

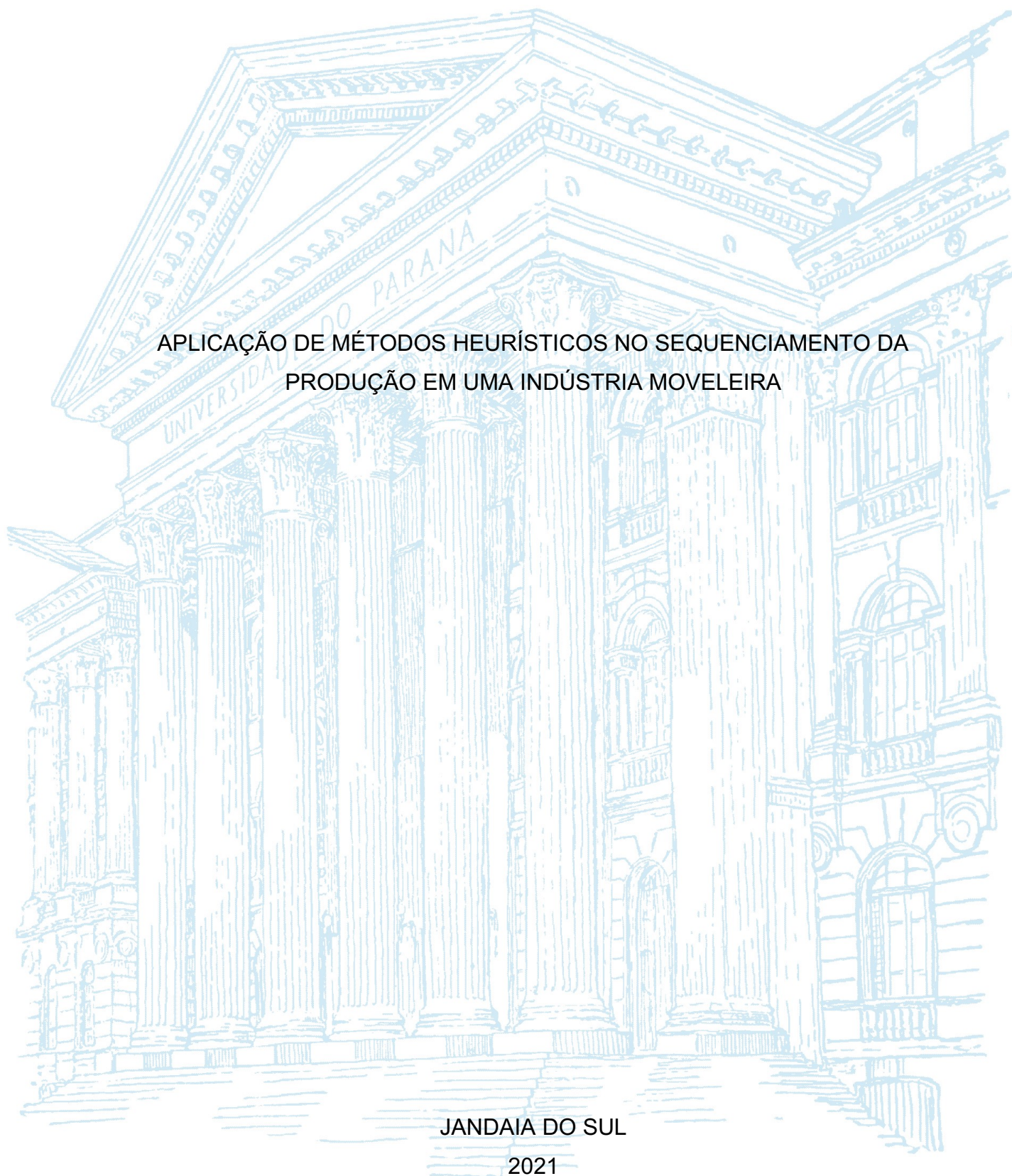
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JONATHAN VINICIUS KAIZER

APLICAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS NO SEQUENCIAMENTO DA
PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

JANDAIA DO SUL

2021



JONATHAN VINICIUS KAIZER

APLICAÇÃO DE MÉTODOS HEURÍSTICOS NO SEQUENCIAMENTO DA
PRODUÇÃO EM UMA INDÚSTRIA MOVELEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos

JANDAIA DO SUL

2021

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Bibliotecas/UFPR
Biblioteca do Campus Jandaia do Sul
Bibliotecária: Neide Olga S. Paula – CRB 9/1477

K13a Kaizer, Jonathan Vinicius
Aplicação de métodos heurísticos no sequenciamento da produção em uma indústria moveleira / Jonathan Vinicius Kaizer. - Jandaia do Sul, 2021.
95 f.

Orientador: Prof. Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Produção, Campus Avançado de Jandaia do Sul, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção.

1. Pesquisa operacional. 2. Sequenciamento da produção. 3. Heurística. 4. Indústria moveleira. I. Santos, Marco Aurélio Reis dos. II. Título. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD: 658.4034



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

PARECER Nº 038 JONATHAN VINICIUSKAIZER/2021/UFPR/R/JA
PROCESSO Nº 23075.079917/2019-87
INTERESSADO: JONATHAN VINICIUS KAIZER

TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO.

Título: Aplicação de métodos Heurísticos no sequenciamento da produção em uma Indústria Moveleira.

Autor(a): Jonathan Vinicius Kaizer

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau no curso de Engenharia de Produção, aprovado pela seguinte banca examinadora.

Dr. Marco Aurélio Reis dos Santos (Orientador)

Dra. Juliana Verga Shirabayashi

Dr. Landir Saviniec



Documento assinado eletronicamente por **MARCO AURELIO REIS DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2021, às 18:30, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **LANDIR SAVINIEC, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2021, às 18:43, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **JULIANA VERGA SHIRABAYASHI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 05/04/2021, às 19:04, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3419866** e o código CRC **FC2742EA**.

Dedico este trabalho a todos que perderem seus entes queridos neste momento histórico, conturbado e triste de pandemia. Dedico a todos que perderam seus empregos. Dedico a todos os empresários que lutam para manter os empregos de seus funcionários. Dedico a todos os brasileiros que sofrem com mais uma das piores crises dos últimos 10 anos. Dedico a todos que acreditam na ciência e que investem nela para manter o Brasil forte.

AGRADECIMENTOS

A minha família pelo apoio, a todas as empresas que me deram oportunidade de obter conhecimento durante esta jornada de cinco anos, a todos os professores que de forma excepcional nos tornaram os profissionais que somos ou pretendemos ser e aos meus velhos amigos de escola que ainda mantêm contato.

Agradeço ao meu orientador por ter aceitado o desafio e por ter me ajudado não só no desenvolvimento deste trabalho, mas também na viabilização do estágio obrigatório e no norteamto que me proveu na empresa e que contribuiu com as ideias deste trabalho.

Agradeço aos meus três amigos de faculdade que foram cruciais para eu ter conseguido chegar até aqui, por prover boas discussões, trabalhos acadêmicos de alto nível e por ter proporcionado um convívio com personalidades parecidas e intelectuais. Espero manter contato com vocês depois da graduação, mesmo que se dispersem pelo Brasil.

“Quando tudo tiver parecendo ir contra você, lembre-se que o avião decola contra o vento, e não a favor dele”. (HENRY FORD)

RESUMO

Uma das mais significativas atividades industriais no norte do Paraná é a do polo moveleiro de Arapongas, que concentra diversas empresas do mesmo ramo e emprega diversas pessoas. Com o passar das décadas e o enfrentamento de uma crise econômica nacional a partir de 2014, a competitividade se acirrou e as empresas que não buscaram reduzir custos e otimizar a produção, pereceram. Como agravante, com a retomada do crescimento, as empresas restantes mantiveram a eficiência baixa e caminham para o mesmo fim. Por meio do Planejamento da Produção e da Pesquisa Operacional é possível otimizar a produção através do sequenciamento de operações, tomando decisões de quais e quando alocar peças aos recursos, buscando a redução do tempo necessário e aumentando a eficiência produtiva ao produzir mais com o mesmo tempo e recursos disponíveis. As indústrias usam uma abordagem empírica na programação da produção devido à limitação que as planilhas eletrônicas impõem ou até o alto custo de investimento em *softwares* especializados. Os problemas de sequenciamento podem ser resolvidos através da Programação Linear Inteira Mista em busca de uma solução ótima, mas conforme a complexidade dos modelos aumentam, abordagens heurísticas podem ser adotadas em busca de soluções viáveis com tempo computacional aceitável. O presente trabalho visa desenvolver um modelo conceitual e implementar um algoritmo heurístico com o objetivo de reduzir o *makespan* no problema de sequenciamento da produção das indústrias moveleiras, utilizando-se de uma abordagem empírica quantitativa de forma aplicada e normativa. Por meio da implementação de um algoritmo baseado na metaheurística GRASP foi possível obter uma solução para o sequenciamento de operações das peças de um produto para uma indústria moveleira de grande porte de Arapongas, com sistema de produção em lotes e ambiente de operação caracterizado como *Job Shop*.

Palavras-chave: Sequenciamento da produção. *Job shop*. Heurística. Indústria moveleira. Pesquisa operacional.

ABSTRACT

One of the most significant industrial activities in the north of Paraná state is the furniture sector located in Araçatuba, which center various manufacturing companies and employs many people. Over the decades and the national economic crisis since 2014, increased competition among industries, that needed to use cost reductions and optimization of the production as operational tools. Those companies that did not apply these tools were closed. As aggravating factor, even with the economic increase, some corporations kept low efficiency leading to bankruptcy. Through Operational Research and Production Planning is possible to optimize the production by processes sequencing, using it to take decisions on which or when deploy resources, reducing process time, and efficiency increase, using the same capability to manufacture even more. The companies use an empirical approach in production programming, because of the limitation the electronic spreadsheets have or the higher cost in specialized software implementation. Mixed Integer Linear Programming can be used to solve sequencing problems searching for the optimal solution, but if the complexity of the model enhance, the heuristics approaches can be embraced, seeking viable solutions in reasonable computational time. In this undergraduate thesis focus on heuristic algorithm model development and implementation, by reducing the *makespan* in the problem experienced in furniture manufacture, using quantitative empirical approach by application and prescriptive. Through a GRASP metaheuristics based algorithm implementation, was possible to obtain a solution for operational sequencing of furniture parts from a large company in Araçatuba that operate in batch production manufacturing system and *Job Shop* as operation environment.

Keywords: Sequencing of production. *Job Shop*. Heuristics. Furniture Industry. Operational Research.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Produção física de bens de consumo duráveis.	19
FIGURA 2 – Exemplo de <i>Job Shop</i>	37
FIGURA 3 – Exemplo de <i>Flow Shop</i>	38
FIGURA 4 - Ilustração do funcionamento do <i>Flow Shop</i> permutacional.	39
FIGURA 5 – Fluxograma representando o Algoritmo Genético.	43
FIGURA 6 - Fluxograma da metaheurística GRASP.	45
FIGURA 7 – GRASP.	52
FIGURA 8 - Setores, fluxos da produção, estoques intermediários e máquinas da indústria abordada.	54

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 – Sequenciamento de um produto por menor <i>makespan</i>	71
GRÁFICO 2 – Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor <i>makespan</i>	72
GRÁFICO 3 - Sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada. ..	73
GRÁFICO 4 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada.	74
GRÁFICO 5 - Sequenciamento de um produto por menor <i>makespan</i> desconsiderando máquina A1.....	77
GRÁFICO 6 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor <i>makespan</i> , desconsiderando máquina A1.	78
GRÁFICO 7 - Sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada desconsiderando máquina A1.....	79
GRÁFICO 8 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada, desconsiderando máquina A1.	80
GRÁFICO 9 - Sequenciamento de três produtos por menor <i>makespan</i>	82
GRÁFICO 10 - Sequenciamento de três produtos por menor tempo ocioso acumulado.....	83
GRÁFICO 11 - Sequenciamento de um produto com inserção de uma restrição de produção puxada.	85

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Principais características do segmento de móveis de madeira para residência.....	22
QUADRO 2- Os três sistemas de produção.....	25
QUADRO 3 – Regras de prioridade.	31
QUADRO 4 – Principais abordagens na literatura para o programa de sequenciamento.....	33
QUADRO 5 - Classificação da pesquisa.	49

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Lista de operações das peças.	56
TABELA 2 – Tempos de <i>setup</i> das máquinas para cada operação (em segundos).	58
TABELA 3 – Tempo de ciclo para a operação de cada peça (em segundos).	61
TABELA 4 – Dinâmica de estoques e número de pilhas.	63
TABELA 5 – Tempo médio de uso efetivo de máquinas por setor.	76
TABELA 6 – Apresentação e comparação dos resultados obtidos.	87

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA	17
1.2 JUSTIFICATIVA	18
1.3 OBJETIVOS	19
1.3.1 Objetivo geral	20
1.3.2 Objetivos específicos.....	20
1.4 RESULTADOS ESPERADOS.....	20
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 CARACTERÍSTICAS DAS INDÚSTRIAS MOVELEIRAS.....	21
2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)	23
2.2.1 Classificação dos sistemas produtivos	25
2.2.1.1 Sistema contínuo	26
2.2.1.2 Sistema em lotes	26
2.2.1.3 Sistema sob encomenda	27
2.2.2 Estoques	27
2.2.3 Capacidade	28
2.3 SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO.....	28
2.3.1 Conceito	28
2.3.2 Regras de sequenciamento.....	30
2.4 PESQUISA OPERACIONAL	32
2.5 CLASSIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES EM FUNÇÃO DO FLUXO	35
2.5.1 Máquina única	35
2.5.2 Máquinas paralelas	36
2.5.3 Job Shop	36
2.5.4 Flow Shop	38
2.5.5 Outros.....	39
2.6 HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS	39
2.6.1 Heurísticas construtivas	40
2.6.2 Busca local ou de melhoria	40
2.6.3 Metaheurísticas	41
2.6.3.1 Busca Tabu	41
2.6.3.2 Algoritmos genéticos	42

2.6.3.3 GRASP	43
3 MATERIAL E MÉTODOS	47
3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA	47
3.1.1 Natureza	47
3.1.2 Objetivos	47
3.1.3 Abordagem	47
3.1.4 Método	48
3.2 METODOLOGIA.....	49
3.3 A EMPRESA	50
3.4 HEURÍSTICA ABORDADA.....	52
4 DESENVOLVIMENTO	53
4.1 MODELAGEM CONCEITUAL	53
4.2 METAHEURÍSTICA GRASP	65
4.2.1 Fase de construção	65
4.2.2 Fase de busca local	67
4.2.3 Avaliação da solução.....	68
5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	69
5.1 AVALIAÇÃO DOS SEQUENCIAMENTOS	70
5.1.1 Sequenciamento de um produto	70
5.1.2 Sequenciamento de um produto desconsiderando máquina A1	75
5.1.3 Sequenciamento de 3 produtos (e suas peças)	81
5.1.4 Sequenciamento de um produto com inserção de restrição de produção puxada 84	
5.2 RESULTADOS	87
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	90
6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	91
REFERÊNCIAS.....	92

1 INTRODUÇÃO

A indústria é um dos agentes econômicos mais importantes para o desenvolvimento do Brasil, gerando empregos e contribuindo com o crescimento regional onde está instalada. Segundo Barbosa, Santos e Lopes (2019), a indústria corresponde a 21% do PIB (produto interno bruto) e a 51% das exportações brasileiras.

No que tange ao desenvolvimento regional, existem aglomerações de indústrias de um mesmo setor que originam polos e arranjos industriais (PEREIRA; PEREIRA, 2018). “A proximidade geográfica traz vantagens para as empresas, pois pode criar um dinamismo interno nessas aglomerações, o que favorece a elevação da produtividade.” (SOBRINHO; AZZONI, 2015; MACEDO; CÂNDIDO; LEITE, 2017; RODRIGUES et al., 2018; apud PEREIRA; PEREIRA, 2018).

Um dos polos mais importantes no norte do Paraná é o polo moveleiro de Arapongas que compete com os do mesmo setor em Bento Gonçalves (RS), São Bento do Sul (SC), Votuporanga (SP) e Ubá (MG) (SPEROTTO, 2018). Luchese et al. (2015), ao citar Souza (2003), complementa que estes polos são caracterizados por governança familiar e compostos por empresas de pequeno a médio porte.

Tais empresas, pressionadas pela alta competitividade do mercado, estão engajadas na busca de alternativas capazes de torná-las mais competitivas. Portanto, umas das opções para obtenção de vantagem competitiva é o gerenciamento e o controle da função produção, com o intuito de melhoria do desempenho, em especial nos critérios qualidade, prazo de entrega e distribuição (PEREIRA et al., 2011; apud LUCHESE et al. 2015).

Por meio do planejamento da produção é possível otimizar a produção combinando o atendimento dos requisitos estipulados com as restrições do sistema produtivo. Landmann e Erdmann (2011) citam Pereira (2000) para explicar que a programação da produção, que é um nível mais complexo do PCP, concentra-se na tomada de decisões de nível operacional, como atribuir o pedido às máquinas, a liberação, processamento e expedição. Montevechi et al. (2002) pontua que, segundo Ichimura (1996), existe uma necessidade crescente de lotes menores e com um sistema de produção que ordene a sequência de produção de acordo com a demanda, com o menor *lead time*, a redução da ociosidade e dos custos.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Um dos principais problemas detectados na indústria moveleira é a dificuldade em se fazer a programação da produção de forma eficiente. É preciso levar em conta a capacidade das máquinas, o fluxo de produção, a presença de máquinas diferentes e com tempos de ciclo diferentes que realizam as mesmas funções. As indústrias utilizam o planejamento empírico na programação da produção devido à limitação que as planilhas eletrônicas impõem ou até o alto custo de investimento em *softwares* especializados em sequenciamento da produção.

Como um modelo de sequenciamento da produção pode ser utilizado para reduzir o *makespan* de fabricação de peças para a indústria moveleira? A Pesquisa Operacional é uma área que auxilia na tomada de decisões do planejamento da produção (MORAIS, 2018 apud TOCHA, 2014) por meio da resolução de problemas reais através de modelos matemáticos computacionais (TOCHA, 2014). Quanto maior for a flexibilidade do problema, mais complexa será a programação da produção (TOCHA, 2014), e partindo deste princípio, métodos heurísticos são os mais eficientes para ter soluções aceitáveis em pouco tempo (LAWRENCE; SEWELL, 1997 apud MONTEVECHI et al., 2002), pois segundo Landmann e Erdmann (2011), os algoritmos exatos consomem tempo computacional elevado e, ao citar Tubino (1997), complementam que soluções clássicas como a da Programação Linear são de difícil aplicação quando necessita-se de uma atualização constante dos parâmetros do algoritmo.

Diante do exposto, esse trabalho propõe um algoritmo heurístico para resolver o problema de sequenciamento da produção em ambiente *Job Shop* de uma indústria moveleira do polo industrial de Araçongas, no norte do Paraná, com dados do segundo semestre de 2019. A indústria estudada possui setores de produção que contem máquinas paralelas idênticas ou diferentes, sendo que as ordens de produção das peças seguem um fluxo padrão de setores. Quando um cliente faz um pedido, ele pede uma quantidade X de um produto, e esse produto consiste em uma quantidade Y de peças, que normalmente variam de 10 a 30 peças. As máquinas são semiautomáticas e necessitam de alimentação e retirada de peças de forma manual durante o ciclo. Assim, um modelo e um algoritmo para simular podem determinar a ordem de produção de um conjunto de peças que

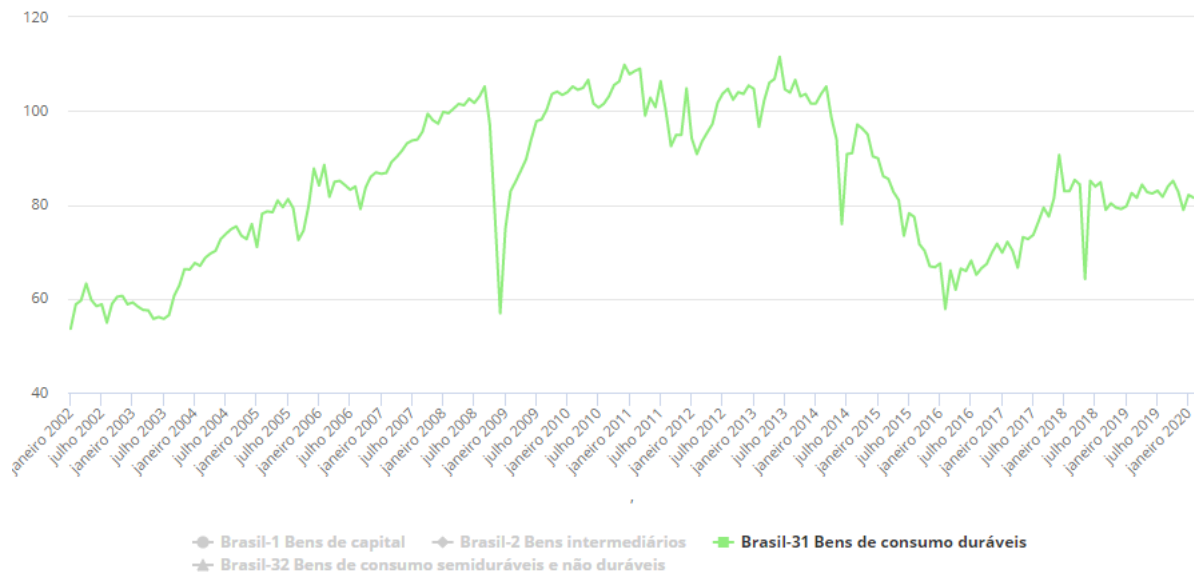
compõem um produto, de forma a obter um resultado em que o *makespan* e o *lead time* do produto sejam minimizados.

1.2 JUSTIFICATIVA

Durante o desenvolvimento do estágio obrigatório em uma indústria moveleira de Arapongas, foi constatado que um dos principais problemas enfrentados era a dificuldade de determinar ao chão de fábrica qual a sequência que deveria ser seguida no processamento das peças dos produtos. Além disso, a superação de problemas econômicos recentes mostrou a abertura de muitas oportunidades de atuação para o engenheiro de produção na busca da redução de custos nos processos, principalmente no polo da indústria moveleira que ainda carece de organização e estruturação e é possível notar alguns profissionais que já enxergaram isso e estão se desenvolvendo no mercado.

O Brasil enfrentou uma desaceleração econômica de 2012 a 2016 que reduziu a produção industrial e afetou diversas indústrias, especialmente as que possuíam forte concorrência como a do setor moveleiro. Segundo dados do IBGE, a produção física industrial de bens de consumo duráveis só voltou a crescer em 2017 e, conforme os índices de produção mensal apresentado na FIGURA 1, seu atual patamar em 2020 está muito longe do topo alcançado em 2010. O reflexo disso no polo moveleiro pode ser visto em notícias como a do Jornal Folha de Londrina que em 2016 publicava uma reportagem com o título “Em um semestre, Arapongas fecha quatro fábrica de móveis” e ainda “mais três em recuperação judicial” (FOLHA DE LONDRINA, 2016).

FIGURA 1 – Produção física de bens de consumo duráveis.



Fonte: IBGE (2020).

A indústria local precisa de engenheiros de produção e gerenciamento efetivo da produção, tanto que as empresas que sobreviveram foram as que estavam preparadas e/ou investiram na redução de custos. E em uma retomada do crescimento da produção é esperado que as indústrias tenham problema para lidar com prazos de entrega, devido ao fluxo maior de pedidos em detrimento das folgas operacionais em que estavam lidando em tempos de crise. Tocha (2014) diz que é primordial a redução de custos para manter a competitividade das empresas e ainda complementa que:

Conforme esta necessidade, o desenvolvimento de novas ferramentas torna-se importante para facilitar as tomadas de decisão no âmbito do Planejamento e Controle da Produção (PCP), especificadamente dentro da Programação da Produção, o sequenciamento de lotes (TOCHA, 2014).

