposta uma função objetivo que minimiza, ao longo do horizonte de planejamento, os custos da produção e da força de trabalho regular, da variação da força de trabalho, de materiais, de trabalho extraordinário e de capacidade externa. O horizonte de planejamento utilizado foi de um ano (janeiro a dezembro de 2024).

A partir das saídas do modelo, obtidas com o software LINDO/PC (versão 6.1), os dados foram organizados num plano agregado de produção, que foi entregue à fábrica, em conjunto com planos alternativos com alguns ajustes, e comparações entre os planos, além de análises aprofundadas sobre a capacidade de produção, os recursos mais críticos e os gargalos. Além disso, foi dado suporte no entendimento dos planos e sugestões de implementação, bem como sugestões de melhoria em pontos observados ao longo da execução do trabalho.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em quatro capítulos. Este primeiro capítulo, introdutório, busca apresentar o contexto do estudo, demonstrando a relevância do tema e justificando a sua escolha. Além disso, destaca os objetivos do trabalho e métodos utilizados, além de pontuar sobre seus limites de aplicação.

O segundo capítulo apresenta uma revisão bibliográfica, com a presença da fundamentação teórica que embasou o estudo. Foram apresentadas as discussões e o que se tem estudado sobre o assunto, além de materiais que deram suporte aos métodos, cálculos, e análises feitas.

O capítulo três trata do processo de desenvolvimento do trabalho e detalha cada passo desde a coleta de dados até o momento em que foi construída e feita a entrega final, o plano agregado da produção.

Por fim, o quarto capítulo apresenta os resultados obtidos com o estudo de acordo com o objetivo central, assim como as análises e conclusões sobre o que foi feito. Além disso, foi

avaliado o atingimento ou não dos objetivos específicos do trabalho e foram apontadas sugestões para estudos próximos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Ao explorar a literatura, percebe-se uma grande escassez de estudos sobre planejamento e controle da produção em fábricas de acessórios e bijuterias. Restringindo a busca ao Planejamento Agregado nessa indústria, o leque se torna ainda mais pobre. Apesar disso, existem vários estudos nessas áreas de forma apartada. Isto é, no âmbito do PCP em outras indústrias, e no âmbito da indústria de acessórios, mas sem o foco em PCP ou Planejamento Agregado. Sendo assim, a fundamentação teórica deste tipo de fábricas foi feita de forma mais ampla, buscando caracterizar o setor e avaliar informações pertinentes para este trabalho como um todo.

2.1 INDÚSTRIA DE GEMAS E ACESSÓRIOS

A cadeia produtiva em questão compreende o garimpo, a indústria de lapidação, os artefatos de pedras, a indústria joalheira e de folheados, as bijuterias, as matérias-primas e os equipamentos usados no processo de produção, além das atividades relacionadas à incorporação de design aos produtos. O setor de gemas, joias e metais preciosos é um dos mais complexos do País, principalmente porque existe um elevado grau de informalidade nos segmentos de extração e comercialização de pedras preciosas (RIBEIRO, 2011).

Leite (2007) também pontua bastante sobre a informalidade, ao dizer que o segmento de empresas fabricantes de joias é integrado, basicamente, por empresas de pequeno e médio porte. E que se estima que a informalidade seja superior a 50% do mercado, tanto na produção quanto na comercialização. No que se refere à comercialização informal, os vendedores autônomos (principalmente as “sacoleiras”) têm forte participação.

A elevada carga tributária tem contribuído para o aumento da informalidade. Além disso, os mecanismos governamentais nas áreas fiscal, tributária, trabalhista e previdenciária não têm sido eficazes e estimulantes à formalização e à legalização de seus negócios (LEITE, 2007).

Apesar dos gargalos e muitos pequenos negócios, de acordo com Ribeiro (2011), é um setor que gera, relativamente, muitos postos de trabalho. Segundo dados do IBGM (2018), em 2018 o setor empregou 76.542 trabalhadores, sendo o comércio, responsável por 58% dos postos de trabalho. Em 2017, a Fabricação de Bijuterias e Artefatos Semelhantes, categoria em

que se encaixa a empresa deste estudo, apresentava 853 estabelecimentos e contava com 6.486 trabalhadores.

Em concordância com Leite (2007), os principais pontos fracos do Arranjo Produtivo Local de Gemas e Joias do Distrito Federal são: alto índice de informalidade, dificuldade de acesso a financiamentos, insegurança dos empresários do APL, baixa integração entre as empresas do setor, escassez de políticas públicas de incentivo e apoio ao setor, deficiências de gestão empresarial, mão de obra empregada pouco qualificada ou sem o perfil desejado. Ampliando o espaço de estudo, sugere-se que essa interpretação possa ser estendida para a indústria nacional.

Ademais, Ribeiro (2011) fala sobre a elevada volatilidade do setor em relação ao desempenho da economia mundial. Principalmente no que tange aos segmentos de produtos supérfluos como pedras preciosas e joias, qualquer crise econômica afeta diretamente as vendas desses segmentos.

Dito isso, a falta de estudos relacionados a PCP nesta indústria pode ser explicada por esses tópicos levantados, principalmente a informalidade presente no setor e a predominância de empresas de pequeno e médio porte. Esses são pontos que fortalecem a hipótese de que essas fábricas também carecem de planejamento de longo prazo.

2.2 PLANEJAMENTO AGREGADO DA PRODUÇÃO

Segundo Lustosa et al. (2008), as atividades do PCP devem seguir uma hierarquia, com a ordem de Planejamento Agregado, Planejamento Mestre da Produção (MPS), Planejamento das Necessidades de Materiais (MRP) e Programação Detalhada da Produção, para, somente depois, ser desdobrada aos níveis de fabricação e distribuição.

O presente trabalho terá foco na primeira etapa, contida no Planejamento de Longo Prazo, que é o Planejamento Agregado e apresenta como saída principal o Plano de Produção Agregado, que servirá de insumo para a próxima etapa dos níveis hierárquicos do PCP.

De acordo com Sipper e Bulfin Jr. (1997), quando a demanda varia, os níveis de produção desejados não são óbvios. Deve-se determinar um plano de produção - quanto e quando fazer cada produto. O objetivo é igualar a taxa de produção e a taxa de demanda, para que os produtos sejam feitos quando necessário.

O planejamento agregado concentra-se em problemas de planejamento de produção de alcance intermediário. Nesse nível de planejamento, é considerada uma unidade agregada e não

um produto individual. A unidade agregada é definida por alguma medida comum a todos os produtos, como horas de produção ou dólares. Fatores de planejamento agregado incluem capacidade, custos de produção, custos de mudança de capacidade e custos de estoque (SIPPER e BULFIN JR., 1997).

Alguns autores estudaram modelos de Plano Agregado distintos, que possuem algumas diferenças entre si, como é o caso de Hopp e Spearman (2013), que apresentam um problema por meio da programação linear para maximizar o lucro líquido menos os custos de estoque, com limites máximos e mínimos nas restrições para as vendas e para a capacidade, o que diverge do modelo em que o presente estudo se baseia.

O modelo matemático de Plano de Produção Agregado a ser utilizado será de minimização dos custos de produção e estoque, pelo fato de proceder dos custos envolvidos. No caso do modelo de maximização, existe a dependência do valor de venda dos produtos, o que pode apresentar mais variações e influências por fatores externos, fato que torna o modelo mais complexo para se trabalhar.

O modelo a ser usado, que é baseado nos estudos de Sipper e Bulfin Jr. (1997), é o de múltiplos produtos. O plano tem como fim minimizar o custo de produção e de estocagem no horizonte de planejamento, e apresenta os parâmetros (os valores dos parâmetros são conhecidos), já simplificados de acordo com a realidade da fábrica:

- Parâmetros Gerais
  - T = comprimento do horizonte de planejamento em períodos;
  - N = nº de produtos ou famílias;
  - t = índice dos períodos (t = 1, 2, 3, …, T);
  - i = índice de produtos/famílias (i = 1, 2, 3, …, N);
  - F_{it} = previsão de demanda do produto i para o período t.
- Produção e Força de Trabalho Regular
  - n_{it} = nº de unidades do produto i que podem ser produzidas por um operário no período t;
  - W_0 = nº inicial de trabalhadores no início do horizonte de planejamento;
  - c_{it}^{P} = custo de produção regular de uma unidade do produto i no período t, em horário regular;
  - c_t^{W} = custo de um trabalhador no período t.
- Materiais
  - E_{i0}= nível de estoque do produto i no início do horizonte de planejamento (estoque legado);
  - c_{it}^{E} = custo de estocar uma unidade do produto i no período t.
- Variação da Força de Trabalho
  - c_{it}^{C}= custo de contratação de um funcionário no período t;

- c_{it}^{D} = custo de demissão de um funcionário no período *t*.

O mesmo modelo utiliza as seguintes variáveis (os valores das variáveis são desconhecidos):

- Produção e Força de Trabalho Regular
  - P_{it}= nº de unidades do produto *i* produzidas em horário regular no período *t*;
  - W_t= nº de trabalhadores disponíveis no período *t*.
- Materiais
  - E_{it} = nº de unidades em estoque do produto *i* no final do período *t*.
- Variação da Força de Trabalho
  - C_t = nº de trabalhadores contratados do período *t*;
  - D_{it} = nº de trabalhadores demitidos do período *t*.

O modelo base do estudo apresenta como função objetivo:

Min $\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}(c_{it}^{P}P_{it} + c_t^{W}W_t + c_{it}^{E}E_{it} + c_t^{C}C_t + c_t^{D}D_t)$.

Por fim, o modelo tem as seguintes restrições:

- Balanceamento de Material
  $E_{it} = E_{it-1} + P_{it} - F_{it}$; para *t* = 1, 2, 3, ..., *T*; *i* = 1, 2, 3, ..., *N*.

- Limite da Produção Regular
  $\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{n_t}\right)P_{it} \leq W_t$; para *t* = 1, 2, 3, ..., *T*.

- Não Negatividade
  $P_{it}, E_{it} \geq 0$, para *t* = 1, 2, 3, …, *T*; *i* = 1, 2, 3, …, *N*.

Em linhas gerais, o modelo a ser utilizado de Plano de Produção com Múltiplos Produtos, de acordo com Sipper e Bulfin Jr. (1997), busca minimizar o custo total no horizonte de planejamento, com os Parâmetros e Variáveis acima, assim como Função Objetivo e Restrições. Podem ser inseridas outras variáveis e parâmetros nesse modelo inicial, de acordo com a realidade e as particularidades da produção da fábrica onde se dará o estudo.

É importante destacar que, além das saídas do modelo referentes às variáveis, a informação de *dual price* (ou *shadow price*) também foi utilizada para enriquecer as análises feitas. O *shadow price* representa o quanto se deixa de ganhar por não se dispor de uma unidade

a mais das variáveis restritivas e é relevante ao avaliar as restrições e gargalos presentes no modelo, bem como as folgas do mesmo.

Inúmeras são as aplicações do Planejamento Agregado. Foram selecionadas algumas relevantes de se ressaltar. Diversas decisões importantes dependem de um plano de longo prazo, como por exemplo, decisões de compras e de marketing. No caso de compras, os contratos com fornecedores são, muitas vezes, negociados com bastante antecedência em relação às ordens de compra. Assim, as decisões relativas aos contratos e compras com longos lead times precisam ser tomadas com base em um plano de longo prazo (HOPP e SPEARMAN, 2013, p. 529).

Ainda segundo Hopp e Spearman (2013), o pessoal de marketing precisa tomar decisões sobre quais produtos serão vendidos com promoções com base nas previsões de vendas, na demanda e no conhecimento da capacidade da fábrica para todas as linhas. Um plano de produção de longo prazo incorpora as mudanças possíveis na capacidade.

Outras aplicações do Planejamento Agregado são o cálculo e a definição das capacidades produtivas do local estudado, conforme apresentado anteriormente. Bons exemplos de onde foram executados tais procedimentos são os trabalhos de Amaral (2014) e Lara (2003). O trabalho de Amaral consiste num estudo de campo que visava a elaboração de uma proposta de planejamento agregado na indústria produtora de meias. Foi feita a agregação dos produtos em famílias e a previsão de demanda por famílias de produtos, além de serem calculadas as capacidades projetadas e efetivas e a disponibilidade. Foi feito um primeiro plano agregado, inicialmente, e após isso foi desenvolvida uma proposta alternativa, sendo feita a comparação dos planos. O trabalho de Lara também traz como tema principal o planejamento agregado da produção, em que se aplica na prática a modelagem de um plano agregado para uma agroindústria de produtos suínos. Ambos os estudos, por trabalharem com o planejamento de longo prazo, também têm um foco no que diz respeito aos tempos e à capacidade.

