

JULIANA ALMEIDA VIANNA

**PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES NO  
AMBIENTE *JOB SHOP* FLEXÍVEL EM UMA  
FÁBRICA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**

São Paulo  
2021

**JULIANA ALMEIDA VIANNA**

**PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES NO  
AMBIENTE *JOB SHOP* FLEXÍVEL EM UMA  
FÁBRICA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Engenheiro de Produção.

São Paulo  
2021

**JULIANA ALMEIDA VIANNA**

**PROGRAMAÇÃO DE OPERAÇÕES NO  
AMBIENTE *JOB SHOP* FLEXÍVEL EM UMA  
FÁBRICA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS**

Trabalho apresentado à Escola Politécnica  
da Universidade de São Paulo para obtenção  
do Título de Engenheiro de Produção.

Orientador:

Profa. Dra. Débora Pretti Ronconi

São Paulo  
2021

Aos que me ajudaram nessa jornada

# AGRADECIMENTOS

À minha família, por todo apoio e amor recebido em todos os momentos, altos e baixos. Por me proporcionar educação e valores que possibilitaram que eu concluísse o curso de graduação e pelo incentivo constante para que eu atingisse meus objetivos.

À Professora Débora Pretti Ronconi, cujo apoio e disponibilidade em oferecer ajuda e esclarecimentos tornou a conclusão deste trabalho possível. Agradeço a paciência e dedicação, que me trouxeram tranquilidade perante os imprevistos e desafios ao longo da jornada de elaboração do trabalho. Agradeço também por ser mais um exemplo de mulher forte no meio da Engenharia, a quem posso me espelhar.

A todo o corpo docente da Escola Politécnica, pela competência técnica, dedicação e seriedade que contribuíram com minha formação acadêmica e meu futuro profissional, bem como todas as oportunidades oferecidas pela escola. Ao Centro Acadêmico de Engenharia de Produção e à Poli Júnior, os grupos de extensão dos quais fiz parte e contribuíram não só para minha formação profissional, mas como pessoa.

A todos os amigos feitos nesse período de graduação, por todos os momentos compartilhadas. Agradeço ao Daniel Maia Escamilla, pelo companheirismo e apoio mesmo nos momentos mais difíceis dessa jornada. Obrigada por acreditar em mim, mesmo quando eu não acreditava, e por me encorajar a não desistir dos meus sonhos.

*“A resposta certa não importa nada:  
o essencial é que as perguntas estejam  
certas.”*

-- Mario Quintana

# RESUMO

Este trabalho aborda o problema de aumento da complexidade dos processos produtivos de uma fábrica de produtos alimentícios, em decorrência do aumento conjunto de diversidade de produtos e do volume processado. A configuração do ambiente produtivo apresenta máquinas idênticas em cada estágio e alta variabilidade de roteiros, sendo que cada produto produzido possui sua própria ordem de operações. Assim, é proposto um estudo para a minimização de *makespan* do processo produtivo da empresa, isto é, minimização do tempo total necessário para completar todas as tarefas, através da criação de uma ferramenta para programação das operações diárias. Este ambiente caracterizou um problema de *scheduling* de um *Job Shop* flexível. Os parâmetros de dados de tempos de processamento e relações de precedência entre operações de cada produto foram coletados junto à empresa, para refletir a situação real do ambiente produtivo. Através de técnicas de Pesquisa Operacional, o problema foi modelado em Programação Linear Inteira Mista (PLIM), buscando obter a solução exata. Entretanto, dado o caráter *NP-hard* do problema, optou-se pela adaptação do modelo utilizando *constraint programming* (CP), que utiliza meta-heurísticas especializadas para problemas do tipo *scheduling*. A eficácia do modelo foi verificada em testes de escala reduzida, para posterior aplicação utilizando dados em escala real da empresa. O modelo estudado apresenta benefícios se comparado ao executado atualmente pela empresa, e, portanto, é proposto a sua utilização como ferramenta para os processos de programação da produção.

**Palavras-Chave** – Pesquisa Operacional. *Scheduling*. *Job Shop* Flexível. *Constraint Programming*.

# ABSTRACT

This paper addresses the problem of increasing complexity of production processes in a food products factory, due to the joint increase in product diversity and amount of products processed daily. The configuration of the production environment features identical machines at each stage and high variability of itineraries, with each product having its own specific order of operations. Therefore, a study of optimization of textit makespan of the company's production process through the creation of a tool for programming daily operations is proposed. This environment characterized the scheduling problem of a flexible Job Shop. Data parameters of processing times and precedence relationships between operations of each product were collected from the company, to reflect the real situation of the production environment. With Operational Research techniques, the problem was modeled in Mixed Integer Linear Programming, seeking to obtain the exact solution. However, given the NP-hard character of the problem, we chose to adapt the model using constraint programming (CP), which uses specialized meta-heuristics for scheduling problems. The model's effectiveness was verified in small scale tests, for later application using the company's real scale data. The proposed model presents benefits if compared to the one currently executed by the company, and, therefore, its use as a tool for production scheduling processes is proposed.

**Keywords** – Operations Research. Scheduling. Flexible Job Shop. Constraint programming.



## LISTA DE FIGURAS

1	Portfólio da unidade de negócios de Refeições Congeladas. . . . .	15
2	Exemplos de produtos da unidade de negócios de Refeições Congeladas. . .	16
3	Portfólio da unidade de negócios de Mercado . . . . .	16
4	Exemplos de produtos da unidade de negócios de Mercado. . . . .	16
5	Portfólio da unidade de negócios de <i>cloud kitchens</i> . . . . .	17
6	Exemplos de produtos da unidade de negócios de <i>cloud kitchens</i> . . . . .	17
7	Cadeia de valor da empresa. . . . .	18
8	Fluxograma de processos de operação da unidade de negócios Refeições Congeladas. . . . .	19
9	Fluxograma de processos produtivos de Refeições Congeladas. . . . .	20
10	Aumento do volume de produção nos últimos dois anos. . . . .	21
11	Comparação entre configurações <i>Flow Shop</i> e <i>Job Shop</i> . . . . .	27
12	Diagrama de Gantt para Solução 1 do exemplo dado na Tabela 1. . . . .	30
13	Diagrama de Gantt para Solução 2 do exemplo dado na Tabela 1. . . . .	30
14	Grafo disjuntivo relativo ao exemplo da Tabela 1 . . . . .	31
15	Grafo relativo à Solução 1 do exemplo da Tabela 1. . . . .	32
16	Grafo relativo à Solução 2 do exemplo da Tabela 1. . . . .	32
17	Grafo disjuntivo relativo ao exemplo da Tabela 2. . . . .	35
18	Grafo simplificado da solução do exemplo da Tabela 2. . . . .	35
19	Grafo com destaque do caminho crítico da solução do exemplo da Tabela 2.	36
20	Diagrama de Gantt da solução do exemplo da Tabela 2. . . . .	36
21	Possíveis configurações de <i>jobs</i> na produção da empresa. . . . .	44
22	Exemplo de relação de precedências em operação de montagem. . . . .	54
23	Roteiros de <i>jobs</i> para Exemplo 1. . . . .	60

24	Gráfico de Gantt relativo à solução do Exemplo 1. . . . .	61
25	Detalhamento da solução do Exemplo 1. . . . .	61
26	Roteiros de <i>jobs</i> para Exemplo 2. . . . .	62
27	Gráfico de Gantt relativo à solução do Exemplo 2. . . . .	64
28	Detalhamento da solução do Exemplo 2. . . . .	64
29	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 1 (Máquinas 1 a 41). . . . .	68
30	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 1 (Máquinas 41 a 61). . . . .	68
31	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 2 (Máquinas 1 a 41). . . . .	71
32	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 2 (Máquinas 41 a 61). . . . .	71
33	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 3 (Máquinas 1 a 39). . . . .	74
34	Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 3 (Máquinas 39 a 61). . . . .	74

## LISTA DE TABELAS

1	Dados de operações, máquinas utilizadas e tempo de processamento de exemplo de <i>Job Shop</i> . . . . .	30
2	Dados de operações, máquinas utilizadas e tempo de processamento de exemplo de <i>Job Shop</i> Flexível. . . . .	34
3	Quantidade de cada tipo de maquinário por setor produtivo. . . . .	55
4	Exemplo de trecho da programação de produção para uma semana, com quantidade a ser produzida por SKU por dia. . . . .	56
5	Tempo de processamento de cada operação por máquina candidata, em segundos, para Exemplo 1. . . . .	60
6	Tempo de processamento de cada operação por máquina candidata, em segundos, para Exemplo 2. . . . .	63
7	Operações por <i>job</i> para Cenário 1. . . . .	66
8	Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 1. . . . .	67
9	Operações por <i>job</i> para Cenário 2. . . . .	69
10	Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 2. . . . .	70
11	Operações por <i>job</i> para Cenário 3. . . . .	72
12	Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 3. . . . .	73
13	Comparação de resultados de solução do modelo proposto e medições reais. . . . .	75
14	Variação de <i>makespan</i> pelo acréscimo de máquinas Vario e Caldeira. . . . .	76

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>12</b>
1.1	Descrição da empresa . . . . .	12
1.2	Definição do problema . . . . .	19
1.3	Objetivo do trabalho . . . . .	23
1.4	Estrutura do trabalho . . . . .	24
<b>2</b>	<b>Revisão da literatura</b>	<b>25</b>
2.1	O problema de programação de tarefas . . . . .	25
2.2	<i>Job Shop</i> . . . . .	28
2.3	<i>Job Shop</i> Flexível . . . . .	34
2.3.1	Descrição do <i>Job Shop</i> Flexível por um modelo PLIM . . . . .	38
2.3.2	Descrição de <i>Job Shop</i> Flexível por CP . . . . .	39
<b>3</b>	<b>Modelagem do problema</b>	<b>43</b>
3.1	Considerações do problema . . . . .	43
3.2	Modelo PLIM . . . . .	45
3.3	Modelo CP . . . . .	48
<b>4</b>	<b>Levantamento de dados</b>	<b>52</b>
4.1	Informações sobre as operações . . . . .	52
4.2	Informações sobre os recursos produtivos . . . . .	54
4.3	Informações sobre o planejamento da produção . . . . .	55
4.4	Estruturação dos dados de entrada . . . . .	56
<b>5</b>	<b>Resolução do Problema</b>	<b>59</b>

5.1	Testes preliminares . . . . .	59
5.1.1	Exemplo 1 . . . . .	59
5.1.2	Exemplo 2 . . . . .	61
5.2	Resolução do problema com dados reais . . . . .	64
5.2.1	Cenário 1 . . . . .	65
5.2.2	Cenário 2 . . . . .	68
5.2.3	Cenário 3 . . . . .	71
5.3	Análise de resultados . . . . .	74
<b>6</b>	<b>Conclusão</b>	<b>78</b>
	<b>Referências</b>	<b>81</b>
	<b>Anexo A – Código do modelo CP</b>	<b>83</b>
	<b>Anexo B – Dados de entrada do Cenário 1</b>	<b>88</b>
	<b>Anexo C – Detalhamento da solução do Cenário 1</b>	<b>96</b>
	<b>Anexo D – Dados de entrada do Cenário 2</b>	<b>105</b>
	<b>Anexo E – Detalhamento da solução do Cenário 2</b>	<b>112</b>
	<b>Anexo F – Dados de entrada do Cenário 3</b>	<b>121</b>
	<b>Anexo G – Detalhamento da solução do Cenário 3</b>	<b>130</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho será realizado um estudo de programação de operações da fábrica de produtos alimentícios da empresa *Liv Up*. A autora realizou estágio profissional durante um ano e meio na área de Planejamento de Operações e Logística, durante o qual teve conhecimento sobre os desafios da área de Produção frente ao crescimento acelerado da empresa.

Este capítulo introduz o problema a ser abordado no trabalho. Para isso, inicia-se com uma descrição da empresa, apresentando sua história, seu portfólio de produtos e sua cadeia de valor. A seguir, é descrito o problema a ser abordado, aprofundando a situação do ambiente produtivo. Isto posto, o objetivo do trabalho é apresentado formalmente na Seção 1.3. Por fim, é apresentada a estrutura do trabalho na quarta seção do capítulo.

## 1.1 Descrição da empresa

A *Liv Up* foi fundada em 2016 como uma *startup* do setor de alimentação. Sua missão é de promover a alimentação saudável de maneira compatível com a rotina das grandes cidades, focando na praticidade e sabor dos alimentos, sob o slogan "Comida do nosso tempo".

Os fundadores, dois engenheiros de produção formados na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, se inspiraram na própria dor que sentiam com a falta de opções práticas e saborosas para manter uma dieta balanceada. De um lado, viam diversos restaurantes ditos saudáveis, mas que se tornavam inviáveis para o dia a dia pelo alto custo atrelado. Por outro lado, a alternativa de cozinhar os alimentos em casa, embora mais barata, exige tempo de dedicação e experiência, que não são compatíveis com a rotina agitada dos jovens. Assim, identificaram uma oportunidade de mercado alinhada com a tendência de crescimento de busca por alimentação saudável no Brasil.

Uma pesquisa feita pela Federação das Indústrias do Estado de São Paulo (Fiesp) em

2018 mostrou que 80% dos brasileiros buscam por alimentação saudável, e 71% prefere optar por alimentos saudáveis mesmo que estes sejam um pouco mais caros. No entanto, 52% dos entrevistados consideram comidas saudáveis como "sem gosto", apontando para a dificuldade de conciliar balanceamento nutricional e sabor.

Estudos da agência de pesquisa Euromonitor Internacional mostram que o setor de alimentação saudável vem crescendo ao longo da última década. Entre 2009 e 2014, o crescimento foi de 98% no Brasil. Já em 2020, apesar dos impactos econômicos da pandemia COVID-19, o setor movimentou R\$ 100 bilhões no país, um crescimento de 3,5% em relação ao ano anterior. Em parceria com a *Tech Fit*, a consultoria identificou que a pandemia impulsionou ainda mais esse setor: 78% dos entrevistados começaram a ficar mais atentas à alimentação e à saúde neste período e 53% estavam buscando informação sobre a função dos alimentos.

Hoje, a empresa possui três unidades de negócio se complementam para a construção de uma alimentação saudável:

- Refeições congeladas, para os momentos em se opta pela rapidez e praticidade;
- *Cloud Kitchens*, refeições frescas para consumo imediato disponíveis por *delivery*;
- Mercado, para compra de ingredientes frescos para aqueles que preferem cozinhar em casa.

Inicialmente, a empresa se especializou na produção e venda de refeições congeladas, que são até hoje a categoria de produtos mais conhecida da empresa. As receitas são desenvolvidas em conjunto com chefs de cozinha e nutricionista, utilizando apenas matérias-primas naturais, integrais e predominantemente orgânicas, e sem adição de conservantes nem aditivos químicos. Essas diretrizes de receitas garantem que os produtos sejam *clean label*. A produção dos pratos é feita em fábrica centralizada próxima da cidade de São Paulo, onde o processo final de ultracongelamento garante o diferencial do produto: o alimento congela muito mais rápido que em um freezer convencional, impedindo a formação de macro cristais de água e assim preservando seu sabor e textura. No momento de consumo, basta aquecer o produto em micro-ondas ou banho maria por alguns minutos, sendo prático e rápido para os clientes.

Em 2019, a empresa passou pela sua primeira grande expansão, focada em atingir novos mercados em um aumento territorial das vendas. Foram abertos 14 centros de distribuição ao redor do Brasil. Por ser a unidade de negócios mais madura da empresa, apenas as vendas de refeições congeladas estão presentes em todas essas cidades.

No ano de 2020, a empresa passou a expandir através do desenvolvimento de novas unidades de negócio, e nesse movimento entrou no mercado de Cloud Kitchens. O modelo de negócio de Cloud Kitchen segue a tendência de crescimento da economia compartilhada e constitui restaurantes colaborativos, isto é, várias culinárias diferentes funcionando num mesmo espaço para baratear os custos fixos da operação. Neste modelo, o foco é exclusivamente em atendimento via delivery, sem que haja salão para recepcionar clientes na loja. Já operam hoje as culinárias de saladas (chamada "Salad Stories"), de pizzas (chamada "O Brotto") e de pokes (chamada "Fresh Poke"), com cardápios que seguem os valores e princípios de alimentação saudável da *Liv Up*. Atualmente, contam com 4 unidades em São Paulo, nos bairros de Pinheiros, Vila Olímpia, Aclimação e Tatuapé. As vendas são realizadas pelo aplicativo mobile da empresa ou pelo parceiro *iFood*.

Ao final de 2020, a empresa também passou a desenvolver sua unidade de Mercado, que constitui na venda online de alimentos frescos, isto é, não processados. O projeto teve início no período de pandemia com a venda de cestas de alimentos orgânicos, como uma forma de ajudar os pequenos agricultores parceiros da empresa a venderem suas produções no momento de crise. Hoje, aproveitando o aumento dos "e-groceries", modalidade de e-commerce de supermercados, a unidade expandiu as vendas para itens de mercearia, açougue, laticínios e diversas categorias de hortifruti, prezando sempre pela qualidade dos itens e frescor dos alimentos. As vendas de produtos de mercado já ocorrem em São Paulo e Rio de Janeiro.

Dessa forma, o portfólio geral da empresa é vasto e diversificado, com mais de 500 SKUs. As Figuras 1 a 6 apresentam as principais categorias de produtos por unidade de negócio, com exemplos de produtos encontrados em cada uma.



Figura 1: Portfólio da unidade de negócios de Refeições Congeladas.

Categoria	Subcategoria	Exemplos
Porções principais	Carnes vermelhas	Filé mignon com chimichurri Hambúrguer de fraldinha
	Frangos	Frango com crosta de castanhas Frango ao molho mostarda e mel
	Peixes e frutos do mar	Posta de salmão Saint peter com limão siciliano
	Vegetarianos	Falafel Estrogonofe de cogumelo
	Sopas e cremes	Sopa de mandioquinha Creme de abóbora com gengibre
Acompanhamentos	Arroz e cereais	Arroz negro, Mix de quinoa Couscous com castanha de caju
	Batatas e raízes	Batata doce com páprica Mandioquinha com salsa
	Feijões e grãos	Feijão carioca Edamame Grão de bico
	Legumes e vegetais	Lascas de abóbora, Palmito pupunha assado Mix de legumes assados
	Massas e molhos	Nhoque de mandioquinha Ravioli de gorgonzola, pera e nozes Molho de tomate
	Purês	Purê de batata Purê de abóbora
	Risotos	Risoto de cogumelo Risoto de limão siciliano
Linha "Para compartilhar"	-	Porções maiores de proteínas e massas que servem de 3-4 pessoas.
Linha "Pratos caseiros"	-	Refeição completa individual, já com proteína e acompanhamentos.

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 2: Exemplos de produtos da unidade de negócios de Refeições Congeladas.



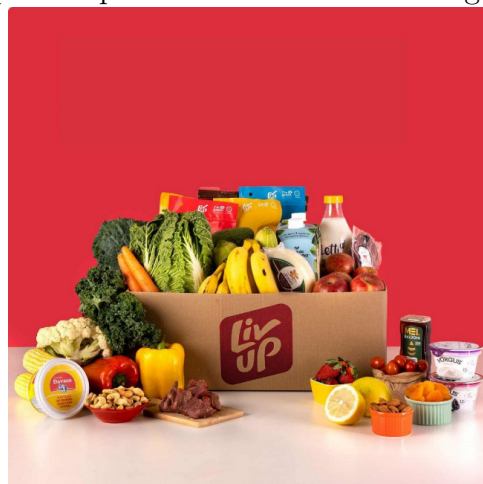
Fonte: site da empresa.

Figura 3: Portfólio da unidade de negócios de Mercado

Categoria	Exemplos
<b>Bebidas</b>	Sucos, chás, água de côco
<b>Açougue</b>	Bovinos, suínos, aves, pescados e frutos do mar
<b>Hortifruti</b>	Frutas, legumes, verduras, temperos
<b>Laticínios</b>	Leites, iogurtes, queijos, manteigas
<b>Mercearia</b>	Cereais, grãos, farinhas, castanhas, azeites, óleos

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 4: Exemplos de produtos da unidade de negócios de Mercado.



Fonte: site da empresa.

Figura 5: Portfólio da unidade de negócios de *cloud kitchens*.

Restaurante	Culinária	Exemplos
<i>Salad Stories</i>	Saladas	Saladas de frango e avocado, Salada de burrata e presunto crú, Monte sua salada
<i>O Brotto</i>	Pizzas	Caprese, Cogumelos com pesto, Quatro queijos, Burrata e parma
<i>Fresh poke</i>	Poke	Salmão spicy, Atum havaiano, Salmão assado

Fonte: elaborado pela autora.

Figura 6: Exemplos de produtos da unidade de negócios de *cloud kitchens*.