Tocha (2014) ainda pontua que os profissionais da programação da produção não usam *softwares* para simular e programar devido à escassez e ao alto custo das licenças dos *softwares* disponíveis no mercado, como o Lindo, GLPK, CPLEX, Gurobi, OPT, Preactor, Legin e o Arena, sendo que cada um tem suas particularidades na modelagem e parametrização.

1.3 OBJETIVOS

Conforme a contextualização e a justificativa da contribuição deste trabalho apresentadas anteriormente, definiremos o objetivo geral e os específicos.

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho visa criar um algoritmo baseado na metaheurística GRASP para sequenciar a produção e reduzir o *makespan* e a ociosidade na produção de peças que compõem um produto da indústria estudada. A capacidade de replicar este modelo e o algoritmo nas indústrias do polo moveleiro de Arapongas pode trazer vantagens competitivas não só entre as empresas, mas também fortalecer a concorrência entre os polos moveleiros do país.

1.3.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, é necessário cumprir os seguintes objetivos específicos:

- a) Determinar a classificação do sistema produtivo e o ambiente de produção da indústria abordada;
- b) Identificar as restrições de máquinas, de fluxo, de estoque, de roteiros e de capacidade;
- c) Desenvolver estruturas de dados e rotinas computacionais capazes de computar as restrições do problema de sequenciamento considerado;
- d) Obter soluções e comparar com uma sequência de produção do mesmo produto a partir do histórico.

1.4 RESULTADOS ESPERADOS

Espera-se obter um *software* baseado na metaheurística GRASP que seja capaz de sequenciar a produção de um produto a partir de um modelo e de métodos heurísticos que atendam totalmente as restrições de máquina, do fluxo padrão de operações (para evitar contrafluxos no processo), da gestão dos estoques intermediários existentes, que leve em consideração o tempo de *setup*, que minimize o tempo ocioso das máquinas e o *lead time/makespan* de produção dos produtos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DAS INDÚSTRIAS MOVELEIRAS

A indústria moveleira tem uma característica peculiar de estar presente em polos que concentram várias indústrias, principalmente na região Sul e Sudeste do país e tem sua produção focada principalmente na produção de móveis domésticos (em torno de 60% do total) (RANGEL; FIGUEIREDO, 2008).

O polo moveleiro de Arapongas em específico, surgiu através de um decreto municipal com incentivos a industrialização por volta do ano de 1966. Havia indústrias de outros ramos na área e o objetivo era que elas se expandissem, mas a presença de pequenas marcenarias familiares com pouca qualificação e de forma artesanal acabou se beneficiando do incentivo e cresceu sem um planejamento e projeto de desenvolvimento (PEREIRA; PEREIRA, 2018).

Com o passar das décadas, a falta de estruturação mostra uma característica observada em muitas indústrias desta e de outros polos: a descontinuidade do processo produtivo. Na prática, apenas alguns processos internos das indústrias tiveram melhorias tecnológicas e é notável máquinas modernas operando ao lado de equipamentos obsoletos, o que dificulta a padronização de peças e automação da produção (SPEROTTO, 2018).

De forma geral, o setor moveleiro se caracteriza por micro e pequenos estabelecimentos, pois os equipamentos são acessíveis e os investimentos iniciais são baixos (SPEROTTO, 2018). Zamperetti (2001) menciona que a maioria das empresas utilizam planilhas eletrônicas para fazer a administração da produção, pois os *softwares* existentes no mercado são caros e voltados para as grandes empresas. Em relação a matéria prima, os materiais mais utilizados são as chapas de madeira, laminados e serrados produzidos a partir de madeira maciça providas principalmente de florestas plantadas. As principais chapas utilizadas são o MDP (mais poroso) e o MDF (densidade média, resistência ao peso e maleabilidade) (SPEROTTO, 2018).

Os móveis podem ser classificados em seriados, modulados, planejados e sob desenho. O foco deste trabalho são os móveis produzidos em escala, por empresas de médio e grande porte, ou seja, os móveis seriados que atendem diretamente grandes varejistas nacionais e na exportação para países onde não há concorrência neste setor. Os países líderes desse setor são a Itália, Alemanha,

França e Suécia, exportando não só produtos para outros países, como as principais tecnologias e máquinas que o Brasil também utiliza (SPEROTTO, 2018).

Ainda, para auxiliar na identificação do tipo de produção, Zamperetti (2001) apresenta um quadro com as principais características das indústrias moveleiras quanto ao tipo de móvel que produzem, conforme pode ser visto no QUADRO 1. Existe a predominância de marcenarias, micro e pequenas empresas que tem como característica a produção sob encomenda, devido à baixa produtividade, com uso de ferramentas obsoletas e um trabalho mais artesanal. Já a produção seriada é notável em média e grandes empresas com certo nível de modernidade e conseguem produzir em escala para grandes varejistas, pois trabalham com móveis mais retilíneos e com poucos detalhes sofisticados, sendo mais fácil automatizar e padronizar a produção.

QUADRO 1 – Principais características do segmento de móveis de madeira para residência.

TIPO DE MÓVEL	PRODUÇÃO	MAT. PRIMA (PREDOMINANTE)	PORTE DAS EMPRESAS	PRINCIPAL MERCADO CONSUMIDOR	GRAU DE TECNOLOGIA
Torneado	Seriada	Madeira de reflorestamento, especialmente serrado de pinus	Médias e grandes	Exportação	Alto
Torneado	Sob encomenda	Madeiras de lei, em especial serrado de folhosas	Micro e pequenas	Mercado nacional, em especial para as classes média e alta	Baixo, quase artesanal
Retilíneo	Seriada	Aglomerado	Médias e grandes	Mercado nacional, em especial para as classes média e baixa	Alto
Retilíneo	Sob encomenda	Compensado e aglomerado	Micro e pequenas	Mercado nacional, em especial para as classes média e baixa	Médio

Fonte: ABIMOVEL (2000) apud Zamperetti (2001).

Zamperetti (2001) desenvolveu seu trabalho aplicando a metodologia *survey* ao elaborar questionários sobre o PCP em cinco indústrias moveleiras de diferentes portes. Uma de suas percepções foi que as empresas não utilizam técnicas de programação adequadamente e possuem ganhos de produtividade pouco

expressivos. Além disso, possuem pouco domínio ou se possuem utilizam pouco as informações sobre a capacidade de produção e as restrições.

Ao estudar uma indústria moveleira em seu trabalho sobre problema de corte de chapas, Rangel e Figueiredo (2008) descrevem as características da indústria estudada e que pode servir como base para o entendimento do processo em outras indústrias similares. Segundo eles, o planejamento da produção é feito de forma semanal e a produção começa no corte de chapas retangulares no setor de corte, que é composto pela seccionadora e por máquinas menores. Estas máquinas menores são destinadas a cortar peças que foram agrupadas para otimizar o corte na seccionadora (que é uma máquina maior, mais rápida e corta em escala) ou então para fazer aparos em algumas peças. Depois, seguem para o setor de usinagem para dar formatos não-retangulares as peças, em seguida para o setor de furação, para o setor da *frezza* (que faz o acabamento) e para o setor de coladeira de bordas. Após passar por estes setores, são encaminhados a linha de pintura que é formado por um conjunto de máquinas que operam interligadas e que necessitam de um preparo demorado para cada cor de peça. Após pintados, são encaminhados a embalagem onde são agrupados juntos com os seus acessórios e então embalados.

2.2 PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP)

Segundo Tubino (2007), a administração da produção e o planejamento produtivo está relacionado com o que ocorre no longo, médio e curto prazo. No longo prazo define-se estratégias, no médio um plano mestre que planeja o uso da capacidade instalada e no curto prazo executa-se a programação da produção de forma operacional gerenciando e acompanhando a produção. O PCP (Planejamento e Controle de Produção) normalmente é um departamento que participa da elaboração do planejamento estratégico, no planejamento mestre e tem como principais atividades a programação e o acompanhamento e controle da produção.

Para Russomano (1995), conforme citado por Zamperetti (2001), PCP é uma função de apoio de coordenação que executa programas com foco no atendimento da produção com economia e eficiência. Neves et al. (2019), ao citar Chiavenato (2017), complementa que o planejamento fixa rumos e é fator crucial para a sustentabilidade da empresa. Chiavenato (2004), ao ser citado por Rangel (2018), ainda diz que cada empresa tem à sua maneira de lidar com o PCP e é um setor

que normalmente centraliza as informações para a tomada de decisões de forma eficiente.

Fernandes e Godinho Filho (2010) entendem que o PCP cuida de atividades do médio prazo tomando decisões com base em dados de capacidade e no curto prazo cuida da programação do fluxo de materiais, da liberação de ordens, do sequenciamento de tarefas nas máquinas (chamado também de *scheduling* ou *dispatching*) e analisa os dados da produção para controle das atividades.

Já para Link (1987; apud ZAMPERETTI, 2001), a programação da produção permite determinar quanto e quando produzir, distribuir a carga de utilização, prever e amenizar gargalos, prever ociosidade e sequenciar a produção como meio de otimizar a produção como um todo. Walter (1989), também citado por Zamperetti (2001), reforça que os processos disputam recursos limitados e que o objetivo da programação é assegurar a realização das atividades de forma a maximizar a produção sem desperdício de tempo e alocações erradas de máquinas que acabam gerando folgas.

Se o plano de produção de longo prazo providenciou os recursos necessários, e o planejamento-mestre da produção gerou um plano-mestre de produção viável, não deverão ocorrer problemas de capacidade na execução do programa de produção, cabendo à programação da produção sequenciar as ordens emitidas no sentido de minimizar os *lead times* e estoques do sistema [...] A atividade de sequenciamento busca gerar um programa que utilize inteligentemente os recursos disponíveis (TUBINO, 2007).

Fernandes e Godinho Filho (2010) definem *lead time* como o tempo entre a liberação da ordem até a conclusão do processamento e disponibilização da peça, devendo ser levados em conta o tempo de transporte, inspeção, processamentos e tempos de fila. Arenales et al. (2007) sugerem um outro termo para avaliação da qualidade de uma programação da produção: “O *makespan* é o instante de término de processamento de todas as tarefas a serem processadas”. Ao que parece, ambos termos possuem relação e acabam possuindo o mesmo significado.

A produção moderna é complexa e Harding (1981, apud ZAMPERETTI, 2001) salienta que deve ser planejada cuidadosamente e levar em conta todas as restrições, sendo o PCP responsável por processar dados e determinar como as entradas serão transformadas em saídas.

Uma das ferramentas e técnicas disponíveis para o efetivo planejamento e controle da produção são o cronograma, o gráfico de *Gantt* e o gráfico de montagem

que permitem detalhar e fragmentar o plano de produção (CHIAVENATO, 2008; apud BARBOSA; SANTOS; LOPES, 2019).

2.2.1 Classificação dos sistemas produtivos

Para entender a complexidade do PCP é preciso identificar o tipo de sistema produtivo que a empresa utiliza, relacionando o grau de padronização e volume de produção (TUBINO, 2007). As classificações se dão por sistema contínuo, em lotes ou por encomenda, conforme o QUADRO 2.

QUADRO 2- Os três sistemas de produção.

SUBSISTEMAS	ALMOXARIFADO DE MATÉRIAS-PRIMAS	PRODUÇÃO	DEPÓSITO DE PRODUTOS ACABADOS
Produção por encomenda	Nenhum estoque prévio. O estoque é planejado somente após recebimento do pedido.	A produção é planejada somente após receber o pedido ou encomenda.	Não há necessidade de controle de produtos acabados em cada encomenda.
Produção em lotes	O estoque é planejado em função de cada lote de produção.	A produção é planejada em função de cada lote de produção.	O estoque é planejado em função de cada lote de produção.
Produção contínua	O estoque é planejado e programado para o período mensal ou anual.	A produção é planejada e programada para o período mensal ou anual.	O estoque é planejado e programado para o período mensal ou anual.

Fonte: Chiavenato (2014).

Slack et al (1997), ao serem citados por Rangel (2018), salientam que as empresas podem trabalhar com estes “três sistemas de forma conjunta ou separada, dependendo de suas necessidades”.

Zamperetti (2001) cita Tubino (1997) ao identificar uma classificação mais genérica dos sistemas de produção em que os anteriores estão encaixados. Segundo ele, é possível classificar a produção ainda com base no grau de padronização da produção (padronizados ou sob medida), processos contínuos ou discretos e pela natureza do produto, que pode ser tangível ou intangível.

2.2.1.1 Sistema contínuo

O sistema contínuo apresenta produtos padronizados e tem um fluxo estabelecido, e por isso, apresenta baixa flexibilidade e uma alta eficiência (ZAMPERETTI, 2001).

Segundo Tubino (2007), é chamado de contínuo porque não tem uma divisão por unidades visível, como é o que ocorre na distribuição de energia elétrica. Neste sistema, o *lead time* é considerado baixo e os *setups* são grandes, mas ocorrem raramente e, portanto, não necessitam de sequenciamento das ordens de produção. O sistema de produção em massa possui as mesmas características, mas com produtos que podem ser separados unitariamente e que ainda seguem um fluxo contínuo altamente especializado e raramente necessitam de *setups*.

Fernandes e Godinho Filho (2010) abordam esse sistema com enfoque nos níveis de estoque e a não os deixar que sejam zerados, mas ainda com as mesmas características de produção abordadas por Tubino (2007). Como o foco é o estoque, “a variável de decisão nesse sistema é o tempo, ao invés da quantidade”.

2.2.1.2 Sistema em lotes

No sistema de produção em lotes há produção de um volume médio e repetitivo, sendo que cada lote tem as suas configurações de operações a serem seguidas (TUBINO, 2007). Segundo Chiavenato (2014), a produção por lotes tem como características a produção de peças variadas, máquinas agrupadas em baterias do mesmo tipo, possuem *setup* para cada peça, exigência de grandes estoques de produtos acabados e plano de produção bem feito. Ao final de um lote produzido, “outros produtos tomam o seu lugar nas máquinas, caracterizando-se assim uma produção intermitente de cada um dos produtos” (ZAMPERETTI, 2001). Fernandes e Godinho Filho (2010), ao citar Johnson e Montgomery (1974), chamam esse sistema de intermitente, por haver várias mudanças de um produto para outro, e distingue em *Flow Shop* – em que todos as peças tem uma mesma sequência de máquinas que deve ser seguida - e em *Job Shop* - em que as peças não possuem um roteiro rígido e podem seguir qualquer máquina especificada no roteiro.

É comum o uso de lotes econômicos para absorver o tempo gasto com *setup*, a existência de tempos de esperas e estoques de processo entre operações. Na produção empurrada as ordens passam por um sistema de sequenciamento para priorização e todas as peças processadas em uma máquina são empurradas para a

máquina seguinte. Para evitar esse acúmulo de peças nos estoques intermediários e reduzir os estoques, na programação puxada é comum utilizar o *Kanban* para produzir somente o necessário, ao passo que mantém a máxima utilização do gargalo (TUBINO, 2007).

Slack et al (1997, apud RANGEL, 2018) complementam que o sistema em lotes é utilizado em indústrias que fabricam grandes quantidades e dividem para controlar melhor as peças do lote.

2.2.1.3 Sistema sob encomenda

No sistema sob encomendas, também chamado de produção por projetos por Zamperetti (2001), Tubino (2007) destaca que são pedidos com demandas baixas e com recursos produtivos muito flexíveis para atender a personalização dos pedidos, o que gera ociosidade e custos produtivos mais altos. Salaria ainda que nesse sistema produtivo deve haver um sistema avançado de sequenciamento baseado no conceito de capacidade finita.

Para Chiavenato (2014), a produção sob encomenda tem como característica produtos únicos e específicos, exigência de uma variedade de máquinas e equipamentos, variedade de operadores, data definida de entrega e é difícil de fazer previsões. Rangel (2018) salienta que esse sistema é muito utilizado em pequenas empresas.

Fernandes e Godinho Filho (2010) denominam esse sistema de pedidos controlados e dividem em pedidos complexos por contrato e pedidos por encomenda. Segundo eles, estimar prazos não é fácil e depende do tempo de processamento dos pedidos já existentes e da distribuição entre os recursos. Recomendaram o uso do gráfico de *Gantt* para auxiliar a alocação das ordens.

2.2.2 Estoques

Existem diferentes tipos e funções de estoque, dentre os quais as principais são de armazenar matéria-prima, de produtos acabados, produtos em processo, equipamentos, entre outros (FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). As principais funções são garantir a produção e abater variações entre processos, permitir uma produção constante, possibilitar lotes econômicos, reduzir o *lead time* produtivo ao manter peças disponíveis imediatamente para uso nas máquinas e como fator de segurança no caso de quebras de máquina ou erro no modelo de previsão (TUBINO,

2007). Para Fernandes e Godinho Filho (2010), estoques armazenam itens de produção e funcionam como um *buffer* (pulmão) entre processos e/ou o cliente e são impactados diretamente pelo planejamento e pelo *lead time* dos recursos. De modo geral, os estoques intermediários absorvem problemas do sistema de produção e são um dos melhores indicadores de desempenho da eficiência dos sistemas (TUBINO, 2007).

2.2.3 Capacidade

Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), capacidade “é o número máximo de unidades que a instalação pode produzir em um período ou é o número máximo de horas de trabalho que a instalação pode oferecer em um período”. Para Chiavenato (2014), a capacidade é limitada onde há o elo mais frágil, e a chamada teoria das restrições comprova que a existência de gargalos na produção é o fator limitante das demais operações. Já para Erdmann (2000, apud ZAMPERETTI, 2001), a capacidade pode ser obtida por meio de análises a dados passados de produção, o número de horas disponíveis, as restrições causadas pelos gargalos e o acúmulo de carga para os recursos disponíveis. A determinação da capacidade com base nesses dados pode ser feita por simulação de combinações ou por meio da Programação Linear com uma função objetivo.

2.3 SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO

2.3.1 Conceito

Para Pinedo (2008, apud RIBEIRO; CORDEIRO, 2020), o sequenciamento da produção trata da alocação das tarefas em recursos em determinado tempo e tem como benefícios a redução de custos, redução do *lead time*, redução da ociosidade, redução dos atrasos, maximização dos lucros e otimização dos processos.

Tubino (2007) acrescenta que o sequenciamento da ordem da produção de peças depende principalmente do tipo de sistema que a empresa adota. No caso de sistemas contínuos e em massa, o sequenciamento visa balancear o ritmo de produção, ou seja, o tempo de ciclo do processo. Nos sistemas por encomenda é dado um enfoque para a capacidade produtiva e o sequenciamento é feito visando

atender os prazos de entrega. Nos sistemas em lote, o grande número de detalhes e ordens geradas requer um sequenciamento recurso a recurso para garantir a fluidez, redução de estoques e redução de tempo de espera entre processos. O tempo de espera entre processos no sistema em lote pode aumentar o *lead time* de forma absurda e Tocha (2014) acrescenta que pode chegar a representar 80% do tempo real caso esteja desequilibrado.

Arenales et al. (2007) abordam o sequenciamento da produção como exclusiva aos sistemas em lotes e que possuem características de máquina única, máquinas paralelas, *Job Shop* e *Flow Shop*. Para eles, o sequenciamento em linhas de montagem, de projetos e encomendas não pode ser descrito como processamento de tarefas em máquinas.

Segundo Gaither e Frazier (2002, apud RIBEIRO; CORDEIRO, 2020), existem duas abordagens quando se trata de sequenciamento: capacidade infinita, em que a capacidade dos recursos é ignorada; e a capacidade finita, onde os recursos são atribuídos dentre uma lista de tarefas.

Já Sipper e Bulfin (1997, apud BARBOSA et al., 2019) dizem que o sequenciamento da produção é “um processo de organizar, escolher e temporizar o uso de recursos para realizar todas as atividades necessárias para produzir as saídas nos momentos desejados” e deve satisfazer várias restrições de tempo e relacionamento de recursos. Quanto a recursos de capacidade infinita, eles dizem que não existe sequenciamento da produção para este tipo de abordagem.

Atualmente, com a facilidade em se desenvolver os chamados sistemas de programação avançados com capacidade finita, ou seja, só se permite a programação e liberação de ordens se houver capacidade, a interação entre gargalos e fluxos produtivos pode ser facilmente visualizada quando da definição e programação das regras a serem escolhidas. [...] Uma das características desses sistemas APS (*Advanced Planning and Shceduling*) é trabalhar em cima de um calendário real de disponibilidade de produção nos recursos, sequenciando ordem por ordem, segundo suas regras, até o limite de tempo disponível no recurso, sendo por isso chamado de sistema de programação de capacidade finita. Para permitir a visualização do que foi sequenciado, esses sistemas utilizam normalmente um calendário de forma gráfica, chamado de gráfico de *Gantt* [...] (TUBINO, 2007).

Complementando Tubino (2007), Tocha (2014) diz que os *softwares* APS (*Advanced Planning and Shceduling*) são especializados na programação da produção e tem como principais características a produção com capacidade finita, reprogramação entre outros. Os principais *softwares* disponíveis no mercado de

forma aberta ou fechada são o LEKIN (Máquina única, máquinas paralelas, *Flow Shop*, *Job Shop*), PREACTOR e o *Software OPT* (que será abordado em seguida).

Quanto aos períodos destes sequenciamentos, Tubino (2007) pontua que em geral as atividades de liberação de ordens de produção ocorrem em reuniões semanais em que o PCP discute com outros setores uma programação para a produção da semana.

Um conceito importante no sequenciamento é o gargalo. O gargalo limita a atuação do sistema produtivo e é responsável pelo estoque acumulado imediatamente antes do recurso que restringe a produção. Seguindo essa filosofia, existe o *software OPT (Optimized Production Technology)* que faz sequenciamento da produção com base nos gargalos e tem como vantagem a redução de *lead time* e estoque. No entanto, esse sistema é fechado e possui alto custo (SIPPER; BULFIN, 1979; apud FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010). As principais estratégias do OPT que podem ser utilizados em outras aplicações são: balancear o fluxo e utilizar 100% da capacidade apenas dos gargalos, os não-gargalos ficam restritos a capacidade dos gargalos, os gargalos governam o volume de produção, existe sobreposição de operações quando não existe a exigência de ter que acabar de processar o lote inteiro em uma máquina para poder iniciar em outra e, por fim, todas as restrições devem ser consideradas simultaneamente e isso faz com que o *lead time* do pedido varie conforme a programação feita (GOLDRATT; COX, 1986; JACOBS, 1984; GELDERS; WASSENHOVE, 1985; LUNDRIGAN, 1986, dentre outros, apud FERNANDES; GODINHO FILHO, 2010).

2.3.2 Regras de sequenciamento

Existem algumas regras de sequenciamento que priorizam as ordens de processamento de forma simplificada, usando informações de fácil levantamento. Soluções otimizadas podem ser obtidos por técnicas de Pesquisa Operacional, mas podem apresentar certa dificuldade na atualização dos dados devido a variabilidade e a parametrização do algoritmo, e por isso, as empresas costumam usar as regras como forma de simplificar, embora nem sempre sejam eficientes e possuem aplicabilidade muito restritas (TUBINO, 2007). Zamperetti (2001) complementa que atribuir regras de sequenciamento em tarefas e equipamentos específicos é difícil e sujeito a muitos equívocos.

Tocha (2014) adaptou as principais regras citadas na literatura, como pode ser observado no QUADRO 3.

QUADRO 3 – Regras de prioridade.