3. O MODELO DE PROGRAMAÇÃO MATEMÁTICA PARA O PLANO AGREGADO

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

Fundada em 2010, em Divinópolis – MG, a Laiá Acessórios surgiu de uma produção individual de sua proprietária, formada em moda. Com vontade de continuar esse projeto e dar mais visibilidade para as peças desenvolvidas, foi montada uma loja física e o time, tanto da produção quanto da loja, vem crescendo, com o intuito de entregar bijuterias e semijoias de qualidade para o público. A marca fabrica colares, brincos, pulseiras, anéis, presilhas, arcos, conjuntos e outros tipos de acessórios.

Hoje, a Laiá conta com alguns canais de venda e distribuição que ultrapassam a fronteira da loja física. Esta, que é uma loja de varejo, atende também a lojistas que desejam revender a marca. Além disso, a empresa tem representantes de vendas em oito estados e no Distrito Federal, bem como o *e-commerce*, com vendas no site da marca, a participação numa feira de lojistas semestral, o que ocupa um espaço representativo da produção do ano e, por fim, faz *private label*, que consiste na produção para uma outra empresa, fabricada de acordo com as especificações desse cliente, que vende o produto como sua própria marca.

Para planos futuros, uma ideia é a possível abertura de franquias, o que aumentaria ainda mais o alcance da marca. Tendo a distribuição sido aumentada nos últimos anos, a necessidade de produzir mais, de forma planejada, se tornou clara, pelo fato da empresa nunca ter tido um olhar voltado para produção, e sim para o design das peças, como foi relatado pela proprietária.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO PRODUTIVO

O processo de produção da Laiá Acessórios consiste num trabalho manual por parte dos funcionários da produção, com alto nível de detalhes de acabamento, de acordo com a peça produzida. Das famílias de produção criadas, existem algumas diferenças no fluxo, pois algumas não passam por determinados postos de trabalho. A figura 1 ilustra o fluxograma da produção da família L, que passa por todas as etapas presentes na produção e é a mais completa dentre as famílias.

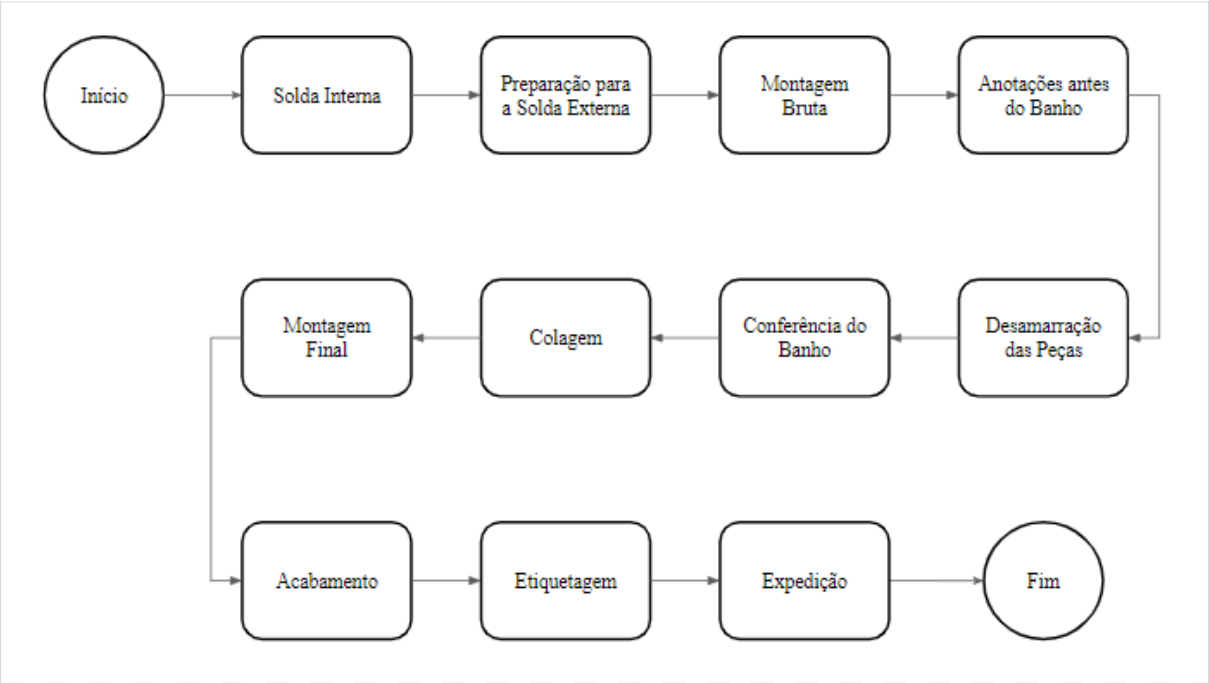

Figura 1 – Fluxograma do processo produtivo mais completo entre as famílias

Fonte: Autoria própria

A etapa de solda interna consiste na soldagem, por parte dos funcionários da fábrica, das peças brutas. A preparação para a solda externa acontece pelo fato de que a solda externa é terceirizada, então é necessário organizar e contar os itens que estão sendo enviados ao terceiro. Após as soldas, existe a montagem bruta, que é feita antes do produto ser banhado.

Ao passar por essas etapas, o produto é enviado para o banho, que é outra etapa terceirizada, que não foram consideradas no estudo por esse motivo. Para enviar a peça para o banho, são necessárias anotações de peso e quantidade de peças, pois esse envio é feito em lotes maiores. Ao voltar do banho, as peças ficam amarradas em arames, que são usados para mergulhar as peças nos banhos, e o próximo centro de trabalho considerado é a desamarração dessas peças. Após isso, é feita a conferência do banho, para avaliar se as peças estão de acordo com o que foi pedido o quanto de perda ocorreu, ao se comparar com as anotações feitas antes do banho, pelo fato de que no banho, algumas peças são danificadas.

Após receber sua nova cor, o produto passa pela etapa de colagem, onde é feito o anexo de pérolas, pedras, strass, zircônias, entre outros. A montagem final é realizada, de acordo com as particularidades do produto, sendo a etapa em que é feito o corte das correntes, por exemplo. Para dar fim ao processo de produção, a peça passa pelo acabamento, onde são feitos os retoques finais. Após esse processo, todos os produtos passam pela etiquetagem, onde são anexados à

etiqueta da marca, e pela expedição, etapa que os inclui no estoque do sistema gerencial da empresa.

3.3 DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO

Para a elaboração do modelo matemático que baseou o plano de produção, foram necessárias etapas anteriores para obtenção de parâmetros que iriam compor o modelo, alguns já citados anteriormente.

Para o agrupamento dos itens em famílias de produção, em conjunto com a proprietária da empresa, foram criadas 12 famílias, que levam em consideração as semelhanças presentes no processo produtivo para inserir um produto na família. Foram consideradas semelhanças no roteiro (produtos que passam pelos mesmos postos de trabalho) e no tempo demandado para a produção, dado que algumas peças ficam muito mais que outras em determinada etapa da produção.

Não foram agregados na mesma família, no entanto, produtos de *design*s similares, dado que o foco para o agrupamento é a carga de trabalho utilizada para a produção dos itens. Ou seja, numa mesma família, existem brincos, pulseiras e colares parecidos, pois não importa essa semelhança desde que os produtos tenham roteiros semelhantes. Com isso, foram definidas as seguintes famílias:

A - Família Completa Rápida;

B - Família Completa Demorada;

C - Família Completa, sem Solda Externa, Rápida;

D - Família Completa, sem Solda Externa, Demorada;

E - Família Completa, sem Soldas, Rápida;

F - Família Completa, sem Soldas, Demorada;

G - Família Terceirizada, com Colagem e Montagem, Rápida;

H - Família Terceirizada, com Colagem e Montagem, Demorada;

I - Família Terceirizada, com Colagem, Rápida;

J - Família Terceirizada, com Colagem, Demorada;

K - Família 100% Terceirizada;

L - Família Complexa Demorada;

Após a coleta de tempos e a partir das famílias criadas, foram calculadas as capacidades requeridas das famílias, sendo tal parâmetro definido como a média das

capacidades requeridas dos produtos da respectiva família. A partir disso, os dados foram sintetizados no quadro 1, que contém, para cada família, o tempo-padrão, em segundos, de cada uma das etapas do processo de fabricação. Nos casos dos tempos zerados, os itens da família não passam pela respectiva etapa. Para os centros de trabalho em que os valores são iguais para todas as famílias, isso acontece pois não existe diferenciação nesse processo de acordo com a família do produto em questão.

Etapa / Família	Solda Interna	Preparação para a Solda Externa	Montagem Bruta	Anotações antes do Banho	Desamarração das Peças	Conferência do Banho	Colagem	Montagem Final	Acabamento	Etiquetagem	Expedição	Tempo Total
A	86,98	60,00	110,75	4,71	92,65	4,24	103,62	93,33	80,67	48,16	21,30	706,39
B	194,10	60,00	381,80	4,71	92,65	4,24	138,15	247,59	94,95	40,15	21,30	1279,64
C	88,98	0,00	106,77	4,71	92,65	4,24	74,03	82,74	104,77	30,08	21,30	610,27
D	194,10	0,00	385,80	4,71	92,65	4,24	138,15	247,59	92,95	40,15	21,30	1221,64
E	0,00	0,00	90,42	4,71	92,65	4,24	49,43	127,81	97,63	36,79	21,30	524,97
F	0,00	0,00	381,80	4,71	92,65	4,24	60,31	353,71	95,70	22,19	21,30	1036,60
G	0,00	0,00	106,77	4,71	92,65	4,24	81,03	101,30	92,95	40,15	21,30	545,09
H	0,00	0,00	389,80	4,71	92,65	4,24	138,15	247,59	92,95	40,15	21,30	1031,54
I	0,00	0,00	0,00	4,71	92,65	4,24	83,03	0,00	92,95	40,15	21,30	339,02
J	0,00	0,00	0,00	4,71	92,65	4,24	148,15	0,00	92,95	40,15	21,30	404,15
K	0,00	0,00	0,00	4,71	92,65	4,24	0,00	0,00	0,00	59,68	21,30	182,57
L	194,10	60,00	381,80	4,71	92,65	4,24	148,15	365,71	92,95	40,15	21,30	1405,75

Quadro 1 – Valores dos tempos de produção obtidos, em segundos

Fonte: Autoria própria

Após a definição dos tempos de produção, foram considerados os meses de janeiro a dezembro de 2024 para compor o horizonte de planejamento e, com o intuito de definir o parâmetro n_{it} para cada família em cada período, dividiu-se a quantidade de horas a serem trabalhadas por um funcionário da produção, mês a mês, pelo tempo total gasto por família. Com isso, foram consolidadas no quadro 2, a seguir, as informações referentes a quantidade de peças de cada família que um funcionário consegue fazer, caso fique 100% dedicado a produção dessa família no respectivo mês.

Ao considerar o exemplo da Família A, que tem a capacidade requerida de 706,39 segundos, no mês de janeiro de 2024, considerando a jornada de trabalho semanal de 9 horas diárias de segunda a quinta e 8 horas nas sextas, e subtraindo 15 minutos de café da tarde de todos os dias, calculou-se a quantidade de tempo trabalhado no mês por um funcionário da produção, considerando 18 dias de 9 horas de jornada e 4 dias de 8 horas de jornada, obtendo um total de 678.600 segundos. Ao dividir esse valor pela capacidade requerida, se obteve o resultado de 960,66, que foi arredondado para o valor inteiro inferior, por se tratarem de peças unitárias. Tal cálculo foi replicado para as outras famílias e períodos.

Existem variações da capacidade nos diferentes meses, mesmo que na mesma família, pelo fato de alguns meses terem mais dias úteis do que outros. Isso foi considerado para o cálculo, assim como as particularidades de horário de trabalho da fábrica.