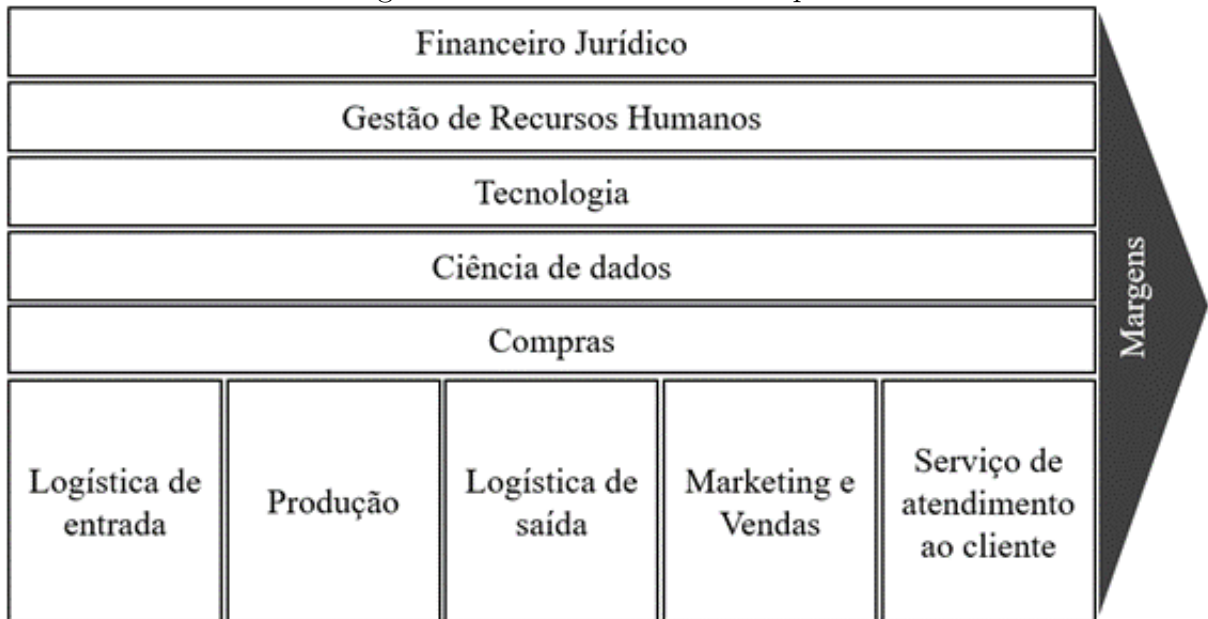
Fonte: site da empresa.

As vendas de todas as unidades de negócio são realizadas através do site de e-commerce e do aplicativo próprio, e as entregas são feitas pela empresa em três períodos do dia (manhã, tarde e noite) no endereço indicado pelo cliente.

As expansões da empresa foram possibilitadas pelas rodadas de investimentos que recebeu desde sua criação. A *startup* começou com um investimento inicial de R\$975 mil de 20 investidores anjos, sendo a maioria amigos ou familiares dos fundadores. Mas logo em 2017 captou 5 milhões de reais em rodada de investimentos série A, do fundo de capital *Kaszek Ventures*. Já em 2019, recebeu o segundo aporte de investimentos, de R\$90 milhões, liderado pelo fundo de investimento norte-americano *ThornTree Capital Partners* e com participação da *Kaszek Ventures*, *Spectra* e *Endeavor Catalyst*. Em 2021, recebeu outra rodada de investimentos, de R\$ 230 milhões, cujos líderes foram a Lofoten Capital e o Grupo Globo, além de antigos participantes para reinvestimento.

Para entender o processo produtivo da empresa, é importante entender primeiro sua cadeia de valor. A Figura 7 apresenta a cadeia de valor da empresa segundo modelo de Michael Porter, considerando a unidade de negócios do e-commerce de ultracongelados, área foco de estudo deste trabalho.

Figura 7: Cadeia de valor da empresa.



Fonte: elaborado pela autora.

Os processos primários, aqueles que geram valor direto para os clientes, são:

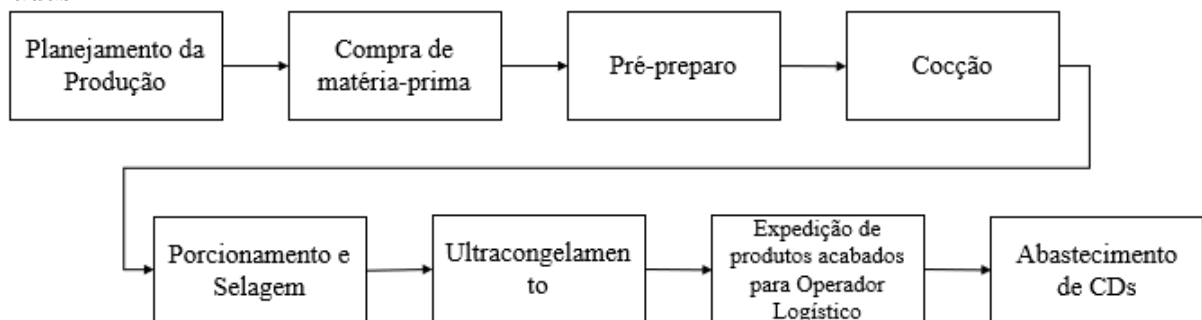
1. Logística de entrada: recebimento de matérias-primas na planta produtiva, armazenagem, manutenção e controle de estoques dos insumos produtivos.
2. Produção: área de operações da cozinha na fábrica central, onde ocorre a transformação dos alimentos em refeições congeladas através de etapas de higienização, preparo e cocção dos alimentos, embalagem e posterior congelamento das refeições.
3. Logística de saída: controle de estoques e de abastecimento dos centros de distribuição, relacionamento com operador logístico, operação de *picking* e separação dos pedidos, e logística de entregas a domicílio (*last mile*).
4. Marketing e vendas: elaboração da estratégia de vendas, estruturação de campanhas de marketing digital e parcerias com influenciadores, identidade visual da marca (*branding*).
5. Serviço de atendimento ao cliente: suporte ao cliente para dúvidas ou resolução de problemas, serviço pós-venda.

Já os processos de apoio são aqueles que dão suporte aos processos primários, e, portanto, agregam valor de forma indireta. São eles:

1. Financeiro Jurídico: controle de contabilidade e finanças da empresa, bem como todas as demandas jurídicas.
2. Gestão de recursos humanos: recrutamento, capacitação e treinamentos, gestão de contratos e benefícios, segurança no trabalho.
3. Tecnologia: desenvolvimento e melhorias no site e aplicativo de vendas, manutenção e melhorias em sistemas de uso interno da empresa (ERP e CRM), sistemas de controle e movimentação de estoques.
4. Ciência de dados: manutenção de bancos de dados, criação de dashboards para acompanhamento de vendas e operações, análises para apoiar decisões estratégicas da empresa.
5. Compras: aquisição de novos equipamentos (setor de Infraestrutura), negociação com fornecedores e compra de matérias-primas (setor de Compras), parcerias e planejamento integrado com pequenos produtores (setor de *Sourcing*).

Entendendo melhor a operação da empresa, a Figura 8 apresenta um fluxograma com os principais processos da cadeia de produção para a unidade de negócios de Refeições Congeladas de fabricação própria.

Figura 8: Fluxograma de processos de operação da unidade de negócios Refeições Congeladas.

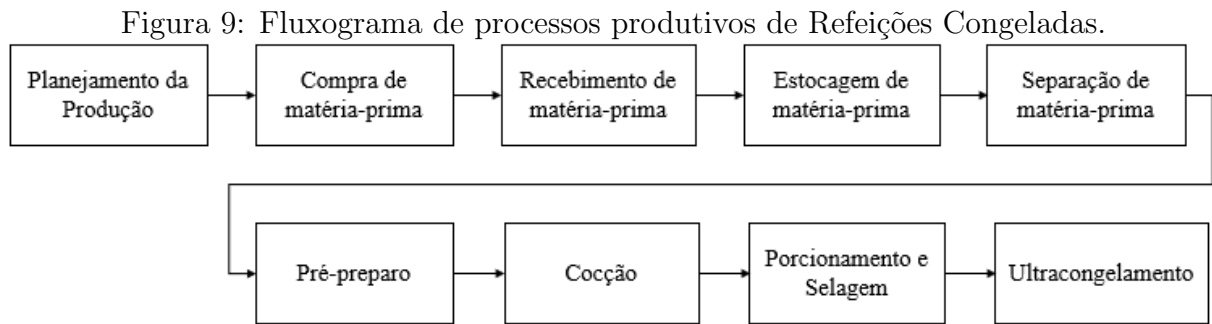


Fonte: elaborado pela autora.

## 1.2 Definição do problema

O trabalho de formatura tem como foco a área de produção de itens congelados da empresa *Liv Up*. A seguir é descrito a situação atual do setor produtivo da empresa, evidenciando a problemática a ser abordada neste trabalho.

Na *Liv Up*, considera-se como parte do setor de Produção não apenas os envolvidos diretamente nas operações das cozinhas. Envolve todos os processos associados ao funcionamento da fábrica, como áreas de planejamento da produção, compras, recebimento de matérias-primas, embalagens, expedição de produtos acabados, entre outros. A Figura 9 apresenta o fluxograma dos macroprocessos do setor.



Fonte: elaborado pela autora.

O fluxo inicia-se com o Planejamento da Produção, isto é, a definição de quais e quantos produtos serão produzidos por dia. A metodologia usada para esses cálculos segue heurística desenvolvida por um consultor externo que auxiliou a empresa nesse projeto, utilizando programação em VBA em Microsoft Excel. Para isso, leva-se em consideração as projeções de vendas e nível de estoque de cada item, roteiros das receitas para preparação das refeições e restrições de disponibilidade de máquinas e mão de obra. O resultado do planejamento é uma lista de quais SKUs serão produzidos, em qual quantidade e em que dia da semana.

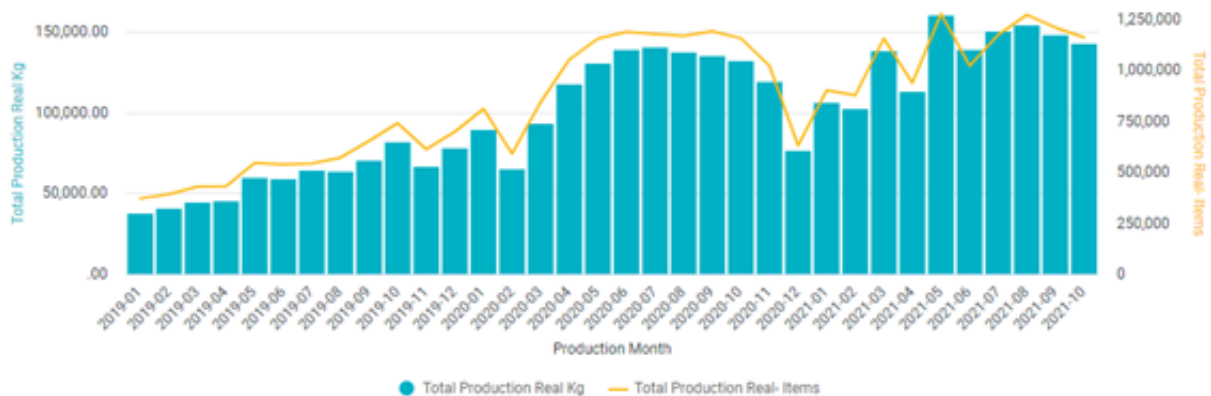
O processo de Planejamento da Produção é feito semanalmente, às segundas-feiras. A lista gerada se refere à produção que acontecerá duas semanas no futuro, isto é, estando na semana  $S$  o planejamento é referente à semana  $S+2$ . Esse intervalo de duas semanas entre o planejamento e a execução da operação é fundamental para que o time de Compras tenha tempo hábil para negociar com fornecedores e garantir o abastecimento de todas as matérias-primas necessárias. Assim, é ao longo desse período que ocorrem as atividades de Compras e recebimento e armazenamento de matérias-primas.

Além do time de Compras, a lista de planejamento também é disponibilizada para o Coordenador de Produção. Este, diariamente, repassa a informação de quais produzidos devem ser fabricados aos líderes de cada setor produtivo. Os funcionários têm autonomia para definirem a ordem da fabricação, contanto que concluam o que foi determinado no planejamento total do dia. Isso significa que não há indicação de priorização dentre os itens fabricados no dia, sendo a sequência de atividades e ordem de processamento baseada na experiência dos líderes de cada setor produtivo e organização interna dos grupos de

colaboradores. A falta de metodologia para definição do sequenciamento de operações tornou-se um ponto de atenção para a empresa, e é alvo de estudo deste trabalho.

O primeiro motivo de preocupação se deve ao aumento da complexidade da Produção, tanto pelo crescimento do volume processado quanto pela demanda de produtos com maior diversidade de processos. Em 2019, eram produzidos uma média de 100.542 unidades por semana, que corresponde a processamento de cerca de 10.686 quilos de alimentos. Em 2020, a produção mais que dobrou com a abertura da planta produtiva em Aldeia da Serra. Semanalmente, foram processados cerca de 23.732 quilos para produção de 212.406 unidades. Isso representa um aumento de 122% em quilos processados e 111% em quantidade de itens em comparação com o ano anterior. Em 2021 o crescimento continuou: comparando os primeiros seis meses com o mesmo período do ano anterior, tiveram aumento de 24% na média semanal de quilos processados (29.541 kg) e 15% em total de unidades produzidas (243.293 kg). O aumento total foi de 142% em menos de dois anos.

Figura 10: Aumento do volume de produção nos últimos dois anos.



Fonte: fornecido pela empresa.

Esse crescimento foi possibilitado pela compra de maquinários e principalmente pela contratação de novos colaboradores. O setor de operações produtivas cresceu de menos de 100 funcionários em 2019 para 230 funcionários em 2021, aumento de cerca de 130%.

Além do aumento do volume processado, também ocorreu aumento da complexidade dos processos. Primeiramente, há maior complexidade das operações pela maior variedade de receitas por lançamento de novos produtos, uma vez que cada refeição possui uma receita única, com ordem específica de preparo. No início de 2019, o portfólio possuía 166 itens, e desde então ocorreram 211 lançamentos de produtos de produção própria, o equivalente 127% do portfólio inicial do período. Isso mostra o quanto o portfólio é dinâmico, com constante revisão para entrada e saída de itens e testes de novos produtos.

Nesse quesito, há ainda maior complexidade quando percebemos que 18% dos lançamentos são de novas categorias de produtos, como por exemplo as linhas “Pratos Caseiros” e “Para compartilhar” (apresentadas na Figura 1 sobre portfólio da empresa), que introduziram mudanças nas atividades produtivas. Até então, todos os produtos eram pratos de porções individuais, embalados separadamente para que os consumidores tenham flexibilidade de montar sua própria combinação de pratos principais e acompanhamentos. Com a inauguração da linha “Para compartilhar”, passam a ser vendidos produtos de porções que servem de 2 a 3 pessoas, exigindo novos processos de embalagem e porcionamento. Já a linha de “Pratos caseiros” é composta por marmitas de refeições completas, já com proteína principal e acompanhamentos. Isso exige a montagem e preparo coordenado das subreceitas que compõem o prato completo.

Em adição a esses fatores, durante 2021 o espaço da fábrica passou por obras de reestruturação da área produtiva para obtenção do Selo de Inspeção Federal (SIF), que garante inspeção e qualidade de alimentos de origem animal, e do Certificado de Boas Práticas de Fabricação (CBPF), da Anvisa. O espaço de 800 m<sup>2</sup> foi dividido em quatro grandes áreas produtivas.

1. FLVs: destinada a manipulação de frutas, legumes e verduras, desde seu pré-preparo até etapas de cocção.
2. Açougue e peixaria: área de manipulação de proteínas animais, como carnes bovinas, aves e pescados, desde seu pré-preparo até cocção.
3. Salgados e Doces: área independente, especializada no preparo de doces e salgados para lanches.
4. Porcionamento: área responsável pelo porcionamento dos alimentos e selagem das embalagens, etapa final da produção.

Apesar de anteriormente já ter divisão das áreas de pré-preparo de FLVs e Açougue, os maquinários para cocção dos alimentos eram compartilhados entre todos os produtos. As áreas eram muito próximas e permitiam comunicação constante entre os grupos de colaboradores para alinhamentos e solicitações. Após a obra, as áreas passam a ser estritamente separadas, o que dificulta a comunicação entre os times.

Esse alinhamento é fundamental quando entendemos que um produto pode exigir atividades de mais de um setor. Por exemplo, no caso do prato de “Filé Mignon com Chimichurri”, o molho é preparado na área de FLV e enviado para a área de Açougue,



onde ocorre o preparo da carne e a mistura desta com o molho. Outro exemplo são os itens da linha de “Pratos caseiros”, no qual os acompanhamentos vegetarianos são produzidos no setor de FLV mas a proteína é preparada no setor de Açougue, onde ocorre também a montagem final da refeição completa.

Dessa maneira, pode-se entender a área de FLV como um fornecedor interno para a área de Açougue. Essa dinâmica entre os setores, somado ao fato de estarem agora mais distantes entre si no espaço da fábrica, exige melhor coordenação entre os processos. Torna-se importante um olhar global para os processos produtivos, não apenas a organização interna de cada área, para impedir que um atraso no setor de FLV impacte outras áreas produtivas.

### 1.3 Objetivo do trabalho

A proposta desse trabalho é desenvolver uma metodologia para a programação das operações da produção de itens ultracongelados da empresa *Liv Up*.

Por um lado, o aumento da complexidade dos processos produtivos e crescimento do volume processado na fábrica torna necessário uma organização estruturada e coordenada das operações. De outro lado, o cenário de alto crescimento da empresa e ritmo acelerado de lançamentos faz o time buscar alternativas de maximizar a capacidade produtiva, otimizando utilização de maquinários e alocação de funcionários. A programação de operações, tema do presente trabalho, surge então como uma das principais alternativas para atingir estes objetivos.

O estudo tem como foco as áreas produtivas de FLV, Açougue e Salgados e Doces, onde ocorrem de fato as operações de preparo dos produtos. As operações englobam limpeza e higienização das matérias-primas, corte, fatiamento, processamento, mistura de temperos, cocção, entre outros. A área de porcionamento e selagem não tem variação de operações e segue a ordem de chegada dos produtos acabados dos outros setores, e por isso não foi contemplado no estudo.

A programação é feita a partir do planejamento de produção que já ocorre atualmente. Com base na lista de SKUs a serem produzidos no dia e nos seus respectivos roteiros e receitas, define-se a programação das operações do dia. Opta-se por calcular a programação diária, não semanal, por indicação de preferência da coordenação. Isso se deve a necessidade de flexibilidade da produção por depender da chegada das matérias-primas ao longo da semana. Para manter os alimentos sempre frescos, as matérias-primas

são entregues sempre o mais próximo possível do dia da produção, o que significa que não necessariamente terão todos os itens disponíveis no começo da semana. Além disso, também podem ocorrer atrasos por problemas nas entregas dos fornecedores. Portanto, não é interessante considerar o total produzido na semana, mas sim analisar cada dia separadamente.

## 1.4 Estrutura do trabalho

Este trabalho é estruturado em 7 capítulos. O capítulo atual apresenta uma introdução ao contexto em que se desenvolveu o trabalho, apresentando a empresa a ser estudada e definindo o problema a ser abordado.

O Capítulo 2 consiste na Revisão da Literatura sobre problemas de sequenciamento de tarefas (*scheduling*) e configurações de *Job Shop* e *Job Shop* flexível, que são bases teóricas para a resolução do trabalho.

No Capítulo 3 desenvolve-se a modelagem matemática do problema, detalhando a função objetivo, bem como suas restrições. É apresentada uma modelagem em Programação Linear Inteira Mista (PLIM) e uma em programação por restrições (CP).

Os Capítulos 4 é dedicado à metodologia de coleta e tratamento de dados, expondo os dados de parâmetros de entrada usados para resolução do problema e como estes foram obtidos junto a empresa.

O Capítulo 5 consiste na aplicação do modelo, inicialmente por testes em escala reduzida e depois com dados reais da empresa. Os resultados em escala real são comparados com exemplos realizados pela empresa, para verificação da eficácia do modelo proposto.

Por fim, o trabalho se encerrará no Capítulo 6, com as conclusões dos estudos realizados, seus aprendizados e um plano para implementação da solução na empresa.

## 2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo é apresentado o problema tratado neste trabalho, de *Job Shop* flexível. Este é caracterizado como um problema de *scheduling* ou programação de tarefas, sendo uma extensão do problema clássico de *Job Shop*. Assim, será apresentado primeiramente as características de um problema do tipo *scheduling*, seguindo para definição dos ambientes de *Job Shop* e *Job Shop* flexível. Por fim, há uma revisão das principais literaturas de formulação MILP para resolução deste tipo de problema.

Busca-se compreender a caracterização do problema e contribuição dos principais autores. Será, então, utilizada essa literatura científica como base para posterior formulação matemática do problema e sua resolução.

### 2.1 O problema de programação de tarefas

O problema de programação de tarefas se refere a alocar recursos a tarefas, respeitando as restrições impostas e com o objetivo de otimizar uma ou uma combinação de medidas de desempenho (LEUNG, 2004). Portanto, trata-se de designar os processamentos de tarefas a recursos, ordenando-os ao longo tempo pela determinação de seu instante de início e fim.

As tarefas são as operações de um processo, enquanto os recursos são os instrumentos necessários para que ocorra seu processamento ou execução. O significado de recursos e tarefas varia com o contexto. Por exemplo, pode-se considerar as pistas de um aeroporto como recursos para as operações de aterrissagens e decolagens. No caso de um hospital, as salas do centro cirúrgico são recursos para as cirurgias. Já na computação, a memória ou dispositivos de entrada e saída de um computador são recursos para as tarefas de execução de um *software*.