SIGLA	ESPECIFICAÇÃO	DEFINIÇÃO
PEPS/FIFO	Primeira que entra primeira que sai / <i>First In, First Out</i>	Os lotes serão processados de acordo com sua chegada. Esta regra visa minimizar o tempo de permanência na máquina ou na fábrica.
MTP/SPT	Menor tempo de Processamento / <i>Shortest Processing Time</i>	Os lotes serão processados de acordo com o menor tempo de processamento, ou seja, as tarefas são sequenciadas em ordem crescente de tempo de processamento, além de reduzir as filas aumenta o fluxo.
MDE/EDD	Menor data de Entrega / <i>Earliest Due Date</i>	O lote será processado de acordo com a data mais próxima, as tarefas são sequenciadas em ordem crescente de prazo de entrega. Visa reduzir atrasos.
IFA	Índice de Falta	Os lotes são processados de acordo com o menor valor do resultado da operação: $\frac{\text{quantidade em estoque}}{\text{taxa de demanda}}$
IFO	Índice de Folga	Os lotes serão processados de acordo com o menor valor de: $\frac{\text{data de entrega} - \sum \text{tempo de processamento restante}}{\text{número de operações restantes}}$
IPI	Índice de Prioridade	Os lotes serão processados de acordo com o valor da prioridade atribuída ao cliente ou ao produto/tarefa.
ICR	Índice Crítico	Os lotes serão processados com o menor valor de: $\frac{\text{data de entrega} - \text{data atual}}{\text{tempo de processamento}}$
MF/LS	Menor Folga / <i>Least Slack</i>	O lote a ser processado é o de menor folga, visa reduzir atrasos.
RC/CR	Razão Crítica / <i>Critical Ratio</i>	Processa a tarefa com menor RC. $RC = \frac{\text{Tempo até a data de vencimento}}{\text{Tempo total de produção restante}}$ Processa a tarefa atrasada de menor tempo de processamento. É uma regra dinâmica que combina a MDE com a MTP.
MCP	Menor Custo de Preparação	Localiza as duas próximas tarefas de menor custo de preparação, sempre escolhe o menor custo de preparação entre as tarefas possíveis.
	Algoritmo de Moore	Visa minimizar o número de ordens atrasadas (uma máquina).
	Algoritmo de Johnson	Minimiza o <i>lead time</i> de um conjunto de ordens processadas em dois recursos sucessivos (Máquina A e Máquina B em série).

Fonte: ADAPTADO DE LUSTOSA *et al.* (2008); TUBINO, (2009); apud TOCHA (2014).

A regra PEPS (também chamada de FIFO) prioriza a ordem de chegada, mas pode aumentar o tempo de espera médio dos lotes. A MTP obtém um *lead time* médio baixo e reduz os estoques em processos. A regra MDE reduz os atrasos, mas não traz vantagens muito claras. A regra IPI é parecida com a MDE e serve como critério de desempate de outras regras. As demais regras são normalmente empregadas em *softwares* de sequenciamento (TUBINO, p. 116, 2007).

2.4 PESQUISA OPERACIONAL

A Pesquisa Operacional (também chamada de tecnologia da decisão) consiste em desenvolver métodos científicos para auxiliar na tomada de decisões envolvendo recursos escassos. A partir de observações é possível criar modelos matemáticos que em geral são simplificações coerentes do problema real (ARENALES et al., 2007).

Neste contexto, a Pesquisa Operacional (PO) é a ciência aplicada que tem como objetivo a resolução de problemas reais por meio de modelos abstratos que os representam, facilitando muitas vezes a tomada de decisão, normalmente realizada através de modelos matemáticos resolvidos computacionalmente (TOCHA, 2014).

Taha (2008) complementa que as principais fases de implementação da Pesquisa Operacional se dão pela i) definição do problema, ii) construção do modelo, iii) solução do modelo, iv) validação e v) implementação da solução.

A Pesquisa Operacional busca encontrar uma solução ótima considerando aspectos diversos como restrições de tempo, custo e capacidade. “Alguns dos problemas típicos são: alocação, estoque, substituição ou reposição, filas de espera, sequência e coordenação, determinação de rotas, situações de competição, busca de informação, entre outros” (TIWARI E SANDILYA, 2006; apud MAIELLARO et al. 2015).

Tocha (2014) diz que uma solução ótima é aquela que não existe nenhuma outra solução melhor para um determinado problema. Segundo Taha (2008), a técnica mais utilizada é a Programação Linear, mas alguns modelos são tão complexos que é impossível obter um ótimo com um modelo linear que não seja contínuo, e por isso, é necessário recorrer a soluções com heurísticas em que uma solução viável já é suficiente. Outras técnicas consistem na Programação Inteira (ou discreta), Programação Dinâmica e Programação Não Linear.

Na otimização discreta ou combinatória, as variáveis pertencem a um conjunto discreto, normalmente número inteiros e a otimização do sequenciamento da programação da produção se encontra nesta classificação. Heurísticas são métodos de otimização que buscam obter uma solução razoável para problemas complexos (ARENALES et al., 2007).

Pesquisas acadêmicas em sequenciamento têm obtido bons resultados com o emprego de heurísticas complexas que procuram simular as decisões dos especialistas compondo técnicas de inteligência artificial, algoritmos genéticos e simulação. Alguns *softwares* (APS) comerciais exploram esse caminho (TUBINO, 2007).

Quando relacionada à programação da produção, a Pesquisa Operacional pode solucionar problemas de diversas formas, empregando principalmente métodos exatos e heurísticos (MORAIS, 2008; TSUJIGUCHI; BOIKO; MORAIS, 2010; apud TOCHA, 2014). Para auxiliar na escolha, Tocha (2014) consultou uma análise produzida por Miyata, Boiko e Morais (2011) que trata da abordagem e dos métodos empregados por diversos autores, como se segue no QUADRO 4.

QUADRO 4 – Principais abordagens na literatura para o programa de sequenciamento.

REFERÊNCIA	ABORDAGEM	MÉTODO DESENVOLVIDO
Hendizadeh (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu e <i>Simulated Annealing</i>
Huan e Yang (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Otimização da Colônia de Formigas
Kodeekha (2008)	- Solução ótima	- Método da Força Bruta - Aproximação de Programação Acoplável
Lo; Chen; Chang (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- <i>Branch-and-Bound</i> - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mansouri; Hendizadeh; Salmasi (2008)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Limitante Inferior - Construtivo - <i>Simulated Annealing</i> e Algoritmo Genético
Ruiz; Stützle (2008)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - Algoritmo Iterativo Guloso
Sajadi; Aryanezhad; Ziaee (2008)	- Solução ótima	- Programação Inteira Mista
Yang; Kuo; Chern (2008)	- Solução ótima	- <i>Branch-and-Bound</i>
Ben-Dati; Mosheiov; Oron (2009)	- Solução ótima	- Programação Inteira
Dhingra e Chandna (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético Híbrido

Linnet al. (2009)	- Heurística - Metaheurística	- Construtivo - <i>Simulated Annealing-Based</i>
Maboundian; Shafaei (2009)	- Solução ótima	-Modelo Matemático e Limitante Inferior
Martin (2009)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Programação Inteira Mista - Construtivo e Melhorativo - Algoritmo Genético
Mohammadi et al. (2009)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira Mista e Método da Enumeração Ótima - Construtivo
Mskani; Ladhari; Allahverdi (2009)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Eren (2010)	- Solução ótima - Heurística	- Programação Inteira - Construtivo
Gong; Tang e Duin (2010)	- Heurística	- Construtivo
Salmasi; Logendran; Skandari (2010)	- Heurística - Metaheurística - Híbrido	- Construtivo e Melhorativo - Busca Tabu - Otimização da Colônia de Formigas Híbrido
Sun (2010)	- Solução ótima	- Programação Dinâmica
Belo Filho (2010)	- Heurística	- Construtivo e Melhorativo
Fernandes; Carmo-Silva (2010)	- Simulação	- Modelo matemático
Kazama (2011)	- Heurística	- Construtivo
Silva, Morabito, Yanasse (2011)	- Solução ótima	- Programação Linear Inteira Mista
Bicalho, Santos, Yanasse (2011)	- Metaheurística	- Busca Tabu
Junior, Jesus (2012)	- Solução Ótima	- Modelo Matemático - Programação Linear Inteira Mista
Elisei (2012)	- Solução Ótima	- Modelo Matemático
Souza (2012)	- Solução Ótima - Metaheurística	- Modelo Matemático - Simulação Monte Carlo - Programação Inteira Mista
Figueiredo, Luche, Franco, Salgado (2013)	- Solução Ótima - Metaheurística	- Algoritmo Exato - <i>Simulated Annealing</i>
Junior (2013)	- Heurística - Metaheurística	- Algoritmo Genético
Rodriguez (2013)	- Solução ótima - Heurística - Metaheurística	- Modelo matemático

Fonte: Tocha (2014), adaptado de MIYATA; BOIKO; MORAIS (2011).

2.5 CLASSIFICAÇÃO DAS OPERAÇÕES EM FUNÇÃO DO FLUXO

Segundo Hordones e Fuchigami (2017), “os problemas de programação de tarefas em sistemas de produção são, tradicionalmente, classificados em função do fluxo das operações nas máquinas”.

As principais decisões de nível operacional são designação de tarefas (*Jobs*) a máquinas e a programação (sequenciamento) das tarefas nas máquinas, que varia de acordo com o ambiente de produção. As principais medidas de avaliação são o *makespan*, tempo de fluxo total, atrasos e número de atrasos. Os principais ambientes abordados são de máquina única, máquinas paralelas, *Job Shop* e *Flow Shop* (ARENALLES et al., 2007).

Segundo Tavares (2015), as principais medidas de desempenho do sequenciamento destes ambientes é a minimização do tempo de fluxo total, do atraso máximo, da soma dos atrasos, da soma dos atrasos e avanços, do número de tarefas atrasadas e do *lateness* máximo. *Lateness* pode ser entendido como a diferença entre a data de término e o prazo estabelecido para término, podendo indicar um atraso ou antecipação da tarefa.

2.5.1 Máquina única

Tavares (2015) pontua que esse é o modelo mais simples e Arenales et al. (2007) complementam que todas as tarefas estão disponíveis no tempo zero e que interrupções não são permitidas.

Na prática, Lustosa (2008 apud TOCHA, 2014) comenta que é difícil achar empresas com somente uma máquina para a produção. Tocha (2014) explica que esse conceito de máquina única pode ser aplicado a uma máquina gargalo que restringe todo o processo produtivo ou em centros de trabalho que dependam um do outro.

Teixeira (2018) ainda diz que “é o caso mais simples de todos os ambientes de máquinas e é também um caso especial de todos os outros ambientes de máquinas mais complicados”.

2.5.2 Máquinas paralelas

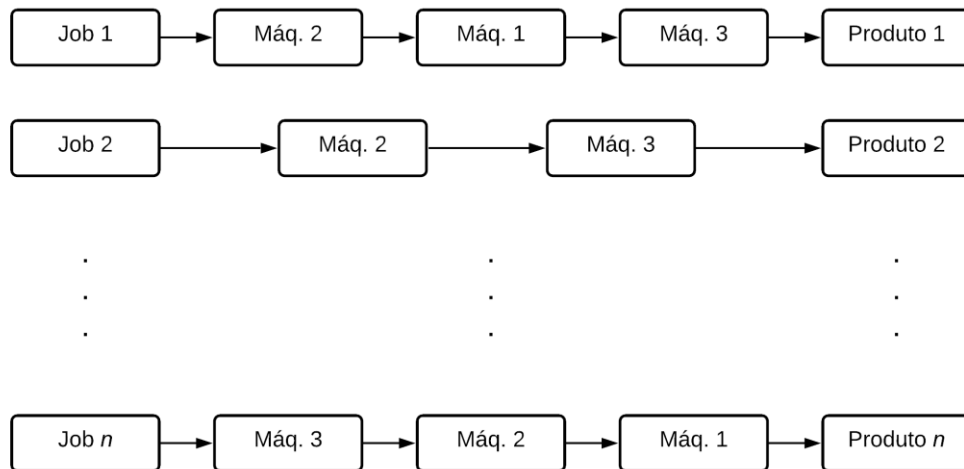
Para Tocha (2014), o sequenciamento em máquinas paralelas “consiste em processar os *jobs* em uma máquina pertencente a um outro conjunto de máquinas que podem ser idênticas ou não”.

Arenales et al. (2007) separam as máquinas paralelas em idênticas, uniformes e não relacionadas. As idênticas possuem o mesmo tempo de processamento, as uniformes possuem tempo de processamento dependente da máquina mais lenta, e nas não relacionadas cada máquina tem o seu tempo de processamento distinto. A função objetivo é a minimização da soma total dos atrasos e avanços das tarefas.

Teixeira (2018) também classifica as máquinas paralelas em idênticas (um trabalho pode ser processado em qualquer uma delas), com velocidades diferentes e em não relacionadas (cada máquina processa uma tarefa com um tempo distinto).

2.5.3 Job Shop

Para Arenales et al. (2007), *Job Shop* “é um ambiente de produção com n tarefas e m máquinas, em que cada tarefa é processada nas m máquinas, de acordo com um roteiro preestabelecido”, conforme pode ser observado na FIGURA 2. A função objetivo é a minimização do tempo de fluxo total (*makespan*). Segundo Tocha (2014), no *Job Shop* não há uniformidade nos roteiros quanto à ordem de cada máquina e as máquinas são agrupadas em um *layout* funcional, podendo ser tratado também como uma oficina de máquinas.

FIGURA 2 – Exemplo de *Job Shop*.

Fonte: Adaptado de Gomes Junior (2007), citado por Tocha (2014).

Tavares (2015), ao citar Conway (1967) e Beirão (1997), diz que “sequenciar um processo *Job Shop* é a tarefa de atribuir cada operação a uma posição específica na escala temporal da respectiva máquina” e que os principais pressupostos são de que não existe caminho alternativo para uma operação, existência de apenas uma máquina de cada tipo e uma ordem só pode ser processada ao ter terminado completamente na máquina anterior.

Ainda, Tocha (2014) atribui ao *Job Shop* sendo característico de baixo volume de produção, de alta variabilidade e de flexibilidade restrita porque conforme aumenta a flexibilidade a complexidade torna o sequenciamento ainda mais difícil.

Segundo Montevechi et al. (2002), ao citarem Zhous et al. (2001) e Carlier et al. (1989), é difícil de alcançar uma solução ótima devido à complexidade computacional e normalmente uma solução viável é empregada porque uma solução exata normalmente não é exigida por ser muito custosa e demorada.

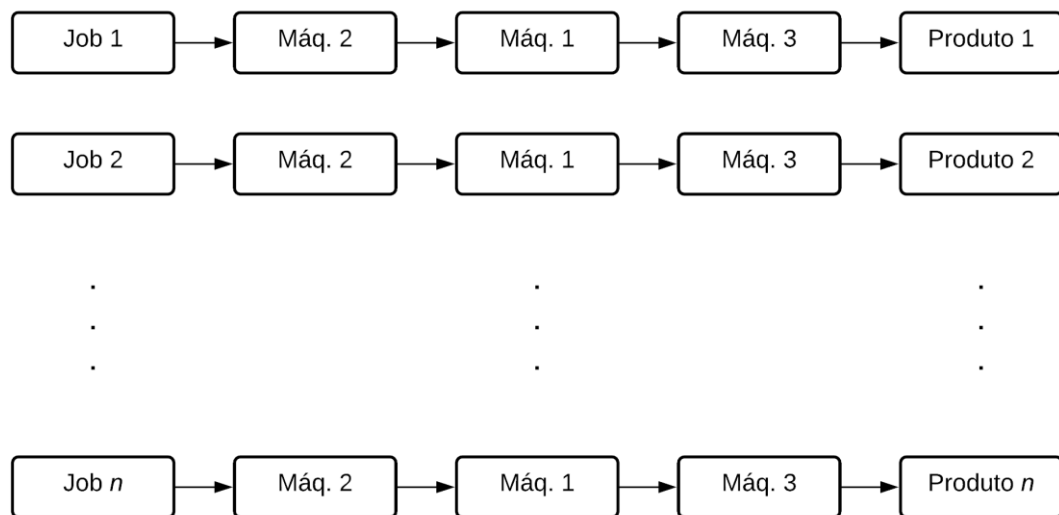
Tavares (2015) complementa que o *Job Shop* é um problema NP-difícil e que requer muito tempo de processamento conforme o número de passos cresce exponencialmente. Tocha (2014) acrescenta que nesse problema podem ser utilizados regras de prioridade para reduzir a complexidade.

Teixeira (2018) ainda faz uma abordagem do *Job Shop* híbrido que consiste no *Job Shop* com máquinas paralelas, caracterizado por centros de trabalho com máquinas idênticas em que uma tarefa será processada em qualquer uma destas máquina e apenas uma vez.

2.5.4 Flow Shop

Para Tavares (2015), no *Flow Shop* todas as tarefas tem uma sequência semelhante ao longo das máquinas, e onde houver máquinas em que a tarefa não precise passar é considerado um tempo nulo, conforme pode ser observado na FIGURA 3. Tocha (2014) complementa que devido à necessidade de seguir um roteiro de máquinas específico, as máquinas devem estar dispostas em série no *layout* da fábrica.

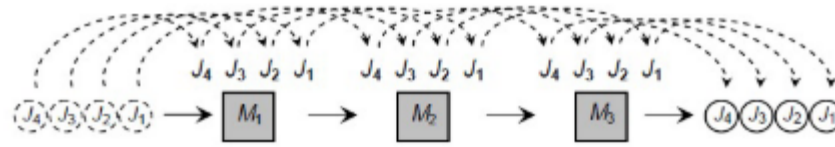
FIGURA 3 – Exemplo de *Flow Shop*.



Fonte: Adaptado de Gomes Junior (2007), citado por Tocha (2014).

Arenales et al. (2007) definem que o *Flow Shop* é uma derivação do *Job Shop* que se caracteriza quando as tarefas precisam ser alocadas em uma sequência de máquinas definida, restringindo o fluxo de produção em função do *layout* da fábrica. A função objetivo é a minimização do tempo de fluxo total (*makespan*).

Hordones e Fuchigami (2017) abordam em seu trabalho o *Flow Shop* permutacional em que “o objetivo é encontrar uma sequência entre as $n!$ possíveis”, conforme ilustrado na FIGURA 4, combinando tarefas que seguem uma ordem de máquinas definidas, com o objetivo de atender uma medida de desempenho estabelecida.

FIGURA 4 - Ilustração do funcionamento do *Flow Shop* permutacional.

Fonte: Hordones e Fuchigami (2017).

Campos, Arroyo e Gonçalves (2013), ao citar Koulamas e Kyparisis (2001), “afirmam que este tipo de ambiente de produção vem crescendo em resposta a pressão do mercado sobre as empresas para que ofereçam uma variedade maior de produtos e customizações”.

Teixeira (2018) aborda ainda o *Flow Shop* híbrido (também chamado de *Flow Shop* flexível) em que existem estágios em série composto por máquinas idênticas paralelas, funcionando como um banco de máquinas, e em cada trabalho a tarefa precisa passar em apenas uma máquina de cada estágio desse.

2.5.5 Outros

Dentre outras variações de classificação em relação ao fluxo, temos o *Job Shop* com número distinto de operações por tarefa (tarefas são processados por um conjunto de máquinas), *Job Shop* com interrupção, *Job Shop* com instantes de disponibilidade distintos, *Job Shop* flexível em que uma operação pode ser processada por qualquer máquina de um conjunto, *Flow Shop* flexível em que as operações são caracterizadas por setores com máquinas em paralelo, *Job Shop* com tempo de *setup* dependente da sequência, *Job Shop* e *Flow Shop* com *buffers* (estoques intermediários), *Job Shop* e *Flow Shop* com reentrada e restrições de precedência em que uma tarefa só pode iniciar quando tiver acabado totalmente na máquina anterior (TAVARES, 2015; ARENALES et al., 2007).

Restrições de precedência, segundo Teixeira (2018), é a exigência de que tarefas tenham que ser concluídas antes que seu processamento possa começar em outro recurso.

2.6 HEURÍSTICAS E METAHEURÍSTICAS

Arenales et al. (2007) definem heurísticas como método racional para resolução de problemas que obtém soluções razoáveis e que não garantem ser as ótimas. As heurísticas surgiram para solução de problemas complexos em que o

emprego de um método de resolução exata não está disponível ou ainda o esforço não vale a pena.

Tocha (2007) chama os métodos heurísticos de método aproximados e diz que, para problemas maiores, a não-garantia da solução ótima na maioria dos casos se tornam suficientes. Como forma de diminuir ainda mais os tempos computacionais, há uma combinação de heurísticas e métodos de otimização chamados de metaheurísticas. Melo (2014) complementa que os métodos heurísticos são amplamente abordados na literatura e os mais comuns são as heurísticas construtivas e as heurísticas de melhoria (também chamados de busca local).

Cheng, Gen e Tsujimura (1996), ao serem citados por Melo (2014), dizem que as regras de prioridade abordadas no capítulo de sequenciamento da produção também são heurísticas e são as mais utilizadas, embora tenha desempenho muito variado. Cavalcante (1995) também aborda em seu trabalho o uso de regras de prioridade como heurísticas.

2.6.1 Heurísticas construtivas

Segundo Arenales et al. (2007), as heurísticas construtivas constroem uma solução adicionando em cada passo um elemento da solução, sendo que a heurística construtiva gulosa visa o máximo benefício a cada passo. Melo (2014) explica que as operações são atribuídas às máquinas conforme o tempo avança até que todas as operações estejam alocadas, podendo ser utilizadas as regras de prioridade na sua formulação.

Já Becceneri (2008) cita o método guloso que pode ser aplicado à uma heurística construtiva e que busca a cada iteração o máximo resultado, tendo como vantagem ser rápida e em algumas vezes trazer soluções eficientes. No entanto, a abordagem gulosa pode prender a solução em ótimos locais.

2.6.2 Busca local ou de melhoria

Segundo Arenales et al. (2007), essa heurística é aplicada em uma solução já obtida por uma outra heurística, como a construtiva, e trabalha movimentando vizinhanças da solução em busca de uma solução melhor.

Melo (2014) diz que as heurísticas de melhoria precisam de um ponto de partida com uma solução inicial e iterativamente tentam encontrar soluções melhores dentro de uma região da solução inicial.

Brito e Freddo (2012) complementam que a busca local refina a solução inicial e intensifica a solução explorando regiões vizinhas em busca de um ótimo local.

“O sucesso do algoritmo de busca local depende da escolha de uma vizinhança adequada, das técnicas de busca em vizinhança utilizadas e da solução inicial” (ALVIM, 1998).

2.6.3 Metaheurísticas

As metaheurísticas, segundo Arenales et al. (2007), são combinações de heurísticas construtivas e de busca local e destaca que os principais são o Algoritmo genético, Busca Tabu e GRASP.

Segundo Tavares (2015), as metaheurísticas “são um processo iterativo de pesquisa de melhores soluções na vizinhança, com o objetivo de encontrar um ótimo para o problema próximo do ótimo global”.

Melo (2014) explica que algumas das metaheurísticas são métodos que utilizam busca local a partir de uma solução inicial fornecida por uma heurística construtiva, capaz de fornecer soluções de alta qualidade.

2.6.3.1 Busca Tabu

A Busca Tabu, segundo Arenales et al. (2007), é uma metaheurística que faz buscas nas vizinhanças baseadas na solução corrente e no histórico da busca, armazenada em memórias de curto prazo, de modo a evitar que algumas soluções sejam revisitadas de forma cíclica, e de longo prazo, para intensificar e diversificar as soluções. Segundo Tavares (2015), essa memória de curto e longo prazo tem como objetivo escapar de soluções com ótimos locais ao guardar seus últimos movimentos para tomar decisões futuras. Para Allahverdi et al. (2008), citado por Penna et al. (2012), a Busca Tabu é uma das mais utilizadas para o problema de sequenciamento da produção. Seu funcionamento ocorre com um número determinado de iterações e pode ser observado no pseudocódigo apresentado no ALGORITMO 1.