Período / Família	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	mai/24	jun/24	jul/24	ago/24	set/24	out/24	nov/24	dez/24
A	960	871	871	960	910	871	1005	955	916	1005	871	916
B	530	481	481	530	502	481	554	527	505	554	481	505
C	1111	1008	1008	1111	1054	1008	1163	1106	1060	1163	1008	1060
D	555	503	503	555	526	503	581	552	529	581	503	529
E	1292	1172	1172	1292	1225	1172	1352	1285	1232	1352	1172	1232
F	654	593	593	654	620	593	685	651	624	685	593	624
G	1244	1129	1129	1244	1180	1129	1302	1238	1187	1302	1129	1187
H	657	596	596	657	623	596	688	654	627	688	596	627
I	2001	1815	1815	2001	1898	1815	2094	1991	1908	2094	1815	1908
J	1679	1523	1523	1679	1592	1523	1757	1670	1601	1757	1523	1601
K	3716	3371	3371	3716	3524	3371	3889	3697	3544	3889	3371	3544
L	482	437	437	482	457	437	505	480	460	505	437	460

Quadro 2 – nº de unidades da família *i* que podem ser produzidas por um operário no período *t*

Fonte: Autoria própria

A variável de força do trabalho (W_t), como já comentado, foi considerada pelo modelo como constante, pelo fato de que a estratégia da fábrica não pretende diminuir ou aumentar o quadro de funcionários da produção ao longo do horizonte de planejamento. Sendo assim, para todos os períodos, a força de trabalho se manteve como 4 funcionárias, porém a esse valor foi aplicada uma taxa de eficiência de 85%, informada pela supervisão da produção, por levar em conta tempos de limpeza, manutenção, parada e retomada de atividades. Além disso, as férias dos funcionários da produção também foram subtraídas nos respectivos meses de férias, resultando nas seguintes capacidades disponíveis:

Janeiro – 2,55 (3 funcionários com 85% de eficiência);

Fevereiro – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Março – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Abril – 2,975 (15 dias com 4 funcionários e 15 dias com 3, com 85% de eficiência);

Maio – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Junho – 2,975 (15 dias com 4 funcionários e 15 dias com 3, com 85% de eficiência);

Julho – 2,975 (15 dias com 4 funcionários e 15 dias com 3, com 85% de eficiência);

Agosto – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Setembro – 2,975 (15 dias com 4 funcionários e 15 dias com 3, com 85% de eficiência);

Outubro – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Novembro – 3,4 (4 funcionários com 85% de eficiência);

Dezembro – 2,55 (3 funcionários com 85% de eficiência).

Os estoques legados ou estoques iniciais foram definidos como 0, a pedido da responsável pela fábrica, pelo fato de não existir certeza quanto ao estoque das famílias no período em que se iniciará o horizonte de planejamento. As previsões de demanda informadas pela empresa foram organizadas no quadro 3.

Período / Família	jan/24	fev/24	mar/24	abr/24	mai/24	jun/24	jul/24	ago/24	set/24	out/24	nov/24	dez/24
A	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	160
B	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000
C	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200
D	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40
E	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400
F	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400
G	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120
H	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120
I	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	80
J	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120
K	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	320
L	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40

Quadro 3 – Valores das demandas das famílias por período, em unidades

Fonte: Proprietária da Laiá Acessórios

Para compor a função objetivo do modelo, em que somente foi utilizada a variável de estoque, era necessário calcular o custo de se estocar uma unidade da família *i* no período *t*. Como a empresa não possuía tal informação, esse parâmetro que acompanha a variável de estoque foi normalizado, de acordo com os custos com material de cada família, como está detalhado a seguir.

O custo com material das famílias foi definido como a média dos custos com material dos produtos da respectiva família. A partir disso, foi selecionado o maior custo médio com material, que foi o da família L (R$ 20,36), e definiu-se o fator custo de estoque dos produtos da família L como 1. A família A, por exemplo, apresentou custo com material de R$ 8,69. Para definir o fator dessa família, esse custo foi dividido pelo custo da família L (de R$ 20,36), resultando num valor de 0,43. Os fatores das demais famílias foram calculados da mesma forma, tendo seus valores contidos no intervalo de 0 a 1.

A partir dos cálculos feitos e dos parâmetros obtidos, o modelo de plano de produção com múltiplos produtos foi montado, de forma simplificada com relação ao modelo completo apresentado anteriormente, pelos motivos e entraves já discutidos, e sua notação matemática está em sequência:

Função objetivo: Min $\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}(c_{it}^{E}E_{it})$

Sujeito a:

$E_{it} = E_{it-1} + P_{it} - F_{it}$; para t = 1, 2, 3, ..., T; i = 1, 2, 3, ..., N.

$\sum_{i=1}^{N}\left(\frac{1}{n_t}\right)P_{it} \leq W_t$; para t = 1, 2, 3, ..., T.

$P_{it}, E_{it} \geq 0$, para t = 1, 2, 3, …, T; i = 1, 2, 3, …, N.

Após adaptar as variáveis e parâmetros de acordo com a quantidade de famílias presentes no plano com os períodos do horizonte de planejamento, foi usado o software LINDO/PC (versão 6.1) para encontrar a solução ótima do modelo, cujas saídas e análises estão detalhados no próximo capítulo. No anexo A encontra-se o modelo do software, para mais detalhes e maior aprofundamento e, a seguir, foram exemplificadas a função objetivo e cada tipo de restrição para tornar mais claro o entendimento da construção do modelo detalhada acima.

A função objetivo, de Min $\sum_{t=1}^{T}\sum_{i=1}^{N}(c_{it}^{E}E_{it})$, ficou da seguinte forma:

MIN 0,43EA1 + 0,43EA2 + 0,43EA3 + 0,43EA4 + 0,43EA5 + 0,43EA6 + 0,43EA7 + 0,43EA8 + 0,43EA9 + 0,43EA10 + 0,43EA11 + 0,43EA12 + 0,70EB1 + 0,70EB2 + 0,70EB3 + 0,70EB4 + 0,70EB5 + 0,70EB6 + 0,70EB7 + 0,70EB8 + 0,70EB9 + 0,70EB10 + 0,70EB11 + 0,70EB12 + 0,32EC1 + 0,32EC2 + 0,32EC3 + 0,32EC4 + 0,32EC5 + 0,32EC6 + 0,32EC7 + 0,32EC8 + 0,32EC9 + 0,32EC10 + 0,32EC11 + 0,32EC12 + 0,54ED1 + 0,54ED2 + 0,54ED3 + 0,54ED4 + 0,54ED5 + 0,54ED6 + 0,54ED7 + 0,54ED8 + 0,54ED9 + 0,54ED10 + 0,54ED11 + 0,54ED12 + 0,62EE1 + 0,62EE2 + 0,62EE3 + 0,62EE4 + 0,62EE5 + 0,62EE6 + 0,62EE7 + 0,62EE8 + 0,62EE9 + 0,62EE10 + 0,62EE11 + 0,62EE12 + 0,55EF1 + 0,55EF2 + 0,55EF3 + 0,55EF4 + 0,55EF5 + 0,55EF6 + 0,55EF7 + 0,55EF8 + 0,55EF9 + 0,55EF10 + 0,55EF11 + 0,55EF12 + 0,50EG1 + 0,50EG2 + 0,50EG3 + 0,50EG4 + 0,50EG5 + 0,50EG6 + 0,50EG7 + 0,50EG8 + 0,50EG9 + 0,50EG10 + 0,50EG11 + 0,50EG12 + 0,78EH1 +

0,78EH2 + 0,78EH3 + 0,78EH4 + 0,78EH5 + 0,78EH6 + 0,78EH7 + 0,78EH8 + 0,78EH9 + 0,78EH10 + 0,78EH11 + 0,78EH12 + 0,38EI1 + 0,38EI2 + 0,38EI3 + 0,38EI4 + 0,38EI5 + 0,38EI6 + 0,38EI7 + 0,38EI8 + 0,38EI9 + 0,38EI10 + 0,38EI11 + 0,38EI12 + 0,66EJ1 + 0,66EJ2 + 0,66EJ3 + 0,66EJ4 + 0,66EJ5 + 0,66EJ6 + 0,66EJ7 + 0,66EJ8 + 0,66EJ9 + 0,66EJ10 + 0,66EJ11 + 0,66EJ12 + 0,56EK1 + 0,56EK2 + 0,56EK3 + 0,56EK4 + 0,56EK5 + 0,56EK6 + 0,56EK7 + 0,56EK8 + 0,56EK9 + 0,56EK10 + 0,56EK11 + 0,56EK12 + EL1 + EL2 + EL3 + EL4 + EL5 + EL6 + EL7 + EL8 + EL9 + EL10 + EL11 + EL12.

Para a restrição de balanceamento de material ($E_{it} = E_{it-1} + P_{it} - F_{it}$), a linha da família A para o mês de março (do período 3 do horizonte de planejamento) é detalhada a seguir, sendo importante relembrar que a demanda dessa família no respectivo período é de 180 peças, como apresentado no quadro 3, e que a demanda fica sozinha ao lado direito da igualdade por ser o único parâmetro da equação, e dessa forma a saída do modelo é mais facilmente interpretada.

EA3 - EA2 - PA3 = - 180.

Para a restrição de limite da produção regular $\sum_{i=1}^{N} \left(\frac{1}{n_t}\right) P_{it} \leq W_t$ foi usada a linha do período 3 do horizonte de planejamento como exemplo a seguir, sendo importante relembrar que a capacidade no mês de março é de 3,4 funcionários, sendo esse valor resultado da multiplicação de 4 (funcionários da produção) por 0,85 (taxa de eficiência informada). Ademais, os coeficientes que acompanham as variáveis são resultantes da divisão de 1 por n_t (ver valores de n_t detalhados no quadro 2).

0,001148PA3 + 0,002079PB3 + 0,000992PC3 + 0,001988PD3 + 0,000853PE3 + 0,001686PF3 + 0,000886PG3 + 0,001678PH3 + 0,000551PI3 + 0,000657PJ3 + 0,000297PK3 + 0,002288PL3 <= 3,4.

3.4 SAÍDAS DO MODELO E ANÁLISES

Como resultado do modelo matemático, foi organizado o plano agregado de produção, de forma que as saídas do modelo ficassem mais claras do que no software LINDO, por se tratar de um entendimento técnico e que não é de conhecimento comum. O plano resultante da solução ótima apresentou valor da função objetivo de 2910,659 e continha as seguintes folgas de capacidade, detalhadas no quadro 4:

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Limite da Produção Regular 1	1,358	0,000
Limite da Produção Regular 2	1,370	0,000
Limite da Produção Regular 3	0,589	0,000
Limite da Produção Regular 4	0,000	359,712
Limite da Produção Regular 5	1,115	0,000
Limite da Produção Regular 6	0,826	0,000
Limite da Produção Regular 7	1,112	0,000
Limite da Produção Regular 8	1,832	0,000
Limite da Produção Regular 9	0,000	285,714
Limite da Produção Regular 10	0,000	690,411
Limite da Produção Regular 11	0,000	936,119
Limite da Produção Regular 12	0,000	1336,461

Quadro 4 – Valores das folgas e *dual prices* do plano

Fonte: Autoria própria

Observa-se que nos meses de abril, setembro, outubro, novembro e dezembro não existe folga de capacidade, dado que abril é o mês com a segunda maior demanda prevista de peças (3300) e que para dezembro, o mês da maior demanda prevista (4000), o modelo sugere que sejam estocadas peças desde setembro, a exemplo da família C, no quadro 5 a seguir, em que não seriam produzidas peças a partir de outubro.

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total (un)
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	510	0	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	330	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1620

Quadro 5 – Plano de produção da família C

Fonte: Autoria própria

Já nos outros meses (com foco em agosto, que apresenta folga de 1,83 funcionários), existe folga de capacidade, o que indica que talvez se possa produzir a quantidade necessária de itens de cada família sem ter, necessariamente, 4 funcionários. Porém essa hipótese é anulada ao constatar que com um funcionário a menos, garantindo os mesmos requisitos do modelo e os mesmos níveis de eficiência para 3 funcionários, o software mostra que não existe solução viável para o modelo.

Além disso, ao analisar os *Dual Prices*, constata-se que os dois mais expressivos são os de novembro e dezembro. Isso indica que, ao aumentar uma unidade na restrição do lado

direito da igualdade (aumentar um funcionário) em novembro, o valor da função objetivo (FOB) melhoraria em 936,119. Ao optar por aumentar uma unidade em dezembro, o valor da FOB melhoraria em 1336,461. Isso se dá pelo fato de que, nesses meses, ter um funcionário a mais aumentaria a capacidade produtiva da fábrica, o que faria com que fosse desnecessário "carregar" o custo com estoque, pois a produção regular conseguiria atender melhor a demanda. Isso não indica que o custo total do plano seria menor, dado que a função objetivo não considera custos de mão de obra e que o custo de estoque foi normalizado para a modelagem do problema e não se sabe quanto, de fato, custa estocar uma unidade da família *i* no período *t* ou quanto custa a mão de obra no período, mas essa análise é relevante para a ponderação da proprietária da fábrica, se deve ser contratado alguém a mais, temporariamente, ou se faz sentido ter o custo de estoque nesses meses.