No contexto da manufatura, as tarefas são conjuntos de operações do processo de fabricação, denominadas em inglês por “*jobs*” (“trabalhos”), enquanto as máquinas utili-

zadas para seus processamentos são os recursos. Assim, para fabricação de um produto, cada tarefa deve ser processada por uma ou mais máquinas, e cada etapa de processamento é denominada de operação.

Neste contexto, o problema de *scheduling* consiste em gerar uma programação de *jobs*. Isso inclui definir a sequência de processamento das tarefas pela definição do instante de início e de término de processamento de cada operação, alocando-as em cada máquina. Deve escolher e temporizar o uso de recursos para realizar todas as operações necessárias para produzir os produtos, otimizar a medida de desempenho desejada. Dessa forma obtém-se não apenas informações sobre a execução das tarefas, mas também sobre tempo de ocupação e disponibilidade das máquinas.

Em geral, os problemas de *scheduling* de ambientes de fábrica podem ser classificados pelo número e disposição de máquinas, pelas relações de precedência entre operações ou pelo indicador de desempenho a ser otimizado, como visto em Pinedo (2008).

Com relação às máquinas, as principais configurações são:

- Máquina única: há apenas uma única máquina no ambiente de produção. Raramente é encontrado em situações reais, mas seu estudo permite desenvolvimento de técnicas para resolução de ambientes mais complexos.
- Máquinas idênticas paralelas: existem  $m$  máquinas idênticas (todas as velocidades de processamento são iguais) e em paralelo no ambiente de produção. Cada tarefa pode ser processada por qualquer máquina.
- Máquinas uniformes paralelas: existem  $m$  máquinas em paralelo, mas com velocidades diferentes de processamento. Aqui, dois modelos são possíveis: no primeiro, a velocidade não depende da tarefa a ser processada, apenas da máquina em questão; no segundo, a velocidade depende da tarefa em questão.

Com relação as restrições de precedência entre operações, as principais configurações possíveis fazem parte da categoria *Shop*, de acordo com Previero (2016). Em geral, nesta categoria, há um conjunto de  $m$  máquinas,  $n$  tarefas e cada tarefa é composta por um conjunto de  $k$  operações. Cada operação possui um tempo de processamento, e cada máquina uma velocidade de processamento. Duas operações da mesma tarefa não podem ser processadas simultaneamente e cada máquina pode processar uma única operação em cada instante. As classificações desta categoria são:

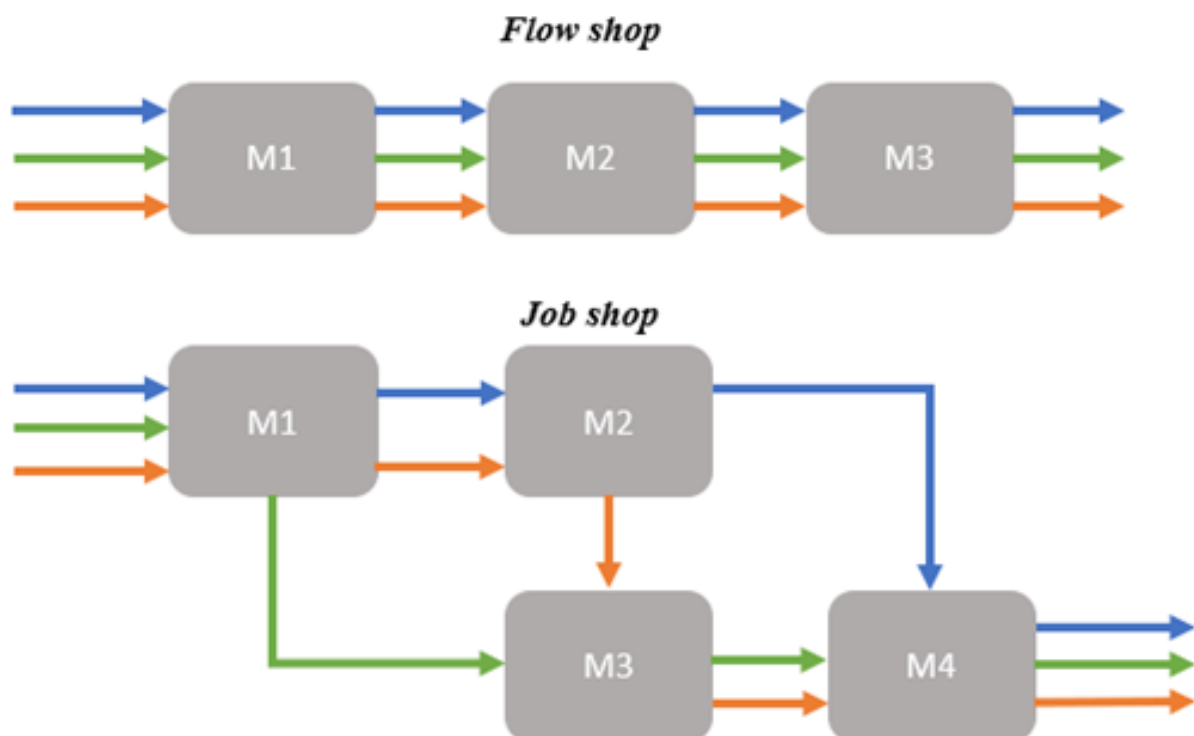
- *Open shop*: cada tarefa deve ser processada por cada uma das  $m$  máquinas, mas a

ordem das operações de processamento pode variar livremente. Não há restrição de precedência entre as operações de uma mesma tarefa.

- *Flow shop*: cada tarefa deve ser processada por cada uma das  $m$  máquinas, em um processo linear de operação. Todas as tarefas seguem a mesma sequência de operações, isto é, possuem as mesmas relações de precedência entre suas etapas de processamento.
- *Job shop*: cada tarefa possui sequência específica e distinta de operações para sua fabricação, isto é, as relações de precedência entre as operações são específicas de cada tarefa. Assim, cada tarefa não precisa necessariamente ser processada por todas as  $m$  máquinas do ambiente de produção.

Dessa forma, os ambientes de *Flow Shop* em geral possuem menor variedade de produtos, maior padronização no processo produtivo, e, conseqüentemente, menos tempo de *setup* de máquinas. As produções deste modelo costumam ser em grandes volumes, em produção em massa. Em contraposição, ambientes de *Job Shop* apresentam elevado número de produtos diferentes, produzidos normalmente em pequenas quantidades. Portanto, alta variedade de produtos e baixo volume de produção. A Figura 11 ilustra a diferença de disposição entre essas duas configurações.

Figura 11: Comparação entre configurações *Flow Shop* e *Job Shop*.



Fonte: elaborado pela autora.

Por fim, existem as classificações de *scheduling* com relação à medida de desempenho a ser otimizada na função objetivo. Em geral, estas estão ligadas ao instante de término de processamento das tarefas e possíveis atrasos. O atraso é calculado como a diferença entre o instante em que a tarefa de fato tem seu processamento terminado e o limite de tempo imposto para sua conclusão, se tal diferença for positiva. As medidas de desempenho mais comuns são:

- *Makespan*: instante de término da última operação processada, a finalização do último *job*.
- Atraso total: soma dos atrasos de todos os *jobs*. Esta medida é relevante para casos em que há penalizações por atrasos.
- Atraso ponderado: para casos em que existem *jobs* mais importante que outros, cada tarefa recebe um peso de criticidade; os atrasos de cada tarefa são então ponderados por seu peso, e o total é a soma ponderada.
- *Lateness*: diferença em módulo entre a data de finalização de processamento do *job* e sua data de entrega. Valores negativos indicam que a tarefa está adiantada e valores positivos indicam atraso na entrega. Esta medida é usada para casos em que há recompensa pelo adiantamento de entregas.

A seguir, o ambiente de *Job Shop* será apresentado de maneira mais aprofundada, bem como sua extensão para *Job Shop* Flexível.

## 2.2 *Job Shop*

Como visto na seção anterior, o *Job Shop* é uma das principais configurações de ambientes produtivos. A seguir são listadas as principais características que marcam essa configuração:

- (i) Composto por um conjunto independente de tarefas, designadas *jobs*. Por serem independentes, não existe relações de precedência entre *jobs* diferentes.
- (ii) Cada *job* é composto por uma sequência específica e ordenada de operações.
- (iii) Em um mesmo *job*, cada operação deve ser executada em uma máquina diferente, consumindo tempos diferentes para processamento.

- (iv) Cada operação deve ser processada individualmente em uma única máquina específica.
- (v) Cada máquina não pode processar mais de uma operação simultaneamente.
- (vi) O processamento de uma operação não pode ser interrompido após seu início, até que seja finalizado.

Para descrever um JS, consideramos conjuntos de  $n$  tarefas (*jobs*) e  $m$  máquinas. Sendo o índice  $i$  indicativo do *job* e o índice  $j$  indicativo da operação, cada tarefa é composta por um conjunto de operações ordenadas  $O_{ij}$ . Cada máquina é processada por uma máquina exclusiva denominada  $m_{ij}$ , por tempo de processamento  $p_{ij}$ .

Dessa forma, o problema de *scheduling* de um JS se baseia na sequência fixa e específica de operações de cada tarefa, e compreende na alocação das tarefas entre as máquinas para otimizar a função de desempenho. Isso é feito através da determinação do instante de início de processamento de cada operação  $O_{ij}$ .

A primeira forma de representar um JS, e uma das mais comuns, é através do diagrama de Gantt. Esta é uma ferramenta útil para fácil visualização do sequenciamento das tarefas e dos momentos de ocupação das máquinas ao longo do tempo. No diagrama, o eixo vertical compreende às máquinas do ambiente produtivo e o eixo horizontal representa o tempo, dividido em unidades de tempo. Cada área preenchida representa o processamento de uma operação, na máquina e no instante associados. O comprimento da área preenchida é, portanto, o tempo de processamento da operação.

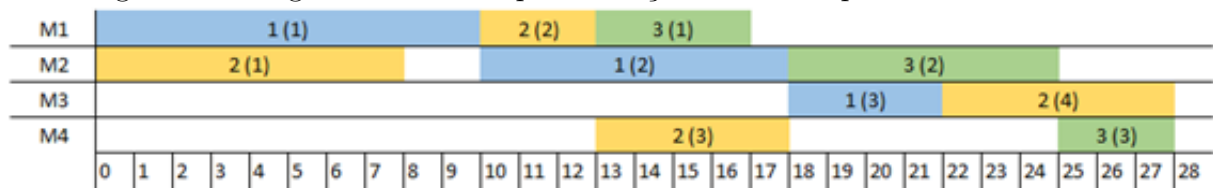
Tomamos o exemplo simplificado de um ambiente *Job Shop* composto por quatro máquinas e três *jobs*. A relação de máquina e tempo de processamento de cada operação é apresentada na Tabela 1. Duas possíveis soluções para o problema são apresentadas nos diagramas de Gantt das Figuras 12 e 13.

Tabela 1: Dados de operações, máquinas utilizadas e tempo de processamento de exemplo de *Job Shop*.

<i>Job</i>	Operação	Máquina	Duração (min)
1	$O_{11}$	1	10
1	$O_{12}$	2	8
1	$O_{13}$	3	4
2	$O_{21}$	2	8
2	$O_{22}$	1	3
2	$O_{23}$	4	5
2	$O_{24}$	3	6
3	$O_{31}$	1	4
3	$O_{32}$	2	7
3	$O_{33}$	4	3

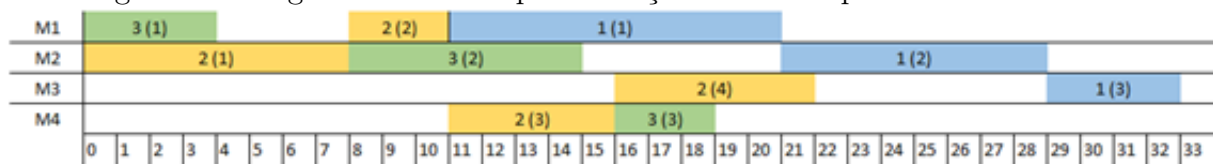
Fonte: elaborado pela autora.

Figura 12: Diagrama de Gantt para Solução 1 do exemplo dado na Tabela 1.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 13: Diagrama de Gantt para Solução 2 do exemplo dado na Tabela 1.



Fonte: elaborado pela autora.

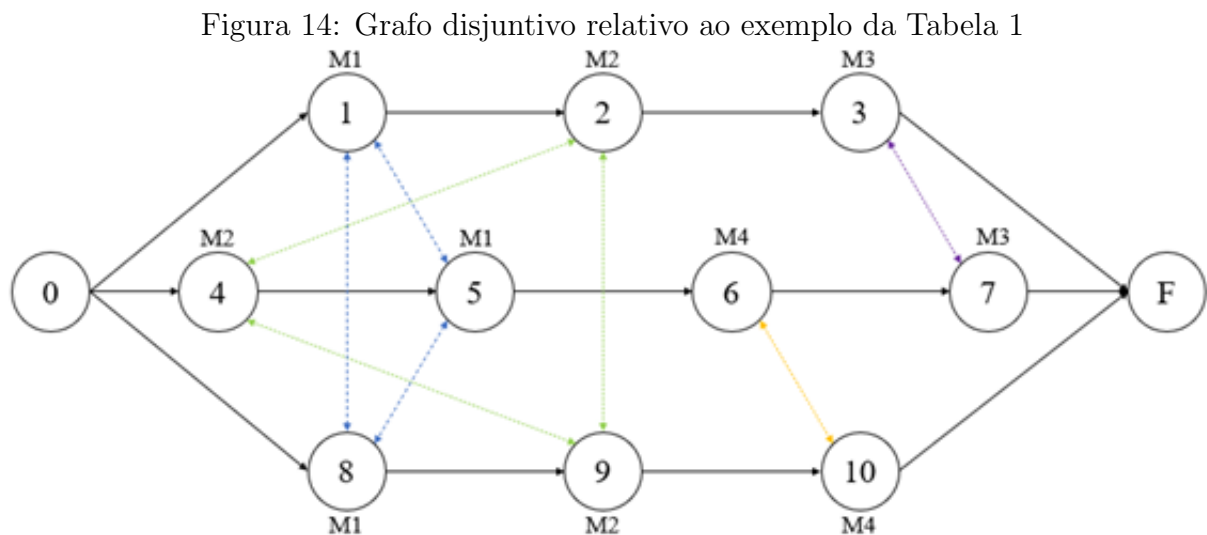
Na Figura 12, a Solução 1 foi obtida alocando primeiro as operações do *job* 1, depois as operações do *job* 2 e por fim as operações do *job* 3, a depender da ocupação das máquinas. Já na Figura 13, a Solução 2 obtida se deu pela alocação das operações do *job* 1 por último. Os espaços em branco nos diagramas são períodos de ociosidade das máquinas. Percebe-se que a primeira solução tem menos ociosidade das máquinas, e o *makespan* é menor, de 28 minutos em comparação com 33 minutos da Solução 2.

Também se pode de representar um JS através de um grafo disjuntivo, composto de  $V$  vértices,  $C$  arcos conjuntivos (direcionados) e  $D$  arcos disjuntivos (não-direcionados),



como proposto por Balas (1969) e descrito também em Pinedo (2008). Os vértices representam todas as operações  $(i; j)$  que devem ser executadas na produção de todos os  $n$  jobs. Cada vértice possui peso equivalente ao tempo de processamento da operação. Há ainda dois vértices artificiais que representam o início e término dos jobs, de pesos nulos. Os arcos conjuntivos (linhas sólidas direcionadas) representam as rotas dos jobs, isto é, ligam as operações consecutivas para determinar a ordem de processamento das operações de uma mesma tarefa. Por exemplo, o arco conjuntivo  $(i; j) > (k; j)$  determina que a operação  $(i; j)$  precede a operação  $(k; j)$ . Por fim, são acrescentados os arcos disjuntivos, que conectam todas as operações que devem ser processadas na mesma máquina. Estes arcos não possuem orientação definida. Portanto, para qualquer par de operações  $i$  e  $i'$  tal que  $i$  preceda imediatamente  $i'$ , os vértices são conectados por arco conjuntivo, de direção  $i > i'$ . E para qualquer par de operações  $i$  e  $i'$  que sejam processadas na mesma máquina ( $m_i = m_{i'}$ ), os vértices são conectados por arcos disjuntivos, sem direção definida.

A Figura 14 representa o grafo disjuntivo do exemplo anterior descrito da Tabela 1. O número interno ao vértice indica o índice da operação, o externamente é indicada a máquina que realiza seu processamento. As linhas sólidas em preto indicam os arcos conjuntivos, enquanto as linhas tracejadas indicam os arcos disjuntivos.



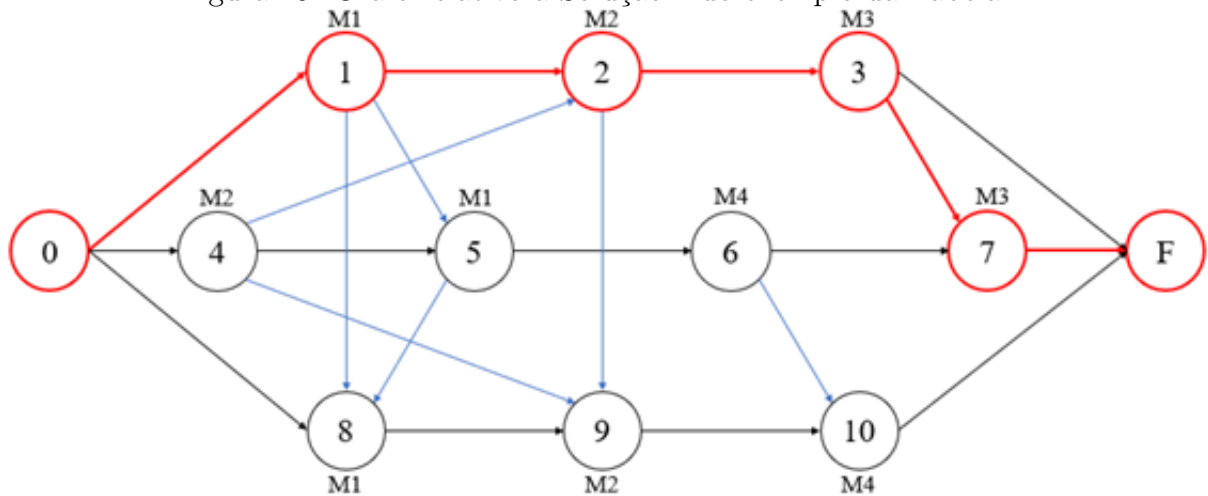
Fonte: elaborado pela autora.

Nesta representação, a solução de sequenciamento possível corresponde à definição da direção de todos os arcos disjuntivos, determinando assim a ordem de operações atribuídas em cada máquina. Se o grafo orientado foi acíclico, representa uma solução factível para o problema de JS.

O caminho máximo entre os vértices inicial e final é chamado de caminho crítico, no

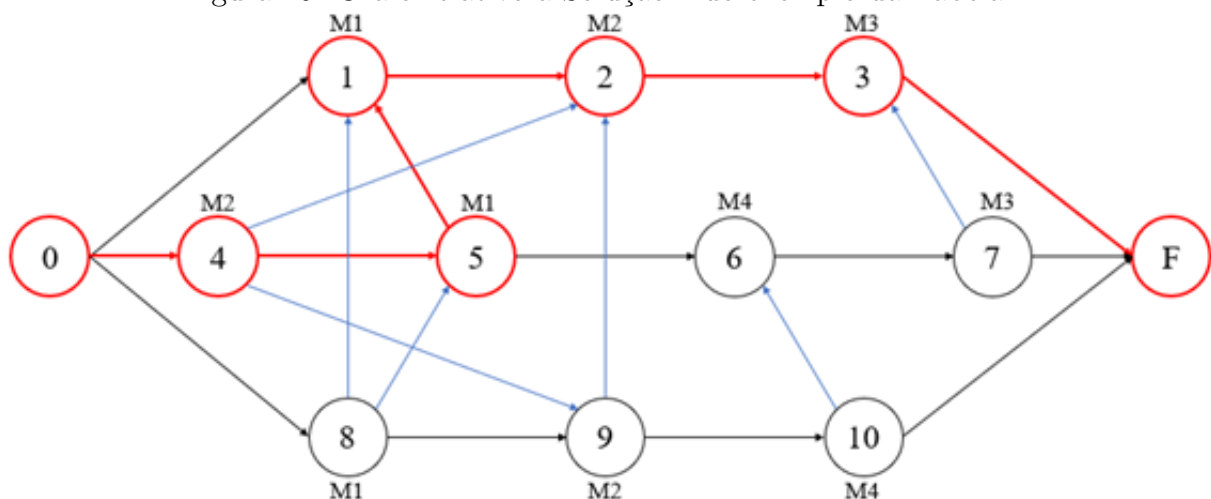
qual cada operação é imediatamente sucedida pela próxima, sem tempos de desocupação. Assim, tendo como base Pinedo (2008), o caminho crítico é o tempo mínimo necessário para finalizar o processamento de todas as tarefas, o que caracteriza o *makespan*. Portanto, o *makespan* tem valor equivalente a soma do tempo de processamento das operações que compõem o caminho crítico. Logo, para otimizá-lo, busca-se a solução factível que minimize o caminho crítico entre os vértices inicial e final. As Figuras 15 e 16 destacam os caminhos críticos das Soluções 1 e 2 do exemplo utilizado nesta seção.