ALGORITMO 1 - Pseudocódigo da Busca Tabu.

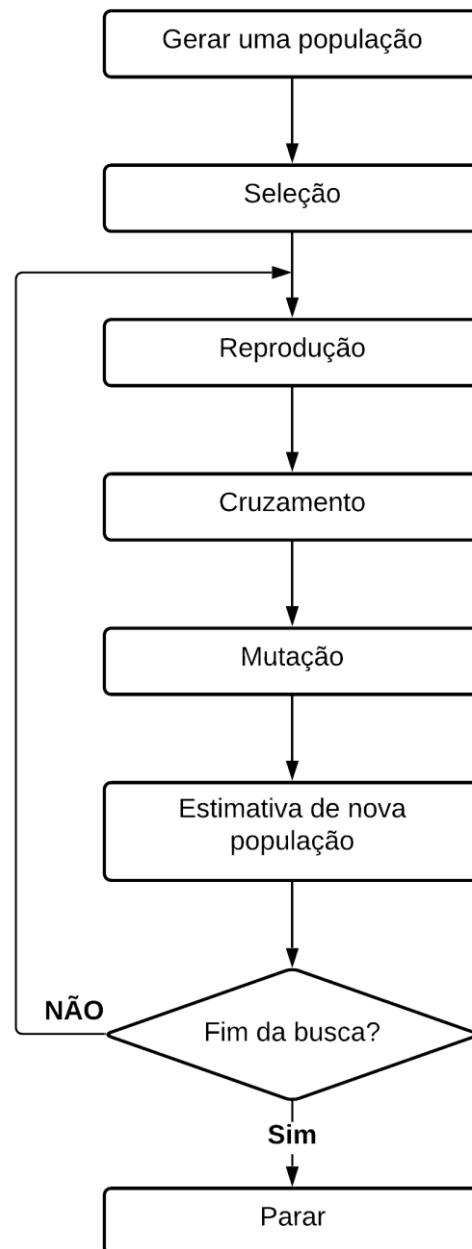
- Passo 1** Seja $k = 1$
 Selecionar uma sequência inicial S_1 usando uma heurística.
 Seja $S_0 = S_1$
- Passo 2** Selecionar um candidato S_c da vizinhança de S_k
 Se o movimento $S_k \rightarrow S_c$ é proibido por qualquer mutação na lista tabu, então $S_{k+1} = S_k$ e avançar para o passo 3.
 Se o movimento $S_k \rightarrow S_c$ não é proibido por qualquer mutação na lista tabu, então $S_{k+1} = S_c$ e colocar no topo da lista tabu.
 Descer todas as outras uma posição e remover a última da lista tabu.
 Se $F(S_c) < F(S_0)$, então $S_0 = S_c$
 Avançar para o passo 3.
- Passo 3** Incrementar K em 1.
 Se $k = N$ então PARAR, se não, ir para o passo 2.
-

Fonte: Tavares (2015).

2.6.3.2 Algoritmos genéticos

Segundo Arenales et al. (2007), os Algoritmos genéticos são métodos baseado no processo biológico de seleção natural e usa mecanismos probabilísticos de seleção, cruzamento e mutação, visando escolher a solução mais apta. Tavares (2015) complementa que os algoritmos genéticos buscam iterativamente uma melhor solução a partir de uma população inicial e ilustra o processo na FIGURA 5 através de um fluxograma. Cavalcante (1995) acrescenta que a cada iteração a população é renovada totalmente ou parcialmente.

FIGURA 5 – Fluxograma representando o Algoritmo Genético.



Fonte: Tavares (2015).

2.6.3.3 GRASP

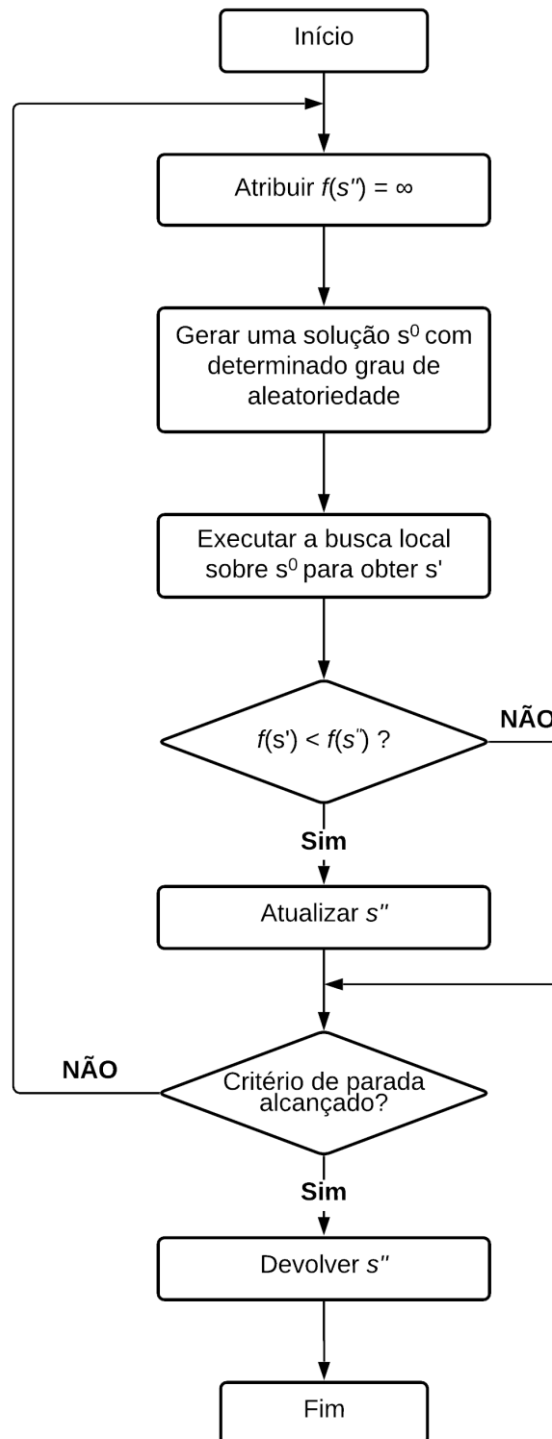
Segundo Fernandes (2002), o GRASP (*Greedy Randomized Adaptive Search Procedure*) possui um processo iterativo composto pela fase de construção aleatória e uma fase de busca local. É criado em cada iteração uma solução admissível adicionando um elemento de cada vez.

Para Melo (2014), o GRASP gera várias soluções através de aleatoriedade de um processo guloso, explorando uma ampla região de soluções. Adotando o

conceito de lista restrita de candidatos é possível controlar melhor os resultados ao selecionar a cada etapa, elementos que tragam o maior benefício. Pode-se utilizar de probabilidades para aumentar a chance de se sortear um determinado item. O GRASP tem obtido sucesso em diversos trabalhos, inclusive o de *flowshop* permutacional, tratando os objetivos de minimizar *makespan* e atraso máximo. Na FIGURA 6, Melo (2014) exemplifica o funcionamento da metaheurísticas GRASP através de um fluxograma.

Brito e Freddo (2012) complementam que na fase de construção uma solução é criada adicionando elemento por elemento, obtida por meio de uma lista de candidatos que pode ser selecionado por um método guloso ou aleatório. Quando guloso, geram solução boas mas com pouca diversidade, e quando aleatórios, geram soluções de baixa qualidade mas de alta diversidade.

FIGURA 6 - Fluxograma da metaheurística GRASP.



Fonte: Melo (2014).

Quanto à fase de busca local, os autores Campos, Arroyo e Gonçalves (2013); Brito e Freddo (2012); Gonçalves, Souza e Souza (2012) e Penna et al. (2012) utilizam o VND como forma de melhorar a solução inicial. Brito e Freddo (2012) explicam que o VND (*Variable Neighborhood Descent*) explora soluções

trocando estruturas de vizinhança a partir de uma solução inicial e só é registrada caso consiga melhoras. Gonçalves, Souza e Souza (2012) complementam que o VND pode ser custoso computacionalmente e por isso normalmente aplica-se até encontrar a primeira solução de melhoria. Campos, Arroyo e Gonçalves (2013) abordam uma variante da VND na qual uma vizinhança é escolhida de forma aleatória. Penna et al. (2012) dizem que o VND requer poucos parâmetros e produz soluções de boa qualidade. Um exemplo de algoritmo de busca local utilizando o VND é mostrado no ALGORITMO 2.

ALGORITMO 2 – Pseudocódigo do algoritmo busca local VND.

```

Ordenar as estruturas de vizinhanças:  $V \leftarrow \{V_1, V_2, \dots, V_{n_V}\}$ ;
 $k \leftarrow 1$ ;
Enquanto ( $k \leq n_V$ ) faça
     $S' \leftarrow$  Encontrar o melhor vizinho na vizinhança  $V_k(S)$ ;
    Se ( $f(S') < f(S)$ ) Então
         $S \leftarrow S'$ ;
         $k \leftarrow 1$ ; // reinício
    Senão
         $k \leftarrow k + 1$ ;
Fim_Enquanto
Retorna  $S$ ;
```

Fonte: Campos, Arroyo e Gonçalves (2013).

3 MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo será abordado a classificação da pesquisa, a metodologia utilizada no desenvolvimento e na obtenção dos resultados, a empresa estudada e a metaheurística escolhida para o desenvolvimento do algoritmo.

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

3.1.1 Natureza

Quanto a natureza, uma pesquisa pode ser classificada em básica ou aplicada. A pesquisa básica não tem preocupação com a utilização na prática, busca apenas generalizações. Esta pesquisa se classifica como de natureza aplicada por ter como objetivo modelar e testar uma solução de um problema real, voltada para o desenvolvimento de um novo *software* de sequenciamento para as necessidades das indústrias moveleiras (APPOLINÁRIO, 2006 apud TURRIONI; MELLO, 2012).

3.1.2 Objetivos

Quanto aos objetivos, pode ser classificado em descritiva, explicativa, exploratória e normativa. A exploratória visa construir hipóteses e construir exemplos que facilitem a compreensão. A descritiva observa e relata as relações entre as variáveis. A explicativa busca identificar e explicar a razão dos acontecimentos (TURRIONI; MELLO, 2012). Segundo Bertrand e Fransoo (2002, apud TURRIONI; MELLO, 2012), pesquisas normativas tem o foco de desenvolver políticas, estratégias e ações para aperfeiçoar, otimizar ou comparar os resultados da aplicação a um problema. Portanto, a classificação desta pesquisa quanto ao objetivo é normativa porque propõe uma nova norma através de um modelo para que uma empresa sequencie as tarefas de produção de forma mais eficaz.

3.1.3 Abordagem

Quanto a abordagem, uma pesquisa pode ser classificada em quantitativa, qualitativa ou a combinação de ambas. A qualitativa é utilizada quando não se pode traduzir informações em números, o entendimento das informações acontece por meio de percepções. Já na quantitativa, abordagem desta pesquisa, são levados em consideração dados numéricos e modelos matemáticos para elaboração da solução

proposta, uma vez que todas as opiniões e informações podem ser escritas de forma numérica e é imprescindível para a formulação do modelo e transcrição na forma de um algoritmo (TURRIONI; MELLO, 2012). Segundo Miguel et al. (2012), a pesquisa quantitativa pode ser racional (axiomática, dedutiva) ou existencial (empírica, interpretativa). Logo, esta pesquisa se classifica como empírica quantitativa uma vez que se espera criar modelos que se adequem a um problema real existente e que requer um bom conhecimento das características relacionadas as variáveis do processo.

3.1.4 Método

Quanto ao método, a pesquisa pode utilizar experimentação, levantamento ou *survey*, estudo de caso, pesquisa-ação ou modelagem e simulação. O experimento é utilizado quando se pretende observar e avaliar a influência da manipulação de variáveis de um estudo. O levantamento ou *survey* é utilizado quando se pretende entrevistar diretamente as pessoas. O estudo de caso estuda profundamente e exaustivamente um objeto para um detalhado conhecimento dele. A pesquisa-ação é utilizada quando o pesquisador participa da situação e está envolvido nas mudanças. Já na modelagem e simulação, método utilizado nesta pesquisa, possui como finalidade a criação e a experimentação de um modelo para gerar soluções para um problema real (TURRIONI; MELLO, 2012).

Na modelagem, um sistema real é abstraído e simplificado em um modelo conceitual descrito verbalmente ou visualmente. Depois é abstraído em um modelo matemático analítico para representar satisfatoriamente o sistema, escolhendo quais variáveis devem ser incluídas. Através da Pesquisa Operacional é feito a definição do problema, a construção do modelo, a solução do modelo e implementação. No que tange a resolução, este modelo de programação pode ser classificado como programação matemática determinística por apresentar variáveis de decisão e uma função objetivo, normalmente buscando-se minimizar ou maximizar a função objetivo sujeito a restrições (MIGUEL, 2012).

Segundo Miguel et al. (2012), os modelos representam a realidade por serem suficientemente detalhados e por permitirem compreender o ambiente abordado, identificar problemas, formular soluções e sistematizar a tomada de decisões. Ele classifica modelos quantitativos como abstratos por utilizar técnicas analíticas e experimentais e complementa que é o cerne da Pesquisa Operacional.

Diante do exposto, esta pesquisa pode ser classificada conforme exposto no QUADRO 5.

QUADRO 5 - Classificação da pesquisa.

CLASSIFICAÇÃO	TIPOLOGIA
Natureza	Pesquisa Aplicada
Abordagem	Pesquisa Quantitativa
Objetivo	Pesquisa normativa
Método	Modelagem e Simulação

Fonte: Os Autores (2021).

3.2 METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em etapas onde na primeira etapa, para entender o contexto da empresa, o sistema de produção e o ambiente de produção utilizados, é necessário realizar uma revisão da literatura de outros trabalhos que abordam indústrias moveleiras e de literaturas sobre o planejamento e controle da produção, Pesquisa Operacional, sequenciamento da produção e uso de heurísticas como alternativa à Programação Linear.

Na segunda etapa, com base na revisão de literatura a empresa é contextualizada quanto as informações relevantes, tipo de sistema de produção adotado, o ambiente de produção em função das máquinas, o levantamento das principais restrições e os dados coletados.

Na terceira etapa, a metaheurística é escolhida com base na contextualização e dados da empresa, ou ainda, a partir da análise de trabalhos similares e na facilidade de replicação deles.

Na quarta etapa, de posse das informações relevantes, dos dados quantitativos e das restrições, é desenvolvido um modelo conceitual capaz de representar o sistema.

Na quinta etapa, após a modelagem é desenvolvido um algoritmo com base na metaheurística abordada para gerar soluções factíveis ao problema, respeitando as restrições levantadas e utilizando-se dos dados coletados.

Por fim, na sexta etapa o resultado da solução do algoritmo é então comparado com a sequência obtida no histórico de produção do mesmo produto e avaliado se houve ganhos significativos, além da discussão dos benefícios de se utilizar o modelo e o algoritmo propostos.

O algoritmo foi escrito na linguagem *Python*, que é de fácil codificação e possui baixa curva de aprendizagem, além do fato de que o *Python* está entre as linguagens que mais crescem nos últimos anos e tem sido buscado cada vez mais pelas empresas (Índice TIOBE, 2020). No entanto, neste trabalho é mostrado apenas a estrutura do algoritmo e das heurísticas na forma de pseudocódigos, com estrutura similar à de codificação da linguagem *Python*. O desenvolvimento foi realizado através de um computador de mesa com sistema operacional *Windows*™ 10, 6GB de memória RAM, processador AMD FX-4300 de 3.8Ghz, linguagem de programação *Python* 3.9 e compilador *Pypy* para obter ganhos de eficiência em tempo de processamento do código. O código foi escrito em *Python* puro pois o compilador *Pypy* possui algumas dificuldades no uso de pacotes externos (como o *Numpy*, *Pandas*, *Numba*), sendo a sua principal vantagem o ganho de desempenho em *loops* de processos iterativos.

3.3 A EMPRESA

A empresa objeto deste trabalho é uma indústria moveleira de Arapongas, de grande porte, em funcionamento a mais de 30 anos, com duas unidades próximas e um total de 510 funcionários. A empresa produz predominantemente móveis residenciais retilíneos e seriados. Para atender grandes varejistas e também a exportação para outros países, produz grandes quantidades como forma de atender o pedido e minimizar o impacto dos longos tempos de *setup*. Diante disso, a característica do sistema produtivo é por lotes, devido ao fato da utilização de lotes econômicos de produção e de que a quantidade excedente ao pedido dos clientes é armazenada em estoques para serem utilizados em pedidos futuros.

Nos sistemas em lote, o grande número de detalhes e ordens geradas requer um sequenciamento recurso a recurso para garantir a fluidez, redução de estoques e redução de tempo de espera entre processos. O PCP programa semanalmente a produção de um produto por dia de produção e segundo o que foi observado, não é feita uma ordenação da sequência de produção das peças, apenas dos produtos como um todo, de forma empírica, sem métodos bem estabelecidos. Dessa forma, a sequência de produção das peças é definida no chão de fábrica segundo algum critério dos operadores ou de forma aleatória, não sendo poucas as vezes em que pôde ser observado máquinas ociosas ou estoques intermediários cheios. Esses estoques intermediários são chamados de pulmão pelo

setor de PCP e servem como fator de segurança em caso de quebra de máquina, para manter os gargalos a 100% da capacidade ou reduzir o impacto da variabilidade dos processos. O gargalo da produção varia entre os setores de acordo com as características do produto produzido, que tem características que podem demandar mais de um setor ao passo que outro produto pode demandar mais de outro.

Além disso, condizente com o que foi abordado na revisão bibliográfica, a empresa foi se modernizando e manteve máquinas obsoletas junto com máquinas mais modernas e por isso as peças são produzidas em setores compostos por máquinas com desempenhos diferentes e setores com máquinas similares. Isso acarreta que para uma peça seja necessário fixar uma máquina para determinada operação e em outra operação possa-se escolher a máquina com menor utilização. Como as peças possuem um roteiro definido com quais máquinas ou setores deverá passar, sem ter que necessariamente passar por todas as máquinas da fábrica, as operações do sistema produtivo da empresa são classificadas como *Job Shop*, conforme exemplificado na FIGURA 2.

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário coletar alguns dados na empresa em visitas diárias a planta fabril durante a vigência do estágio não-obrigatório e do obrigatório. As variáveis abordadas foram o tempo de ciclo das peças, o tempo de *setup* médio de cada máquina, o roteiro de operação e máquinas que a peça segue, tendo como base de extração o sistema de apontamento e histórico de produção informatizado utilizado na empresa. Os dados precisaram ser fornecidos pela empresa, uma vez que a cronoanálise de um produto normalmente requer um turno inteiro de produção e há processamento simultâneo de peças distintas, tornando inviável e complexa a obtenção dos tempos por apenas uma pessoa.

O *layout* de produção e locais dos estoques, fundamentais para o estabelecimento de restrições, foram observados na planta fabril com o auxílio dos supervisores de produção e documentados em um modelo simbólico através de fluxogramas. As principais restrições observadas inicialmente foram a capacidade distinta de cada máquina dentro de um mesmo setor, estoque entre os setores e dependência de processos anteriores para que uma peça possa prosseguir. Outra restrição observada foi que pra determinadas operações de uma peça há uma

máquina fixa (que ocorre no caso das coladeiras) e para outras utiliza-se a máquina menos utilizada (que ocorre nas furadeiras).

3.4 HEURÍSTICA ABORDADA

Foi escolhido a metaheurística GRASP devido à sua simplicidade em relação as demais metaheurísticas e a boa quantidade de trabalhos similares que abordam o método e que foram utilizados na revisão bibliográfica. Essa metaheurística gera várias soluções através da repetição de uma heurística construtiva aleatória seguida de uma busca local de melhoria, conforme pode ser exemplificado na FIGURA 7.

FIGURA 7 – GRASP.

Algoritmo1: GRASP_VND (α , *TempoMaximo*)

```

f(S)  $\leftarrow$  M; //um valor suficientemente grande
Tempo  $\leftarrow$  0;
Enquanto (Tempo < TempoMaximo) faça
    S'  $\leftarrow$  Construção(  $\alpha$  ); //Construção Gulosa Aleatória
    S''  $\leftarrow$  VND( S' ); //Busca Local
    Se ( f(S'') < f(S) ) Então
        S  $\leftarrow$  S'';
    AtualizaTempo(Tempo);
Fim_Enquanto
Retorna S;
```

Fonte: Campos, Arroyo e Gonçalves (2013).

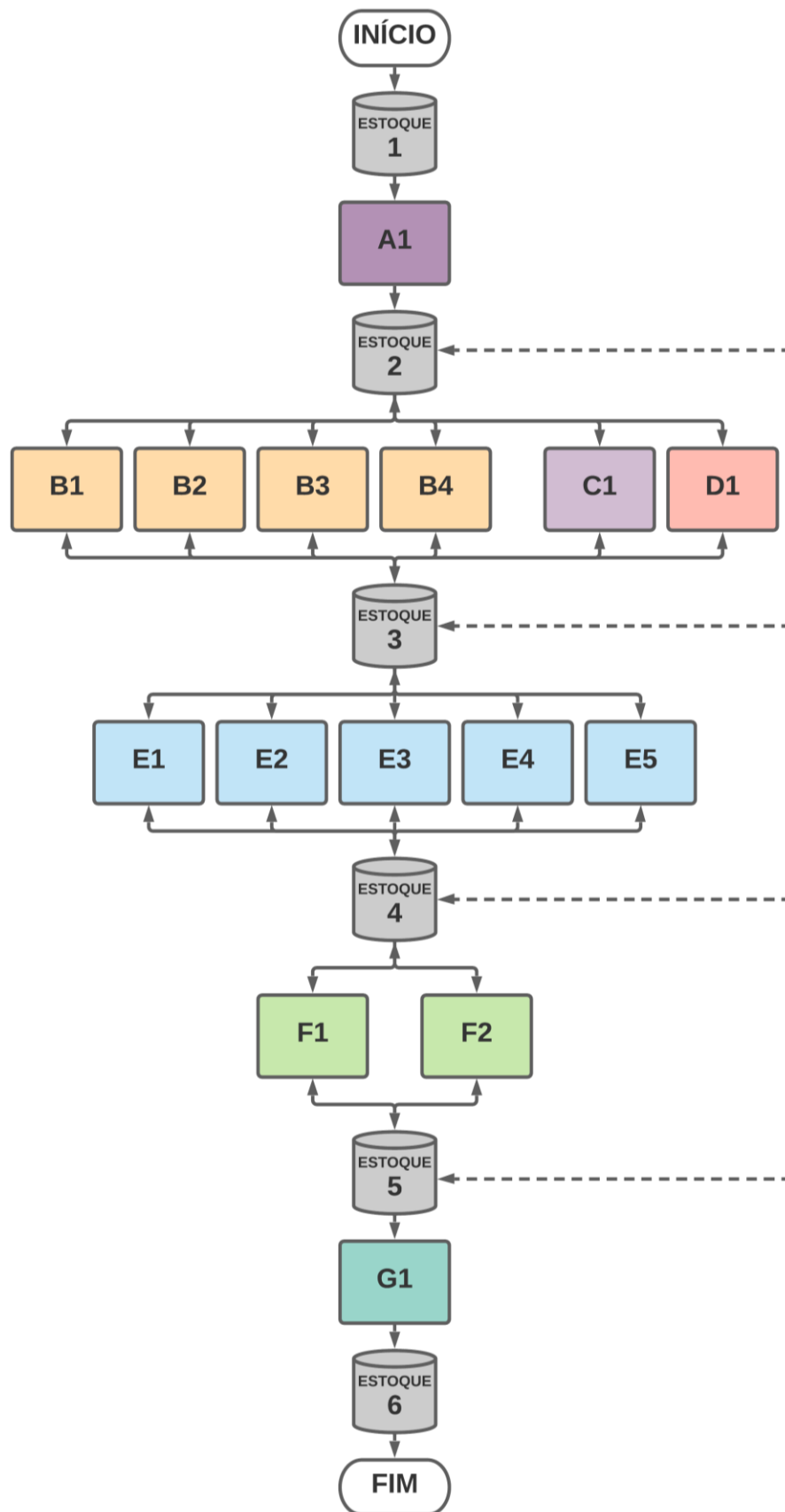
4 DESENVOLVIMENTO

Neste capítulo será abordado a modelagem conceitual e o desenvolvimento da metaheurística com base nos dados coletados na empresa e utilizados como referência na adaptação da heurística e na codificação do algoritmo.