Ao observar a análise de sensibilidade das linhas das restrições de limite da produção regular, pode-se perceber que é possível diminuir o limite da produção regular (dando um período maior de férias ou reduzindo de alguma forma a disponibilidade dos recursos) de agosto, por exemplo, em 1,832 e aumentá-lo infinitamente, sem alterar o *Dual Price*. Isso quer dizer que se a fábrica tivesse mais infinitas funcionárias, o *Dual Price* não se alteraria, pois essa é uma restrição com folga. E sua folga é exatamente de 1,832, que é a diminuição permitida para essa restrição, como é evidenciado a seguir, no quadro 6:

Linha	Coeficiente Atual	Incremento Permitido	Diminuição Permitida
Limite da Produção Regular 1	2,550	Infinito	1,358
Limite da Produção Regular 2	3,400	Infinito	1,370
Limite da Produção Regular 3	3,400	Infinito	0,589
Limite da Produção Regular 4	2,975	0,005	0,534
Limite da Produção Regular 5	3,400	Infinito	1,115
Limite da Produção Regular 6	2,975	Infinito	0,826
Limite da Produção Regular 7	2,975	Infinito	1,112
Limite da Produção Regular 8	3,400	Infinito	1,832
Limite da Produção Regular 9	2,975	0,160	0,473
Limite da Produção Regular 10	3,400	0,145	0,431
Limite da Produção Regular 11	3,400	0,168	0,497
Limite da Produção Regular 12	2,550	0,160	0,473

Quadro 6 – Análise de sensibilidade das restrições de limite da produção regular

Fonte: Autoria própria

Por fim, ao analisar as restrições de balanceamento de material, estão evidenciados, a seguir, no quadro 7, os casos que possuem os maiores *Dual Prices* (famílias B, D e L nos

períodos 10, 11 e 12). O *Dual Price* é o valor em que a FOB seria melhorada ao aumentar uma unidade no lado direito da respectiva restrição. Ou seja, esses 9 valores do quadro indicam que ao diminuir a demanda de alguma dessas famílias em algum desses 3 períodos em uma unidade, o valor da FOB melhoraria nessas quantidades. Exemplificando, ao diminuir a demanda atual prevista da família D no mês 12 (que é de 40 peças) para 39 peças, a função objetivo mudaria de 2910,659 para 2908,499.

Essa informação é relevante pensando que ao refazer o plano periodicamente, a previsão de demanda pode ser alterada. Nesse caso, ao priorizar uma família para ter sua demanda reduzida em algum período, essas são as melhores opções de acordo com as saídas do modelo, pois quanto menos demanda existir dessas famílias, melhor vai ser o resultado da função objetivo.

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Balanceamento de Material B10	0,000	1,246
Balanceamento de Material B11	0,000	1,946
Balanceamento de Material B12	0,000	2,646
Balanceamento de Material D10	0,000	1,080
Balanceamento de Material D11	0,000	1,620
Balanceamento de Material D12	0,000	2,160
Balanceamento de Material L10	0,000	1,367
Balanceamento de Material L11	0,000	2,142
Balanceamento de Material L12	0,000	2,905

Quadro 7 – Valores de alguns dos maiores *dual prices* do plano

Fonte: Autoria própria

Por outro lado, os menores *Dual Prices* consistem em famílias que são interessantes para serem priorizadas, dado que ao aumentar suas demandas, o valor da Função Objetivo pioraria pouco, ou não pioraria. No plano em questão, existe uma alta quantidade de famílias que apresentam um *Dual Price* nulo nas linhas de restrição de balanceamento de material. Para todas as famílias, nos períodos 1, 2, 3, 5, 6, 7 e 8 (janeiro, fevereiro, março, maio, junho, julho e agosto), os *Dual Prices* são 0, isto é, ao aumentar sua demanda, o valor da FOB se mantém o mesmo.

Dito isso, é importante ressaltar que ao escolher uma família para ter sua demanda aumentada em algum período, essas são as melhores opções de acordo com as saídas do modelo. Pode ser interessante criar, por exemplo, uma campanha de vendas, com enfoque em produtos

variados (dado que todas as famílias apresentam essa característica) nesses períodos específicos. O quadro 8 a seguir mostra o exemplo da família A.

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Balanceamento de Material A1	0,000	0,000
Balanceamento de Material A2	0,000	0,000
Balanceamento de Material A3	0,000	0,000
Balanceamento de Material A5	0,000	0,000
Balanceamento de Material A6	0,000	0,000
Balanceamento de Material A7	0,000	0,000
Balanceamento de Material A8	0,000	0,000

Quadro 8 – Valores de alguns dos menores *dual prices* do plano

Fonte: Autoria própria

Após a análise do plano de produção, como já mencionado, foi pensado em adaptar o plano para testar a hipótese de que a fábrica poderia ter capacidade para atender a demanda do horizonte de planejamento com uma funcionária a menos, porém o modelo não apresenta solução viável. Assim sendo, foram feitos outros ajustes no modelo, a fim de apresentar alguns planos alternativos e analisá-los, bem como entender as diferenças na prática com relação ao plano original.

Para o plano 2, foram adicionadas 3 novas restrições, de que a produção regular da família L nos meses de janeiro, fevereiro e agosto (os 3 meses com maior folga de capacidade de acordo com nosso plano inicial) deveria ser de, pelo menos, 50 peças. Além disso, foram incluídas restrições de estoque mínimo para todas as famílias em todos os períodos, de modo que não se possa estocar menos de 12 itens para quaisquer famílias, caso se decida estocar.

Isso foi feito principalmente pelo fato de o plano original sugerir que a fábrica estoque 1 unidade da família L, ou 4 unidades da família F, por exemplo, em determinados períodos, e isso não faz sentido para a produção, de acordo com o que foi conversado com a proprietária da empresa. Considerou-se, então, o tamanho do lote mínimo de produção (que é de 12 unidades), para ser também a quantidade mínima de possíveis unidades estocadas. O plano apresentou FOB de 3107,108 e as folgas de capacidade detalhadas no quadro 9 a seguir:

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Limite da Produção Regular 1	1,277	0,000
Limite da Produção Regular 2	1,295	0,000
Limite da Produção Regular 3	0,706	0,000
Limite da Produção Regular 4	0,000	355,556
Limite da Produção Regular 5	1,134	0,000
Limite da Produção Regular 6	0,853	0,000
Limite da Produção Regular 7	1,112	0,000
Limite da Produção Regular 8	1,832	0,000
Limite da Produção Regular 9	0,000	285,714
Limite da Produção Regular 10	0,000	690,411
Limite da Produção Regular 11	0,000	936,119
Limite da Produção Regular 12	0,000	1336,461

Quadro 9 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 2

Fonte: Autoria própria

Apesar dessas novas restrições, observa-se grande similaridade nos planos e nas saídas do modelo. Os meses de abril, setembro, outubro, novembro e dezembro continuam sem folga de capacidade e os meses de janeiro, fevereiro e agosto continuam sendo os de maior folga, mesmo com as novas restrições, que obrigam que exista uma produção maior da família L nesses meses. Isso se dá pelo fato de que nesses meses sem folga, a demanda de abril e de dezembro fazem com que seja necessário trabalhar com toda a capacidade disponível, já nos meses com folga o modelo usa somente o necessário da capacidade para atender a demanda, dado que o que influencia na função objetivo é o custo com estoque e produzir mais que a capacidade fará o modelo estocar para o mês seguinte.

Sendo assim, faz mais sentido para o modelo matemático sugerir acompanhar a demanda, com folga, em alguns meses e ter um peso grande a partir de setembro, por exemplo, do que dividir um pouco essa produção do final do ano, produzindo um pouco em agosto e um pouco em julho, pois dessa forma, os custos com estoque viriam desde julho, e não desde setembro.

Ao analisar os *Dual Prices*, observa-se que novembro e dezembro ainda são os meses que mais influenciam no valor da FOB, por envolverem mais estoque. Outra similaridade é detalhada no quadro 10 a seguir, com as quantidades produzidas e estocadas propostas pelo modelo das famílias G, H, I, J e K. Tais quantidades são exatamente iguais às quantidades sugeridas pelo modelo inicial, optando por não estocar nenhuma unidade dessas famílias.

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. G	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Produzida Fam. G	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Estocada Fam. G	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Fam. H	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Produzida Fam. H	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Estocada Fam. H	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Fam. I	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	80	1115
Quantidade Produzida Fam. I	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	80	1115
Quantidade Estocada Fam. I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Fam. J	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Produzida Fam. J	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	120	1155
Quantidade Estocada Fam. J	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Demanda Fam. K	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	320	2390
Quantidade Produzida Fam. K	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	320	2390
Quantidade Estocada Fam. K	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 10 – Plano de produção 2 das famílias G, H, I, J e K

Fonte: Autoria própria

Basicamente, o modelo redistribuiu os gastos e os estoques, de modo que as saídas ficassem parecidas com as do modelo inicial, buscando ao máximo essa “condição ótima”, mesmo com as novas restrições. Por exemplo, antes eram estocadas mais unidades das famílias B, C, D e F do que no plano atual. Em compensação, agora estão sendo estocadas mais unidades da família L, pois o modelo foi obrigado a fazer isso de acordo com as novas restrições. Essa comparação pode ser observada nos quadros 11 e 12 abaixo:

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000	4070
Quantidade Produzida Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	640	1081	739	4070
Quantidade Estocada Fam. B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	410	1261	0	1671
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	510	0	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	330	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1620
Demanda Fam. D	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40	1075
Quantidade Produzida Fam. D	0	55	85	255	0	100	90	90	150	250	0	0	0	1075
Quantidade Estocada Fam. D	0	0	0	165	0	0	0	0	85	270	155	40	0	715
Demanda Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400	3919
Quantidade Produzida Fam. F	0	187	289	310	557	340	306	306	221	549	854	0	0	3919
Quantidade Estocada Fam. F	0	0	0	4	0	0	0	0	0	328	791	400	0	1523

Quadro 11 – Plano de produção 1 das famílias B, C, D e F

Fonte: Autoria própria

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000	4070
Quantidade Produzida Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	626	1095	739	4070
Quantidade Estocada Fam. B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	1261	0	1657
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	440	70	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	260	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1550
Demanda Fam. D	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40	1075
Quantidade Produzida Fam. D	0	55	85	255	0	100	90	90	107	293	0	0	0	1075
Quantidade Estocada Fam. D	0	0	0	165	0	0	0	0	42	270	155	40	0	672
Demanda Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400	3919
Quantidade Produzida Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	516	887	0	0	3919
Quantidade Estocada Fam. F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	791	400	0	1486

Quadro 12 – Plano de produção 2 das famílias B, C, D e F

Fonte: Autoria própria

Por fim, as maiores mudanças com o plano 2 foram relacionadas à família L, como já era esperado. A família L, que é a de produção mais demorada, tem a menor demanda mensal entre as famílias, e o plano inicial sugeria acompanhar a demanda com a produção regular, sem estocar nenhum item ao longo do horizonte de planejamento. Porém em alguns meses a demanda é baixa, sendo menor que o lote mínimo de 12 peças da fábrica, o que não faz tanto sentido para a realidade da produção. Sendo assim, com as restrições adicionadas, o modelo passou a produzir mais em alguns meses e estocar em outros, como é exibido a seguir, nos quadros 13 e 14.

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Produzida Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Estocada Fam. L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 13 – Plano de produção 1 da família L

Fonte: Autoria própria

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Produzida Fam. L	0	50	50	0	0	11	6	18	50	0	11	11	40	247
Quantidade Estocada Fam. L	0	39	72	54	21	12	0	0	37	24	12	0	0	271

Quadro 14 – Plano de produção 2 da família L

Fonte: Autoria própria

Foi feito, além deste, um terceiro plano, com as mesmas restrições de estoque mínimo, mas com uma modificação quanto à restrição de produção mínima da família L. Em vez de fazer com que as produções dos meses com maior folga (no caso, janeiro, fevereiro e agosto) sejam maiores que o mínimo, não foi especificado em qual mês o modelo deveria fazer a produção mínima. Da forma que foi modelado, o plano tem produção mínima de 50 itens ou é igual a zero no mês em questão, com o modelo escolhendo os melhores meses para produzir a família L. O resultado da função objetivo do plano 3 foi de 3131,526 e suas folgas de capacidade foram detalhadas no quadro 15.