Figura 15: Grafo relativo à Solução 1 do exemplo da Tabela 1.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 16: Grafo relativo à Solução 2 do exemplo da Tabela 1.



Fonte: elaborado pela autora.

Na Solução 1, o caminho crítico compreende a ordem de vértices: 0, 1, 2, 3, 7, F. Outra possibilidade para caminho crítico seria: 0, 1, 2, 9, 10, F. Ambas as opções possuem

comprimento igual a 28, o *makespan*. Na solução 2, o caminho crítico é dado pela ordem de vértices: 0, 4, 5, 1, 2, 3, F. O caminho tem valor 33, igual ao seu *makespan*.

Por fim, podemos descrever um JS por uma modelagem de Programação Linear Inteira Mista (PLIM). A seguir um exemplo de modelagem é apresentado para minimização do *makespan*. O modelo é encontrado em Previero (2016). No modelo,  $s_i$  se refere ao instante de início de processamento da operação  $i$  e  $p_i$  o respectivo tempo de processamento. Já a variável binária  $y_{ij}$  indica relação de precedência entre as operações  $i$  e  $j$ : assume valor 1 caso  $i$  seja sucedida por  $j$ , e valor 0 caso contrário. O parâmetro  $L$  é um número suficientemente grande.

Função Objetivo

$$\text{Minimizar } C_{max} \tag{2.1}$$

Sujeito a:

$$C_{max} \geq s_i + p_i \quad i = 1, \dots, n' \tag{2.2}$$

$$s_i + p_i \leq s_j \quad \forall (i, j) \in C \tag{2.3}$$

$$s_i + p_i - L(1 - y_{ij}) \leq s_j \quad \forall [i, j] \in D \tag{2.4}$$

$$s_j + p_j - L.y_{ij} \leq s_i \quad \forall [i, j] \in D \tag{2.5}$$

$$C_{max} \geq 0 \tag{2.6}$$

$$s_i \geq 0 \quad i = 1, \dots, n' \tag{2.7}$$

$$y_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall [i, j] \in D \tag{2.8}$$

A função objetivo, expressa na equação (2.1), é de minimização do *makespan*. Esse é definido pela restrição do tipo (2.2), que impõe que  $C_{max}$  seja maior ou igual ao instante de término de processamento de todas as operações. As restrições do tipo (2.3) estabelecem que o instante de início de processamento de uma operação deve ser maior ou igual ao instante de fim da operação antecessora, dado pela soma do instante de início com o tempo de processamento da operação antecessora. Assim, se estabelece a relação de precedência entre operações. Já as restrições do tipo (2.4) e (2.5) juntas garantem que cada máquina não processe mais de uma operação simultaneamente. Por fim, as restrições de tipo (2.6), (2.7) e (2.8) definem variáveis de decisão.

De acordo com Garey; Johnson e Sethi (1976), considerando o critério de otimização de minimização do *makespan*, o JS é classificado como NP-Difícil. Para uma situação de  $m$  máquinas e  $n$  tarefas, o número máximo de opções de sequenciamento é igual a  $(n!)^m$ .

Por essa natureza combinatória, o tempo de processamento cresce exponencialmente com o aumento de dados de entrada, tornando a resolução cada vez mais complexa.

## 2.3 *Job Shop* Flexível

O *Job Shop* flexível (JSF) é uma extensão do *Job Shop*, portanto possui as mesmas características básicas já apresentadas com exceção da relação de exclusividade entre operação e máquina. No problema clássico, cada operação pode ser processada por apenas uma máquina. Já no ambiente flexível, cada operação pode ser processada por um conjunto de máquinas elegíveis. Assim, considerando o conjunto  $M$  de máquinas do ambiente produtivo, existe um subconjunto  $M_{ij}$  de máquinas alternativas capazes de processar a operação  $(i; j)$ . As máquinas de  $M_{ij}$  podem ser idênticas ou não, mas cada operação deve ser atribuída a apenas uma única máquina.

Conforme Dauzère-Pérès e Paulli (1997), o JSF também pode ser representado por um grafo disjuntivo. Neste caso, a incidência de arcos disjuntivos é maior, já que a quantidade de máquinas relacionada a cada operação é maior. Assim como no JS clássico, a solução se dá pela determinação da direção dos arcos disjuntivos e deve formar um grafo acíclico para ser factível.

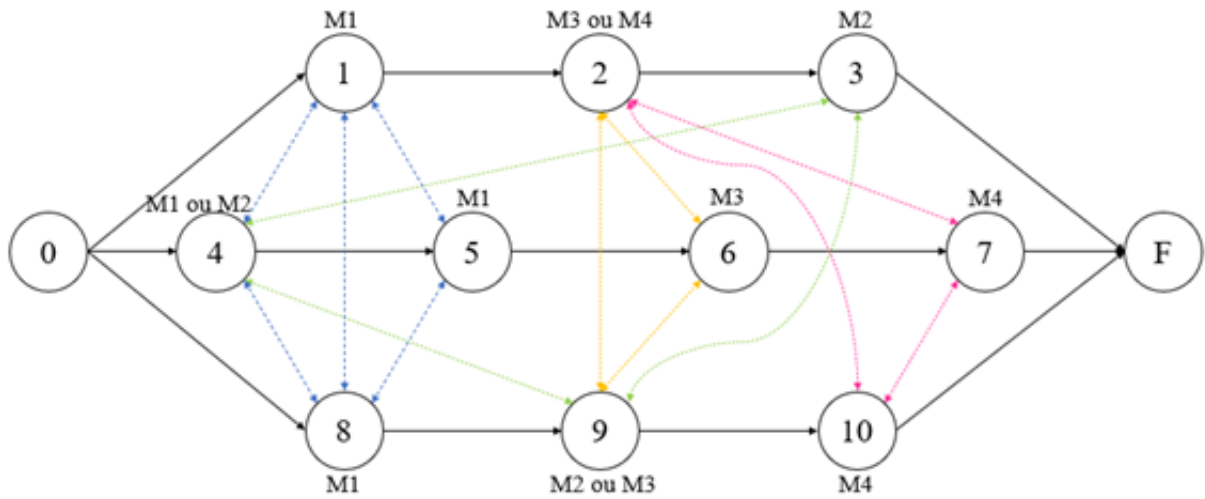
Como exemplo, tomamos a situação descrita na Tabela 2. O grafo disjuntivo que representa esta situação é apresentado na Figura 17.

Tabela 2: Dados de operações, máquinas utilizadas e tempo de processamento de exemplo de *Job Shop* Flexível.

<b>Job</b>	<b>Operação</b>	<b>Máquina</b>	<b>Duração (min)</b>
1	$O_{11}$	1	4
1	$O_{12}$	3 ou 4	8
1	$O_{13}$	2	6
2	$O_{21}$	1 ou 2	6
2	$O_{22}$	1	4
2	$O_{23}$	3	8
2	$O_{24}$	4	4
3	$O_{31}$	1	6
3	$O_{32}$	2 ou 3	4
3	$O_{33}$	4	6

Fonte: elaborado pela autora.

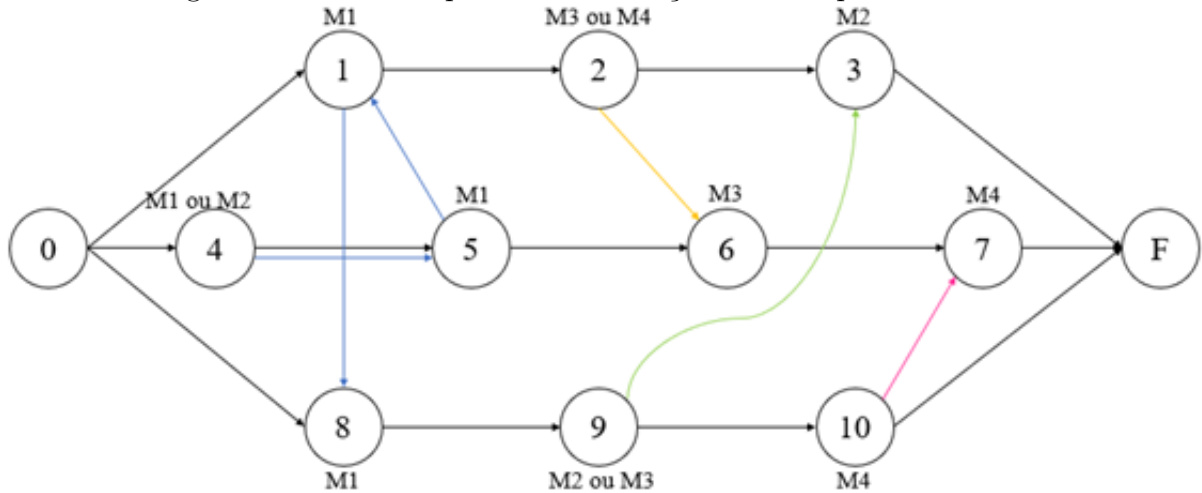
Figura 17: Grafo disjuntivo relativo ao exemplo da Tabela 2.



Fonte: elaborado pela autora.

A Figura 18 apresenta o grafo simplificado para uma possível solução deste exemplo. A máquina 1 processa as operações 1, 4, 5 e 8; máquina 2 processa as operações 2 e 6; máquina 3 executa operações 2 e 9; máquina 4 processa operações 7 e 10. O *makespan* desta solução é de 34 minutos.

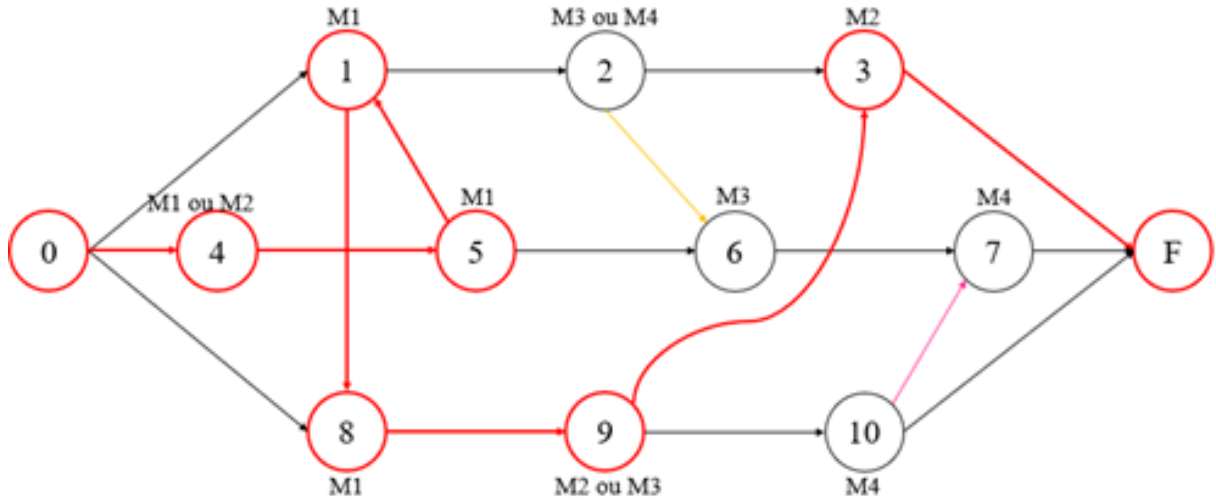
Figura 18: Grafo simplificado da solução do exemplo da Tabela 2.



Fonte: elaborado pela autora.

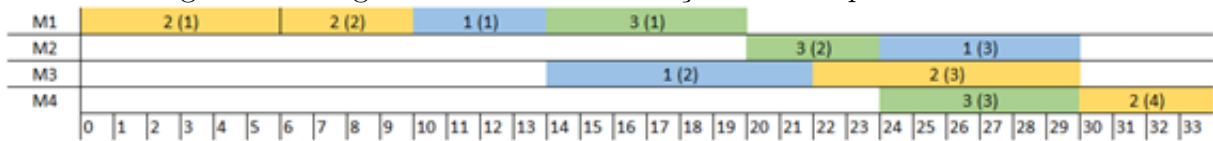
A Figura 19 destaca o caminho crítico do grafo, dado pela ordem dos vértices: 0, 4, 5, 1, 8, 9, 3, F. A solução também é apresentada em um diagrama de Gantt na Figura 20.

Figura 19: Grafo com destaque do caminho crítico da solução do exemplo da Tabela 2.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 20: Diagrama de Gantt da solução do exemplo da Tabela 2.



Fonte: elaborado pela autora.

Pode-se considerar o problema de sequenciamento de um JSF como um processo de duas etapas. Primeiro, deve-se alocar cada operação para um subconjunto de máquinas elegíveis. Depois, deve-se sequenciar as tarefas alocadas em cada máquina.

O grau de flexibilidade de um problema de JSF foi classificado por Kacem, Hammadi e Borne (2001) em duas categorias. A flexibilidade total significa que cada operação pode ser processada por toda e qualquer máquina. Já a flexibilidade parcial indica que cada operação pode ser processada por apenas um subconjunto de máquinas. Assim, o *Job Shop* clássico seria a situação de flexibilidade nula. Entre o JS e o JSF de flexibilidade total, podem existir inúmeros graus de flexibilidade parcial.

A flexibilização da escolha da máquina para processamento possibilita maior número de caminhos alternativos, aumentando significativamente a quantidade de soluções factíveis do problema. Assim, além dos desafios inerentes do problema clássico de JS, o JSF é mais complexo pela flexibilidade as máquinas, e é também considerado um problema NP-Difícil.

Apesar de sua complexidade, o JSF não é raro de ser encontrado em situações reais da manufatura. Com o processo de otimização de recursos produtivos e avanços tecnológicos,

é cada vez mais comum que as máquinas sejam capazes de processar tarefas variadas, e, portanto, se distanciem dos modelos de JS clássico. Para tornar o problema ainda mais realista, pode-se considerar outras restrições adicionais no problema, a depender de cada caso analisado. No entanto, é importante ressaltar que estas hipóteses adicionam mais complexidade ao problema. Os trabalhos de Previero (2016) e Lunardi et al (2020) apresentam algumas das restrições adicionais mais comumente encontradas em situações reais, apresentadas a seguir.

- **Períodos de indisponibilidade de máquinas.** As máquinas podem estar indisponíveis para operação por alguns períodos, por motivos de manutenção programada ou controle.
- **Tempo de *setup*.** O tempo de *setup* é aquele dedicado a ajustes na configuração atual da máquina para a configuração adequada para o processamento da próxima operação. Em geral, o *setup* depende da similaridade entre as operações consecutivas. Para simplificação do problema, o tempo de *setup* é geralmente incorporado ao tempo de processamento da operação ou ignorado. No entanto, isso pode prejudicar a qualidade da solução encontrada. Além disso, existem situações em que é de interesse analisar os tempos de *setup* de maneira explícita.
- **Operações interrompíveis.** Em alguns casos, as operações podem ser interrompidas no meio do seu processamento e retomadas posteriormente. Isso permite que um *job* seja interrompido para priorização de processamento de outro na mesma máquina, e finalizado depois.
- **Incertezas nos tempos de processamento.** Em geral, estes são determinísticos nos problemas de JSF. No entanto, na realidade das fábricas, pode haver incertezas na medição e falta de precisão. Isso implicaria o uso de distribuições de probabilidade para consideração dos tempos de processamento.
- **Sobreposição parcial de tarefas.** Nesta situação não existe a condição de que uma operação deve ser finalizada por completo para que sua sucessora seja iniciada. A depender da natureza da tarefa, apenas uma parcela do *job* deve ser processada para que seu sucessor inicie o processamento. Assim, se a operação  $i$  é sucedida pela operação  $j$ , uma proporção de  $i$  deve ser processada para que  $j$  seja iniciada, mas  $j$  não pode ser finalizada antes da finalização completa de  $i$ .
- **Tempo de liberação.** Nem todas as tarefas a serem processadas são liberadas simultaneamente no instante inicial. Pode ocorrer situações nas quais alguns *job*

são liberados a partir de um período, por espera da chegada de matéria prima por exemplo.

- **Flexibilidade de processo de sequenciamento.** Os roteiros determinam a ordem de processamento das operações de cada tarefa. A flexibilidade de precedências estabelece alternativas de roteiros para as tarefas, permitindo ordens diferentes de processamento das operações para um mesmo *job*.

Devido a alta complexidade dos problemas de JSF, soluções exatas podem demandar dias de processamento computacional para serem obtidas. Por isso, é comum que em aplicações práticas, opte-se por obter uma solução razoável rapidamente, mesmo que não seja ótima, do que esperar muito tempo pela solução exata. Para isso, utiliza-se amplamente métodos heurísticos e meta-heurísticos, em detrimento do uso de métodos de resolução exata como modelagens lineares e não lineares de programação inteira mista e programação por restrições.

Apesar de não serem sempre soluções eficientes para a realidade do dia a dia das empresas, os métodos exatos são uma etapa importante para compreensão do problema analisado e como base para desenvolvimento de heurísticas eficazes. A seguir será apresentada uma breve revisão da literatura de método exato de PLIM e aspectos relevantes do método não exato de programação por restrição (*constraint programming* – CP).

### 2.3.1 Descrição do *Job Shop* Flexível por um modelo PLIM

Para soluções por métodos de PLIM, as principais contribuições na literatura foram os trabalhos de Fattahi, Mehrabad e Jolai (2007), Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010), Demir e Isleyen (2013) e Birgin *et al.* (2014). Estes serão apresentados em ordem cronológica a seguir.

O artigo de Fattahi, Mehrabad e Jolai (2007) apresenta um modelo matemático de programação inteira de JSF para minimização de *makespan* e dois métodos heurísticos. Na formulação do modelo, a posição de cada operação em cada máquina é determinada por uma variável binária. Os testes foram realizados com 20 instâncias, sendo 10 de pequeno porte (2 a 4 *jobs*) e 10 de médio a grande porte (5 a 12 *jobs*), e o tempo de execução computacional limitado a uma hora. Foram alcançadas soluções ótimas para problemas de tamanho pequeno.

Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010) propõem nova formulação matemática para o problema de JSF para minimização do *makespan*. A partir do modelo de Manne (1960) de



JS clássico, foram feitas modificações que permitem a flexibilidade de máquinas no problema. Além de mais conciso, os testes realizados com as mesmas 20 instâncias propostas Fattahi, Mehrabad e Jolai (2007) apontam para um melhor desempenho do novo modelo. Para os 10 problemas de pequeno porte, alcançou soluções ótimas em menor tempo. Para 5 dos 10 outros problemas, alcançou solução ótima, enquanto Fattahi, Mehrabad e Jolai (2007) não o fazem nestes mesmos problemas. Nas outras 5 instâncias, apesar de também não alcançar solução ótima, fornece limitantes melhores.

Em 2013, Demir e Isleyen desenvolveram uma análise comparativa entre três modelos de formulação matemática para JSF, com base no tipo de variável binária usada para a etapa de sequenciamento. No primeiro modelo de formulação, as variáveis binárias indicam a posição da operação em uma máquina. Na segunda formulação, as variáveis binárias dependem da precedência entre operações na mesma máquina. Por fim, a última formulação analisada usa variáveis binárias para determinar se a operação é processada em determinada máquina em um dado instante. A avaliação teve como critérios o tempo computacional para resolução, número de variáveis, número de restrições e valor da função objetivo. Os estudos mostraram melhor desempenho do segundo tipo de formulação, que utiliza variáveis de precedência, em especial o modelo proposto por Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010).

Birgin *et al.* (2014) propõem um novo modelo para o problema de JSF com objetivo de minimizar o *makespan*. A nova formulação permite abordar situações em que operações de um mesmo *job* podem ser processadas simultaneamente. Nesse caso, as restrições de precedência entre operações de uma mesma tarefa não seguem uma ordenação linear. Os testes de comparação com o modelo de Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010) apontem para um melhor desempenho do novo modelo.

O modelo matemático usado como base para este trabalho se baseia no modelo de Özbakir, Özgüven e Yavuz, e foi apresentado por Melo (2014). A formulação é apresentada no Capítulo 3, de Modelagem do problema.

### 2.3.2 Descrição de *Job Shop* Flexível por CP

O método de programação por restrições (“*constraint programming*” - CP) é originado de estudos de Inteligência Artificial, e passou a ser incorporado em combinação com técnicas de Pesquisa Operacional como meio de melhorar a performance e eficiência das soluções. O método busca boas soluções que sejam factíveis para as restrições do problema, consumindo menos tempo de processamento computacional.

Existem diversas ferramentas para desenvolver modelos de CP. Entre elas, o IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* é um dos mais usados por possuir a extensão ILOG *Scheduler*, específica para problemas de sequenciamento de atividades e operações. A vantagem deste método é apresentada em Lunardi *et al.* (2020). Mostra-se que, até para instâncias de grande porte (de 44 até 106 *jobs*), a resolução em CP Optimizer que modela o problema utilizando conceitos de *constraint programming* alcança soluções de boa qualidade em tempos menores que o modelo de PLIM de resolução no IBM CPLEX utilizado para comparação. Conclui-se que esta é uma boa opção para uso na prática, por apresentar soluções razoáveis em tempo aceitável, alcançando soluções ótimas se o tempo de processamento computacional permitido for suficiente. Por isso, este foi o *software* escolhido para a modelagem deste projeto.