4.1 MODELAGEM CONCEITUAL

Para o desenvolvimento da metaheurística abordada foi necessário estabelecer alguns critérios e restrições com base nos dados e nas observações realizadas na empresa. Normalmente uma peça produzida segue o fluxo de setores apresentado na FIGURA 8, mas não necessariamente por todas as máquinas do setor, as vezes por nenhuma, sendo característica notável de um sistema de operações em fluxo *Job Shop*. Na FIGURA 8 estão representados os estoques intermediários e as máquinas. As máquinas foram enumeradas com uma letra e um número, sendo as máquinas iniciadas com a mesma letra, pertencentes a um mesmo setor, com funções idênticas ou parecidas.

FIGURA 8 - Setores, fluxos da produção, estoques intermediários e máquinas da indústria abordada.



Fonte: Os Autores (2021).

Foi observado que algumas peças possuem diferentes critérios de seleção de máquinas candidatas. A maioria das operações do roteiro das peças de um produto possuem uma máquina fixa devido ao balanceamento de carga e a peculiaridade de que as máquinas de um mesmo setor fazem as mesmas operações de forma diferente e com tempos de ciclo diferentes. No entanto, nos setores com máquinas idênticas ou relativamente parecidas é possível adotar como critério de sequenciamento o uso da máquina que estiver com menor utilização. Portanto, para o desenvolvimento do trabalho foi assumido como critério a seleção de uma máquina candidata de forma aleatória, fixa ou a de menor utilização.

As principais restrições observadas e utilizadas no modelo conceitual e no algoritmo são as seguintes:

- Uma operação só deve ser processada por uma única máquina escolhida;
- Admite-se que uma operação possa ser processada a partir do momento em que as peças comecem a ser liberadas do processo anterior, sem ter que esperar concluir o processamento do lote de peças;
- Não se admite interrupções ou troca de peças sem ter acabado o processamento;
- Uma operação só pode iniciar se todas as suas operações antecedentes já foram concluídas ou estejam em andamento;
- Uma operação não pode terminar antes da operação que a antecede;
- Existe uma quantidade mínima de peças que devem ser acumuladas para formar uma pilha para que possa seguir de uma máquina a outra;
- Há um tempo médio de deslocamento para as pilhas que saem de uma máquina a outra e que deve ser levado em consideração na definição do tempo de início da operação posterior;
- Existem operações que possuem como produto duas ou mais peças diferentes, como por exemplo o corte de chapa, e operações que possuem como produto um volume com a unificação de várias peças, como ocorre na embalagem;
- Existem critérios para a escolha da máquina candidata para uma operação, podendo ser aleatório dentre uma lista de possíveis candidatas, fixa quando houver apenas uma máquina na lista ou a de menor utilização;

- Existem operações que obrigatoriamente ocorrem simultaneamente com outra operação na mesma máquina.

Como o sistema é baseado em produção por lotes, foi coletado na empresa os dados para a produção de um lote de um dos produtos mais produzidos. Para atender a restrições de que para uma peça *P* com uma operação hipotética *Y* só possa ser executada se uma operação *X* já tenha sido executada anteriormente, foi criada uma tabela de operações com identificadores únicos e uma coluna com uma lista de operações consideradas como requisitas para a execução. Além disso, existem algumas operações que ocorrem simultaneamente com uma outra na mesma máquina e por isso foi necessário identificar esses casos por meio da referência do identificador único de cada operação. A TABELA 1 apresenta as 77 operações que as 16 peças do produto possui ao todo, além dos requisitos, a operação que ocorre simultaneamente (caso exista), o setor em que é processado, a quantidade necessária e o critério de escolha da máquina candidata.

TABELA 1 – Lista de operações das peças.

Operação	Requisitos	Operação Simultânea	Peça	Setor	Quantidade	Critério
1	[0]	-	P01	A	1	aleatório
2	[0]	-	P01	A	3	aleatório
3	[0]	4	P02	A	5	aleatório
4	[0]	3	P01	A	5	aleatório
5	[0]	-	P03	A	4	aleatório
6	[0]	-	P04	A	10	aleatório
7	[0]	-	P05	A	1	aleatório
8	[0]	-	P06	A	10	aleatório
9	[0]	-	P07	A	15	aleatório
10	[0]	-	P08	A	29	aleatório
11	[0]	12	P09	A	5	aleatório
12	[0]	11	P10	A	5	aleatório
13	[0]	-	P10	A	2	aleatório
14	[0]	-	P11	A	6	aleatório
15	[0]	16	P04	A	16	aleatório
16	[0]	15	P13	A	16	aleatório
17	[0]	18	P14	A	8	aleatório
18	[0]	17	P01	A	8	aleatório
19	[0]	32	P12	A	9	aleatório
20	[0]	21	P15	A	23	aleatório
21	[0]	20	P16	A	23	aleatório
22	[1,2,4,18]	-	P01	B	800	aleatório

TABELA 1 – Lista de operações das peças.

Operação	Requisitos	Operação Simultânea	Peça	Setor	Quantidade	Critério
23	[3,4]	-	P02	B	400	aleatório
24	[23]	-	P02	B	400	aleatório
25	[24]	-	P02	C	400	aleatório
26	[25]	-	P02	B	800	aleatório
27	[26]	-	P02	E	800	menor
28	[22]	-	P01	C	800	aleatório
29	[28]	-	P01	B	2400	aleatório
30	[29]	-	P01	B	800	aleatório
31	[30]	-	P01	E	3200	menor
32	[0]	19	P05	A	9	aleatório
33	[7,32]	-	P05	B	800	aleatório
34	[33]	-	P05	E	800	menor
35	[21]	-	P16	B	800	aleatório
36	[35]	-	P16	E	1600	menor
37	[20]	-	P15	B	800	aleatório
38	[37]	-	P15	E	800	menor
39	[10]	-	P08	B	1600	aleatório
40	[39]	-	P08	E	1600	menor
41	[16]	-	P13	B	1600	aleatório
42	[41]	-	P13	E	1600	menor
43	[42]	-	P13	E	1600	menor
44	[17,18]	-	P14	B	800	aleatório
45	[44]	-	P14	E	800	menor
46	[8]	-	P06	B	1600	aleatório
47	[46]	-	P06	B	1600	aleatório
48	[47]	-	P06	E	1600	menor
49	[19]	-	P12	B	1600	aleatório
50	[49]	-	P12	E	1600	menor
51	[6,15]	-	P04	B	1600	aleatório
52	[51]	-	P04	E	1600	menor
53	[5]	-	P03	C	534	aleatório
54	[53]	-	P03	E	1600	menor
55	[59]	-	P07	B	800	aleatório
56	[55]	-	P07	B	800	aleatório
57	[56]	-	P07	E	800	menor
58	[57]	-	P07	E	800	menor
59	[9,11,12,13,14]	-	P07	D	800	aleatório
60	[58]	-	P07	F	800	menor
61	[38]	-	P15	F	267	menor
62	[36]	-	P16	F	800	menor
63	[45]	-	P14	F	800	menor
64	[27]	-	P02	F	80	menor
65	[31]	-	P01	F	1600	menor

TABELA 2 – Tempos de *setup* das máquinas para cada operação (em segundos).

[illegible]

TABELA 2 – Tempos de *setup* das máquinas para cada operação (em segundos).

Op.	Peça	Tempo de <i>Setup</i> por máquina (segundos)														
		A1	B1	B2	B3	B4	C1	D1	E1	E2	E3	E4	E5	F1	F2	G1
50	P12	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
51	P04	-	360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	P04	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
53	P03	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	P03	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
55	P07	-	-	360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	P07	-	-	360	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	P07	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
58	P07	-	-	-	-	-	-	-	1000	1000	1000	1000	1000	-	-	-
59	P07	-	-	-	-	-	-	0	-	-	-	-	-	-	-	-
60	P07	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
61	P15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
62	P16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
63	P14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
64	P02	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
65	P01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
66	P13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
67	P13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-
68	P06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
69	P06	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-
70	P05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
71	P05	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-
72	P12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
73	P12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	-
74	P04	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
75	P08	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	600	600	-
76	V1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
77	V2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0

Fonte: Os Autores (2021).

Os tempos de ciclo de cada peça nas suas máquinas candidatas podem ser observadas na TABELA 3. Uma mesma peça possui várias operações de agregação de valor, por isso há uma repetição do mesmo nome de peça ao longo das operações. Na tabela, o traço representa que a máquina em questão não é candidata para a execução da operação.

TABELA 3 – Tempo de ciclo para a operação de cada peça (em segundos).

Op.	Peça	Setor	Tempo de Ciclo por peça nas máquinas candidatas (segundos)														
			A1	B1	B2	B3	B4	C1	D1	E1	E2	E3	E4	E5	F1	F2	G1
1	P01	A	347	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2	P01	A	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	P02	A	329	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	P01	A	329	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	P03	A	345	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	P04	A	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	P05	A	236	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	P06	A	142	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	P07	A	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	P08	A	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	P09	A	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	P10	A	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	P10	A	300	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	P11	A	417	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	P04	A	267	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	P13	A	267	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	P14	A	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	P01	A	288	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	P12	A	255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	P15	A	169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	P16	A	169	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	P01	B	-	2,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	P02	B	-	-	-	11,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	P02	B	-	-	2,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	P02	C	-	-	-	-	-	4,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-
26	P02	B	-	-	-	-	5,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	P02	E	-	-	-	-	-	-	-	4	4	4	4	4	-	-	-
28	P01	C	-	-	-	-	-	5,67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	P01	B	-	-	-	-	5,32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	P01	B	-	-	-	-	2,66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	P01	E	-	-	-	-	-	-	-	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6	-	-	-
32	P05	A	255	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	P05	B	-	-	-	3,28	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
34	P05	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
35	P16	B	-	2,52	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
36	P16	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
37	P15	B	-	-	-	6,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	P15	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
39	P08	B	-	3,73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	P08	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
41	P13	B	-	-	2,86	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	P13	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-

TABELA 3 – Tempo de ciclo para a operação de cada peça (em segundos).

Op.	Peça	Setor	Tempo de Ciclo por peça nas máquinas candidatas (segundos)														
			A1	B1	B2	B3	B4	C1	D1	E1	E2	E3	E4	E5	F1	F2	G1
43	P13	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
44	P14	B	-	-	-	3,54	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
45	P14	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
46	P06	B	-	-	-	3,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	P06	B	-	-	-	3,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	P06	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
49	P12	B	-	2,84	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
50	P12	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
51	P04	B	-	2,34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
52	P04	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
53	P03	C	-	-	-	-	-	11,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
54	P03	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
55	P07	B	-	-	6,14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	P07	B	-	-	2,53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
57	P07	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
58	P07	E	-	-	-	-	-	-	-	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-
59	P07	D	-	-	-	-	-	-	20	-	-	-	-	-	-	-	-
60	P07	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,57	1,57	-
61	P15	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,91	6,91	-
62	P16	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
63	P14	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
64	P02	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7,04	7,04	-
65	P01	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,36	-
66	P13	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
67	P13	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
68	P06	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
69	P06	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
70	P05	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,61	-
71	P05	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,61	0,61	-
72	P12	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,51	1,51	-
73	P12	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,51	1,51	-
74	P04	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,46	1,46	-
75	P08	F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5,53	5,53	-
76	V1	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13
77	V2	G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13

Fonte: Os Autores (2021).

A TABELA 4 traz informações que demonstram a dinâmica do estoque e das pilhas. Para cada quantidade que será processada na máquina existe um número de peças que entram e um total de peças que saem após o processamento. Quando a quantidade de peças que sai atinge um número pré-definido de peças por pilha, a

pilha formada é despachada para a operação seguinte em outra máquina. As colunas de estoque inicial e final trazem a informação de qual estoque a peça é retirada e para qual estoque as peças irão após o processamento.

TABELA 4 – Dinâmica de estoques e número de pilhas.

Op.	Peça	Quantidade	Total Entrada	Total Saída	Peças por Pilha	Pilhas	Estoque Inicial	Estoque Alvo
1	P01	1	4	54	160	1	ESTOQ1	ESTOQ2
2	P01	3	16	224	160	1	ESTOQ1	ESTOQ2
3	P02	5	34	400	200	2	ESTOQ1	ESTOQ2
4	P01	5	34	306	160	2	ESTOQ1	ESTOQ2
5	P03	4	25	534	180	3	ESTOQ1	ESTOQ2
6	P04	10	70	1050	80	13	ESTOQ1	ESTOQ2
7	P05	1	5	400	400	1	ESTOQ1	ESTOQ2
8	P06	10	64	1600	320	5	ESTOQ1	ESTOQ2
9	P07	15	100	800	30	27	ESTOQ1	ESTOQ2
10	P08	29	200	1600	80	20	ESTOQ1	ESTOQ2
11	P09	5	18	800	120	7	ESTOQ1	ESTOQ2
12	P10	5	18	288	960	1	ESTOQ1	ESTOQ2
13	P10	2	6	1312	960	2	ESTOQ1	ESTOQ2
14	P11	6	22	1600	120	14	ESTOQ1	ESTOQ2
15	P04	16	107	550	80	7	ESTOQ1	ESTOQ2
16	P13	16	107	1600	320	5	ESTOQ1	ESTOQ2
17	P14	8	54	800	80	10	ESTOQ1	ESTOQ2
18	P01	8	54	216	160	2	ESTOQ1	ESTOQ2
19	P12	9	58	1600	320	5	ESTOQ1	ESTOQ2
20	P15	23	160	800	80	10	ESTOQ1	ESTOQ2
21	P16	23	160	800	80	10	ESTOQ1	ESTOQ2
22	P01	800	800	800	160	5	ESTOQ2	ESTOQ2
23	P02	400	400	400	200	2	ESTOQ2	ESTOQ2
24	P02	400	400	400	200	2	ESTOQ2	ESTOQ3
25	P02	400	400	800	400	2	ESTOQ3	ESTOQ2
26	P02	800	800	800	400	2	ESTOQ2	ESTOQ3
27	P02	800	800	800	400	2	ESTOQ3	ESTOQ4
28	P01	800	800	3200	640	6	ESTOQ2	ESTOQ2
29	P01	2400	2400	2400	640	4	ESTOQ2	ESTOQ3
30	P01	800	800	800	640	1	ESTOQ2	ESTOQ3
31	P01	3200	3200	3200	640	5	ESTOQ3	ESTOQ4
32	P05	9	58	400	400	1	ESTOQ1	ESTOQ2
33	P05	800	800	800	400	2	ESTOQ2	ESTOQ3
34	P05	800	800	800	400	2	ESTOQ3	ESTOQ4
35	P16	800	800	1600	160	10	ESTOQ2	ESTOQ3
36	P16	1600	1600	1600	160	10	ESTOQ3	ESTOQ4
37	P15	800	800	800	320	3	ESTOQ2	ESTOQ3
38	P15	800	800	800	320	3	ESTOQ3	ESTOQ4

Op.	Peça	Quantidade	Total Entrada	Total Saída	Peças por Pilha	Pilhas	Estoque Inicial	Estoque Alvo
39	P08	1600	1600	1600	80	20	ESTOQ2	ESTOQ3
40	P08	1600	1600	1600	80	20	ESTOQ3	ESTOQ4
41	P13	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ2	ESTOQ3
42	P13	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ3	ESTOQ4
43	P13	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ4
44	P14	800	800	800	80	10	ESTOQ2	ESTOQ3
45	P14	800	800	800	80	10	ESTOQ3	ESTOQ4
46	P06	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ2	ESTOQ2
47	P06	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ2	ESTOQ3
48	P06	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ3	ESTOQ4
49	P12	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ2	ESTOQ3
50	P12	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ3	ESTOQ4
51	P04	1600	1600	1600	80	20	ESTOQ2	ESTOQ3
52	P04	1600	1600	1600	80	20	ESTOQ3	ESTOQ4
53	P03	534	534	1600	720	3	ESTOQ2	ESTOQ3
54	P03	1600	1600	1600	720	3	ESTOQ3	ESTOQ5
55	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ2	ESTOQ2
56	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ2	ESTOQ3
57	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ3	ESTOQ4
58	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ4	ESTOQ4
59	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ2	ESTOQ2
60	P07	800	800	800	30	27	ESTOQ4	ESTOQ5
61	P15	267	257	800	320	3	ESTOQ4	ESTOQ5
62	P16	800	800	1600	160	10	ESTOQ4	ESTOQ5
63	P14	800	800	800	80	10	ESTOQ4	ESTOQ5
64	P02	80	80	800	400	2	ESTOQ4	ESTOQ5
65	P01	1600	1600	3200	640	5	ESTOQ4	ESTOQ5
66	P13	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ4
67	P13	1600	1600	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ5
68	P06	800	800	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ4
69	P06	800	800	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ5
70	P05	267	266	800	400	2	ESTOQ4	ESTOQ4
71	P05	267	266	800	400	2	ESTOQ4	ESTOQ5
72	P12	800	800	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ4
73	P12	800	800	1600	320	5	ESTOQ4	ESTOQ5
74	P04	1600	1600	1600	80	20	ESTOQ4	ESTOQ5
75	P08	800	800	1600	80	20	ESTOQ4	ESTOQ5
76	V1	800	800	800	40	20	ESTOQ5	ESTOQ6
77	V2	800	800	800	40	20	ESTOQ5	ESTOQ6

Fonte: Os Autores (2021).

Os dados coletados, as restrições e informações relevantes apresentadas foram obtidas na empresa e utilizadas como base para o desenvolvimento da

metaheurística e também nos testes do algoritmo produzido. A seguir, será apresentado a metaheurística utilizada e o algoritmo computacional desenvolvido.

4.2 METAHEURÍSTICA GRASP

A metaheurística escolhida para o desenvolvimento foi o GRASP (*Greedy Randomized Adaptative Search Procedure*), que consiste na repetição de uma construção aleatória de uma solução com refinamento através de uma fase de busca local.

O GRASP foi escolhido porque o seu princípio de funcionamento condiz com a ideia de sequenciamento para sistemas *Job Shop* que Tavares (2015) apresenta, principalmente na fase de construção que será abordada em seguida. Tavares (2015), ao citar Conway (1967) e Beirão (1997), diz que “sequenciar um processo *Job Shop* é a tarefa de atribuir cada operação a uma posição específica na escala temporal da respectiva máquina”.

O pseudocódigo do algoritmo elaborado para o problema abordado neste trabalho pode ser observado no ALGORITMO 3, que apresenta a estrutura do GRASP.

ALGORITMO 3 – Pseudocódigo do algoritmo GRASP.

```
(Inteiro) Iterações
(Lista) Operações
S_melhor=vazio

Enquanto i < iterações
    Randomizar(Operações)
    S=Fase_Construtiva_aleatória()
    S=Fase_Busca_Local(S)
    Se S<S_melhor:
        S_melhor=S
Retorna S_melhor
```

Fonte: Os Autores (2021).

4.2.1 Fase de construção

Segundo Arenales et al. (2007), as heurísticas construtivas constroem uma solução adicionando em cada passo um elemento da solução, sendo que a heurística construtiva gulosa visa o máximo benefício a cada passo. Brito e Freddo (2012) complementam que na fase de construção uma solução é criada adicionando elemento por elemento, obtido por meio de uma lista de candidatos que pode ser selecionados por um método guloso ou aleatório. Quando guloso, geram soluções

que podem ser boas, mas com pouca diversidade, e quando aleatórios, geram soluções de baixa qualidade mas de alta diversidade. Neste trabalho será utilizada a abordagem aleatória na busca de alta diversidade de soluções e na simplicidade do desenvolvimento do algoritmo.

A fase de construção inicia-se pelas operações que não possuem requisitos, ou seja, de acordo com a TABELA 1, as operações com requisito “[0]”. A lista destas operações será abordada aqui como “sem requisitos”. As etapas de construção da solução são as seguintes:

- A lista de “sem requisitos” é randomizada;
- De forma sequencial, um item do “sem requisitos” é selecionado;
- O item do “sem requisitos” é alocado na sua máquina candidata;
- O sucessor desta operação - a operação que tem como requisito a operação do item do “sem requisitos” – é a próxima operação a ser alocada em uma máquina;
- Enquanto houver um sucessor que tenha o critério de requisitos satisfeitos, alocar a sua operação com a sua respectiva máquina candidata obedecendo as restrições e o tempo de início/fim da sua operação anterior;
- Quando não houver um sucessor disponível, voltar a lista dos “sem requisitos” e selecionar o próximo item;
- Repetir até que todas as operações estejam alocadas em alguma máquina.

O pseudocódigo desenvolvido para a fase de construção baseado nas etapas anteriores pode ser observado no ALGORITMO 4, que apresenta a estrutura da fase construtiva do GRASP.

ALGORITMO 4 – Pseudocódigo da fase construtiva do GRASP.

```

SR = Lista de operações que não possuem requisito
M = Lista de máquinas, cada máquina com uma lista de utilização (inicialmente vazia)

Para i de SR:
    k= Máquina candidata para a operação i
    Adicionar i em M[k]
    P = [ i ] #Lista

    Para x de P:
        Enquanto x tiver um sucessor:
            j = sucessor da operação x que tenha as restrições satisfeitas
            k= Máquina candidata para a operação j
            Adicionar j em M[k]
            Adicionar j em P #Acréscima nova iteração para o Loop da lista P

```

Retorna M #Retorna as máquinas e as suas utilizações

Fonte: Os Autores (2021).

4.2.2 Fase de busca local

Segundo Arenales et al. (2007), essa fase consiste na heurística que é aplicada em uma solução já obtida por uma outra heurística, como a construtiva, e trabalha analisando vizinhanças da solução em busca de uma solução melhor.

A fase de busca local visa melhorias na solução obtida pela fase de construção. As etapas de melhoria utilizadas para este trabalho são as seguintes:

- Identificar a máquina que tenha ao menos uma ociosidade e que tenha a maior utilização efetiva, ou seja, desconsiderando as ociosidades;
- Listar e ordenar de forma decrescente as ociosidades desta máquina;
- Para cada ociosidade, realizar trocas na posição das operações vizinhas desta ociosidade em busca de melhorias;
- Se movimentação produzir um resultado satisfatório, adotar a solução, listar e ordenar as ociosidades desta nova solução para a máquina e reiniciar a busca de melhorias;
- Se não produzir um resultado satisfatório, prosseguir para a próxima ociosidade;
- Parar quando o número de buscas atingir o número de ociosidades identificadas após a fase de construção (a primeira solução) ou quando não houver mais ociosidades candidatas.

A fase de busca local é muito importante para a redução do tempo ocioso do recurso gargalo, tendo sua importância explicada pela teoria das restrições. Conforme Chiavenato (2014), a capacidade de produção global é limitada onde há a existência de gargalos, sendo um fator de restrição das demais operações. O pseudocódigo baseado nas etapas anteriores desenvolvido para a fase de busca local pode ser observado no ALGORITMO 5.