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Limite da Produção Regular 1	1,217	0,000
Limite da Produção Regular 2	1,409	0,000
Limite da Produção Regular 3	0,706	0,000
Limite da Produção Regular 4	0,000	355,556
Limite da Produção Regular 5	1,036	0,000
Limite da Produção Regular 6	0,867	0,000
Limite da Produção Regular 7	1,148	0,000
Limite da Produção Regular 8	1,832	0,000
Limite da Produção Regular 9	0,000	285,714
Limite da Produção Regular 10	0,000	690,411
Limite da Produção Regular 11	0,000	936,119
Limite da Produção Regular 12	0,000	1336,461

Quadro 15 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 3

Fonte: Autoria própria

Analisando as folgas de capacidade e os *Dual Prices*, observa-se que o padrão dos planos anteriores se manteve, apesar de existirem as novas restrições. Nos meses de abril, setembro, outubro, novembro e dezembro não há folga de capacidade e os meses de janeiro, fevereiro e agosto continuam sendo os de maior folga. Ao analisar os *Dual Prices*, observa-se, também, o padrão dos planos anteriores, em que novembro e dezembro são os meses mais representativos. Nas famílias G, H, I, J e K, o comportamento anterior também é mantido, não sendo estocado nenhum item em nenhum período para tais grupos de produto. As diferenças das quantidades produzidas e estocadas nos 3 planos, por família, foram apresentadas a seguir, nos quadros 16, 17 e 18, exibindo somente as famílias em que havia alguma diferença.

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000	4070
Quantidade Produzida Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	640	1081	739	4070
Quantidade Estocada Fam. B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	410	1261	0	1671
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	510	0	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	330	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1620
Demanda Fam. D	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40	1075
Quantidade Produzida Fam. D	0	55	85	255	0	100	90	90	150	250	0	0	0	1075
Quantidade Estocada Fam. D	0	0	0	165	0	0	0	0	85	270	155	40	0	715
Demanda Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400	3919
Quantidade Produzida Fam. F	0	187	289	310	557	340	306	306	221	549	854	0	0	3919
Quantidade Estocada Fam. F	0	0	0	4	0	0	0	0	0	328	791	400	0	1523
Demanda Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Produzida Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Estocada Fam. L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Quadro 16 – Plano de produção 1 das famílias B, C, D, F e L

Fonte: Autoria própria

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000	4070
Quantidade Produzida Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	626	1095	739	4070
Quantidade Estocada Fam. B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	1261	0	1657
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	440	70	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	260	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1550
Demanda Fam. D	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40	1075
Quantidade Produzida Fam. D	0	55	85	255	0	100	90	90	107	293	0	0	0	1075
Quantidade Estocada Fam. D	0	0	0	165	0	0	0	0	42	270	155	40	0	672
Demanda Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400	3919
Quantidade Produzida Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	516	887	0	0	3919
Quantidade Estocada Fam. F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	295	791	400	0	1486
Demanda Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Produzida Fam. L	0	50	50	0	0	11	6	18	50	0	11	11	40	247
Quantidade Estocada Fam. L	0	39	72	54	21	12	0	0	37	24	12	0	0	271

Quadro 17 – Plano de produção 2 das famílias B, C, D, F e L

Fonte: Autoria própria

	Períodos													
Demanda, Produção e Estoque por Família	**0**	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**	**Total (un)**
Demanda Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	2000	4070
Quantidade Produzida Fam. B	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	626	1051	783	4070
Quantidade Estocada Fam. B	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396	1217	0	1613
Demanda Fam. C	0	110	170	180	330	200	180	180	130	130	230	230	200	2270
Quantidade Produzida Fam. C	0	110	170	440	70	200	180	180	130	790	0	0	0	2270
Quantidade Estocada Fam. C	0	0	0	260	0	0	0	0	0	660	430	200	0	1550
Demanda Fam. D	0	55	85	90	165	100	90	90	65	65	115	115	40	1075
Quantidade Produzida Fam. D	0	55	85	255	0	100	90	90	94	306	0	0	0	1075
Quantidade Estocada Fam. D	0	0	0	165	0	0	0	0	29	270	155	40	0	659
Demanda Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	221	391	391	400	3919
Quantidade Produzida Fam. F	0	187	289	306	561	340	306	306	221	501	902	0	0	3919
Quantidade Estocada Fam. F	0	0	0	0	0	0	0	0	0	280	791	400	0	1471
Demanda Fam. L	0	11	17	18	33	20	18	18	13	13	23	23	40	247
Quantidade Produzida Fam. L	0	79	0	0	0	56	0	0	61	0	0	51	0	247
Quantidade Estocada Fam. L	0	68	51	33	0	36	18	0	48	35	12	40	0	341

Quadro 18 – Plano de produção 3 das famílias B, C, D, F e L

Fonte: Autoria própria

Percebe-se, por conta dos motivos apresentados e das particularidades do modelo, que há muita semelhança entre os 3 planos, o que torna difícil a visualização clara do que mudaria, na prática, de um para o outro. Com o objetivo de ajudar nessa comparação dos planos, os gráficos 1, 2, 3, 4 e 5 a seguir foram desenvolvidos, apresentando, respectivamente, as demandas e as quantidades sugeridas para produção em cada plano das famílias B, C, D, F e L. Nota-se, como já citado, que até para as famílias B, C, D e F, onde existem mudanças, os planos são muito parecidos. Somente ao analisar o gráfico 5, que tem foco na família L, as diferenças são mais nítidas.

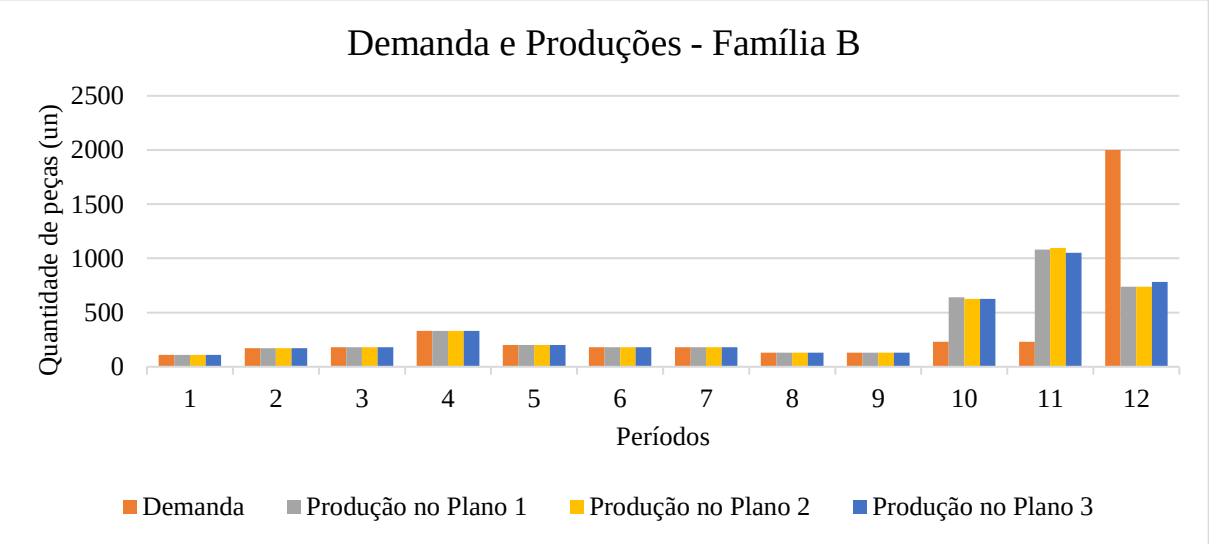

Gráfico 1 – Demandas e produções da família B nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

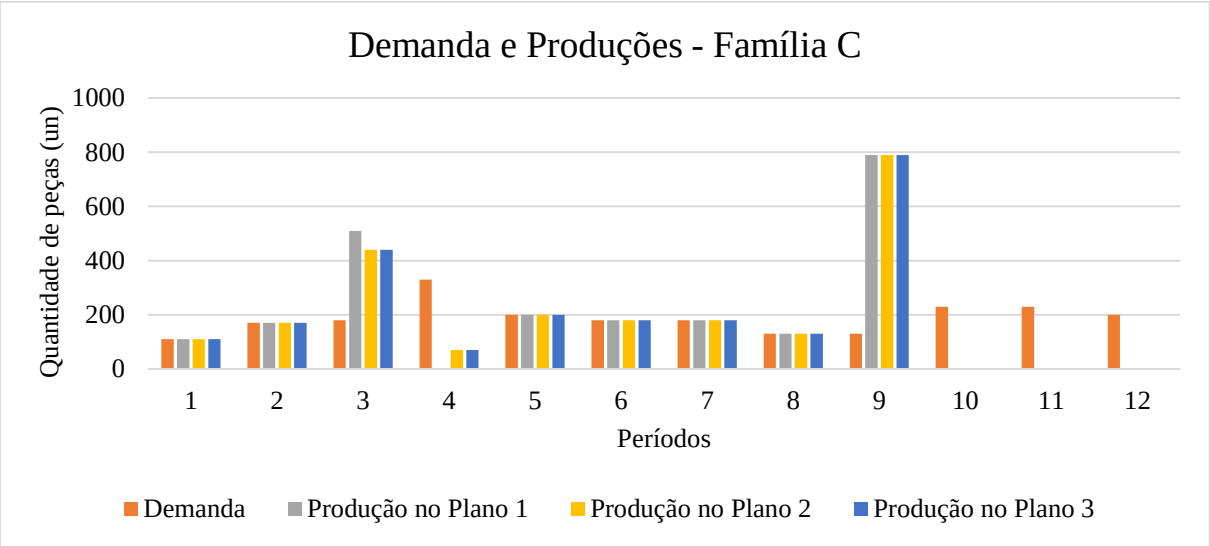

Gráfico 2 – Demandas e produções da família C nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

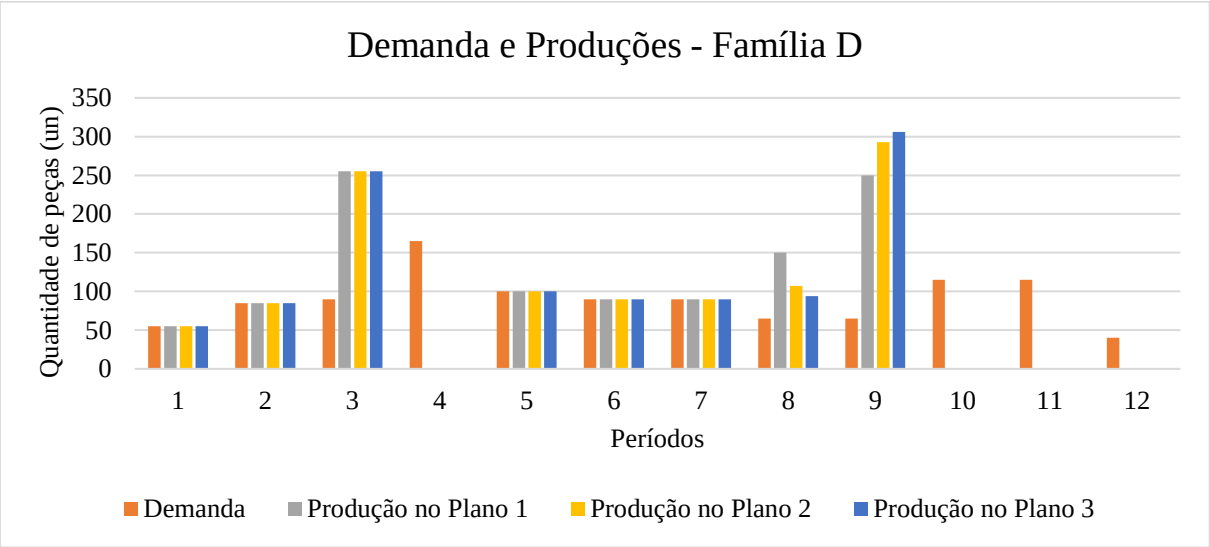

Gráfico 3 – Demandas e produções da família D nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