Foi utilizada a biblioteca CP Optimizer, que possui otimizador robusto para lidar com restrições laterais encontradas em situações reais de planejamento operacional. Esta biblioteca foi idealizada para problemas de otimização combinatória que não podem ser facilmente linearizados e resolvidos com métodos tradicionais de programação matemática, como é o caso do problema abordado neste projeto. O algoritmo de busca utilizado no *software* se baseia internamente em algumas metaheurísticas, em especial a de pesquisa de grande vizinhança auto adaptável. Dessa forma, foi possível simplificar a formulação do modelo em PLIM sem deixar de respeitar nenhuma das restrições propostas.

A seguir será feita uma introdução aos tipos de variáveis e restrições especializadas próprias do ambiente ILOG *Scheduler*, que serão usados no desenvolvimento do trabalho.

### **Variáveis de decisão**

Existem dois tipos de variáveis principais específicas do ambiente ILOG *Scheduler*: variáveis de intervalo e sequência de intervalos.

Variáveis de intervalo representam intervalos de tempo durante o qual uma tarefa ou atividade é realizada, e cuja posição no tempo é desconhecida e deve ser definida no problema de sequenciamento. Todo intervalo possui um valor de início (instante de início do intervalo no tempo), um valor final (instante de término do intervalo no tempo) e um tamanho (dado pela diferença entre valor final e inicial, isto é, a duração do intervalo).

Um importante recurso deste tipo de variável é que intervalos podem ser opcionais, isto é, pode-se decidir não os considerar na solução final do sequenciamento. Até que uma

solução seja encontrada, não é definido se um intervalo estará presente ou não, e por isso é caracterizado como opcional.

Automaticamente, os intervalos ausentes na solução não são considerados por nenhuma restrição ou expressão nas quais a variável de intervalo está presente. Por exemplo, suponhamos que seja declarada uma restrição de precedência entre os intervalos  $a$  e  $b$ . Caso o intervalo  $a$  seja ausente da solução encontrada, o *software* desconsidera as restrições nas quais  $a$  esteja presente, e assim a restrição de precedência não afetará o intervalo  $b$ .

No caso do problema de sequenciamento de operações, os intervalos são usados para representar o tempo de processamento de uma operação em uma máquina. Em ambiente *Job Shop* Flexível, algumas operações podem ser processadas em um conjunto de máquinas candidatas. Daí a importância de usar o recurso de intervalos opcionais: ao alocar a operação  $j$  do *job*  $i$  em uma máquina  $k$  do conjunto  $M_{ij}$  de máquinas candidatas, os possíveis intervalos de processamento de  $j$  nas demais máquinas do conjunto  $M_{ij} - \{k\}$  são ausentes da solução final.

Outro tipo de variável de decisão é de sequência de intervalos. Definida a partir de um conjunto de variáveis de intervalos, a sequência determina a ordem as atividades do conjunto. No caso do problema em questão, a variável de sequência se baseia nos intervalos de tempo de processamento de cada operação em cada máquina candidata, para gerar a ordem de operações nas máquinas disponíveis.

Sobre esse tipo de variável, é importante ressaltar que quaisquer variáveis de intervalo ausentes não são consideradas na sequência e a sequência por si só não impõe restrições de precedência ou paralelismo de atividades. Tais restrições são especificadas por meio de restrições especializadas, apresentadas no tópico a seguir.

### **Restrições especializadas**

Para estabelecer restrições do modelo, a biblioteca *CP Optimizer* possui diferentes expressões especializadas para este fim, o que é uma das principais vantagens deste *software*. Restrições especializadas tornam possível expressar relações complexas entre variáveis, por exemplo, relações que exigiriam um número exponencial de restrições aritméticas.

O primeiro tipo de restrição é a que estabelece relações de precedência. A principal neste caso é a restrição *endBeforeStart(intervalo1, intervalo2)*. Ela obriga que o *in-*

*intervalo2* se inicie só depois do término do *intervalo1*, estabelecendo dessa maneira que a operação relativa ao *intervalo1* deve preceder a operação relativa ao *intervalo2*.

Outro método utilizado é o de restrição de alternativa (nomeada *alternative*). Estabelece relação de alternativa exclusiva entre uma variável de intervalo  $a$  e um conjunto de intervalos  $\{b_1, \dots, b_n\}$ . Se o intervalo  $a$  estiver presente na solução, então apenas um dos intervalos  $\{b_1, \dots, b_n\}$  está presente também. Por outro lado, o intervalo  $a$  só estará ausente se e somente se todos os intervalos  $\{b_1, \dots, b_n\}$  também estiverem ausentes. No problema discutido, este método é usado para restringir a alocação das operações a apenas uma das máquinas candidatas.

O último tipo de restrição destacada é chamado de *noOverlap(sequencia1)*, e evita que haja sobreposição de intervalos em uma sequência ao obrigar que qualquer intervalo na cadeia deva terminar antes do início do próximo intervalo na cadeia. Essa restrição é normalmente útil para modelar recursos disjuntivos. No caso de problemas de *scheduling*, este método é usado para evitar que duas operações sejam alocadas na mesma máquina simultaneamente, garantindo que na cadeia de intervalos de cada máquina  $k$  não haja sobreposição.

## 3 MODELAGEM DO PROBLEMA

Neste capítulo são apresentadas as modelagens usadas para resolução do problema. Primeiramente, a situação real do problema é detalhada. Depois, o modelo matemático de PLIM é descrito, detalhando suas variáveis, parâmetros e restrições. Em seguida, é apresentado o modelo de formulação CP, bem como o detalhamento das restrições e variáveis utilizadas.

### 3.1 Considerações do problema

O problema abordado neste trabalho consiste em desenvolver uma metodologia para sequenciamento de operações do setor produtivo da empresa *Liv Up*. Analisando as características do caso, identifica-se que este é um ambiente de *Job Shop* flexível.

Considera-se as máquinas e colaboradores como os recursos produtivos utilizados, e cada SKU produzido como um *job*. Uma vez que cada produto possui uma receita específica, com operações e ordenação específica para preparo, caracterizamos o ambiente como *Job Shop*.

Como apresentado na Seção 1.2 deste trabalho, o setor produtivo é dividido em três setores: Folhas, legumes e verduras (FLV), Açougue, Salgados Doces. Cada setor tem diferentes tipos de máquinas que podem ser utilizadas com diferentes *setups* a depender do SKU produzido. A Tabela 3, Seção 4.2, apresenta a quantidade de recursos por área produtiva. No total, são 50 máquinas em toda a área de produção. Adicionando as células de trabalho para operações manuais, totalizam-se 61 recursos produtivos a serem considerados na programação.

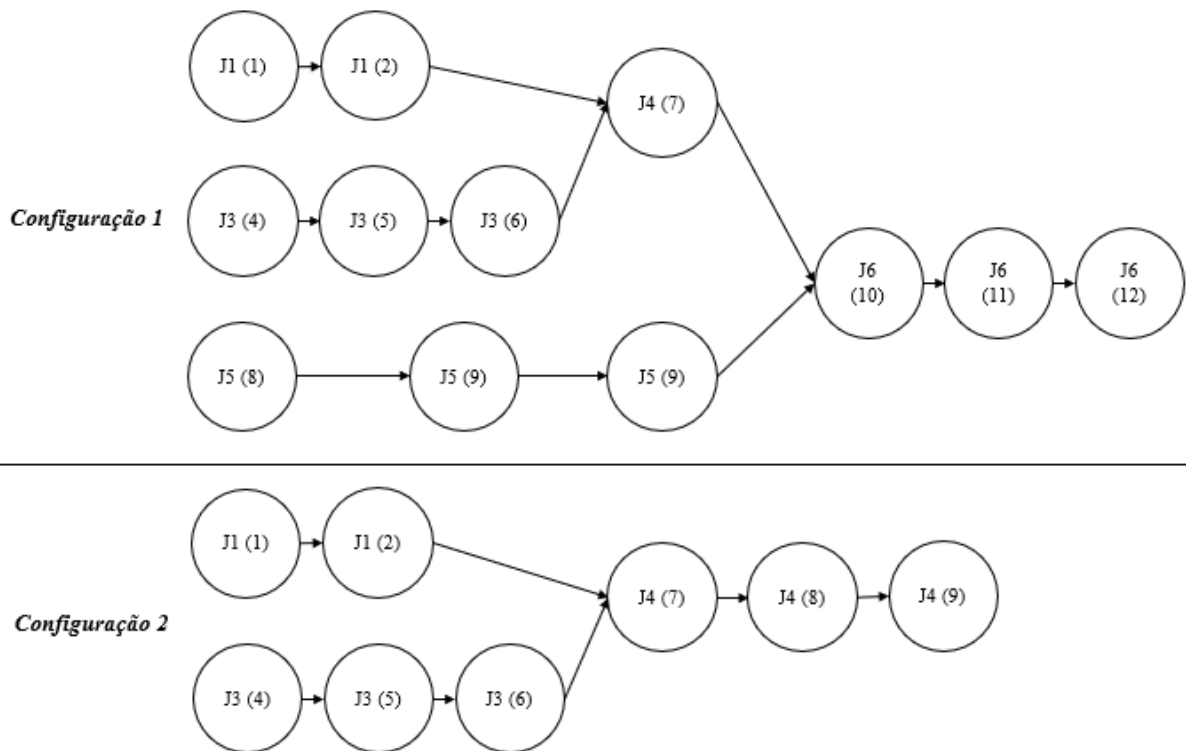
Percebe-se que nas áreas FLV e Açougue, existe mais de uma unidade por tipo de maquinário. Exemplos disso são a presença de três caldeiras por setor produtivo e duas máquinas descascadoras na área de FLV. Isso caracteriza a disposição de máquinas idênticas em paralelo, uma vez que todas as máquinas são idênticas e de mesma veloci-

dade de processamento. Portanto, trata-se de um ambiente com flexibilidade de escolha de máquinas.

Outra importante característica é que apenas a área de Salgados Doces é considerada independente. O setor FLV pode ser entendido como um fornecedor interno para a área de Açougue. Isso se deve ao fato de todo pré-preparo de legumes e verduras ser concentrado nesta área. Dessa forma, todo molho ou acompanhamento de proteínas animais é antes processado no setor de FLV. Um exemplo desta situação é o prato de almondega de carne, que leva molho de tomate. O molho é preparado na seção de FLV, enquanto a carne é preparada no setor de Açougue. A junção das duas subreceitas é feita no setor de Açougue, único espaço permitido para manipulação de proteínas animais.

Esta característica implica necessidade de modelagem matemática que possibilite situações de linha de montagem. Para isso, considera-se cada componente individual do prato como uma subreceita, que possui sua própria ordem de operações. Todas as subreceitas de um produto devem ser finalizadas para poderem ser unidas em uma operação de montagem, para finalização do prato completo. A Figura 21 ilustra as configurações de *jobs* encontradas no ambiente produtivo.

Figura 21: Possíveis configurações de *jobs* na produção da empresa.



Fonte: elaborado pela autora.

Deve-se escolher também a medida de desempenho a ser otimizada para solução do

problema. Neste sentido, o objetivo principal da empresa é otimizar a utilização de seu maquinário, para que possam suportar o crescimento acelerado do volume de produção. Pela organização da cadeia logística da empresa, os produtos acabados abastecem estoque central em um operador logístico. Assim, como não são encomendas diretas para clientes (isto ocorre dentro dos centros de distribuição), não há penalização por atrasos, apenas manutenção dos níveis de estoque central. Isto posto, será utilizada a função objetivo de minimização de *makespan*, cuja solução reduz tempo de ociosidade do maquinário, além de não depender de definição de atrasos.

Portanto, o problema compreende no sequenciamento de operações de um *Job Shop* Flexível, com máquinas idênticas em paralelo, com o objetivo de minimização de *makespan*.

## 3.2 Modelo PLIM

Nesta seção é apresentado o modelo matemático de Programação Linear Inteira Mista (PLIM) usado como base para a resolução do problema enunciado. A formulação foi proposta por Melo (2014) para o problema de *scheduling* de *Job Shop* Flexível com objetivo de minimizar o *makespan*. Trata-se de uma adaptação da formulação inicialmente proposta por Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010), que explicita os arcos de precedências das operações permitindo que possuam mais de uma operação precedente imediata. Isso permite que se trabalhe com sequências paralelas de atividades e operações de montagem e desmontagem.

### Índices e Conjuntos:

$J$	Conjunto de <i>jobs</i>
$M$	Conjunto de máquinas
$O$	Conjunto de operações
$i, i'$	<i>Jobs</i> ( $i, i' \in J$ )
$j, j'$	Operações ( $j, j' \in O$ )
$k, k'$	Máquinas ( $k, k' \in M$ )
$O_i$	Conjunto ordenado das operações do <i>job</i> $i$ ( $O_i \in O$ )
$O_{ij}$	Operação $j$ do <i>job</i> $i$ ( $O_{ij} \in O_i$ )
$O_{if(i)}$	Primeira operação de $O_i$
$O_{il(i)}$	Última operação de $O_i$
$M_j$	Conjunto de máquinas alternativas para processar operação $j$ ( $M_j \in M$ )
$M_j \cap M_{j'}$	Conjunto de máquinas onde ambas as operações $j$ e $j'$ podem ser processadas
$P_{ij}$	Conjunto das operações que devem preceder a operação $O_{ij}$

### Parâmetros:

$t_{ijk}$	Tempo de processamento da operação $O_{ij}$ na máquina $k$
$L$	Número adequadamente grande $\Sigma_{O_{ij} \in O} \max(t_{ijk})$

### Variáveis de decisão:

$X_{ijk}$	Variável binária, assume 1 se máquina $k$ é selecionada para a operação $O_{ij}$ e 0 caso contrário.
$S_{ijk}$	Instante de início de processamento da operação $O_{ij}$ na máquina $k$ .
$C_{ijk}$	Instante de término de processamento da operação $O_{ij}$ na máquina $k$ .
$Y_{ijj'k}$	Variável binária, assume 1 se a operação $O_{ij}$ precede $O_{j'k}$ na máquina $k$ , e 0 caso contrário.
$C_i$	Instante de término de processamento do <i>job</i> $i$ .
$C_{max}$	Máximo instante de término de processamento dentre os <i>jobs</i> , o <i>makespan</i> .

### Função objetivo



$$\text{Minimizar } C_{max} \quad (3.1)$$

**Sujeito a:**

$$\sum_{k \in M_j} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i \quad (3.2)$$

$$S_{ijk} \leq X_{ijk} \cdot L \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.3)$$

$$C_{ijk} \leq X_{ijk} \cdot L \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.4)$$

$$C_{ijk} \geq S_{ijk} + t_{ijk} - (1 - X_{ijk})L \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.5)$$

$$S_{i'j'k} \geq C_{ijk} - (1 - Y_{ij'j'k})L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'} \quad (3.6)$$

$$S_{ijk} \geq C_{i'j'k} - Y_{ij'j'k}L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'} \quad (3.7)$$

$$\sum_{k \in M_j} S_{ijk} \geq \sum_{k \in M_{j'}} C_{ij'k'} \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall O_{ij'} \in P_{ij} \quad (3.8)$$

$$C_i \geq \sum_{k \in M_j} C_{ijk} \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i \quad (3.9)$$

$$C_{max} \geq C_i \quad \forall i \in J \quad (3.10)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.11)$$

$$S_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.12)$$

$$C_{ijk} \geq 0 \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3.13)$$

$$Y_{ij'j'k} \geq 0 \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'} \quad (3.14)$$

$$C_i \geq 0 \quad \forall i \in J \quad (3.15)$$

A função objetivo (3.1) minimiza o *makespan*, isto é, o instante de término do último *job* processado. Este é expresso como o máximo dos instantes de término do conjunto de *jobs*.

O conjunto de restrições do tipo (3.2) garante que cada operação seja alocada em apenas uma máquina dentre as possíveis para seu processamento.

As restrições dos tipos (3.3) e (3.4) forçam que os instantes de início e término sejam nulos caso a operação  $O_{ij}$  não seja atribuída para a máquina  $k$ . Assim, se a operação não é alocada na máquina, a variável  $X_{ijk}$  assume valor 0, obrigando as variáveis  $S_{ijk}$  e  $C_{ijk}$  a serem nulas. Caso contrário, a variável binária assume valor 1, permitindo que os instantes de início e término de processamento sejam qualquer valor menos que  $L$ .

As restrições do tipo (3.5) determinam que, caso uma operação  $O_{ij}$  seja atribuída a máquina  $k$ , seu instante de término é dado pela soma do instante de início  $S_{ijk}$  e tempo de processamento  $t_{ijk}$ . Caso contrário, a variável binária  $X_{ijk}$  assume valor nulo, permitindo que o instante de término seja negativo ou nulo. No entanto, combinado com as restrições do tipo (3.4), o instante de término  $C_{ijk}$  será obrigatoriamente zero.

As restrições dos tipos (3.6) e (3.7) evitam que operações alocadas à mesma máquina sejam processadas simultaneamente. Nas restrições do tipo (3.6), se a operação  $O_{ij}$  precede  $O_{i'j'}$  na máquina  $k$ , a variável binária  $Y_{ij'i'j'k}$  assume valor 1, obrigando que o instante de início  $S_{i'j'k}$  seja maior que o instante de término da operação precedente  $C_{ijk}$ . Garante-se assim que o início da operação sucessora seja depois do fim do processamento da operação precedente. Caso contrário, as restrições do tipo (3.7) reforçam que não haja tal relação de precedência, uma vez que a variável binária  $Y_{ij'i'j'k}$  assume valor 0, obrigando que o instante de início da operação  $O_{ij}$  seja maior que o instante de término de  $O_{i'j'}$ , isto é, a operação  $ij$  se inicia depois da operação  $i'j'$ .

As restrições do tipo (3.8) lidam com os arcos de precedência, exigindo que uma operação se inicie somente após o término do processamento de todas as operações que a precedem, analisando o conjunto  $P_{ij}$ .

As restrições do tipo (3.9) determinam o instante de término de processamento de cada *job* como sendo o instante de término de todas as suas operações. Já as restrições do tipo (3.10) definem o *makespan*, garantindo que  $C_{max}$  seja o maior instante de término dentre os *jobs* processados.

Por fim, as restrições dos tipos (3.11) a (3.15) definem os domínios das variáveis.

### 3.3 Modelo CP

Para o modelo em *Constraint Programming*, foi utilizado a biblioteca IBM CPLEX *CP Optimizer*. A seguir é apresentada uma formulação usando conceitos desta biblioteca, equivalente ao modelo de PLIM.

#### Índices e Conjuntos:

- $J$  Conjunto de *jobs*  
 $M$  Conjunto de máquinas  
 $O$  Conjunto de operações  
 $s$  Conjunto de subreceitas  
 $j$  *Jobs* ( $j \in J$ )  
 $o$  Operações ( $o \in O$ )  
 $m$  Máquinas ( $m \in M$ )  
 $s$  Máquinas ( $s \in S$ )

### Parâmetros:

- $O_{ojp}$  Tupla composta por três informações de cada operação:  $o$  (identificação da operação),  $j$  (a qual *job* a operação pertence) e  $p$  (posição da operação no *job*).  
 $M_{omt}$  Tupla composta por três informações de cada operação:  $o$  (identificação da operação),  $m$  (identificação da máquina) e  $t$  (tempo de processamento da operação  $o$  na máquina  $m$ ).  
 $S_{js}$  Tupla composta por duas informações de cada *job*:  $j$  (identificação do *job*),  $s$  (subreceita do *job*  $j$ ).

### Variáveis de decisão:

- $OPS$  Variável de intervalo, conjunto de operações  $O_{ojp}$   
 $MODES$  Variável de intervalo associado ao conjunto de tuplas  $M_{omt}$   
 $MAQS$  Variável de sequência de intervalos, baseado nos intervalos  $MODES$ , que ordena as operações nas máquinas.

### Função objetivo

$$\text{Minimizarmax}(\text{endOf}(OPS)) \tag{3.16}$$

### Sujeito a:

$$\text{endBeforeStart}(O_{ojp}, O_{oj(p+1)}) \quad \forall o \in O, \forall j \in J \quad (3.17)$$

$$\text{alternative}(O_{ojp}, M_{omt}) \quad \forall o \in O \quad (3.18)$$

$$\text{noOverlap}(M_{omt}) \quad \forall m \in M \quad (3.19)$$

$$\text{endBeforeStart}(S_{js}, O_{oj1}) \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (3.20)$$

$$\text{interval}(O_{ojp}) \quad \forall o \in O \quad (3.21)$$

$$\text{interval}(M_{omt}), \text{optsize} = t_{om} \quad o \in O, m \in M \quad (3.22)$$

$$\text{sequence}(m, M_{omt}) \quad m \in M \quad (3.23)$$

As restrições de tipo (3.21), (3.22) e (3.23) definem as variáveis de decisão. Em (3.21), a variável de intervalo de cada operação é definida.