ALGORITMO 5 - Pseudocódigo da fase de busca local do GRASP.

S_melhor = Solução obtida na fase de construção
M = Máquina de S_melhor com a maior utilização de capacidade real (sem perdas de tempo)
O = Lista de ociosidades da Máquina M
N = Contagem do número de ociosidades em O
C=0

```

Q = O
Para i de Q:
    C+=1
    Movimentar operações vizinhas a ociosidade i
    S = Solução após movimentação
    Se S < S_melhor:
        S_melhor=S
        Recalcular O
    Se C >= N:
        Parar
Retorna S_melhor

```

Fonte: Os Autores (2021).

4.2.3 Avaliação da solução

A fase de avaliação da solução é fundamental para decidir se é a melhor dentre todas as geradas. Embora o problema de pesquisa aborde a redução do *makespan*, foi utilizado também o critério de menor ociosidade acumulado entre as máquinas para avaliar se seria possível obter resultados próximos ou melhores do que pela métrica de *makespan*. O critério de menor *makespan* do produto busca obter uma solução que apresenta o menor tempo de conclusão do produto, sendo o critério que geralmente é utilizado na Pesquisa Operacional e em trabalhos correlatos com heurísticas. O critério de menor tempo ocioso acumulado busca obter uma solução que apresenta o menor valor para a somas das ociosidades entre os processos de todas as máquinas, uma vez que reduzindo as ociosidades as máquinas podem ser liberadas com antecedência para o uso na produção do próximo produto.

5 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Com base no algoritmo desenvolvido na seção 4.2 deste trabalho, algumas hipóteses foram formuladas e sequenciadas pelo algoritmo com a finalidade de comparar os critérios utilizados e os resultados gerados.

Foram sequenciadas as peças do produto com dois indicadores de qualidade: menor *makespan* e menor tempo de ociosidade acumulada. Embora o mais utilizado seja por menor *makespan*, buscou-se avaliar se reduzindo a ociosidade entre as operações de um produto e liberando a máquina mais cedo para o lote seguinte, poderia a empresa obter alguma vantagem. Foi utilizado 60 segundos para o tempo médio de deslocamento das pilhas.

Observou-se também que o recurso A1 é um recurso gargalo que está inserido no começo do processo produtivo. Com base nisso, utilizou-se também para a avaliação dos resultados a hipótese de que este recurso trabalhe em turnos extras e que garantisse a disponibilidade imediata de peças.

Também foram sequenciadas as peças de 3 (três) produtos para avaliar o comportamento do sequenciamento de vários produtos. É importante lembrar que um produto é um conjunto de peças e que cada peça tem um roteiro de operações específico. Para tanto, foram utilizados a repetição de 3 vezes o sequenciamento de peças, como se a cada repetição fosse um produto diferente. Basicamente, após o sequenciamento de peças de um produto, os tempos de término em cada máquina são utilizados como tempo inicial para o sequenciamento do próximo produto.

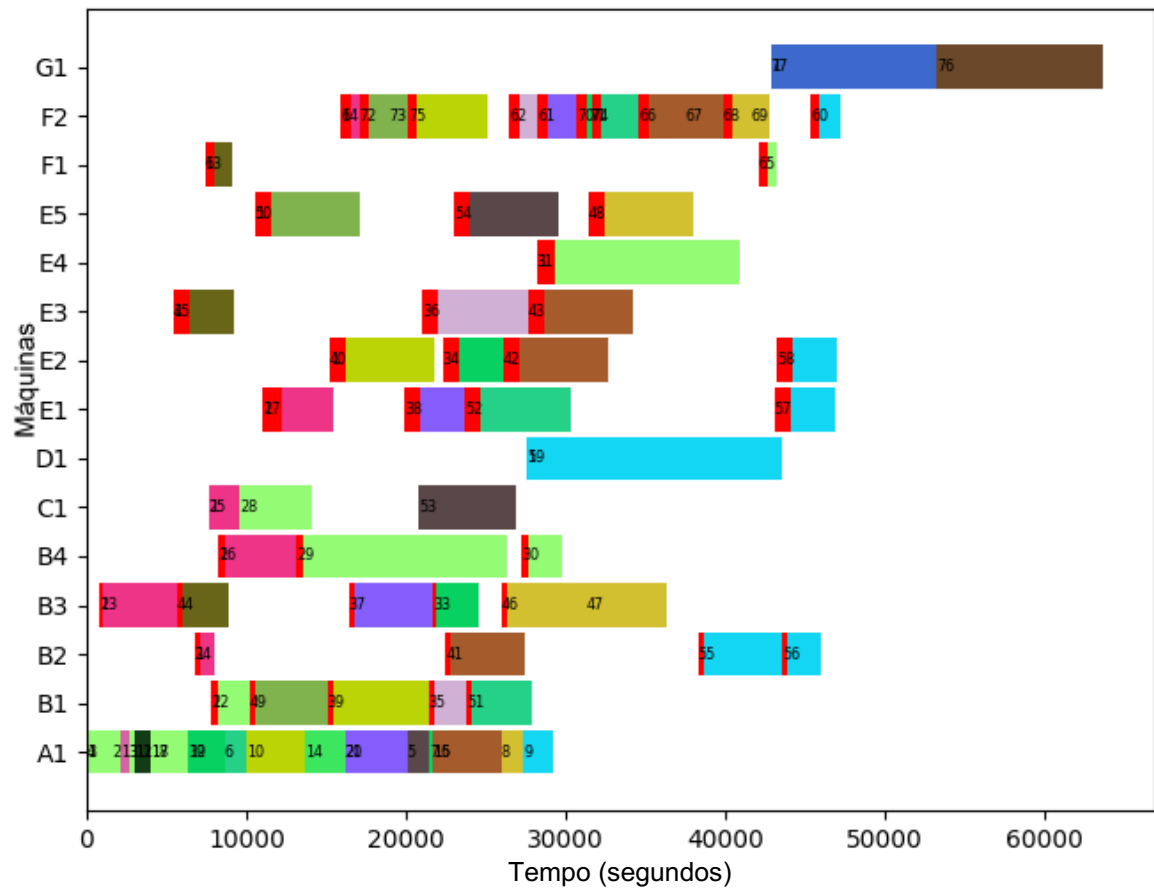
Foram gerados gráficos de *Gantt* que demonstram a execução de cada operação nas máquinas ao longo do tempo. Tentou-se estabelecer o padrão de que para uma mesma peça seja utilizada a mesma cor conforme suas operações são distribuídas nas diferentes máquinas. O tempo de *setup* foi representado em vermelho e é identificado logo no início da operação. Além de gráficos para as operações, foram gerados gráficos para os estoques intermediários com a quantidade de pilhas no estoque em relação ao tempo de processamento da operação.

5.1 AVALIAÇÃO DOS SEQUENCIAMENTOS

A seguir será apresentado os gráficos dos sequenciamentos para cada objetivo de avaliação e para cada hipótese, tendo a sua análise realizada após a apresentação dos resultados de cada hipótese.

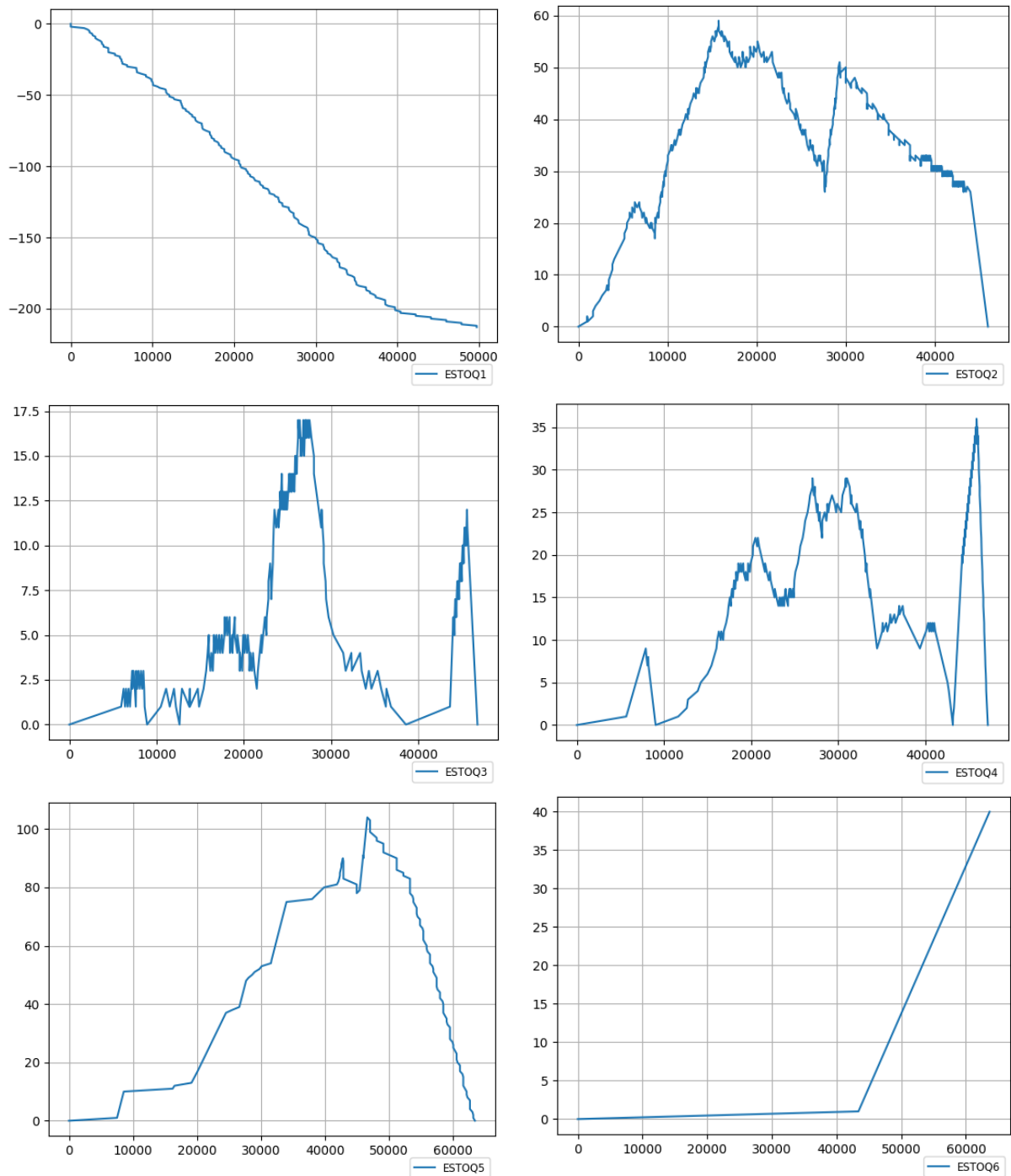
5.1.1 Sequenciamento de um produto

O sequenciamento das operações de um produto com objetivo de menor *makespan* trouxe um resultado de 63.667 segundos (17,7 horas) para a conclusão da produção e 126.671 segundos (35,2 horas) de tempo ocioso acumulado entre todas as máquinas. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 1, onde o eixo x representa o tempo decorrido em segundos, o eixo y representa as máquinas em que as operações do produto são processadas, os números dentro do gráfico identificam qual a operação está sendo processada, os intervalos em vermelho representam o tempo gasto com *setup* para o processamento da operação e os demais intervalos com cores diferentes representam os tempos de processamento de cada operação na sua máquina correspondente. Tentou-se colorir com uma mesma cor as diferentes operações de uma mesma peça, no entanto, em alguns casos onde ocorre o processamento simultâneo de duas ou mais peças diferentes na mesma máquina pode ser que a cor não corresponda.

GRÁFICO 1 – Sequenciamento de um produto por menor *makespan*.

Fonte: Os Autores (2021).

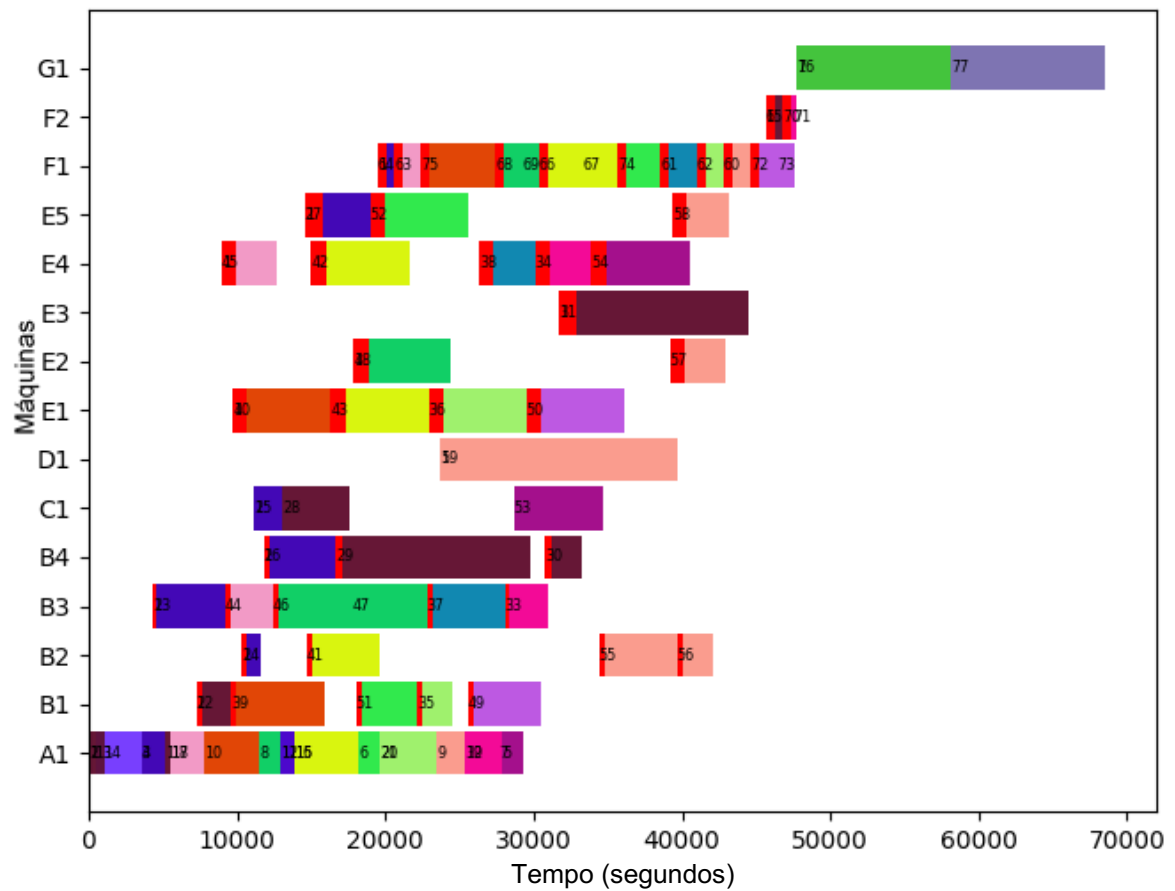
O gráfico de estoques ao longo do tempo para este sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 2, onde é possível observar para cada estoque intermediário, abordado na FIGURA 8, o nível de estoque em quantidade de pilhas ao longo do tempo de processamento das operações (em segundos).

GRÁFICO 2 – Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor *makespan*.

Fonte: Os Autores (2021).

O sequenciamento das operações de um produto com objetivo de menor tempo ocioso acumulado trouxe um resultado de 68.497 segundos (19 horas) de tempo ocioso entre todas as máquinas e 68.500 segundos (19 horas) para a conclusão da produção. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 3.

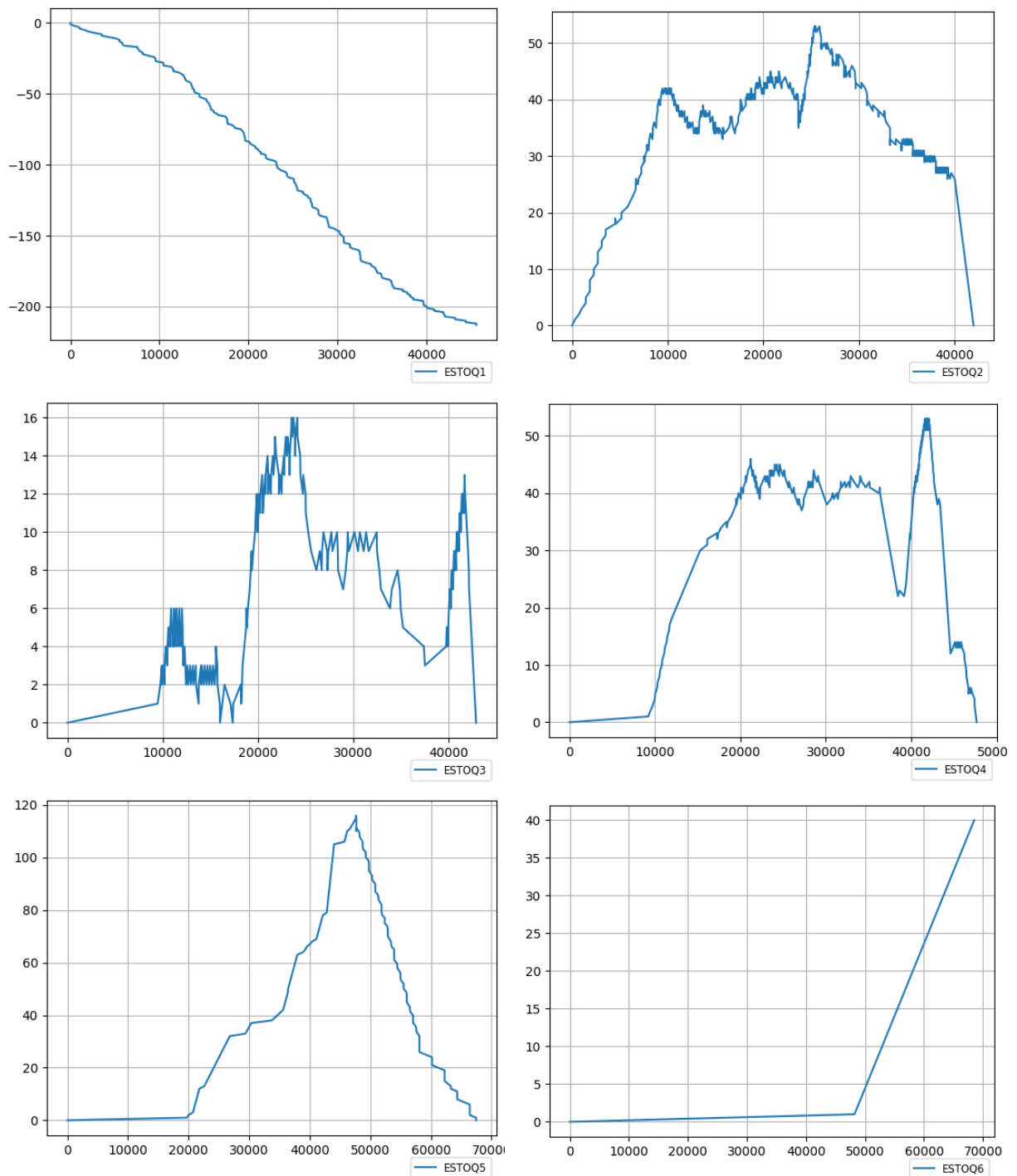
GRÁFICO 3 - Sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada.



Fonte: Os Autores (2021).

O gráfico de estoques ao longo do tempo para este sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 4, onde é possível observar para cada estoque intermediário, abordado na FIGURA 8, o nível de estoque em quantidade de pilhas ao longo do tempo de processamento das operações (em segundos).

GRÁFICO 4 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada.



Fonte: Os Autores (2021).

Analisando os resultados, o gráfico de *Gantt* gerado pelo objetivo de menor tempo ocioso acumulado mostra as operações mais aglomeradas do que no gráfico do sequenciamento por menor *makespan*. Isso pode ser benéfico para uma empresa que trabalhe com banco de horas, uma vez que ela pode dispensar seus funcionários das máquinas com tempo ocioso no início do produto e convocá-los a

trabalhar quando a sua respectiva máquina for operar, reduzindo o tempo ocioso do funcionário e o seu custo para a empresa, uma vez que a partir do momento de operação os tempos de ociosidade da máquina são mínimos.

No entanto, levando em consideração a variabilidade da produção, o sequenciamento com o objetivo de menor *makespan* garante a entrega do produto no menor tempo possível e insere ociosidades entre as operações de forma que possam ser utilizadas para abater eventuais desvios de produção.

Em ambos sequenciamentos, os níveis dos estoques intermediários se mostraram semelhantes, tendo o sequenciamento com o objetivo de menor *makespan* melhores resultados por apresentar máximos menores. Isso pode ser explicado pelo fato de que o sequenciamento com o objetivo de menor ociosidade acumulada tende a manter os estoques elevados ao postergar o início de operações para que a ociosidade entre elas seja a menor possível.

5.1.2 Sequenciamento de um produto desconsiderando máquina A1

Como pode ser observado nos sequenciamentos anteriores, a máquina A1 possui pouca ociosidade entre suas operações e as operações nas máquinas seguintes demoram um tempo maior para serem iniciadas.

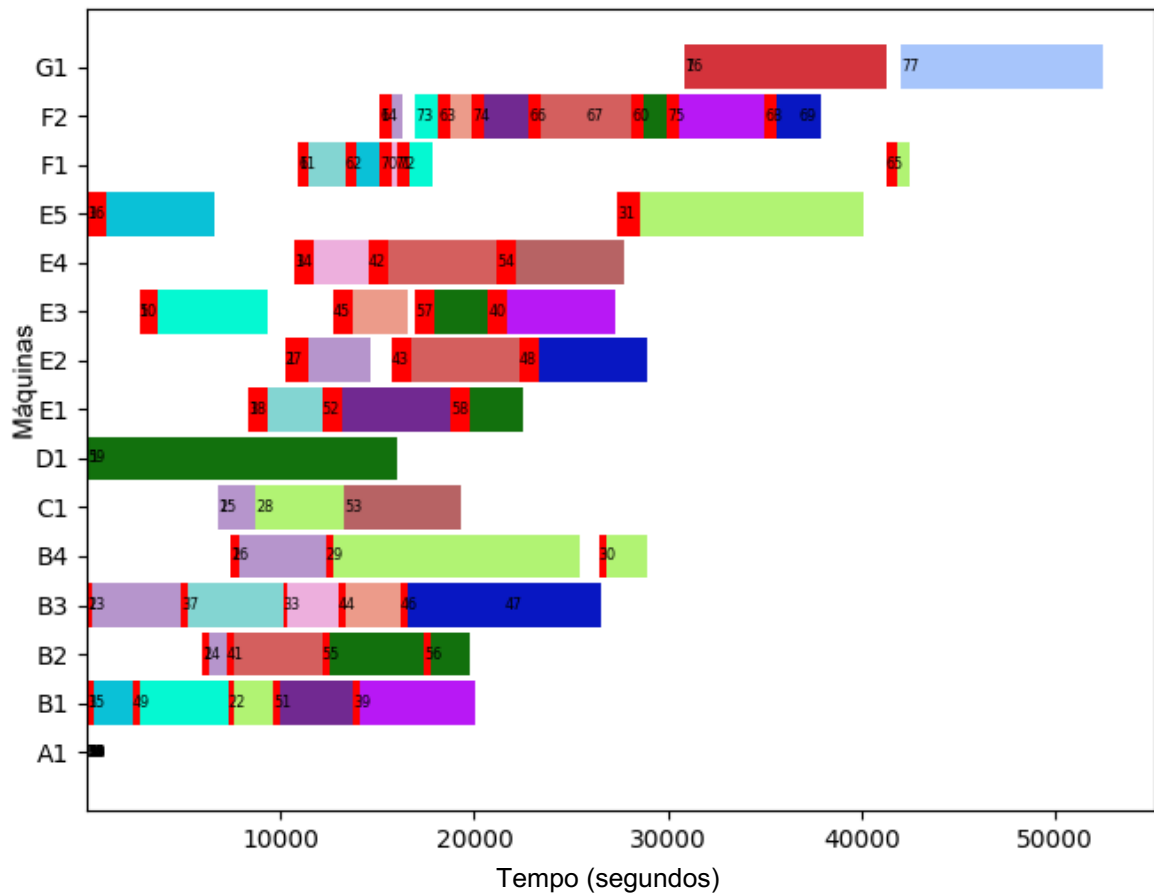
Analisando o tempo de uso efetivo da capacidade de cada máquina, concluiu-se que a máquina A1 é o gargalo do sistema, conforme análise da média de uso efetivo da capacidade das máquinas na TABELA 5. Como esta máquina é a primeira do processo de todas as peças, pode-se adotar uma política de turnos extras para que haja uma disponibilização imediata de peças quando as máquinas seguintes requisitarem. Por isso, nestes sequenciamentos foi considerado que o tempo de ciclo e *setup* na máquina A1 eram iguais a zero e que as restrições dos produtos atrelados a essa máquina continuassem ativos.