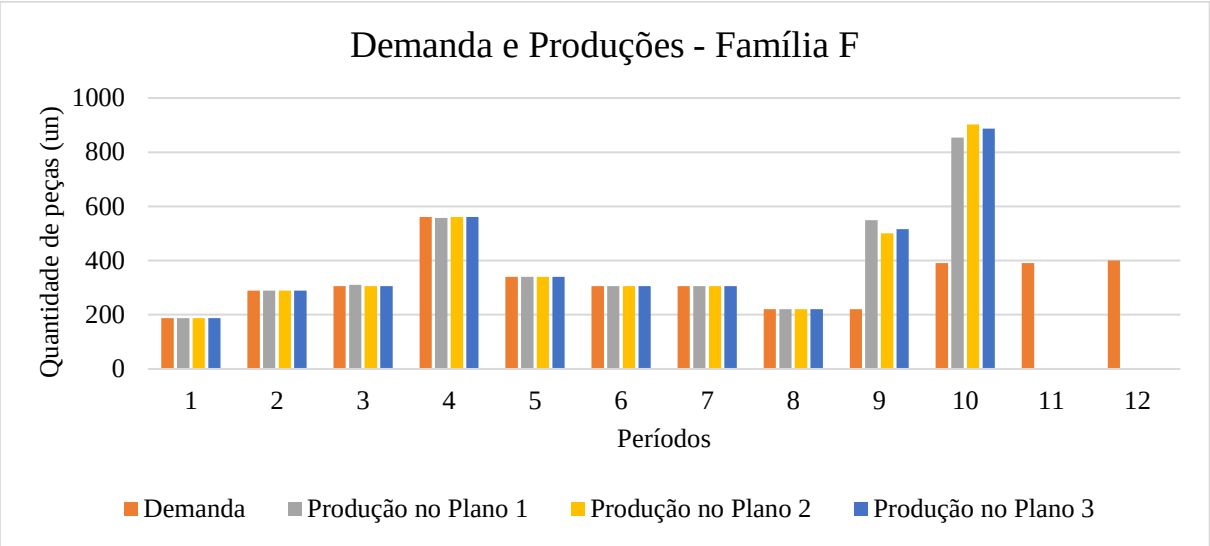

Gráfico 4 – Demandas e produções da família F nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

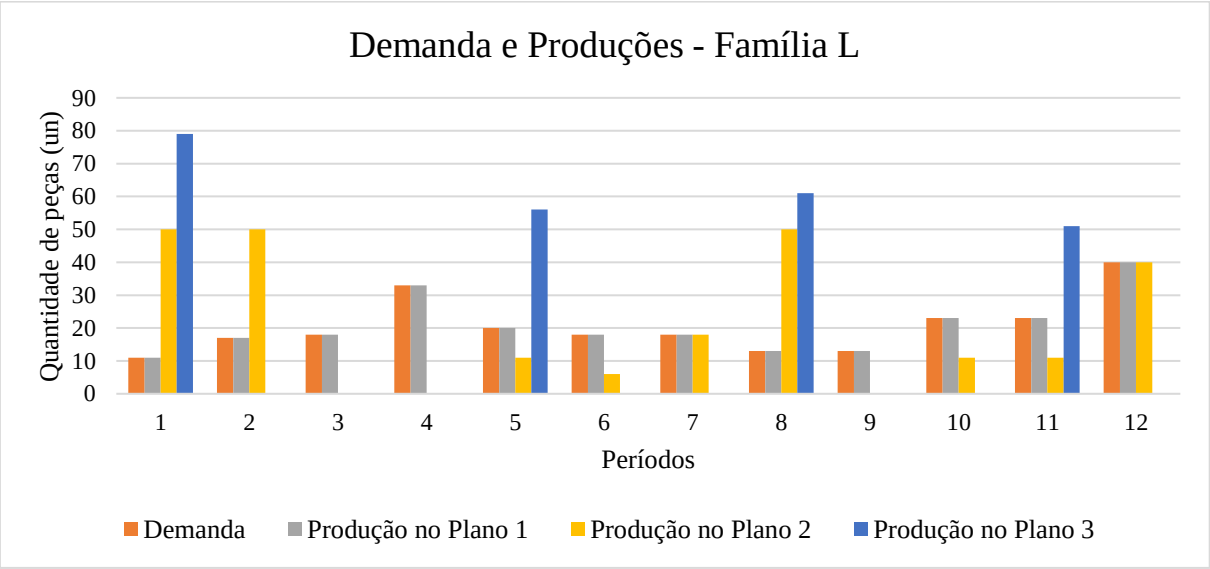

Gráfico 5 – Demandas e produções da família L nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

Quando se analisa o gráfico de cada família apartada, mesmo que com os planos muito semelhantes, é possível ver as diferenças nos tamanhos das barras ainda com certa facilidade, pelo fato de que a demanda de uma só família é pequena quando comparada à demanda da fábrica como um todo. Ao analisar o gráfico 6, pode-se perceber que a demanda da fábrica apresenta ainda mais claramente o comportamento parecido dos planos já discutido, pelo fato de todos eles utilizarem a mesma função objetivo de minimização dos custos com estoque, o

que faz o modelo sempre jogar a produção para o período mais tardio que puder, sem deixar de atender a demanda.

Observa-se, no gráfico 6, que somente em alguns períodos existe variação, mesmo que pequena. Esse fenômeno se dá por tudo que já foi discutido anteriormente e é por isso que os *Dual Prices* altos são os mesmos nos diferentes planos e as folgas também. Pode-se chegar à conclusão, com isso, de que a fábrica tem capacidade excedente, pois essas alterações feitas e restrições adicionadas em cada plano alternativo não impactam muito na essência do plano, pois o modelo tem folga para se "reorganizar" e remanejar a produção.

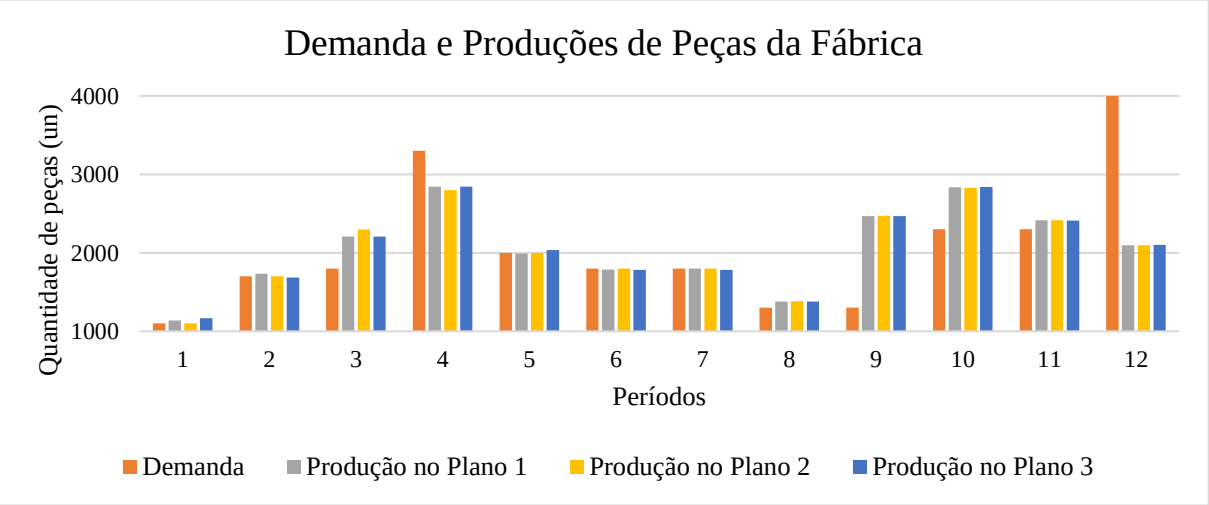

Gráfico 6 – Demandas e produções da fábrica nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

Após analisar as diferenças de cada plano, em termos de produção e peças estocadas por período, para algumas famílias específicas e para a fábrica no geral, é interessante entender o comportamento da capacidade da fábrica para cada plano, que está ilustrado no gráfico 7. Em síntese, os planos se assemelham ainda mais, tendo sua capacidade realizada igual a capacidade disponível nos meses de abril e a partir de setembro. Em janeiro, fevereiro e março se encontram as maiores diferenças entre o plano inicial e os demais, pelo fato de que o plano 1 "guarda" um pouco de capacidade nos dois primeiros meses do horizonte de planejamento e utiliza mais em março, enquanto os planos alternativos usam menos no terceiro mês.

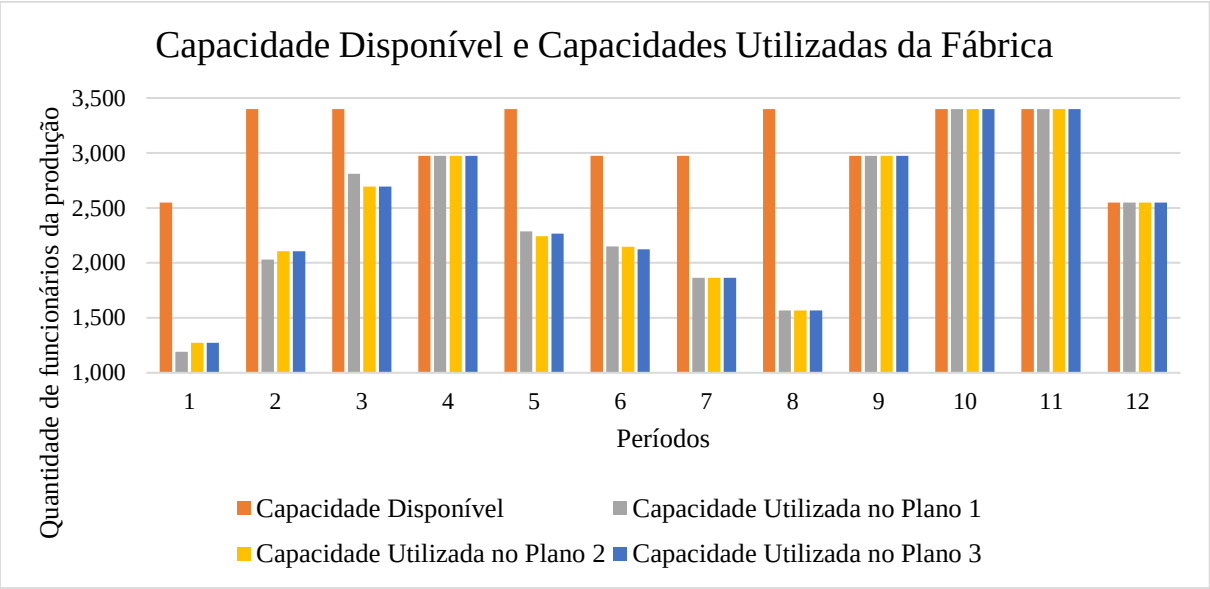

Gráfico 7 – Capacidade disponível e realizada da fábrica nos diferentes planos

Fonte: Autoria própria

Para fechar as análises do modelo, foi feito um último plano, sem as restrições detalhadas nos planos alterativos, dado que elas não impactaram tanto nas saídas do modelo, mas com um incremento nas demandas. Foi acrescentado 20% nas demandas de todas as famílias que apresentavam *Dual Price* zerado nas linhas de restrições de balanceamento de material, isto é, nas demandas de todas as famílias, nos períodos 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8 (períodos com folga de capacidade). Tal plano apresentou um resultado da FOB de 2910,659 (exatamente o mesmo valor do plano inicial – solução ótima) e tem suas folgas de capacidade apresentadas no quadro 19.

Linha	Folga ou Excedente	Dual Prices
Limite da Produção Regular 1	1,117	0,000
Limite da Produção Regular 2	0,962	0,000
Limite da Produção Regular 3	0,156	0,000
Limite da Produção Regular 4	0,000	359,712
Limite da Produção Regular 5	0,658	0,000
Limite da Produção Regular 6	0,393	0,000
Limite da Produção Regular 7	0,737	0,000
Limite da Produção Regular 8	1,546	0,000
Limite da Produção Regular 9	0,000	285,714
Limite da Produção Regular 10	0,000	690,411
Limite da Produção Regular 11	0,000	936,119
Limite da Produção Regular 12	0,000	1336,461

Quadro 19 – Valores das folgas e *dual prices* do plano 4

Fonte: Autoria própria

Nota-se que a função objetivo tem o mesmo valor e as folgas são menores, o que indica que a fábrica de acessórios tem potencial de aumentar a produção sem precisar, por exemplo, contratar um novo funcionário, pelo fato de existir capacidade sobrando hoje.

Tal proposição é feita apenas para mostrar que existe folga de capacidade pois, na prática, aumentar a demanda nesses percentuais pode não ser tão simples. Pode ser mais fácil incrementar a demanda de produtos de uma determinada família do que de outra, por exemplo. Isso é importante para a visibilidade da supervisão da fábrica, mas é interessante que, ao optar pelo aumento da capacidade utilizada na produção, ele seja gradativo.

Apesar de se tratar de produtos interessantes para terem sua demanda aumentada, dado que a produção apresenta folga nesses períodos, é válido ressaltar também que essa ação dependeria da força de venda dos canais da empresa, pois é preciso ter mais demanda para que essa produção se concretize. Não adiantaria produzir a mais para atender a demanda prevista hoje, pelos custos com estoque que isso geraria.

3.5 RESULTADOS ALCANÇADOS

Como resultados do trabalho, o maior destaque é que o objetivo do estudo de elaborar o plano agregado de produção foi alcançado. Além disso, os objetivos específicos, como a agregação dos produtos em famílias, o estudo dos tempos da produção e a definição da capacidade, foram também efetivados, além da criação de planos alternativos e da comparação dos planos diversos.