Já em (3.22), são definidos intervalos para os modos de processamento das operações. Por ser um ambiente de flexibilidade de máquinas, o processamento de uma operação pode ser realizado em mais de uma máquina elegível. Cada combinação de uma operação  $o$  em uma máquina  $m$  elegível é um modo de execução da operação, de tempo de processamento  $t$ . Como cada operação deve ser executada apenas uma única vez, os intervalos de modo de execução são opcionais, podendo ou não existir a depender da decisão de alocação da operação na máquina. Assim, se uma operação  $o$  pode ser processada na máquina  $A$  ou  $B$ , mas ela foi alocada na primeira, apenas o intervalo relativo à máquina  $A$  estará presente na solução final. A restrição estabelece ainda que, caso o intervalo exista da solução final, seu tamanho será igual ao tempo de processamento da operação,  $t_{om}$ .

Em (3.23), os intervalos de modos de execução das operações são sequenciados nas respectivas máquinas. É definido a sequência de intervalos para cada máquina  $m$ , sendo os intervalos ordenados relativos aos períodos de processamento das operações.

A restrição (3.16) estabelece que a função objetivo é minimizar o *makespan*. Este é calculado como o maior valor final (instante de término) dentre os intervalos das operações.

As restrições do tipo (3.17) se referem a relações de precedência entre operações de um mesmo *job*. Assim, a operação de posição  $p$  no job  $j$  deve terminar para que a operação sucessora de posição  $p + 1$  no mesmo *job*  $j$  possa ser iniciada.

As restrições do tipo (3.18) obrigam a decisão de alternativa única exclusiva para processamento das operações nas máquinas candidatas. Para cada operação  $o$ , apenas um modo de processamento é selecionado, isto é, a operação é alocada em apenas uma

das máquinas candidatas.

As restrições do tipo (3.19) evitam que haja sobreposição de operações na mesma máquina. Para cada máquina  $m$  existente, não pode haver sobreposição de intervalos de processamento de operações, impedindo que duas operações sejam alocadas na mesma máquina simultaneamente.

Por fim, as restrições do tipo (3.20) definem os arcos de precedência entre um *job* e suas subreceitas. Exige-se que a primeira operação de todo *job*  $j$  (definida pela posição  $p = 1$ ) deve começar somente quando a última operação da subreceita  $S_{j_s}$  estiver finalizada.

## 4 LEVANTAMENTO DE DADOS

Para resolução do problema, é necessário fornecer os parâmetros de entrada do modelo proposto. Estes são: ordem de operações por *job*, tempo de processamento de cada operação e respectivo conjunto de máquinas elegíveis, quantidade de recursos produtivos por setor e programação da programação da produção.

### 4.1 Informações sobre as operações

Para execução do modelo proposto, são necessárias diversas informações sobre a fabricação de cada produto, sendo que cada um compreende um *job* diferente.

- Quais operações são necessárias para fabricação de cada *job*
- Ordem das operações de cada *job*
- Máquinas elegíveis para execução de cada operação de cada *job*
- Tempo de processamento de cada máquina elegível de cada operação
- Necessidade de subreceitas para composição do *job*

Desde meados de 2020, após as obras e reconfiguração do espaço da fábrica, o time de Projetos de Melhoria Contínua realizou um mapeamento detalhado dos processos da área. Foi criada uma base de dados com informações de todas as operações para fabricação de cada produto, identificando ordens de precedência, tipo de máquina utilizada em cada caso e tempos de processamento. Para cada produto, o time de Melhoria Contínua acompanhou de perto ao menos quatro dias distintos de produção, cronometrando cada operação. O tempo de processamento é resultado da média aritmética das observações feitas. Estes dados foram fornecidos pela empresa para utilização neste trabalho.

No entanto, foi necessário realizar etapas de limpeza e reestruturação dos dados para que estes estivessem no formato compatível com o modelo proposto. As simplificações e

reestruturação da base foi feita com auxílio e consultoria do time de Projetos de Melhoria Contínua, que conhecem profundamente os processos produtivos.

A primeira etapa foi de consolidação de operações consecutivas executadas pela mesma máquina. Existem casos em que diversas atividades consecutivas são realizadas utilizando o mesmo recurso produtivo. Um exemplo comum são operações de limpeza manual de ervas e folhas, que compreende ao conjunto de operações de higienização em água, seguido por higienização em hipoclorito de sódio, desfolhagem e corte das folhas. Todas as operações são executadas manualmente por colaboradores, e são sempre realizadas em conjunto na mesma ordem. Portanto, para o problema de sequenciamento, é possível agrupar todas em uma operação única, de tempo igual ao somatório dos tempos individuais das atividades. Esta é uma simplificação comum para problemas de *scheduling*, e permite a diminuição da quantidade total de operações. Consequentemente, com a redução da dimensão do problema, o tempo de execução computacional é menor.

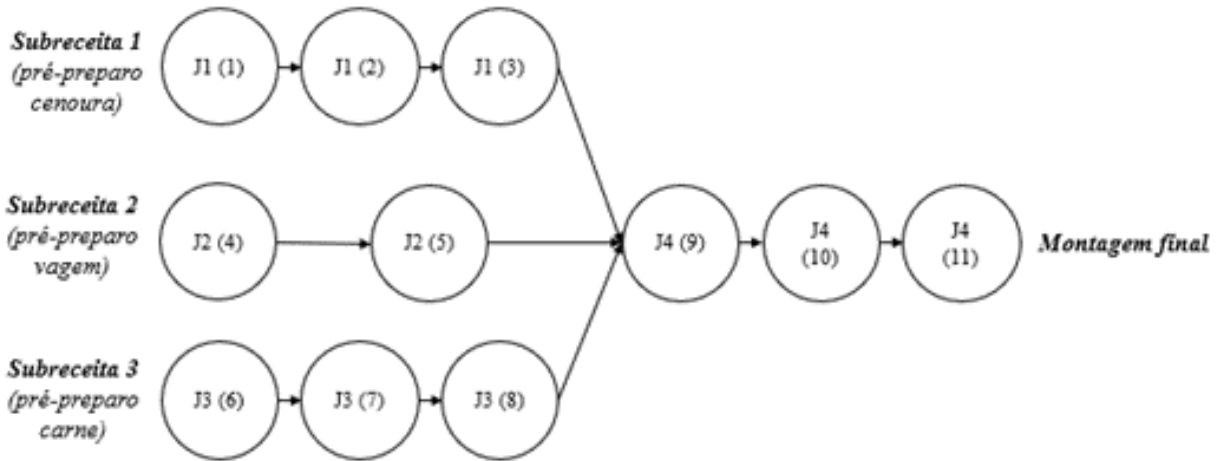
Outro ponto de ajuste nos dados se refere a forma como a ordem das operações estava estabelecida. Na base original, as operações seguiam precedência linear, sendo necessário o processamento de uma atividade após a outra. No entanto, na realidade da fábrica, ocorrem atividades em paralelo. Para considerar essas situações, para cada produto os conjuntos de operações possíveis de serem realizadas simultaneamente foram classificados em subreceitas. Cada subreceita pode ser entendida como um *job*, com uma ordem de operações. Ao final do produto completo, ocorrem operações de montagem e processamento de todas as subreceitas juntas.

Um exemplo disso é o prato de carne moída com cenoura e vagem. Na área de FLV, o pré-preparo da cenoura pode ser feito em paralelo ao pré-preparo da vagem, enquanto a limpeza e moagem da carne pode estar acontecendo simultaneamente no setor de Açougue. Cada processo de pré-preparo pode ter mais de uma operação, e o conjunto destas compõe uma subreceita. Uma vez que todas as subreceitas estão finalizadas, a cenoura, vagem e carne são processadas juntas. Esta configuração compreende a operações de montagem, e é ilustrada no diagrama da Figura 22.

Foram necessárias cinco reuniões com o time da empresa para avaliação individual de cada produto. Verificou-se quais operações poderiam ser unificadas e quais conjuntos de operações compunham subreceitas. Pelo alto nível de especificidade de cada item, a reestruturação dos dados foi feita manualmente pela autora ao longo de três semanas com base nas indicações e informações da empresa.

Ao total, foram mapeados todos os 146 SKUs de produção própria que estão ativos

Figura 22: Exemplo de relação de precedências em operação de montagem.



Fonte: elaborado pela autora.

atualmente no portfólio da empresa. Estes são compostos por 377 subreceitas e 1138 operações, em uma média de 2,6 subreceitas e 7,8 operações por produto.

## 4.2 Informações sobre os recursos produtivos

Como citado anteriormente, a fábrica é dividida em três setores: FLV, Açougue e Doces Salgados. Cada setor possui recursos produtivos diversos e em quantidades diferentes, dependendo da demanda de cada setor. A Tabela 3 apresenta a quantidade de cada tipo de máquina por setor produtivo.



Tabela 3: Quantidade de cada tipo de maquinário por setor produtivo.

Recurso	Setor FLV	Setor Açougue	Setor Salgados e Doces
Batedeira	1	1	1
Bralyx	1	1	1
Cabrita	1	-	-
Caldeia	3	3	-
Cortadora	1	-	-
Cubetadora	1	-	-
Cutter	1	-	1
Descascadora	2	-	-
Espremedor	2	-	-
Fatiadora	1	-	-
Hamburgueira	1	1	-
Homogeneizador	1	1	1
Liquidificador	1	1	1
Misturador	1	1	1
Moedora	1	1	-
Prática	1	-	1
Rational	3	3	1
Robot Coupe	1	-	1
Tumbler	-	1	-
Vario	1	1	1

Fonte: elaborado pela autora.

No total, existem 50 máquinas na fábrica, sendo 25 no setor FLV, 15 no Açougue e 10 na área de Salgados & Doces.

### 4.3 Informações sobre o planejamento da produção

As informações de quais produtos serão produzidos e quantidade de lotes por dia é determinada no processo de Programação da Produção. Toda segunda-feira é feita a programação relativa a produção de duas semanas no futuro. Com isso, é elaborada uma lista de SKUs a serem produzidos por dia, e respectivas quantidades a serem fabricadas de cada SKU. A Tabela 4 apresenta um exemplo do formato da programação disponibilizada. Os nomes dos produtos foram ocultados da planilha por questões de confidencialidade da

empresa.

Tabela 4: Exemplo de trecho da programação de produção para uma semana, com quantidade a ser produzida por SKU por dia.

SKU	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
S125	1255	1255	1255	-	-
C107	288	-	288	-	-
S081	480	480	-	480	-
S015	1920	-	1920	-	-
A008	-	240	240	-	240
S134	-	-	2568	-	2568
L002	2868	2868	2868	2868	-
S032	-	-	1920	1920	-
A006	240	240	-	-	-
S913	973	-	-	976	976
A001	-	501	-	-	-
P062	-	1820	1820	1820	1820
V025	-	700	700	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

A programação é base para seleção prévia de quais operações devem ser consideradas no sequenciamento, uma vez que nem todos os 146 produtos são produzidos todos os dias. Em média, apenas 30 a 35 produtos diferentes são fabricados no mesmo dia. Filtrando a base de dados de roteiros, é possível selecionar apenas as subreceitas e operações relativas aos produtos a serem fabricados para entrada no modelo.

## 4.4 Estruturação dos dados de entrada

Para facilitar a entrada de dados no *software* CPLEX CP Optimizer, foi utilizado planilhas em *Microsoft Excel* e rotinas automatizadas usando funções em VBA. A consolidação e compilação de dados evita que um volume muito grande de dados seja importado, o que geraria maior tempo de execução computacional do modelo.

Primeiramente, estrutura-se duas abas na planilha para bases de dados de parâmetros de entrada. A primeira delas possui dados sobre os recursos produtivos disponíveis no ambiente produtivo. Três informações são necessárias para cada equipamento: nome (tipo

do equipamento), área em que está localizado, número de identificação (ID). O número de identificação é corrente, calculado automaticamente por fórmulas da planilha. Cada equipamento possui uma linha de informação. Assim, mesmo se existirem duas máquinas idênticas no mesmo estágio, serão necessários duas linhas de informações, representando cada unidade de equipamento respectivamente. Apesar de serem idênticas e estarem no mesmo setor produtivo, cada uma possui um ID diferente.

A segunda base de dados possui informações sobre as operações dos produtos. Cada linha da tabela se refere a uma operação. Os dados registrados são:

- Código e nome do SKU: informações do produto, disponíveis nos sistemas internos da empresa.
- ID e nome da subreceita: cada subreceita de um mesmo produto recebe numeração ID (se inicia em 1 para cada produto, seguindo ordem numérica) e nome que indica o processo realizado (por exemplo, “pré-preparo legumes”, “pré-preparo refogado” ou “preparo do molho de tomate”).
- Código e nome do processo: unindo informações do SKU e da subreceita, define-se código e nome do processo. Por exemplo, o código “P011\_1” de nome “P011\_Pré-preparo refogado” se refere a primeira subreceita do SKU P011, de pré-preparo do refogado.
- Posição da operação no processo da subreceita a qual pertence.
- Área de processamento: se operação é processada na área FLV, Açougue ou Salgados & Doces.
- Recurso produtivo: qual tipo de maquinário é utilizado na execução da operação, como Vario, Rational ou Caldeiras.
- Tempo de execução: tempo para execução da operação, em segundos.
- Tamanho do lote: referência do tamanho do lote observado para medição do tempo de execução da operação.

Uma terceira aba é necessária, para entrada das informações de código e nome dos SKUs a serem produzidos no dia, bem como a quantidade do lote de cada produto. Estas informações variam a cada dia, conforme o planejamento da produção.

Uma função automatizada então é executada para consolidar dados das operações referentes apenas aos SKUs que devem ser produzidos no dia. A função varre a base de dados das operações e coleta informações de cada linha associada a um SKU presente na lista do planejamento da produção.

Além disso, para cada operação coletada, a função busca o tipo de maquinário e área de processamento na base de dados sobre Recursos, para associar a operação aos IDs das máquinas compatíveis. Assim, a aba de dados consolidados possui uma linha para cada modo de execução de cada operação: cada linha se refere a associação de uma operação e uma máquina candidata para sua execução. Por exemplo, se uma operação possui 3 máquinas candidatas, existirão três linhas sobre essa operação, uma para cada máquina possível de ser usada para seu processamento.

Os dados compilados de cada operação são: o código e nome do processo, posição da operação no processo, ID e nome do recurso produtivo e tempo de processamento. A partir dessa lista consolidada e usando fórmulas do próprio *software Excel*, cada operação recebe uma numeração para identificação, que será o ID da Operação no modelo. Cada subreceita também recebe um número de identificação, que será o ID do *job*. As identificações número do *job* e da operação, neste caso, serão usadas apenas pelo *software CPLEX* para resolução do modelo. Por isso, os índices variam dependendo da lista de programação da produção e definição de quais produtos serão produzidos no dia.

Uma vez com a base de dados consolidada, com detalhamento da relação de cada operação a cada uma de suas máquinas candidatas e designação de índices de *jobs* e operações, é possível importar os dados para o *software CPLEX*. Para isso, outra função é utilizada, para exportar os dados compilados em formato de arquivo CSV que seja possível de leitura pelo *software*. O arquivo exportado com nome e localização padronizados, já especificados no código do modelo, para possibilitar leitura automatizada.

## 5 RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

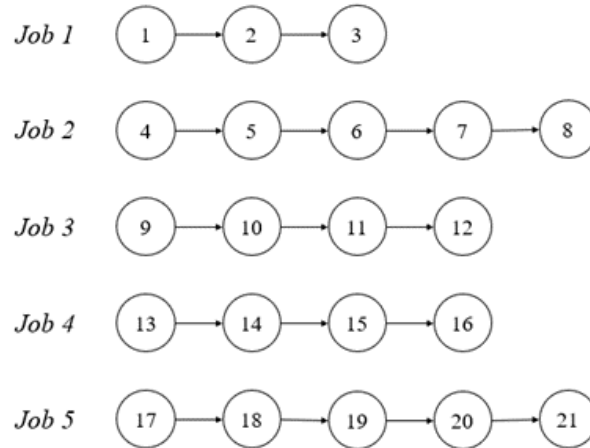
O presente capítulo apresenta testes de aplicação do modelo proposto. Como apresentado na revisão da literatura, os modelos de programação por restrições apresentam boa performance para aplicações reais, e por isso foi escolhido para implementação neste trabalho. Inicialmente, foram feitos testes em escala reduzida, para verificar pontos de falha no modelo. Em seguida, foi realizado três testes com dados reais da empresa.

### 5.1 Testes preliminares

Para validar a formulação proposta, foram realizados testes em escala reduzida, utilizando o *software* IBM ILOG CPLEX 20.1.0.0. Nos testes, os resultados obtidos são comparados com valores esperados para identificar pontos de falha e aprimoramento do modelo.

#### 5.1.1 Exemplo 1

O teste inicial foi feito para um cenário de 5 *jobs* e 5 máquinas, totalizando 21 operações, tendo como base o exemplo de JSF encontrado em Melo (2014). As relações de precedências são ilustradas na Figura 23 abaixo.

Figura 23: Roteiros de *jobs* para Exemplo 1.

Fonte: elaborado pela autora.

Os conjuntos de máquinas candidatas para cada operação e os respectivos tempos de processamento usados como entrada para o problema são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Tempo de processamento de cada operação por máquina candidata, em segundos, para Exemplo 1.

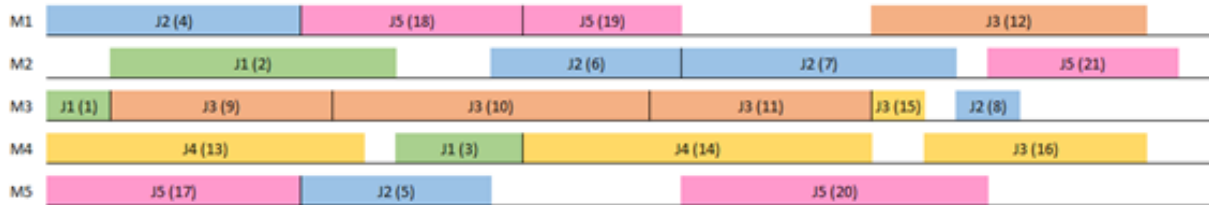
Operação	M1	M2	M3	M4	M5
1	35	-	20	56	-
2	80	85	99	99	-
3	-	-	-	44	82
4	79	98	99	-	95
5	74	44	-	87	53
6	68	63	-	-	97
7	-	79	68	-	-
8	-	60	25	57	56
9	58	-	70	90	67
10	-	-	96	50	-
11	-	79	70	-	-
12	79	84	97	-	81
13	93	-	-	98	-
14	-	94	90	98	85
15	-	-	14	-	21
16	-	78	-	69	74
17	-	-	-	87	81
18	63	-	83	-	-
19	50	-	86	80	92
20	98	92	93	-	90
21	93	68	-	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado ótimo obtido foi de *makespan* igual a 352. O programa utilizou 89

variáveis e 45 restrições, e encontrou solução ótima em menos de 1 segundo. A Figura 24 abaixo apresenta um gráfico de Gantt correspondente à solução do exemplo, e a Figura 25 apresenta o detalhamento da solução dada pelo *software*.

Figura 24: Gráfico de Gantt relativo à solução do Exemplo 1.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 25: Detalhamento da solução do Exemplo 1.

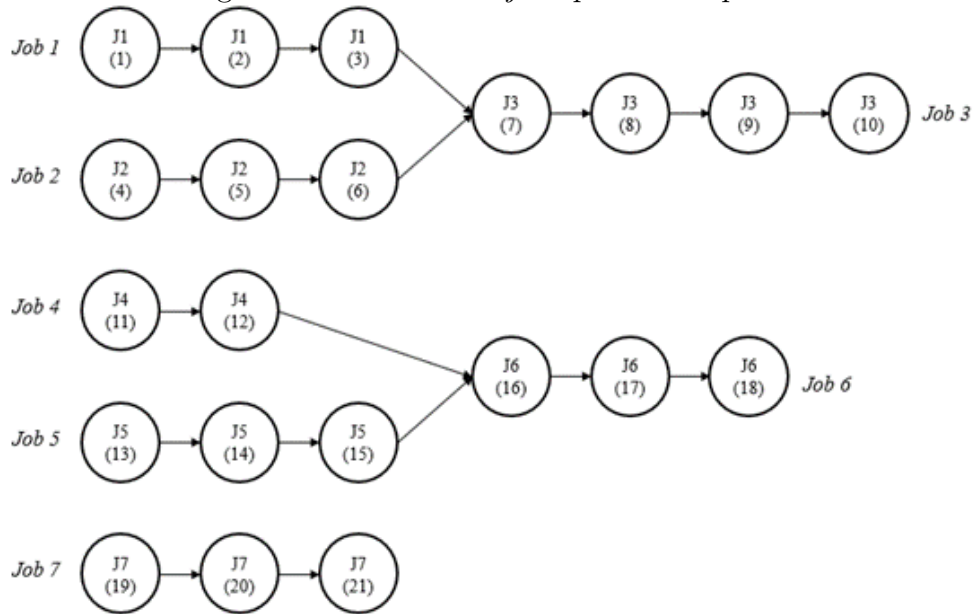
Operação 1 na máquina 3 começando em 0 e terminando em 20  
 Operação 2 na máquina 2 começando em 20 e terminando em 105  
 Operação 3 na máquina 4 começando em 105 e terminando em 149  
 Operação 4 na máquina 1 começando em 0 e terminando em 79  
 Operação 5 na máquina 5 começando em 81 e terminando em 134  
 Operação 6 na máquina 2 começando em 134 e terminando em 197  
 Operação 7 na máquina 2 começando em 197 e terminando em 276  
 Operação 8 na máquina 3 começando em 276 e terminando em 301  
 Operação 9 na máquina 3 começando em 20 e terminando em 90  
 Operação 10 na máquina 3 começando em 90 e terminando em 186  
 Operação 11 na máquina 3 começando em 186 e terminando em 256  
 Operação 12 na máquina 1 começando em 256 e terminando em 335  
 Operação 13 na máquina 4 começando em 0 e terminando em 98  
 Operação 14 na máquina 4 começando em 149 e terminando em 247  
 Operação 15 na máquina 3 começando em 256 e terminando em 270  
 Operação 16 na máquina 4 começando em 270 e terminando em 339  
 Operação 17 na máquina 5 começando em 0 e terminando em 81  
 Operação 18 na máquina 1 começando em 81 e terminando em 144  
 Operação 19 na máquina 1 começando em 144 e terminando em 194  
 Operação 20 na máquina 5 começando em 194 e terminando em 284  
 Operação 21 na máquina 2 começando em 284 e terminando em 352

Fonte: *software* CPLEX.