TABELA 5 – Tempo médio de uso efetivo de máquinas por setor.

Setor	Uso efetivo da capacidade (segundos)	Número de máquinas do setor	Média de uso por máquina (segundos)
A	29.728	1	29.728
B	81.108	4	20.277
C	12.464	1	12.464
D	16.000	1	16.000
E	65.800	5	13.160
F	30.286	2	15.143
G	20.800	1	20.800

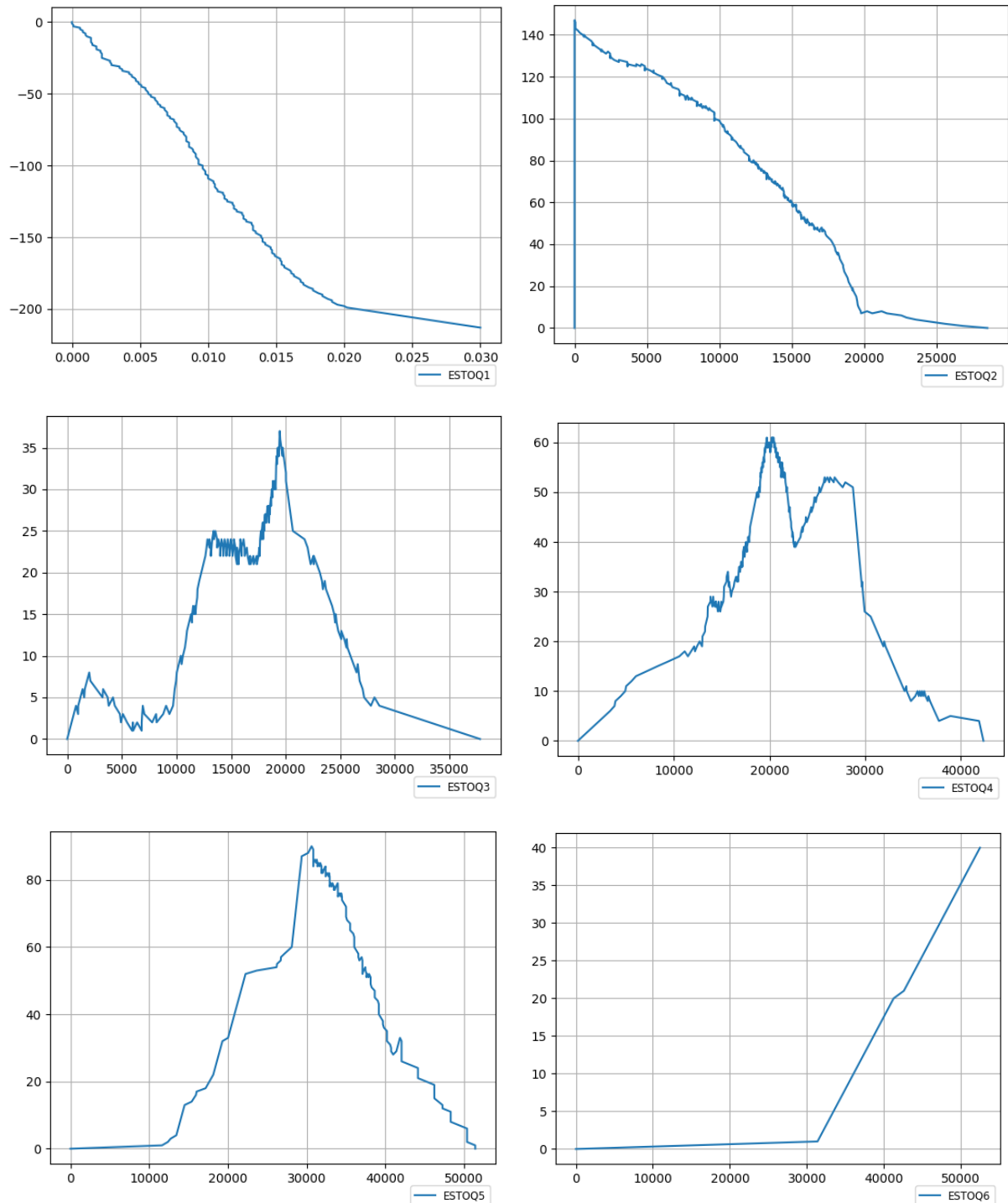
Fonte: Os Autores (2021).

O sequenciamento das operações de um produto com objetivo de menor *makespan* e sem considerar o processamento na máquina A1 trouxe um resultado de 52.460 segundos (14,6 horas) para a conclusão da produção e 51.556 segundos (14,3 horas) de tempo ocioso acumulado entre as operações de todas as máquinas. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 5, onde o eixo *x* representa o tempo decorrido em segundos, o eixo *y* representa as máquinas em que as operações do produto são processadas, os números dentro do gráfico identificam qual a operação está sendo processada, os intervalos em vermelho representam o tempo gasto com *setup* para o processamento da operação e os demais intervalos com cores diferentes representam os tempos de processamento de cada operação na sua máquina correspondente. Tentou-se colorir com uma mesma cor as diferentes operações de uma mesma peça, no entanto, em alguns casos onde ocorre o processamento simultâneo de duas ou mais peças diferentes na mesma máquina pode ser que a cor não corresponda.

GRÁFICO 5 - Sequenciamento de um produto por menor *makespan* desconsiderando máquina A1.

O gráfico de estoques ao longo do tempo para este sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 6, onde é possível observar para cada estoque intermediário, abordado na FIGURA 8, o nível de estoque em quantidade de pilhas ao longo do tempo de processamento das operações (em segundos).

GRÁFICO 6 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor *makespan*, desconsiderando máquina A1.

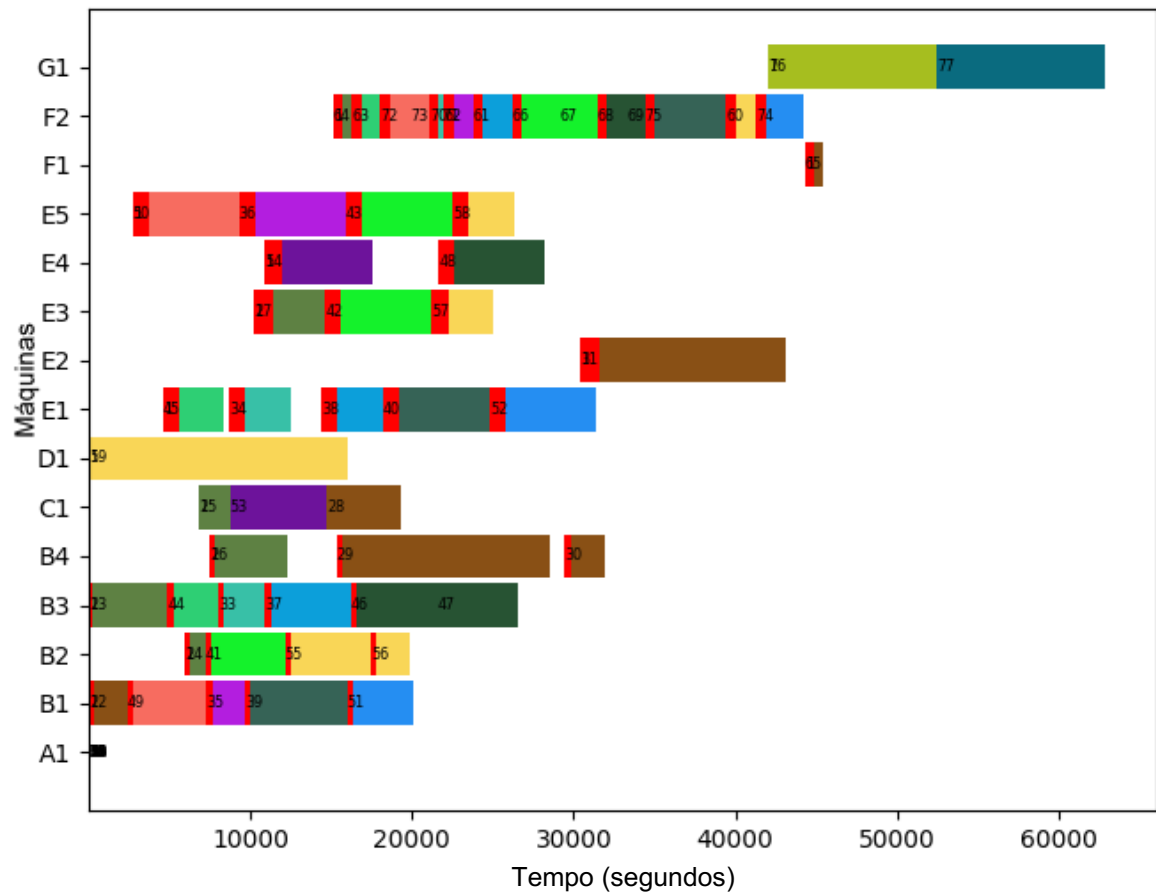


Fonte: Os Autores (2021).

O sequenciamento das operações de um produto com objetivo de menor tempo ocioso acumulado e sem considerar o processamento na máquina A1 trouxe um resultado de 40.865 segundos (11,4 horas) de tempo ocioso entre todas as

máquinas e 62.860 segundos (17,5 horas) para a conclusão da produção. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 7.

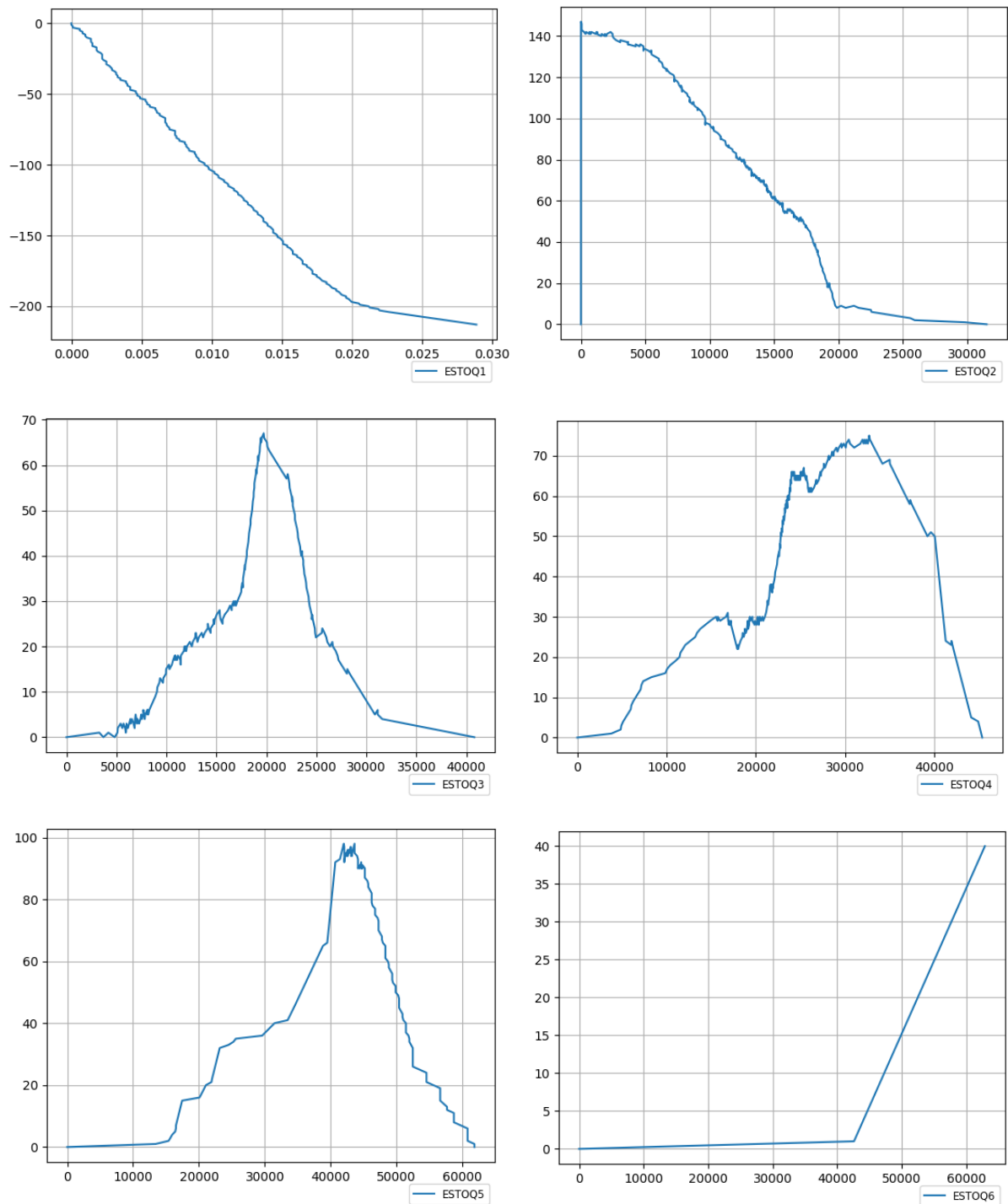
GRÁFICO 7 - Sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada desconsiderando máquina A1.



Fonte: Os Autores (2021).

O gráfico de estoques ao longo do tempo para este sequenciamento pode ser observado GRÁFICO 8, onde é possível observar para cada estoque intermediário, abordado na FIGURA 8, o nível de estoque em quantidade de pilhas ao longo do tempo de processamento das operações (em segundos).

GRÁFICO 8 - Estoques intermediários do sequenciamento de um produto por menor ociosidade acumulada, desconsiderando máquina A1.



Fonte: Os Autores (2021).

Analisando os resultados, através do gráfico de *Gantt* gerado pelos dois objetivos obteve-se as mesmas conclusões obtidas para o sequenciamento de 1 produto com todas as máquinas, com excepcional destaque para a redução do nível

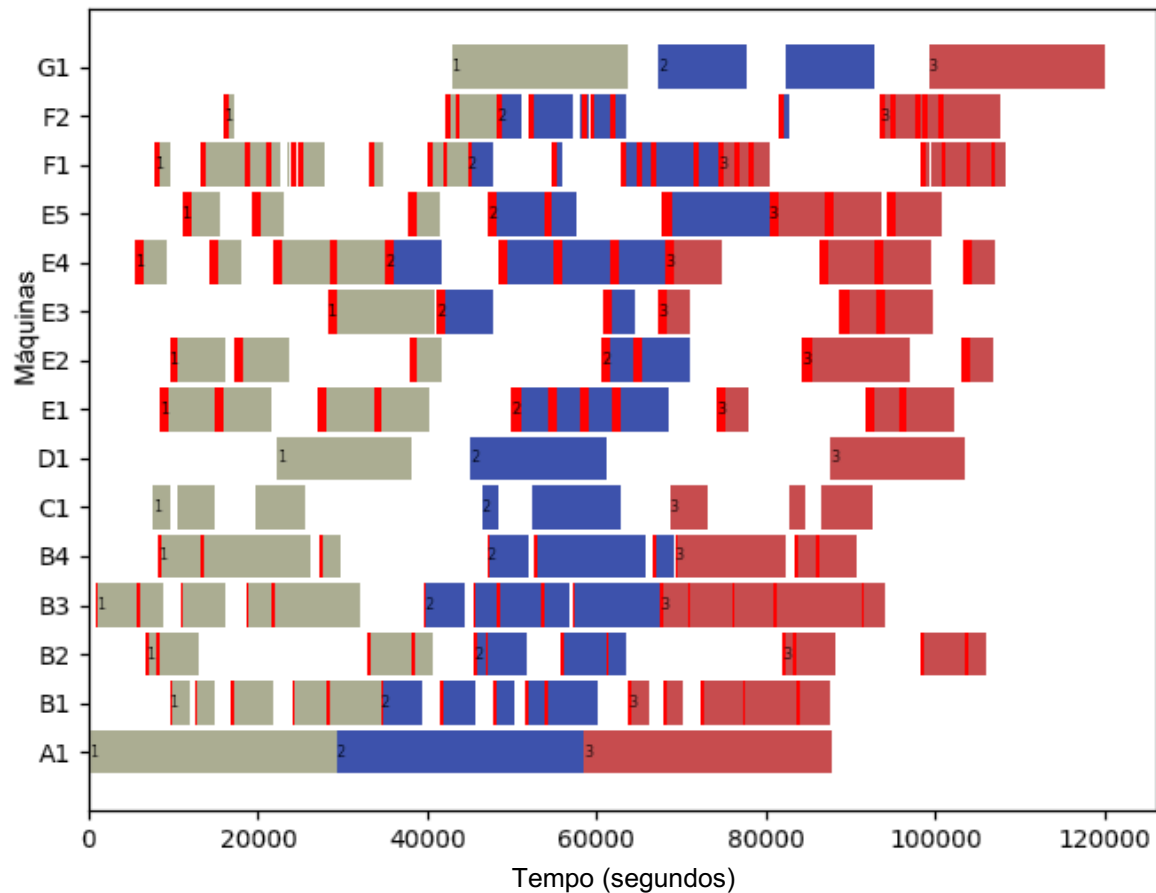
de ociosidade entre as operações que se mostrou menor quando a disponibilidade de peças da máquina A1 é imediata.

No entanto, uma diferença importante foi percebida nos níveis de estoques intermediários. O sequenciamento com objetivo de menor ociosidade acumulada obteve máximos superiores aos obtidos pelo sequenciamento considerando a máquina A1, diferença essa que chegou a ser quase duas vezes superior em determinados estoques.

5.1.3 Sequenciamento de 3 produtos (e suas peças)

Como forma de avaliar a metaheurística desenvolvida, buscou-se sequenciar 3 produtos para analisar o poder computacional do algoritmo. Para isso, foram utilizados a repetição do mesmo lote do produto coletado, mas na prática poderia ser feito com produtos diferentes. Ao sequenciar as peças do primeiro produto, as peças do próximo produto são sequenciadas de forma que o tempo de início de alocação para cada máquina corresponda ao tempo de término do produto anterior.

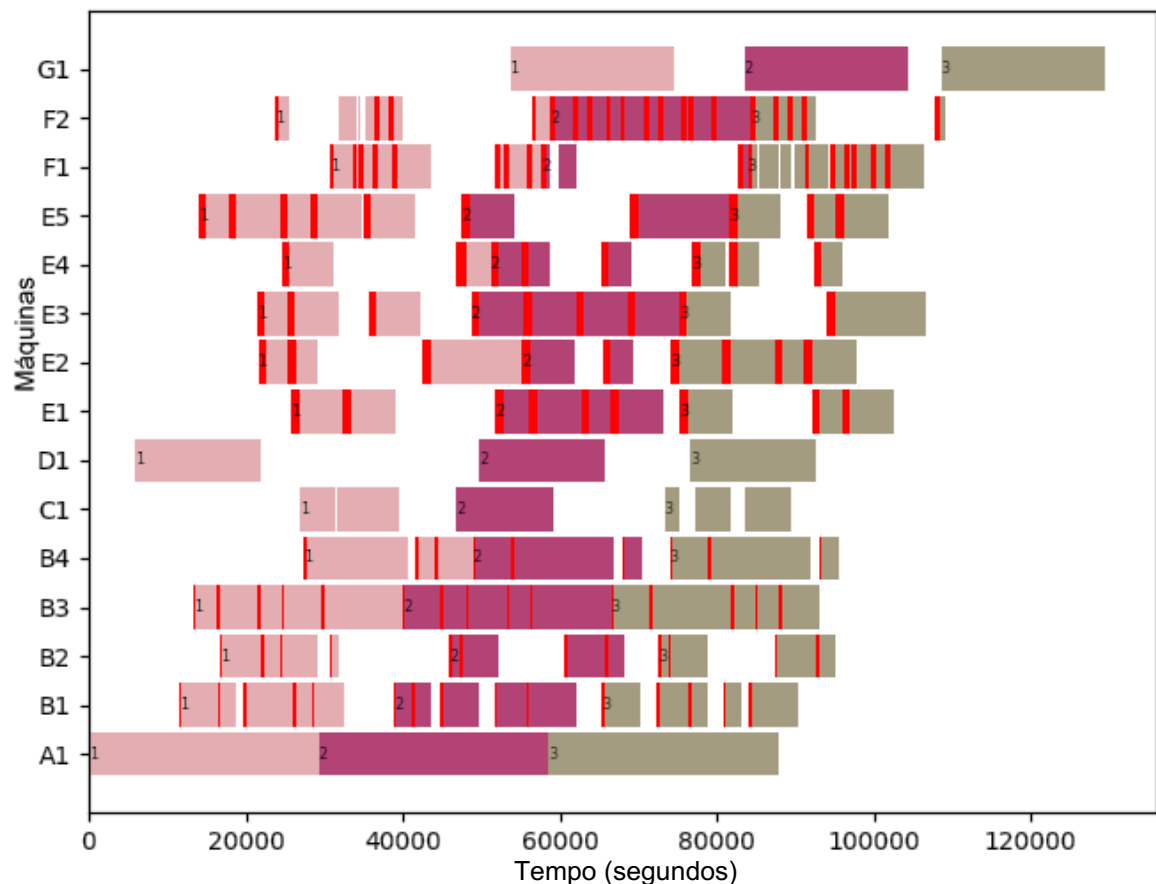
O sequenciamento das operações de 3 (três) produtos com o objetivo de menor *makespan* trouxe um resultado de 120.050 segundos (33,3 horas) para a conclusão da produção e 497.974 segundos (138,3 horas) de tempo ocioso acumulado entre todas as máquinas. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 9, onde os números dentro do gráfico identificam os produtos, os intervalos em vermelho representam os tempos gastos com *setup*, e as demais cores representam o processamento das operações das peças para cada produto, sendo cada cor um produto diferente.

GRÁFICO 9 - Sequenciamento de três produtos por menor *makespan*.

Fonte: Os Autores (2021).

O sequenciamento das operações de 3 (três) produtos com o objetivo de menor tempo ocioso acumulado trouxe um resultado de 340.274 segundos (94,5 horas) de tempo ocioso entre todas as máquinas e 129.436 segundos (36 horas) para a conclusão da produção. O gráfico de *Gantt* deste sequenciamento pode ser observado no GRÁFICO 10.

GRÁFICO 10 - Sequenciamento de três produtos por menor tempo ocioso acumulado.



Fonte: Os Autores (2021).

Analisando os resultados através do gráfico de *Gantt*, nota-se que o sequenciamento com objetivo de menor *makespan* apresenta mais espaçamento entre as operações de cada máquina do que o do sequenciamento pelo menor tempo ocioso acumulado. Ao que parece, ambos sequenciamentos possuem resultados semelhantes, no entanto, o que prioriza o *makespan* apresenta uma economia de 9.386 segundos (2,6 horas) de *makespan* enquanto o que prioriza a ociosidade acumulada apresenta 157.700 segundos (43,8 horas) a menos de ociosidade entre as operações.