O agrupamento dos produtos em famílias de produções semelhantes é uma divisão que deve continuar sendo usada pela fábrica, sendo feitos ajustes caso necessário, para que os trabalhos acerca de PCP executados tenham cada vez mais qualidade e insumos. A capacidade da fábrica não apresenta folga no mês de abril, por conta da alta demanda do mês, e nos meses de setembro a dezembro, para o atendimento da demanda de dezembro, que precisa de estoque de produto acabado.

É importante ressaltar que algumas mudanças foram sugeridas, a fim de possibilitar que a fábrica tenha mais previsibilidade ao longo do processo de produção. Algumas delas já foram mencionadas no trabalho, outras serão abordadas no capítulo seguinte, bem como algumas percepções acerca dos resultados.

3.6 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

De acordo com as saídas e análises do modelo, ficou claro que existe uma folga de capacidade na fábrica da Laiá, o que está de acordo com a percepção da proprietária da empresa, com base nas entrevistas feitas. Apesar de existir a sobra, como já comentado, deve-se tomar cuidado ao explorar essa oportunidade. É importante aumentar o uso da capacidade aos poucos e é necessário um estudo de mercado para lançamento das estratégias de vendas certas.

Com tais resultados observados, a fábrica da empresa pode explorar inúmeras oportunidades, como expandir os canais de venda, dar um foco maior para vendas no site da marca, promover campanhas de vendas de produtos que sejam interessantes para a produção, como demonstrado no estudo, e campanhas em períodos específicos de baixos níveis de capacidade utilizada, sem que seja necessário contratar um novo funcionário para a produção.

Além disso, foi entregue à gestão da fábrica um conhecimento acerca dos processos produtivos, como os tempos de produção de cada posto de trabalho e a capacidade produtiva, que pode auxiliar e embasar decisões estratégicas.

Algumas sugestões foram apontadas para a fábrica, de acordo com os resultados dos planos, com as observações da produção e com as entrevistas feitas. A primeira delas é uma adaptação da ficha técnica usada pela empresa, a fim de dar continuidade ao trabalho feito, com marcações dos tempos dos novos produtos, sempre que for feita uma peça piloto e ajustes nos cálculos de tempo padrão de cada família. A ficha técnica atual, que se encontra no anexo B, apresenta uma capa, com informações do produto como preços, banhos, quantidades e datas de produção, e detalhes de matéria prima utilizada. No verso, existem informações referentes às etapas de produção, já desatualizadas. Sugere-se que o verso da ficha seja adaptado, para o formato de verso presente no anexo C, para que as marcações de tempo possam ser feitas de maneira simples e prática, já na capa não são sugeridas mudanças.

Em conjunto com as mudanças da ficha, é importante que haja uma mudança de mentalidade e comportamento também, de forma cultural, ao pensar na produção. O viés de design é inevitável para quem trabalha com a produção de itens relacionados a beleza, mas é interessante que haja alguém responsável pela produção, que pense nos produtos e famílias de acordo com o processo produtivo, não com as semelhanças estéticas. Além disso, esse comportamento deve ser difundido, com treinamentos e práticas do dia a dia que o tornem comum.

Foi mapeado nas entrevistas que um obstáculo na produção são os processos terceirizados, pois apesar de os terceiros entregarem qualidade, as vezes não cumprem prazos. Existem casos em que a fábrica mesmo erra no planejamento do que mandar para o terceiro e por conta disso atrasa a produção. Dito isso, é recomendado que se busque um maior alinhamento com os terceiros, sendo desenvolvido algum plano de ação ou forma de planejamento para essas etapas, a fim de aumentar sua confiabilidade.

Para o incremento da capacidade utilizada pela fábrica, uma estratégia interessante é o uso de um quadro de gestão a vista, para que os funcionários tenham clareza dos indicadores principais que o trabalho deles deve buscar. Além disso, foi informado pela proprietária em entrevistas que existe a vontade de implementação de uma forma de bonificação por produtividade. Sendo assim, ao mesclar essas duas estratégias, é sugerido o uso de 3 a 6 indicadores, conforme Caldeira (2012), que façam sentido para a produção da empresa, para implementar a gestão a vista.

Por fim, a forma ideal de seguir com os trabalhos realizados por esse estudo é ter alguém especializado nisso e que teria o tempo dedicado a funções de PCP na fábrica. Sendo assim, sugere-se a contratação de um funcionário responsável pelo PCP da empresa, a fim de desdobrar o planejamento agregado e trazer outras melhorias no que tange o planejamento da produção da empresa.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresentou o desenvolvimento de uma proposta de plano agregado da produção para a fábrica da Laiá Acessórios, empresa que produz bijuterias e semijoias em Divinópolis-MG e entrega seus produtos para clientes de todo o Brasil. O planejamento teve seu horizonte de janeiro a dezembro de 2024 e foi construído com a ajuda do software LINDO/PC (versão 6.1). Foram desenvolvidos e analisados dois planos alternativos, além de um terceiro que buscou validar uma hipótese da possiblidade de aumentar a utilização da capacidade da produção.

Os objetivos do trabalho foram alcançados, como já discutido, e os planos e suas análises atenderam às expectativas da empresa. O estudo se mostrou útil para a instalação, em termos de capacidade e do conhecimento acerca dela, mas para a aplicação prática no quesito de quantidades a se produzir ou estocar, é necessário um estudo posterior, buscando planejar o médio e curto prazo da produção, dado que o estudo considerou famílias de produtos, e não itens individuais.

Como recomendações para trabalhos futuros, para a fábrica, seria interessante continuar o trabalho feito, buscando desdobrar o planejamento de longo prazo, desagregando-o e seguindo o plano hierárquico do PCP. Além disso, todas as sugestões citadas no tópico 3.6 se encaixam nas recomendações para a empresa.

Ao considerar a comunidade acadêmica, o desenvolvimento de trabalhos no tema, relacionando o PCP com a indústria de acessórios e bijuterias, por si só, já é vantajoso para aumentar o conhecimento e a quantidade de estudos acerca da área. Ademais, é interessante, em trabalhos futuros que envolvam a elaboração de um plano agregado, que sejam consideradas as limitações usadas para o desenvolvimento do modelo deste estudo, buscando trazer mais fidelidade do plano ao retratar a realidade, sem que seja necessário simplificar alguns passos.

Uma recomendação importante no que tange as limitações do estudo é dar um foco e aprofundamento maior na coleta de dados. Se possível, desde o início do trabalho, é válido já pensar em como vai ser a coleta, detalhadamente, para que se possa aproveitar o tempo destinado a isso e fazer as marcações pelo máximo de tempo possível, para unir mais informações sobre cada etapa de cada família, e não ser necessário estimar tempos depois.

Por fim, como recomendação futura, é conveniente calcular, com o máximo de acurácia, os custos que vão fazer parte do modelo matemático. Sejam de estoque, sejam de produção, ao calcular e utilizar o custo real, sem normalizações, os resultados do modelo vão

retratar a realidade, sendo possível analisar financeiramente cada cenário, pois a unidade da função objetivo passaria a ser reais ($).

REFERÊNCIAS

AMARAL, Laryssa Silva Rocha Do. **Elaboração de uma proposta de planejamento agregado da produção para uma indústria têxtil de Juiz de Fora - MG.** 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.

ARANTES, Nélio. **Sistemas de Gestão Empresarial** – Conceitos Permanentes na Administração de Empresas Válidas. 2. ed. São Paulo: Atlas S. A., 1998.

BAHR, D.; DALPONTE, F.; TEIXEIRA, E. S. M. **Melhoria da produtividade através da análise de tempos e métodos como suporte para a implantação do trabalho padronizado em uma linha de bordados.** Joinville, 2012. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/262219143_Melhoria_da_produtividade_atraves_da_analise_de_tempos_e_metodos_como_suporte_para_a_implantacao_do_trabalho_padronizado_em_uma_linha_de_bordados>. Acesso em: 04 jul. 2023.

BUTTON, Sérgio Tonini. **Sistema modular de manufatura.** 2014.

CALDEIRA, Jorge. **100 Indicadores da Gestão-Key Performance Indicators.** Lisboa: Grupo Almedina (Portugal), 2012. E-book. ISBN 9789896940379. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9789896940379/. Acesso em: 24 nov. 2023.

HOPP, Wallace J.; SPEARMAN, Mark L. **A ciência da fábrica.** Porto Alegre: Grupo A, 2013. E-book. ISBN 9788565837347. Disponível em: https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788565837347/. Acesso em: 01 jul. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEMAS E METAIS PRECIOSOS. **O Setor em Grandes Números 2018.** São Paulo, 2019.

LARA, V. R. **Desenvolvimento de plano agregado de produção para um sistema agroindustrial.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

LEITE, R. V. **Plano de desenvolvimento preliminar (PDP) do APL de gemas e jóias do Distrito Federal.** Distrito Federal, 2007. Disponível em: <https://www.gov.br/empresas-e-

negocios/pt-br/observatorioapl/biblioteca-apl/planos-de-desenvolvimento-dos-apls/pdp-de-gemas-e-joias-do-distrito-federal-ok.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2023.

LUSTOSA, L. et al. **Planejamento e Controle da Produção.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

RIBEIRO, H. M. D. **Caracterização do setor de gemas, jóias e metais preciosos no Brasil.** Brasília, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Hilton_Manoel/publication/295707025_CARACTERIZACAO_DO_SETOR_DE_GEMAS_JOIAS_E_METAIS_PRECIOSOS_NO_BRASIL/links/56ccfd9108ae4d8d6496c59a.pdf>. Acesso em: 05 jul. 2023.

SIPPER, Daniel; BULFIN JR. **Production: Planning, Control and Integration.** Nova Iorque: The McGraw-Hill Companies, 1997.