### 5.1.2 Exemplo 2

O segundo teste feito para um cenário de 7 *jobs* e 5 máquinas, totalizando 21 operações. Neste caso existem relações de precedência de definem cadeia de montagem. Os *jobs* 1 e 2 são considerados subreceitas para o *job* 3, assim como os *jobs* 4 e 5 são subreceitas para o *job* 6. Os roteiros são apresentados na Figura 26 abaixo.

Figura 26: Roteiros de *jobs* para Exemplo 2.



Fonte: elaborado pela autora.

Os conjuntos de máquinas candidatas para cada operação e os respectivos tempos de processamento usados como entrada para o problema são apresentados na Tabela 6.



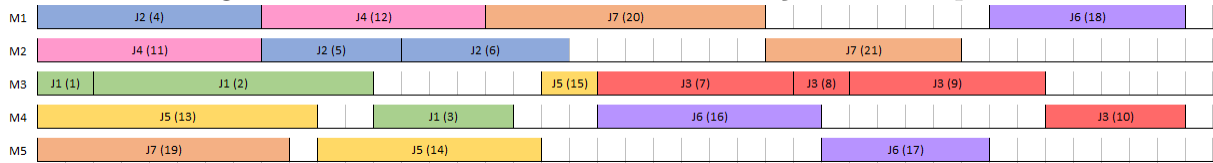
Tabela 6: Tempo de processamento de cada operação por máquina candidata, em segundos, para Exemplo 2.

Operação	M1	M2	M3	M4	M5
1	35	-	20	55	-
2	80	85	100	95	-
3	-	-	-	45	80
4	80	100	100	-	95
5	75	45	-	90	55
6	70	65	-	-	100
7	-	80	70	-	-
8	-	60	25	60	55
9	60	-	70	90	70
10	-	-	100	50	-
11	-	80	70	-	-
12	80	85	100	-	80
13	95	-	-	95	-
14	-	95	90	100	85
15	-	-	15	-	20
16	-	80	-	70	75
17	-	-	-	85	80
18	65	-	85	-	-
19	50	-	85	80	90
20	100	90	95	-	90
21	95	70	-	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado ótimo obtido foi de *makespan* igual a 410s. O programa utilizou 89 variáveis e 48 restrições, e encontrou solução ótima em 18 segundos. A Figura 27 abaixo apresenta um gráfico de Gantt correspondente à solução do exemplo 2, e a Figura 28 apresenta o detalhamento da solução dada pelo *software*.

Figura 27: Gráfico de Gantt relativo à solução do Exemplo 2.



Fonte: elaborado pela autora.

Figura 28: Detalhamento da solução do Exemplo 2.

```

Operação 1 na máquina 3 começando em 0 e terminando em 20
Operação 2 na máquina 3 começando em 20 e terminando em 120
Operação 3 na máquina 4 começando em 120 e terminando em 165
Operação 4 na máquina 1 começando em 0 e terminando em 80
Operação 5 na máquina 2 começando em 80 e terminando em 125
Operação 6 na máquina 2 começando em 125 e terminando em 190
Operação 7 na máquina 3 começando em 195 e terminando em 265
Operação 8 na máquina 3 começando em 265 e terminando em 290
Operação 9 na máquina 3 começando em 290 e terminando em 360
Operação 10 na máquina 4 começando em 360 e terminando em 410
Operação 11 na máquina 2 começando em 0 e terminando em 80
Operação 12 na máquina 1 começando em 80 e terminando em 160
Operação 13 na máquina 4 começando em 0 e terminando em 95
Operação 14 na máquina 5 começando em 95 e terminando em 180
Operação 15 na máquina 3 começando em 180 e terminando em 195
Operação 16 na máquina 4 começando em 195 e terminando em 265
Operação 17 na máquina 5 começando em 265 e terminando em 345
Operação 18 na máquina 1 começando em 345 e terminando em 410
Operação 19 na máquina 5 começando em 0 e terminando em 90
Operação 20 na máquina 1 começando em 160 e terminando em 260
Operação 21 na máquina 2 começando em 260 e terminando em 330

```

Fonte: *software* CPLEX.

## 5.2 Resolução do problema com dados reais

A seguir serão apresentados resultados obtidos em cenários utilizando dados reais da empresa estudada. São apresentados resultados de três experimentos, cada um simulando um dia distinto de produção e, portanto, com variação de produtos e operações a serem consideradas. Os cenários foram realizados em computador de sistema operacional *Windows* 10, com processador Intel(R) Core (TM) i5-10210U, CPU 1,60-2,11 GHz e com memória RAM instalada de 8,00 Gb. O *software* utilizado foi IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio* 20.1.0.0.

### 5.2.1 Cenário 1

O primeiro teste foi feito para o cenário de um dia de produção de novembro. No total, foram produzidos 36 SKUs, que se desdobram em 89 receitas e 295 operações. Considerando a existência de máquinas idênticas, a configuração possui 61 recursos para serem utilizados. A Tabela 7 a seguir apresenta um resumo de quantas operações cada *job* possui.

Tabela 7: Operações por *job* para Cenário 1.

<i>Job</i>	Qtd. Operações	<i>Job</i>	Qtd. Operações	<i>Job</i>	Qtd. Operações
1	5	31	2	61	2
2	1	32	2	62	4
3	3	33	4	63	3
4	3	34	7	64	2
5	3	35	2	65	6
6	2	36	2	66	6
7	4	37	4	67	6
8	2	38	1	68	2
9	2	39	5	69	4
10	2	40	4	70	5
11	7	41	3	71	2
12	4	42	4	72	2
13	6	43	4	73	2
14	5	44	2	74	4
15	3	45	4	75	1
16	2	46	1	76	1
17	4	47	4	77	5
18	7	48	5	78	3
19	5	49	4	79	2
20	5	50	3	80	4
21	2	51	5	81	7
22	3	52	2	82	6
23	4	53	2	83	1
24	3	54	4	84	5
25	3	55	1	85	1
26	2	56	3	86	3
27	3	57	3	87	5
28	1	58	2	88	3
29	2	59	5	89	1
30	3	60	2	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 8 apresenta dados consolidados de quantas operações elegíveis cada tipo

de recurso poderia processar, bem como tempo médio de processamento de cada equipamento. Por máquinas em mais de uma unidade serem idênticas, e portanto possuírem mesmas velocidades de processamento, os dados foram consolidados por tipo de recurso. Alguns maquinários não são demandados no di, pois existem equipamentos especializados para operações de apenas uma parte restrita de SKUs.

Tabela 8: Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 1.

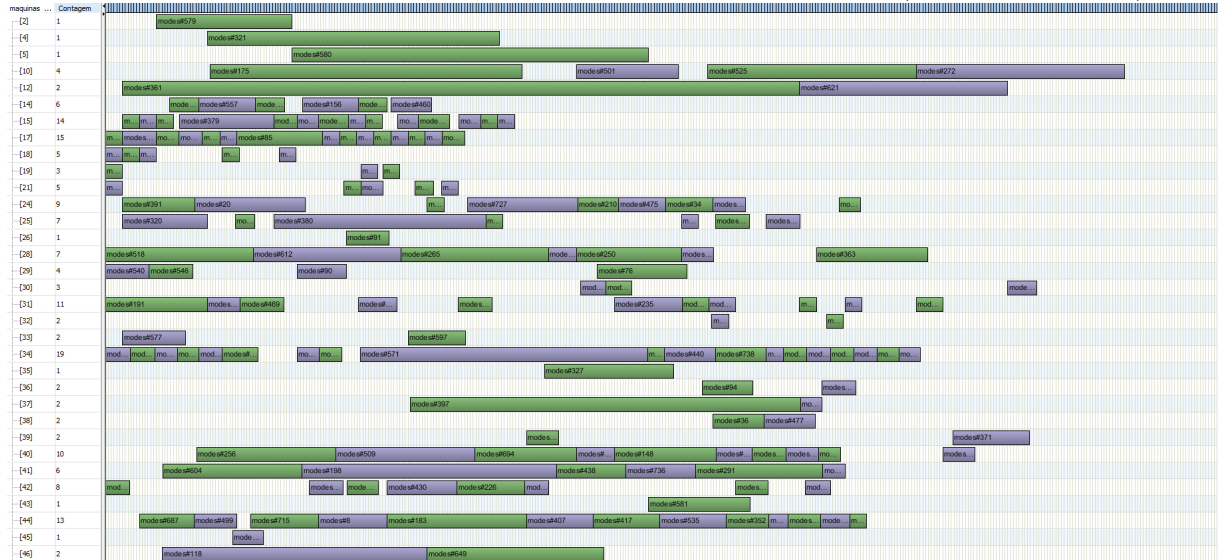
<b>Recurso</b>	<b>Qtd. Operações Elegíveis</b>	<b>Tempo médio por operação (s)</b>
Batedeira	1	4800.0
Bralyx	2	11460.0
Cabrita	0	0000.0
Caldeira	6	10110.0
Cortadora	0	0000.0
Cubetadora	6	1417.7
Cutter	14	911.1
Descascadora	20	785.7
Espremedor	3	600.0
Fatiadora	5	650.4
Hamburgueira	0	0000.0
Homogeneizador	17	1996.9
Liquidificador	11	3039.9
Misturador	16	1209.1
Moedora	21	1476.5
Prática	3	2520.0
Rational	31	2707.5
Robot Coupe	14	1879.8
Tumbler	2	7800.0
Vario	26	3809.6
Colaborador	97	1406.6

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado obtido foi de *makespan* de 39.780 segundos, igual a 11 horas e 3 minutos de produção. Foram utilizadas 578 restrições e 1110 variáveis, sendo 1049 intervalos e 61 sequências de intervalos. O algoritmo verificou 181.993 ramos, em um tempo de processamento computacional de 1,08 minuto. As Figuras 29 e 30 apresentam diagramas

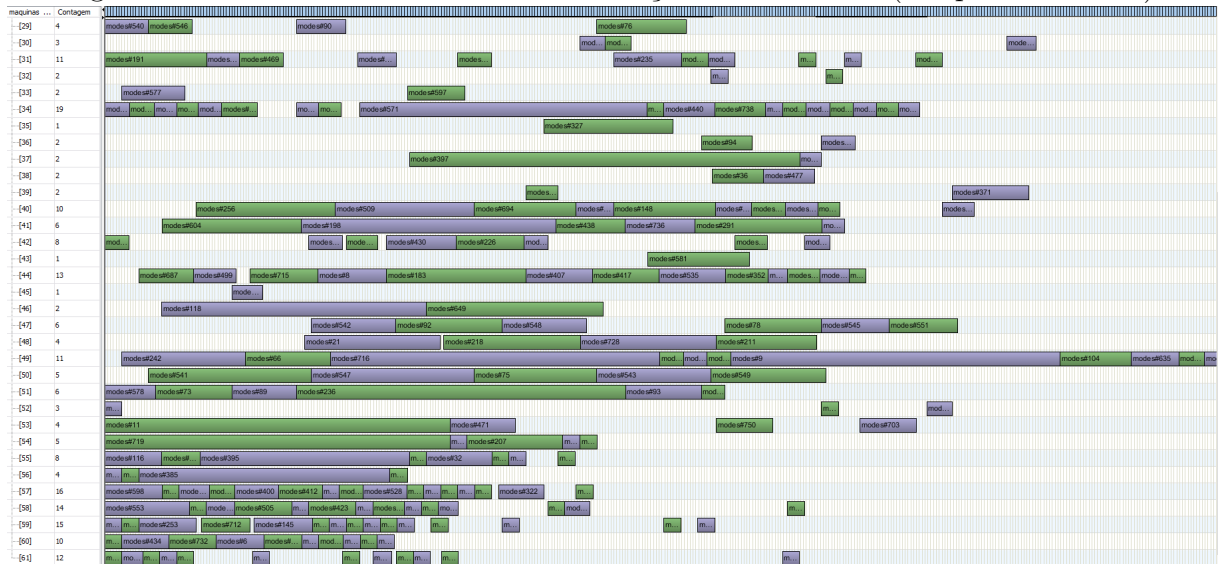
de Gantt para a solução obtida. O detalhamento da solução pode ser encontrado em Anexo.

Figura 29: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 1 (Máquinas 1 a 41).



Fonte: *software* CPLEX.

Figura 30: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 1 (Máquinas 41 a 61).



Fonte: *software* CPLEX.

## 5.2.2 Cenário 2

O segundo cenário aqui destacado corresponde a um dia de produção de 30 SKUs diferentes, que se desdobram em 89 subreceitas e 282 operações. A Tabela 9 a seguir apresenta um resumo de quantas operações cada *job* possui.

Tabela 9: Operações por *job* para Cenário 2.

<i>Job</i>	Qtd. Operações	<i>Job</i>	Qtd. Operações	<i>Job</i>	Qtd. Operações
1	6	31	6	61	2
2	2	32	4	62	3
3	4	33	4	63	3
4	3	34	3	64	5
5	2	35	4	65	4
6	2	36	4	66	2
7	1	37	2	67	5
8	5	38	2	68	1
9	1	39	2	69	4
10	3	40	4	70	2
11	4	41	3	71	2
12	6	42	6	72	4
13	1	43	6	73	2
14	3	44	2	74	2
15	3	45	2	75	4
16	1	46	4	76	3
17	2	47	1	77	2
18	3	48	4	78	5
19	5	49	6	79	1
20	1	50	5	80	2
21	6	51	5	81	4
22	3	52	3	82	2
23	2	53	3	83	1
24	5	54	2	84	5
25	1	55	2	85	1
26	3	56	1	86	3
27	2	57	3	87	5
28	6	58	6	88	3
29	3	59	7	89	1
30	2	60	2	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 10 apresenta os dados consolidados de quantas operações cada recurso po-

deria processar, bem como tempo médio de processamento em cada equipamento.

Tabela 10: Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 2.

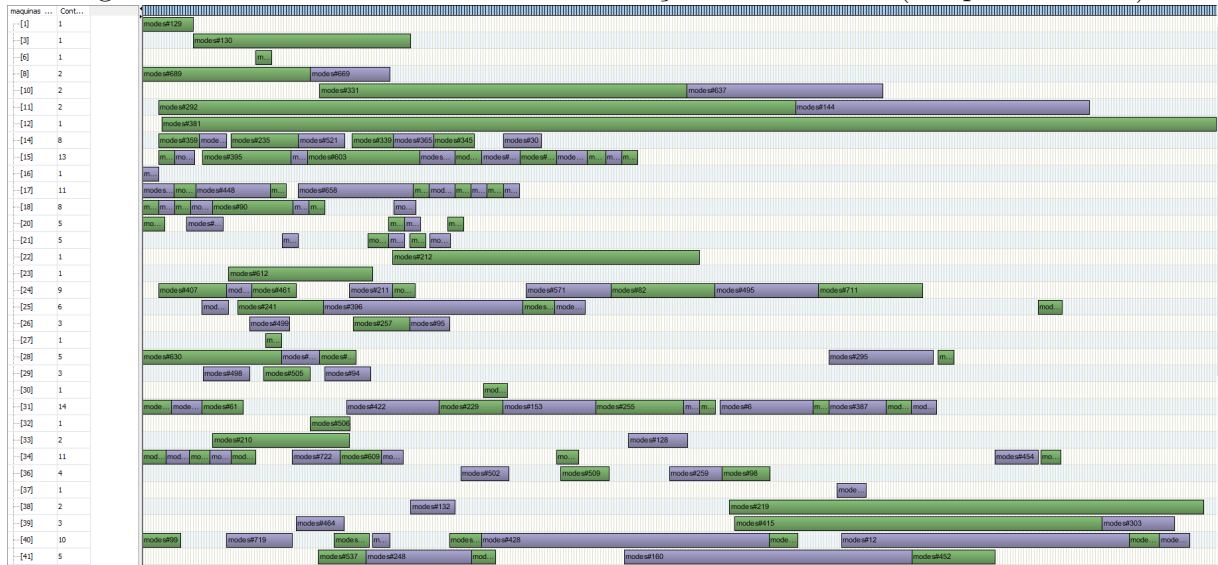
<b>Recurso</b>	<b>Qtd. Operações Elegíveis</b>	<b>Tempo médio por operação (s)</b>
Batedeira	1	1900.0
Bralyx	1	8172.0
Cabrita	1	600.0
Caldeira	7	15005.7
Cortadora	0	0.0
Cubetadora	8	1607.5
Cutter	14	1306.1
Descascadora	19	1124.8
Espremedor	5	798.0
Fatiadora	5	674.0
Hamburgueira	2	8460.0
Homogeneizador	18	2365.7
Liquidificador	9	2040.6
Misturador	16	1761.5
Moedora	13	1460.3
Prática	4	1845.0
Rational	27	3758.6
Robot Coupe	16	2334.5
Tumbler	1	6480.0
Vario	16	4830.8
Colaborador	99	1653.7

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado obtido foi de *makespan* de 40.330 segundos, igual a 11 horas e 12 minutos de produção. Foram utilizadas 553 restrições e 1081 variáveis, sendo 1020 intervalos e 61 sequências de intervalos. O algoritmo verificou 170.658 ramos, em um tempo de processamento computacional de 89 segundos. As Figuras 31 e 32 apresenta diagramas de Gantt para a solução obtida. O detalhamento da solução pode ser encontrado em Anexo.

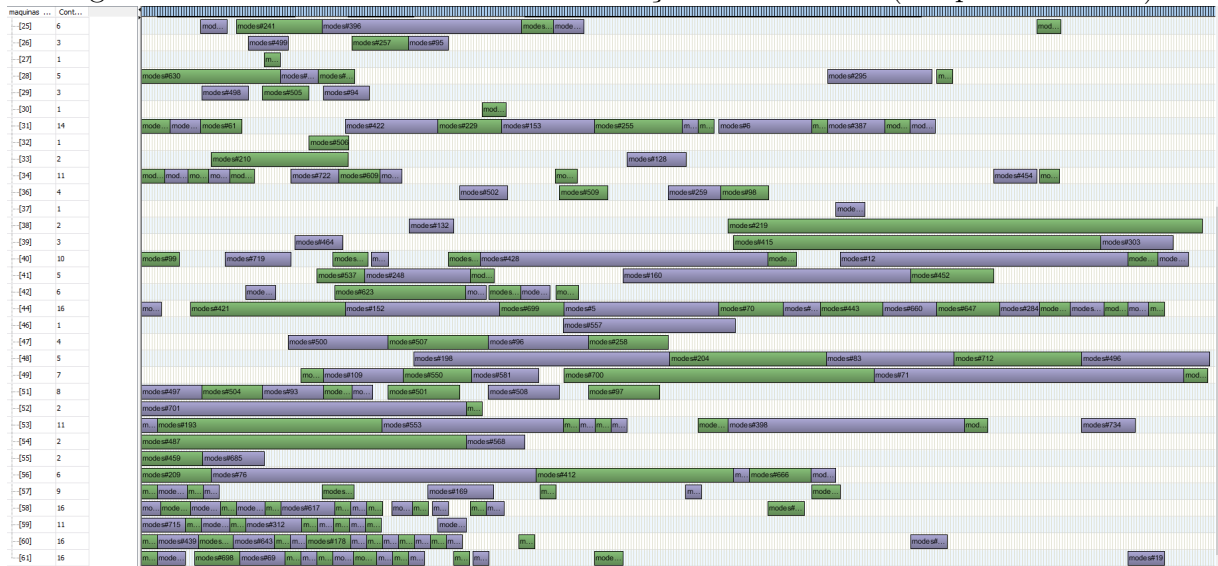


Figura 31: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 2 (Máquinas 1 a 41).



Fonte: *software* CPLEX.

Figura 32: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 2 (Máquinas 41 a 61).



Fonte: *software* CPLEX.

### 5.2.3 Cenário 3

O terceiro cenário foi de um dia de produção de 36 SKUs diferentes, que se desdobram em 110 subreceitas e 335 operações. A Tabela 11 a seguir apresenta um resumo de quantas operações cada *job* possui.