Observe que no sequenciamento com o objetivo de menor ociosidade acumulada as ocorrências de ociosidade acontecem antes e no fim da produção do produto nas máquinas, ao contrário do outro sequenciamento que tem as ociosidades dispersas entre as operações. Isso demonstra que na condição de o produto ter um prazo seguro, é mais vantajoso buscar a redução da ociosidade entre as operações e aproveitar a ociosidade antes e depois da produção das peças do produto para realizar manutenção, treinamento ou dispensar os funcionários das

respectivas máquinas se a empresa adota o banco de horas através de convenção trabalhista. No entanto, o sequenciamento com objetivo de menor *makespan* proporciona mais segurança nos casos de que alguma variabilidade adversa atrase uma operação, além dos casos de urgência na entrega do pedido e a busca pela produção no menor tempo possível.

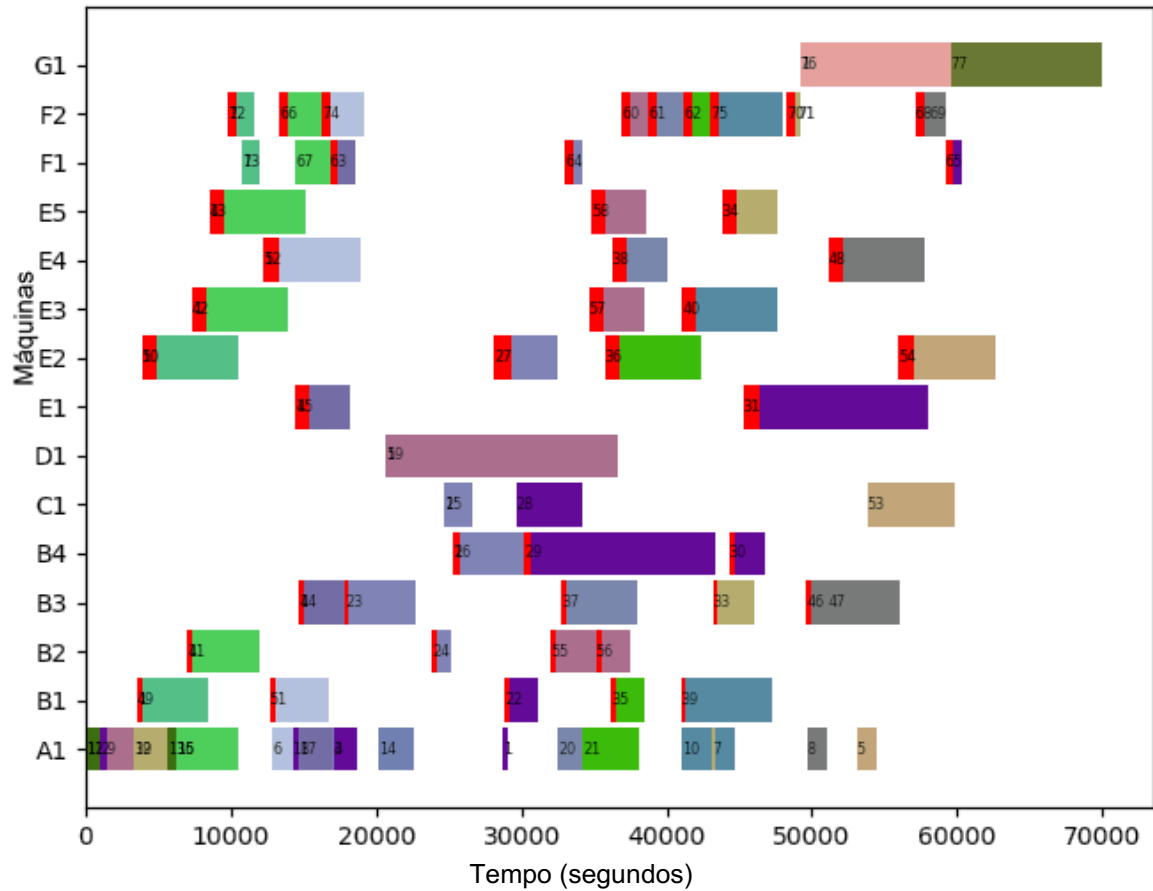
5.1.4 Sequenciamento de um produto com inserção de restrição de produção puxada

Na produção empurrada as ordens passam por um sistema de sequenciamento para priorização e todas as peças processadas em uma máquina são empurradas para a máquina seguinte. Para evitar esse acúmulo e reduzir os estoques é necessário recorrer à uma produção puxada, sendo comum utilizar a ferramenta *Kanban* para produzir somente o necessário (TUBINO, 2007).

Para fins experimentais, foi inserido uma restrição no algoritmo na tentativa de reduzir os estoques intermediários. A restrição consiste no atraso do início de uma operação para que o seu término ocorra de forma sincronizada e próxima do término das operações seguintes da mesma peça, desde que atenda as restrições e que não falte produto para o andamento das operações seguintes. De forma simplificada, as últimas operações de uma peça puxam as operações anteriores de forma que não ocorra a produção sem a capacidade de consumir e o consequente acúmulo no estoque intermediário.

O GRÁFICO 11 mostra o sequenciamento com o objetivo de menor *makespan* com a consideração desta nova restrição, onde o eixo x representa o tempo decorrido em segundos.

GRÁFICO 11 - Sequenciamento de um produto com inserção de uma restrição de produção puxada.



quebras de máquina ou erro no modelo de previsão (TUBINO, 2007). Para Fernandes e Godinho Filho (2010), estoques armazenam itens de produção e funcionam como um *buffer* (pulmão) entre processos e/ou o cliente e são impactados diretamente pelo planejamento e pelo *lead time* dos recursos. Portanto, embora a produção puxada seja a mais defendida pela Engenharia de Produção quando se aborda a manufatura enxuta, na prática a complexidade dos sistemas restringem a aplicação e interfere na eficiência da produção. O uso de produção empurrada com estoques intermediários de capacidade adequada contribui com o aumento da utilização efetiva das máquinas, que é o caso analisado na empresa base deste estudo. Desta forma, essa restrição não será considerada na avaliação dos resultados e nem na reavaliação dos sequenciamentos anteriores.

5.2 RESULTADOS

Na TABELA 6, é possível comparar os resultados dos sequenciamentos com a referência de um sequenciamento do produto obtido no histórico de produção da empresa.

TABELA 6 – Apresentação e comparação dos resultados obtidos.

Descrição	Iterações	Tempo Gasto (s)	Makespan (s)	↓ %	Tempo Ocioso Acumulado (s)	↓ %
Para 1 (um) produto						
Referência obtida na empresa	-	-	73.172	-	178.000	-
Objetivo: Menor <i>makespan</i>	100	11	63.730	13%	165.601	7%
	1.000	60	63.667	13%	126.671	29%
Objetivo: Menor ociosidade acumulada	100	10	66.832	9%	97.461	45%
	1.000	61	68.500	6%	68.497	62%
Para 1 (um) produto, desconsiderando máquina A1						
Referência obtida na empresa	-	-	66.052	-	100.564	-
Objetivo: Menor <i>makespan</i>	100	8	55.148	17%	76.465	24%
	1.000	44	52.460	21%	51.556	49%
Objetivo: Menor ociosidade acumulada	100	8	62.860	5%	40.865	59%
	1.000	42	62.867	5%	10.299	90%
Para 3 (três) produtos						
Referência simulada para 3 produtos	-	-	136.775	-	534.318	-
Objetivo: Menor <i>makespan</i>	100	27	120.645	12%	477.159	11%
	1.000	169	120.050	12%	497.974	7%
Objetivo: Menor ociosidade acumulada	100	25	127.278	7%	403.571	24%
	1.000	166	129.436	5%	340.274	36%
Para 3 (três) produtos, desconsiderando máquina A1						
Referência simulada para 3 produtos	-	-	119.240	-	319.058	-
Objetivo: Menor <i>makespan</i>	100	23	105.648	11%	309.944	3%
	1.000	126	99.854	16%	227.413	29%
Objetivo: Menor ociosidade acumulada	100	22	116.174	3%	263.341	17%
	1.000	119	116.950	2%	227.115	29%

Fonte: Os Autores (2021).

Notou-se que para pequenas iterações a metaheurística empregada por meio de um algoritmo produz bons resultados em tempo aceitável e similar com os resultados das 10 mil iterações. Outra observação é de que o tempo gasto por iteração não é linear e decresce conforme o número de iterações aumenta.

De acordo com os resultados observados na TABELA 6, a economia de tempo quanto a entrega do produto no menor *makespan* possível ficou na ordem de 12 a 13% para o sequenciamento completo e de 11 a 21% quando desconsiderado os tempos da máquina A1. Reduzindo o *makespan* a empresa poderá produzir uma quantidade maior mensalmente e com isso faturar mais com as vendas, além de diluir os custos fixos e despesas em uma quantidade maior de produtos e reduzir o custo médio do produto. Para este sequenciamento, a disponibilidade imediata de peças através de terceirização ou de turnos extras para a máquina A1 mostrou haver ganhos significativos para o *makespan* em comparação com o sequenciamento completo.

Quando o objetivo for reduzir a ociosidade entre as operações, a redução da ociosidade acumulada ficou na ordem de 24 a 62% e o *makespan* entre 5 e 9% para o sequenciamento completo; redução da ociosidade acumulada na ordem de 17 a 90% e o *makespan* entre 2 e 5% quando desconsiderado os tempos da máquina A1. Reduzindo a ociosidade acumulada a empresa poderá obter melhor eficiência na utilização dos recursos. Ao aglomerar os tempos de ociosidade dispersos poderá utilizar para aplicação de manutenções, treinamentos ou dispensa de funcionários de modo que os custos fixos e despesas possam ser reduzidos de forma direta ou indireta. Para este sequenciamento, a disponibilidade imediata de peças através de terceirização ou de turnos extras para a máquina A1 mostrou que há um aumento no *makespan* casado com uma significativa redução de ociosidades entre as operações.

O sequenciamento com o objetivo de reduzir o *makespan* se mostrou mais adequado e é o que atende a proposta deste trabalho, sendo que o sequenciamento com o objetivo de reduzir o tempo ocioso acumulado serviu como comparação entre os resultados e como proposta de uma alternativa para a função de avaliação das soluções.

Na prática, os resultados do sequenciamento através da metaheurística podem ser superiores, uma vez que a quantidade de produtos que a empresa abordada apresenta está na casa das dezenas, e que por isso, dificulta o

sequenciamento por meio de planilhas ou outros métodos que não sejam por meio de algoritmos específicos. Além disso, pode-se supor a hipótese de que a diferença entre a referência coletada e o otimizado não foi ainda maior devido ao fato de que o produto coletado era o de maior produção mensal e com isso o PCP e o chão de fábrica podem ter refinado a produtividade com a experiência repetitiva com o produto.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As heurísticas e metaheurísticas são ferramentas importantes para sequenciar um modelo de programação da produção de forma computacional, sendo imprescindível para o PCP de indústrias que lidam com muitos pedidos compostos por produtos com uma grande quantidade de peças, como é o caso das indústrias do polo moveleiro de Arapongas. Tal recurso aumenta a produtividade e a competitividade do polo com as indústrias nacionais e internacionais do mesmo seguimento, contribuindo para a geração de renda e empregos regionais.

O uso da metaheurística GRASP mostrou-se de fácil aplicação e gerou resultados satisfatórios em pouco tempo computacional, visando o objetivo de obter o menor *makespan* na sequência de produção de peças de um produto e na menor ociosidade entre as operações. A economia no tempo de produção de um produto gira em torno de 11 a 21% e os tempos de ociosidade entre as operações podem ser reduzidas de 17 a 90%, dependendo da abordagem realizada. Além do sequenciamento de peças, a ferramenta se mostrou viável também para o sequenciamento de vários lotes de produtos e as suas composições de peças.

A metodologia empregada e as referências consultadas se mostraram de fundamental importância para a contextualização do problema e desenvolvimento da ferramenta com as restrições e detalhes abordados pormenores, embora parte da revisão da literatura não tenha sido utilizada de forma direta na aplicação e busca dos resultados. Pode-se dizer que o algoritmo gerado através do *Python* se mostrou eficiente, fácil e aplicável as outras indústrias com problemas parecidos, sendo uma oportunidade de aplicação comercial.

De forma geral, conclui-se que os resultados obtidos estavam dentro do esperado e demonstram que o sequenciamento da produção para sistemas produtivos proporciona a melhoria da eficiência, melhor utilização dos recursos, redução das ociosidades, a produção no menor tempo, a estimativa de uma data de entrega e a possibilidade de planejar ações de manutenção e capacitação nos intervalos em que se espera uma ociosidade programada.

Este trabalho foi iniciado em um momento em que a indústria deste setor se recuperava de uma forte crise emergida por volta de 2015 e teve sua conclusão anos depois, dentro da pior pandemia mundial do século, pandemia que abalou a economia e impactou as indústrias, sendo este período de mais uma crise, o

momento ideal para buscar cortes de custos e melhorias da eficiência para se manter no mercado com segurança e com preços compatíveis com a demanda impactada.

6.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Embora tenha sido realizado uma análise de estoques, não foi utilizado restrições quanto a capacidade de estoques por falta de tempo hábil para o desenvolvimento. No entanto, todo estoque físico tem um limite e recomenda-se que seja implementado uma restrição para a quantidade máxima que os estoques intermediários podem ter, de forma a guiar o sequenciamento e atrasar as operações quando não houver mais espaço disponível. As soluções desenvolvidas neste trabalho contribuem para estimar qual a capacidade os estoques deveriam ter para atender os sequenciamentos apresentados, uma vez que foi considerado estoques com capacidade ilimitadas ou grandes suficientes para atender as necessidades.

Uma outra sugestão seria a implementação de tempos de disponibilidade customizáveis para cada máquina, permitindo que máquinas com turnos extras de funcionamento possam alocar operações enquanto as máquinas com menos turnos permanecem paradas nos intervalos em que não possui disponibilidade.

Tempos de *setup* variáveis de acordo com a operação anterior é uma outra implementação que auxilia na redução do impacto dos tempos de *setup* muito grandes e que agregaria valor a heurística.

Recomenda-se, também, combinar os critérios de avaliação da qualidade das soluções geradas através de pesos, o que poderia possibilitar, por exemplo, minimizar o *makespan* e as ociosidades entre as máquinas ao mesmo tempo, buscando soluções mais adequadas para a realidade da indústria.

De forma geral, o mais importante seria implementar restrições de estoques intermediários, melhorar a eficiência do algoritmo, aprimorar o sequenciamento de peças de um produto e o sequenciamento de produtos.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, Adriana Cesário de Faria. **ESTRATÉGIAS DE PARALELIZAÇÃO DA METAHEURÍSTICA GRASP**. 1998. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências da Computação, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.
- ARENALES, Marcos *et al.* **Pesquisa Operacional**. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda., 2011. 542 p.
- BARBOSA, Eneias Santos; SANTOS, Maria Souza; LOPES, Verônica Maria Neto. A Importância do PCP (Planejamento e Controle da Produção) para a competitividade em indústrias de Juazeiro da Bahia / The Importance of PPC (Production Planning and Control) for industrial competitiveness in Juazeiro, Bahia. **Id On Line Revista de Psicologia**, [S.L.], v. 13, n. 47, p. 89-108, 28 out. 2019. Lepidus Tecnologia. <http://dx.doi.org/10.14295/online.v13i47.1946>.
- BECCENERI, José Carlos. Metaheurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações em Problemas Ambientais. In: NÃO INFORMADO, 1., 2008, [S.I.]. **Metaheurísticas e Otimização Combinatória: Aplicações em Problemas Ambientais**. [S.I.]: [S.N.], 2008. p. 1-21.
- CAMPOS, Saulo Cunha; ARROYO, José Elias C.; GONÇALVES, Luciana Brugiolo. UMA HEURISTICA GRASP-VND PARA O PROBLEMA DE SEQUENCIAMENTO DE TAREFAS NUM AMBIENTE ASSEMBLY FLOWSHOP COM TRÊS ESTÁGIOS E TEMPOS DE *SETUP* DEPENDENTES DA SEQUÊNCIA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 45., 2013, Natal. **A Pesquisa Operacional na busca de eficiência nos serviços públicos e/ou privados**. Natal: Sbp, 2013. p. 1-12.
- CAVALCANTE, Victor Fernandes. **Times Assíncronos para o Job Shop Scheduling Problem: heurísticas de construção**. 1995. 103 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência da Computação, Unicamp, São Paulo, 1995.
- CHIAVENATO, Idalberto. **Gestão da Produção**: uma abordagem introdutória. 3. ed. São Paulo: Manole, 2014. 250 p.
- FERNANDES, Flavio Cesar Faria; GODINHO FILHO, Moacir. **Planejamento e Controle da Produção**: dos fundamentos ao essencial. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2010. 150 p.
- FERNANDES, Susana Isabel de Matos. **Técnicas heurísticas para o problema Job Shop Scheduling**. 2002. 67 f. Tese (Doutorado) - Curso de Estatística e Investigação Operacional, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 2002.
- FOLHA DE LONDRINA, Anderson Coelho. **Em um semestre, Arapongas fecha quatro fábricas de móveis**. 2016. Disponível em: <https://www.folhadelondrina.com.br/economia/em-um-semestre-arapongas-fecha-quatro-fabricas-de-moveis-950427.html>. Acesso em: 16 set. 2020.

FREDDO, A. R.; BRITO, R. C. **Implementação da metaheurística GRASP para o problema do caixeiro viajante simétrico**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2012. Material utilizado na disciplina Tópicos em inteligência artificial.

Disponível em:

<<http://www.inf.ufpr.br/aurora/disciplinas/topicosia2/downloads/trabalhos/GraspTSP.pdf>>. Acesso em: 16 set 2020.

GONÇALVES, Frederico Augusto de Cezar Almeida; SOUZA, Marcone Jamilson Freitas; SOUZA, Sérgio Ricardo de. **Sequenciamento em uma máquina: otimização heurística via multiprocessamento paralelo**. Belo Horizonte: Fapemig, 2010. 112 p.

HORDONES, Paulo Antonio; FUCHIGAMI, Helio. PROGRAMAÇÃO DA PRODUÇÃO EM *FLOW SHOP* PERMUTACIONAL ENVOLVENDO MEDIDAS DE ATRASO: uma contribuição bibliométrica a partir da base de dados web of science. **Holos**, [S.L.], v. 7, n. 33, p. 81-97, 21 dez. 2017. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2017.5711>.

IBGE. **Produção física industrial, por grandes categorias econômicas**. 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/industria/9294-pesquisa-industrial-mensal-producao-fisica-brasil.html?edicao=27043&t=series-historicas>. Acesso em: 16 set. 2020.

LANDMANN, Raul; ERDMANN, Rolf Hermann. Uma abordagem heurística para a programação da produção na indústria de fundição com utilização da lógica fuzzy. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 119-130, fev. 2011.

LUCHESI, Juliane et al. IMPLANTAÇÃO DA LÓGICA TAMBOR-PULMÃO-CORDA EM UMA EMPRESA DA INDÚSTRIA MOVELEIRA. **Holos**, [S.L.], v. 8, n. 31, p. 262-276, 13 jan. 2016. Instituto Federal de Educacao, Ciencia e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN). <http://dx.doi.org/10.15628/holos.2015.3181>.

MAIELLARO, João Roberto *et al.* Aplicação de Pesquisa Operacional em uma Empresa do Ramo Moveleiro. In: WORKSHOP DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DO CENTRO PAULA SOUZA, 10., 2015, São Paulo. **Sistemas Produtivos e Desenvolvimento Profissional: Desafios e Perspectivas**. São Paulo: Centro Paulo Souza, 2015. p. 1-9.

MELO, Everton Luiz de. **Metaheurísticas Iterated Local Search, GRASP e Artificial Bee Colony aplicadas ao Job Shop Flexível para minimização do atraso total**. 2014. 226 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick *et al.* **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 265 p.

MONTEVECHI, José Arnaldo *et al.* Análise comparativa entre regras heurísticas de sequenciamento da produção aplicada em *Job Shop*. **Produto & Produção**, Itajubá, v. 6, n. 2, p. 12-18, jun. 2002.

NEVES, Caroline da Silva *et al.* Planejamento, Programação e Controle da Produção: Um estudo teórico voltado para a importância do PC. In: ENCONTRO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO AGROINDUSTRIAL, 13., 2019, Campo Mourão: Eepa, 2019. p. 1-11.

PENNA, Puca Huachi Vaz *et al.* Uma heurística híbrida para minimizar custos com antecipação e atraso do sequenciamento da produção em uma máquina. **Production**, [S.L.], v. 22, n. 4, p. 766-777, 8 maio 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-65132012005000020>.

PEREIRA, Valdinei Juliano; PEREIRA, Jaiane Aparecida. TERRITÓRIO, POLO INDUSTRIAL E ARRANJO

PRODUTIVO LOCAL: Estudo no Polo Moveleiro do Município de Arapongas-PR. **Revista Perspectivas Contemporâneas**, Arapongas, v.13, n. 2, p. 24-43, ago. 2018.

RANGEL, Socorro; FIGUEIREDO, Altamir G. de. O PROBLEMA DE CORTE DE ESTOQUE EM INDÚSTRIAS DE MÓVEIS DE PEQUENO E MÉDIO PORTES. **Pesquisa Operacional**, São J. do Rio Preto, v. 28, n. 3, p. 451-472, dez. 2008.

RANGEL, Tarcisio *et al.* **PLANEJAMENTO E CONTROLE DA PRODUÇÃO (PCP): as ferramentas que o acompanham e sua importância**. 2018. 15 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Faculdade Victor Hugo, São Lourenço, 2018.

RIBEIRO, Vanessa; CORDEIRO, Nelly H. Marques. SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO: UMA PROPOSTA PARA O SISTEMA MAKE TO ORDER. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v. 20, n. 2, p. 720-746, jan. 2020.

SPEROTTO, Fernanda Queiroz. Setor moveleiro brasileiro e gaúcho: características, configuração e perspectiva. **Ind. Econ. Fee**, Porto Alegre, v. 45, n. 4, p. 43-60, mar. 2018.

TAHA, Hamdy A.. **Pesquisa Operacional**. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. 366 p.

TAVARES, Hugo Miguel Gomes. **Estudo e Análise do Sequenciamento de Tarefas de Produção: JOB SHOP SCHEDULING**. 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Instituto Politécnico do Porto Escola, Vila do Conde, 2015

TEIXEIRA, Vinicius Lopes da Silva. **Algoritmo Iteração Gulosa com Busca Local em Soluções Parciais e Algoritmo Busca do Macaco Híbrida Aplicados ao Problema Flow Shop Permutacional**. 2018. 131 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

TIOBE Index. Disponível em: <https://www.tiobe.com/tiobe-index/>. Acesso em: 16 set. 2020.

TOCHA, Carlos Alberto. **DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTAS COMPUTACIONAIS PARA O SEQUENCIAMENTO DA PRODUÇÃO**. 2014. 109 f.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Produção, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

TUBINO, Dalvio Ferrari. **Planejamento e controle da Produção**: teoria e prática. São Paulo: Editora Atlas S.A., 2007. 102 p.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **METODOLOGIA DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. Itajubá: Unifei, 2012. 191 p.

ZAMPERETTI, Ricardo. **Planejamento e controle da produção: um estudo baseado nos sistemas de administração da produção das micro e pequenas empresas moveleiras da região das Missões e planalto do Rio Grande do Sul**. 2001. 153 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Administração, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.