ANEXO A – MODELO MATEMÁTICO LINDO

```
|! Funçaõ Objetivo
MIN .43EA1 + .43EA2 + .43EA3 + .43EA4 + .43EA5 + .43EA6 + .43EA7 + .43EA8 + .43EA9 + .43EA10 + .43EA11 + .43EA12
+ .70EB1 + .70EB2 + .70EB3 + .70EB4 + .70EB5 + .70EB6 + .70EB7 + .70EB8 + .70EB9 + .70EB10 + .70EB11 + .70EB12
+ .32EC1 + .32EC2 + .32EC3 + .32EC4 + .32EC5 + .32EC6 + .32EC7 + .32EC8 + .32EC9 + .32EC10 + .32EC11 + .32EC12
+ .54ED1 + .54ED2 + .54ED3 + .54ED4 + .54ED5 + .54ED6 + .54ED7 + .54ED8 + .54ED9 + .54ED10 + .54ED11 + .54ED12
+ .62EE1 + .62EE2 + .62EE3 + .62EE4 + .62EE5 + .62EE6 + .62EE7 + .62EE8 + .62EE9 + .62EE10 + .62EE11 + .62EE12
+ .55EF1 + .55EF2 + .55EF3 + .55EF4 + .55EF5 + .55EF6 + .55EF7 + .55EF8 + .55EF9 + .55EF10 + .55EF11 + .55EF12
+ .50EG1 + .50EG2 + .50EG3 + .50EG4 + .50EG5 + .50EG6 + .50EG7 + .50EG8 + .50EG9 + .50EG10 + .50EG11 + .50EG12
+ .78EH1 + .78EH2 + .78EH3 + .78EH4 + .78EH5 + .78EH6 + .78EH7 + .78EH8 + .78EH9 + .78EH10 + .78EH11 + .78EH12
+ .38EI1 + .38EI2 + .38EI3 + .38EI4 + .38EI5 + .38EI6 + .38EI7 + .38EI8 + .38EI9 + .38EI10 + .38EI11 + .38EI12
+ .66EJ1 + .66EJ2 + .66EJ3 + .66EJ4 + .66EJ5 + .66EJ6 + .66EJ7 + .66EJ8 + .66EJ9 + .66EJ10 + .66EJ11 + .66EJ12
+ .56EK1 + .56EK2 + .56EK3 + .56EK4 + .56EK5 + .56EK6 + .56EK7 + .56EK8 + .56EK9 + .56EK10 + .56EK11 + .56EK12
+ EL1 + EL2 + EL3 + EL4 + EL5 + EL6 + EL7 + EL8 + EL9 + EL10 + EL11 + EL12

ST

! Restrições de Balanceamento de Material
EA0     =       0
EA1     -       EA0     -       PA1     =       -       110
EA2     -       EA1     -       PA2     =       -       170
EA3     -       EA2     -       PA3     =       -       180
EA4     -       EA3     -       PA4     =       -       330
EA5     -       EA4     -       PA5     =       -       200
EA6     -       EA5     -       PA6     =       -       180
EA7     -       EA6     -       PA7     =       -       180
EA8     -       EA7     -       PA8     =       -       130
EA9     -       EA8     -       PA9     =       -       130
EA10    -       EA9     -       PA10    =       -       230
EA11    -       EA10    -       PA11    =       -       230
EA12    -       EA11    -       PA12    =       -       160
EB0     =       0
EB1     -       EB0     -       PB1     =       -       110
EB2     -       EB1     -       PB2     =       -       170
EB3     -       EB2     -       PB3     =       -       180
EB4     -       EB3     -       PB4     =       -       330
EB5     -       EB4     -       PB5     =       -       200
EB6     -       EB5     -       PB6     =       -       180
EB7     -       EB6     -       PB7     =       -       180
EB8     -       EB7     -       PB8     =       -       130
EB9     -       EB8     -       PB9     =       -       130
EB10    -       EB9     -       PB10    =       -       230
EB11    -       EB10    -       PB11    =       -       230
EB12    -       EB11    -       PB12    =       -       2000
EC0     =       0
EC1     -       EC0     -       PC1     =       -       110
EC2     -       EC1     -       PC2     =       -       170
EC3     -       EC2     -       PC3     =       -       180
EC4     -       EC3     -       PC4     =       -       330

EC5     -       EC4     -       PC5     =       -       200
EC6     -       EC5     -       PC6     =       -       180
EC7     -       EC6     -       PC7     =       -       180
EC8     -       EC7     -       PC8     =       -       130
EC9     -       EC8     -       PC9     =       -       130
EC10    -       EC9     -       PC10    =       -       230
EC11    -       EC10    -       PC11    =       -       230
EC12    -       EC11    -       PC12    =       -       200
ED0     =       0
ED1     -       ED0     -       PD1     =       -       55
ED2     -       ED1     -       PD2     =       -       85
ED3     -       ED2     -       PD3     =       -       90
ED4     -       ED3     -       PD4     =       -       165
ED5     -       ED4     -       PD5     =       -       100
ED6     -       ED5     -       PD6     =       -       90
ED7     -       ED6     -       PD7     =       -       90
ED8     -       ED7     -       PD8     =       -       65
ED9     -       ED8     -       PD9     =       -       65
ED10    -       ED9     -       PD10    =       -       115
ED11    -       ED10    -       PD11    =       -       115
ED12    -       ED11    -       PD12    =       -       40
EE0     =       0
EE1     -       EE0     -       PE1     =       -       187
EE2     -       EE1     -       PE2     =       -       289
EE3     -       EE2     -       PE3     =       -       306
EE4     -       EE3     -       PE4     =       -       561
EE5     -       EE4     -       PE5     =       -       340
EE6     -       EE5     -       PE6     =       -       306
EE7     -       EE6     -       PE7     =       -       306
EE8     -       EE7     -       PE8     =       -       221
EE9     -       EE8     -       PE9     =       -       221
EE10    -       EE9     -       PE10    =       -       391
EE11    -       EE10    -       PE11    =       -       391
EE12    -       EE11    -       PE12    =       -       400
EF0     =       0
EF1     -       EF0     -       PF1     =       -       187
EF2     -       EF1     -       PF2     =       -       289
EF3     -       EF2     -       PF3     =       -       306
EF4     -       EF3     -       PF4     =       -       561
EF5     -       EF4     -       PF5     =       -       340
EF6     -       EF5     -       PF6     =       -       306
EF7     -       EF6     -       PF7     =       -       306
EF8     -       EF7     -       PF8     =       -       221
EF9     -       EF8     -       PF9     =       -       221
EF10    -       EF9     -       PF10    =       -       391
EF11    -       EF10    -       PF11    =       -       391
EF12    -       EF11    -       PF12    =       -       400
EG0     =       0
```

```
EG1     -       EG0     -       PG1     =       -       55
EG2     -       EG1     -       PG2     =       -       85
EG3     -       EG2     -       PG3     =       -       90
EG4     -       EG3     -       PG4     =       -       165
EG5     -       EG4     -       PG5     =       -       100
EG6     -       EG5     -       PG6     =       -       90
EG7     -       EG6     -       PG7     =       -       90
EG8     -       EG7     -       PG8     =       -       65
EG9     -       EG8     -       PG9     =       -       65
EG10    -       EG9     -       PG10    =       -       115
EG11    -       EG10    -       PG11    =       -       115
EG12    -       EG11    -       PG12    =       -       120
EH0     =       0
EH1     -       EH0     -       PH1     =       -       55
EH2     -       EH1     -       PH2     =       -       85
EH3     -       EH2     -       PH3     =       -       90
EH4     -       EH3     -       PH4     =       -       165
EH5     -       EH4     -       PH5     =       -       100
EH6     -       EH5     -       PH6     =       -       90
EH7     -       EH6     -       PH7     =       -       90
EH8     -       EH7     -       PH8     =       -       65
EH9     -       EH8     -       PH9     =       -       65
EH10    -       EH9     -       PH10    =       -       115
EH11    -       EH10    -       PH11    =       -       115
EH12    -       EH11    -       PH12    =       -       120
EI0     =       0
EI1     -       EI0     -       PI1     =       -       55
EI2     -       EI1     -       PI2     =       -       85
EI3     -       EI2     -       PI3     =       -       90
EI4     -       EI3     -       PI4     =       -       165
EI5     -       EI4     -       PI5     =       -       100
EI6     -       EI5     -       PI6     =       -       90
EI7     -       EI6     -       PI7     =       -       90
EI8     -       EI7     -       PI8     =       -       65
EI9     -       EI8     -       PI9     =       -       65
EI10    -       EI9     -       PI10    =       -       115
EI11    -       EI10    -       PI11    =       -       115
EI12    -       EI11    -       PI12    =       -       80
EJ0     =       0
EJ1     -       EJ0     -       PJ1     =       -       55
EJ2     -       EJ1     -       PJ2     =       -       85
EJ3     -       EJ2     -       PJ3     =       -       90
EJ4     -       EJ3     -       PJ4     =       -       165
EJ5     -       EJ4     -       PJ5     =       -       100
EJ6     -       EJ5     -       PJ6     =       -       90
EJ7     -       EJ6     -       PJ7     =       -       90
EJ8     -       EJ7     -       PJ8     =       -       65
EJ9     -       EJ8     -       PJ9     =       -       65
```

```
EJ10    -       EJ9     -       PJ10    =       -       115
EJ11    -       EJ10    -       PJ11    =       -       115
EJ12    -       EJ11    -       PJ12    =       -       120
EK0     =       0
EK1     -       EK0     -       PK1     =       -       110
EK2     -       EK1     -       PK2     =       -       170
EK3     -       EK2     -       PK3     =       -       180
EK4     -       EK3     -       PK4     =       -       330
EK5     -       EK4     -       PK5     =       -       200
EK6     -       EK5     -       PK6     =       -       180
EK7     -       EK6     -       PK7     =       -       180
EK8     -       EK7     -       PK8     =       -       130
EK9     -       EK8     -       PK9     =       -       130
EK10    -       EK9     -       PK10    =       -       230
EK11    -       EK10    -       PK11    =       -       230
EK12    -       EK11    -       PK12    =       -       320
EL0     =       0
EL1     -       EL0     -       PL1     =       -       11
EL2     -       EL1     -       PL2     =       -       17
EL3     -       EL2     -       PL3     =       -       18
EL4     -       EL3     -       PL4     =       -       33
EL5     -       EL4     -       PL5     =       -       20
EL6     -       EL5     -       PL6     =       -       18
EL7     -       EL6     -       PL7     =       -       18
EL8     -       EL7     -       PL8     =       -       13
EL9     -       EL8     -       PL9     =       -       13
EL10    -       EL9     -       PL10    =       -       23
EL11    -       EL10    -       PL11    =       -       23
EL12    -       EL11    -       PL12    =       -       40

! Restrições de Limite da Produção Regular
.001042PA1+.001887PB1+.000900PC1+.001802PD1+.000774PE1+.001529PF1+.000804PG1+.001522PH1+.000500PI1+.000596PJ1+.000269PK1+.002075PL1<=2.55
.001148PA2+.002079PB2+.000992PC2+.001988PD2+.000853PE2+.001686PF2+.000886PG2+.001678PH2+.000551PI2+.000657PJ2+.000297PK2+.002288PL2<=3.4
.001148PA3+.002079PB3+.000992PC3+.001988PD3+.000853PE3+.001686PF3+.000886PG3+.001678PH3+.000551PI3+.000657PJ3+.000297PK3+.002288PL3<=3.4
.001042PA4+.001887PB4+.000900PC4+.001802PD4+.000774PE4+.001529PF4+.000804PG4+.001522PH4+.000500PI4+.000596PJ4+.000269PK4+.002075PL4<=2.975
.001099PA5+.001992PB5+.000949PC5+.001901PD5+.000816PE5+.001613PF5+.000847PG5+.001605PH5+.000527PI5+.000628PJ5+.000284PK5+.002188PL5<=3.4
.001148PA6+.002079PB6+.000992PC6+.001988PD6+.000853PE6+.001686PF6+.000886PG6+.001678PH6+.000551PI6+.000657PJ6+.000297PK6+.002288PL6<=2.975
.000995PA7+.001805PB7+.000860PC7+.001721PD7+.000740PE7+.001460PF7+.000768PG7+.001453PH7+.000478PI7+.000569PJ7+.000257PK7+.001980PL7<=2.975
.001047PA8+.001898PB8+.000904PC8+.001812PD8+.000778PE8+.001536PF8+.000808PG8+.001529PH8+.000502PI8+.000599PJ8+.000270PK8+.002083PL8<=3.4
.001092PA9+.001980PB9+.000943PC9+.001890PD9+.000812PE9+.001603PF9+.000842PG9+.001595PH9+.000524PI9+.000625PJ9+.000282PK9+.002174PL9<=2.975
.000995PA10+.001805PB10+.000860PC10+.001721PD10+.000740PE10+.001460PF10+.000768PG10+.001453PH10+.000478PI10+.000569PJ10+.000257PK10+.001980PL10<=3.4
.001148PA11+.002079PB11+.000992PC11+.001988PD11+.000853PE11+.001686PF11+.000886PG11+.001678PH11+.000551PI11+.000657PJ11+.000297PK11+.002288PL11<=3.4
.001092PA12+.001980PB12+.000943PC12+.001890PD12+.000812PE12+.001603PF12+.000842PG12+.001595PH12+.000524PI12+.000625PJ12+.000282PK12+.002174PL12<=2.55

END
```

ANEXO B – MODELO DE FICHA TÉCNICA ATUAL

Laiá

FICHA TÉCNICA

Deus mora nos detalhes!

Descrição:		Data:
Cápsula:	Prioridade:	
Referência:	Grupo:	Quantidade:

Preços:		Peso:			
Varejo:	Atacado:	Banhos:	Ouro	Onix	Níquel
Super atacado:					

Giro:			
Banho:	Strass:	Pedra:	Outros:

Materiais:	Expedição:		
	Data	Quantidade e banho	Estoque

Orientações:	Montagem
	Solda Interna
	Montagem II
Observações:	
	Colagem
	Acabamentos

ANEXO C – SUGESTÃO DE VERSO PARA A FICHA TÉCNICA

Solda Interna	Tempo Gasto
Preparação para a Solda Externa	**Tempo Gasto**
Montagem Bruta	**Tempo Gasto**
Anotações antes do Banho	**Tempo Gasto**
Desamarração das Peças	**Tempo Gasto**
Conferência do Banho	**Tempo Gasto**
Colagem	**Tempo Gasto**
Montagem Final	**Tempo Gasto**
Acabamento	**Tempo Gasto**
Etiquetagem	**Tempo Gasto**
Expedição	**Tempo Gasto**

ANEXO D – TERMO DE AUTENTICIDADE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.
Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.
Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 06 de dezembro de 2023.

Tiago Valadão dos Santos	201849029
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)	Matrícula
Tiago Valadão	015.008.376-95
ASSINATURA	CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.
[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.

ANEXO E – DECLARAÇÃO DA EMPRESA

Declaro para os devidos fins, que Túlio Valadão dos Santos possui autorização para divulgar o nome da empresa Laiá Acessórios e Bijuterias Ltda. bem como dados não confidenciais na elaboração de seu trabalho de conclusão de curso apresentado a Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Produção.

Juiz de Fora, 24 de novembro de 2023

Rafaela Santos Valadão

Responsável da Empresa

(carimbo da empresa)