Tabela 11: Operações por *job* para Cenário 3.

<b>Job</b>	<b>Ops</b>	<b>Job</b>	<b>Ops</b>	<b>Job</b>	<b>Ops</b>	<b>Job</b>	<b>Ops</b>
1	5	31	2	61	3	91	2
2	1	32	2	62	7	92	2
3	3	33	1	63	2	93	5
4	5	34	2	64	3	94	1
5	4	35	6	65	4	95	3
6	2	36	2	66	6	96	5
7	1	37	2	67	4	97	3
8	2	38	4	68	2	98	1
9	2	39	4	69	3	99	5
10	3	40	2	70	5	100	5
11	2	41	2	71	6	101	2
12	2	42	2	72	5	102	6
13	2	43	3	73	2	103	1
14	4	44	3	74	3	104	5
15	2	45	1	75	2	105	3
16	2	46	3	76	7	106	2
17	2	47	2	77	5	107	4
18	1	48	3	78	1	108	7
19	3	49	4	79	4	109	6
20	3	50	3	80	2	110	1
21	1	51	4	81	2	-	-
22	2	52	4	82	4	-	-
23	3	53	2	83	3	-	-
24	2	54	4	84	2	-	-
25	3	55	1	85	6	-	-
26	1	56	4	86	4	-	-
27	7	57	3	87	2	-	-
28	3	58	3	88	1	-	-
29	3	59	3	89	4	-	-
30	3	60	1	90	1	-	-

Fonte: elaborado pela autora.

A Tabela 12 apresenta os dados consolidados de quantas operações cada recurso po-

deria processar, com o tempo médio de processamento em cada equipamento.

Tabela 12: Operações por recurso produtivo e tempo médio por operação em segundos, para Cenário 3.

<b>Recurso</b>	<b>Qtd. Operações Elegíveis</b>	<b>Tempo médio por operação (s)</b>
Batedeira	1	1900.0
Bralyx	2	6546.0
Cabrita	1	1500.0
Caldeira	9	12266.9
Cortadora	4	600.0
Cubetadora	7	1865.6
Cutter	14	981.9
Descascadora	24	1083.9
Espremedor	5	902.0
Fatiadora	4	620.0
Hamburgueira	1	11520.0
Homogeneizador	23	2093.4
Liquidificador	9	2473.4
Misturador	16	1822.9
Moedora	18	1369.3
Prática	4	1530.0
Rational	35	3558.1
Robot Coupe	21	1771.3
Tumbler	3	9337.3
Vario	22	4494.9
Colaborador	112	1548.5

Fonte: elaborado pela autora.

O resultado obtido foi de *makespan* de 54.163 segundos, igual a 15 horas e 2 minutos de produção. Foram utilizadas 636 restrições e 1268 variáveis, sendo 1207 intervalos e 61 sequências de intervalos. O algoritmo verificou 88.146 ramos, em um tempo de processamento computacional de 91 segundos. As Figuras 33 e 34 apresentam diagramas de Gantt para a solução obtida. O detalhamento da solução pode ser encontrado em Anexo.

Figura 33: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 3 (Máquinas 1 a 39).



Fonte: *software* CPLEX.

Figura 34: Gráfico de Gantt relativo à solução do Cenário 3 (Máquinas 39 a 61).



Fonte: *software* CPLEX.

### 5.3 Análise de resultados

Nesta seção serão analisados os resultados obtidos na resolução do problema de dimensão real, com dados fornecidos pela empresa. O objetivo é comparar as soluções fornecidas pelo modelo computacional em CP com o realizado pela empresa, para identificar possíveis pontos de melhoria.

Para comparação com a situação real, o Coordenador de Produção registrou dados de ordem de operações realizadas pelo time e horário de finalização do processamento de cada produto. Foram cinco dias observados ao longo de duas semanas. Assim, foi possível comparar valores de *makespan* realizados com resultados da função objetivo do modelo proposto.

A Tabela 13 abaixo mostra dados de quantidade de SKUs produzidos, total de *jobs* considerados (receitas e subreceitas) e total de operações. É calculada a diferença entre o *makespan* registrado na operação e a solução encontrada pelo modelo para cada dia observado.

Tabela 13: Comparação de resultados de solução do modelo proposto e medições reais.

<b>Cenário</b>	<b>SKUs</b>	<b>Jobs</b>	<b>Operações</b>	<b>Makespan real (s)</b>	<b>Makespan modelo (s)</b>	<b>Variação (%)</b>
1	36	89	296	42300	39780	6,33%
2	30	82	282	42960	40330	6,52%
3	36	110	335	57360	54163	5,90%

Fonte: elaborado pela autora.

Por esta comparação de resultados, percebemos que o modelo apresenta melhoria média de 6,25% no *makespan*.

O maior destaque na comparação entre as programações propostas e o realizado pela empresa se refere a utilização das máquinas Vario e Caldeiras. Ambas são relatadas pelo Coordenador de Produção como gargalos produtivos, seja pelo alto tempo de processamento e *setup* das Caldeiras ou pela alta demanda de processamento por grande parte dos produtos nas máquinas Vario.

Percebe-se que em todos os testes em escala real a máquina Vario do setor de FLV tem alta taxa de ocupação, assim como a Caldeia no Teste 2, enquanto o realizado pela empresa apresentou momentos de ociosidade maiores. Pode-se dizer que, ao otimizar a taxa de utilização deste recurso, mantendo sua ocupação maximizada, o modelo proposto alcança melhores resultados totais. Atualmente, o modelo mais flexível de organização do trabalho sem definição prévia de sequenciamento para as equipes da operação, não garante que a ocupação destas máquinas seja priorizadas.

Para verificar a percepção do time de operações sobre o fato de tais recursos produtivos serem gargalos na produção, foram feitos novos testes afim de analisar o impacto

da compra de novas máquinas. Para isso, uma análise de sensibilidade do modelo foi realizada, variando a quantidade de máquinas Vario e Caldeira no setor FLV, em cada um dos três cenários apresentados.

A Tabela 14 mostra os resultados obtidos para cada variação testada. Para cada cenário, a primeira linha apresentada a situação original já detalhada anteriormente neste trabalho, sem nenhum recurso adicional, para referência da comparação. A partir dessa situação inicial, é acrescentado apenas uma unidade de maquinário Vario, depois apenas uma unidade de Caldeia, depois uma unidade de cada tipo desses recursos. Assim, podemos analisar o impacto do incremento de cada recursos individualmente e também o impacto de ter ambos os recursos adicionados simultaneamente.

Tabela 14: Variação de *makespan* pelo acréscimo de máquinas Vario e Caldeira.

<b>Cenário</b>	<b>Qtd. Varios adicionados</b>	<b>Qtd. Caldeiras adicionadas</b>	<b><i>Makespan</i> (s)</b>	<b>Variação do <i>Makespan</i> em relação ao cenário original</b>
1	0	0	39780	-
	1	0	32660	-17,9%
	0	1	39780	0.0%
	1	1	32660	-17,9%
2	0	0	40330	-
	1	0	33998	-15,7%
	0	1	40330	0.0%
	1	1	33998	-15,7%
3	0	0	54163	-
	1	0	42571	-21,4%
	0	1	54163	0.0%
	1	1	42571	-21,4%

Fonte: elaborado pela autora.

Os resultados observados mostram que a compra de nova Caldeira para o setor FLV não melhora o resultado do *makespan* em nenhum cenário. Apesar da percepção de que a alta taxa de ocupação da máquina sugerir um gargalo produtivo, que poderia ser melhorada ao adicionar mais uma unidade do recurso, isso não se mostra verdadeiro. Isso ocorre pois os momentos ociosos não podem ser ocupados pois dependem da finalização

de outras operações em outros estágios da produção.

Por outro lado, a adição de mais uma máquina Vario no setor de FLV se mostra benéfica. Em comparação com a situação original, a adição de uma máquina Vario resultou em *makespans* 18,3% menores em média. Isso indica que esse pode ser um gargalo produtivo, e o investimento em mais uma unidade do recurso é uma maneira de melhoria do processo.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho de formatura teve como objeto de estudo o ambiente produtivo da empresa de produtos alimentícios Liv Up. O problema abordado se refere ao aumento de complexidade dos processos de produção, tendo em vista o crescimento do portfólio e alta diversidade de produtos lançados, simultaneamente a um aumento do volume de alimentos processados semanalmente na fábrica. A contextualização sobre a empresa e a descrição detalhada do problema foram apresentados no Capítulo 1, de Introdução.

Assim, o trabalho propõe a otimização do *makespan* através da programação das operações de produção, de forma a aplicar na situação real da empresa os conhecimentos e técnicas de Pesquisa Operacional obtidos durante o curso de Engenharia de Produção. A configuração do ambiente produtivo apresenta máquinas idênticas em cada estágio e alta variabilidade de roteiros, sendo que cada produto produzido possui sua própria ordem de operações específicas. Isso caracterizou o estudo como um problema de *scheduling* no ambiente *Job Shop* flexível.

Fazendo uso do referencial teórico apresentado no Capítulo 2, foi estabelecida uma descrição do ambiente *Job Shop* flexível em modelo de programação linear inteira mista. A formulação é baseada em estudos de Özbakir, Özgüven e Yavuz (2010) e apresentada por Melo (2014).

No entanto, devido ao caráter combinatório *NP-hard* de problemas de *scheduling* de JSF, optou-se por utilizar modelo de *constraint programming*. Trata-se de um método originado de estudos de Inteligência Artificial, que passou a ser incorporado em combinação com técnicas de Pesquisa Operacional como meio de melhorar a performance e eficiência da resolução do problema. Como apresentado em Lunardi *et al.* (2020), até para instâncias de grande porte (de 44 até 106 *jobs*), o método CP alcança soluções de boa qualidade em tempos menores que o modelo de PLIM. Portanto, pensando na aplicação prática do estudo, esta metodologia foi escolhida por apresentar soluções razoáveis em tempo aceitável.



Foi desenvolvido um modelo de CP para o problema, utilizando a extensão ILOG *Scheduler* do *software* IBM ILOG CPLEX *Optimization Studio*. Esta biblioteca foi idealizada para problemas de otimização combinatória que não podem ser facilmente linearizados e resolvidos com métodos tradicionais de programação matemática, se baseando internamente em algumas metaheurísticas, em especial a de pesquisa de grande vizinhança auto adaptável. A extensão também possui funções e variáveis especializadas para problemas de programação de operações, que permite a simplificação do modelo de PLIM.

O modelo foi testado em três cenários de escala reduzida, para validar sua eficácia. Uma vez que sua solução foi verificada em todos os testes preliminares, como apresentado na Seção 5.1. desse relatório, foi possível estender sua aplicação para a situação em escala real. Três dias de operação foram simulados pelo modelo, todos considerando 61 máquinas: o primeiro com 89 *jobs* e 295 operações, o segundo com 89 *jobs* e 282 operações e o terceiro com 110 *jobs* e 335 operações.

Comparando valores de *makespan* obtidos pela solução computacional com as medições feitas pela empresa na realidade da fábrica, o modelo apresentou melhoria média de 6,25%. Dessa forma, os resultados obtidos evidenciam a melhora pela otimização da programação de operações.

Como próximos passos, a empresa pretende incorporar o estudo deste trabalho como uma nova etapa no processo de planejamento da produção. Para implementação do modelo como ferramenta de uso na empresa, é importante tornar a entrada e saída de dados automatizada. Isso contribui para a adoção da ferramenta por reduzir o tempo da nova atividade e por facilitar sua usabilidade. Para isso, serão utilizadas as planilhas em Microsoft Excel e rotinas automatizadas usando funções em VBA já feitas elaboradas neste trabalho, e descritas na Seção 4.4., que automatizam a etapa de entrada de dados para o *software* CPLEX.

O próximo passo para implementação será a elaboração de uma função que automatize a saída de dados também. Apesar do *software* CPLEX fornecer diagramas de Gantt para suas soluções, é fundamental torná-lo de fácil leitura e interpretação para todos os colaboradores da fábrica. Para isso, os índices referentes aos *jobs*, operações e máquinas serão substituídos por nomes e descrições que facilitem a rápida identificação no ambiente produtivo.

Além de melhorar a visualização da programação em planilha eletrônica, será elaborado uma visualização para o chão da fábrica. Esta etapa tem como objetivo deixar visualmente disponível, ao lado de cada posto de trabalho ou junto a cada máquina, a

respectiva programação do dia. Isso permitirá fácil consulta por todos os colaboradores, além de permitir controle e registro do andamento das operações, que não ocorre de maneira estruturada atualmente.

Dessa forma, a programação das operações será feita pela analista que atualmente já realiza o planejamento da produção. Ao disponibilizar a lista de SKUs a serem produzidos em cada dia da semana, também enviará junto a programação de operações. Esta programação será recalculada a cada mudança no planejamento da produção ou eventuais problemas de disponibilidade de equipamento.

O cronograma do projeto, elaborado em conjunto com o time de Projetos de Melhoria Contínua, prevê iniciar a implementação no início de 2022. Até o fim do ano, será executado a etapa de automatização de saída de dados e elaboração de layout para gestão visual da fábrica.

## REFERÊNCIAS

- BALAS, E. Machine sequencing via disjunctive graphs: an implicit enumeration algorithm. *Operations research*, INFORMS, v. 17, n. 6, p. 941–957, 1969.
- BIRGIN, E. G. et al. A MILP model for an extended version of the flexible job shop problem. *Optimization Letters*, Springer, v. 8, n. 4, p. 1417–1431, 2014.
- DAUZÈRE-PÉRÈS, S.; PAULLI, J. An integrated approach for modeling and solving the general multiprocessor job-shop scheduling problem using tabu search. *Annals of Operations Research*, Springer, v. 70, p. 281–306, 1997.
- DEMIR, Y.; İŞLEYEN, S. K. Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 37, n. 3, p. 977–988, 2013.
- FATTAHI, P.; JOLAI, F.; ARKAT, J. Flexible job shop scheduling with overlapping in operations. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 33, n. 7, p. 3076–3087, 2009.
- GAREY, M. R.; JOHNSON, D. S.; SETHI, R. The complexity of flowshop and jobshop scheduling. *Mathematics of operations research*, INFORMS, v. 1, n. 2, p. 117–129, 1976.
- IBM. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio CP Optimizer User’s Manual. v. 12, p. 140, 2017.
- IBM. IBM ILOG CPLEX Optimization Studio User’s Manual. v. 12, p. 586, 2017.
- KACEM, I.; HAMMADI, S.; BORNE, P. Approach by localization and multiobjective evolutionary optimization for flexible job-shop scheduling problems. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, IEEE, v. 32, n. 1, p. 1–13, 2002.
- LEUNG, J. Y. *Handbook of scheduling: algorithms, models, and performance analysis*. : CRC press, 2004.
- LUNARDI, W. T. et al. Mixed integer linear programming and constraint programming models for the online printing shop scheduling problem. *Computers & Operations Research*, Elsevier, v. 123, p. 105020, 2020.
- MELO, E. L. d. *Meta-heurísticas Iterated Local Search, GRASP e Artificial Bee Colony aplicadas ao Job Shop Flexível para minimização do atraso total*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo.
- ÖZGÜVEN, C.; ÖZBAKIR, L.; YAVUZ, Y. Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 34, n. 6, p. 1539–1548, 2010.

ÖZGÜVEN, C.; YAVUZ, Y.; ÖZBAKIR, L. Mixed integer goal programming models for the flexible job-shop scheduling problems with separable and non-separable sequence dependent setup times. *Applied Mathematical Modelling*, Elsevier, v. 36, n. 2, p. 846–858, 2012.

PINEDO, M. L. (2008). *Scheduling: Theory, Algorithms, and systems.* : New York, NY: Springer.

PREVIERO, W. D. *Estratégias de resolução para o problema de job-shop flexível.* Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2016.

## ANEXO A – CÓDIGO DO MODELO CP

```

using CP;

//Indices e conjuntos

int NJobs = ...;
int NMaquinas = ...;

range jobs = 1..NJobs;
range maquinas = 1..NMaquinas;

//Conjuntos de operacoes , informando de qual job pertence
e qual sua precedencia

tuple Operacao {
    int id;    // Opera  o id
    int jobId; // Job id
    int pos;  // Posi  o no job (para precedencias)
};

//Conjuntos de modos possiveis , relacionando operacao ,
maquina e tempo de processamento

tuple Mode {
    int opId; // Operacao id
    int maq;  // Maquina
    int t;   // Tempo de processamento
};

//Conjuntos de montagem, especificando qual subreceita deve
preceder cada job

```

```

tuple Montagem {
    int jobId;
    int subreceita;
}

{Operacao} Ops = ...;
{Mode} Modes = ...;
{Montagem} Montagens = ...;

//Posicao da ultima operacao no job j

int jlast[j in jobs] = max(o in Ops: o.jobId==j) o.pos;

//Variaveis de decisao

dvar interval ops [Ops];
dvar interval modes[md in Modes] optional size md.t;
dvar sequence maqs[m in maquinas] in all(md in Modes: md.maq == m) modes[md];

//Limite para buscar solucao
execute {
    cp.param.FailLimit = 100000;
}

//funcao-objetivo: minimizar makespan
minimize max(j in jobs, o in Ops: o.pos==jlast[j]) endOf(ops[o]);

subject to {

    //Restricao 1: operacao i'j' come a quando a operacao precedente ij
    acabar (ambas do mesmo job)

    forall (j in jobs, o1 in Ops, o2 in Ops: o1.jobId==j && o2.jobId==j
        && o2.pos == 1+o1.pos)
        endBeforeStart(ops[o1], ops[o2]);
}

```

```

//Restricao 2: alternativa de alocao de operacao em maquina,
caso maquina seja candidata

forall (o in Ops)
    alternative(ops[o], all(md in Modes: md.opId==o.id) modes[md]);

//Restricao 3: evitar que duas operacoes sejam alocadas na mesma
maquina simultaneamente

forall (m in maquinas)
    noOverlap(maqs[m]);

//Restricao 4: job j come a quando todas as suas subreceitas
precedentes tiverem finalizado

forall (j in jobs, j1 in Montagens, j2 in Montagens,
    o1 in Ops, o2 in Ops:
    j2.jobId==j
    && j2.jobId==o2.jobId
        && j1.jobId==o1.jobId
        && j1.jobId==j2.subreceita
        && o2.pos==0
        && o1.pos==jlast[o1.jobId])
    endBeforeStart(ops[o1],ops[o2]);
}

execute {
    var ofile = new IloOplOutputFile("output.txt");
    for (var m in Modes) {
        if (modes[m].present)
            ofile.writeln("Operacao_" + m.opId + "_na_maquina_" + m.maq +
                "_comecando_" + modes[m].start +
                "_e_terminando_" + modes[m].end);
    }
};

//FIM

```

```

/*****
* OPL 20.1.0.0 Model
* Author: Juliana Vianna
* Creation Date: 2 de out de 2021 at 15:23:18
*****/
using CP;

//Índices e conjuntos
int NJobs = ...;
int NMaquinas = ...;

range jobs = 1..NJobs;
range maquinas = 1..NMaquinas;

//Conjuntos de operações, informando de qual job pertence e qual sua precedência
tuple Operacao {
    int id; // Operação id
    int jobId; // Job id
    int pos; // Posição no job (para precedencias)
};

//Conjuntos de modos possíveis, relacionando operação, máquina e tempo de processamento
tuple Mode {
    int opId; // Operação id
    int maq; // Máquina
    int t; // Tempo de processamento
};

//Conjuntos de montagem, especificando qual subreceita deve preceder cada job
tuple Montagem {
    int jobId;
    int subreceita;
}

{Operacao} Ops = ...;
{Mode} Modes = ...;
{Montagem} Montagens = ...;

//Posição da última operação no job j
int jlast[j in jobs] = max(o in Ops: o.jobId==j) o.pos;

//Variáveis de decisão
dvar interval ops [Ops];
dvar interval modes[md in Modes] optional size md.t;
dvar sequence maqs[m in maquinas] in all(md in Modes: md.maq == m) modes[md];

//Limite para buscar solução
execute {
    cp.param.FailLimit = 100000;
}

```



```

//função-objetivo: minimizar makespan
minimize max(j in jobs, o in Ops: o.pos==jlast[j]) endOf(ops[o]);

subject to {

  //Restrição 1: operação i'j' só começa quando a operação precedente ij acabar (ambas do mesmo job)
  forall (j in jobs, o1 in Ops, o2 in Ops: o1.jobId==j && o2.jobId==j && o2.pos==1+o1.pos)
    endBeforeStart(ops[o1],ops[o2]);

  //Restrição 2: alternativa de alocação de operação em máquina, caso máquina seja candidata
  forall (o in Ops)
    alternative(ops[o], all(md in Modes: md.opId==o.id) modes[md]);

  //Restrição 3: evitar que duas operações sejam alocadas na mesma máquina simultaneamente
  forall (m in maquinas)
    noOverlap(maqs[m]);

  //Restrição 4: job j só começa quando todas as suas subreceitas precedentes tiverem finalizado
  forall (j in jobs, j1 in Montagens, j2 in Montagens, o1 in Ops, o2 in Ops: j2.jobId==j && j2.jobId==o2.jobId
    && j1.jobId==o1.jobId && j1.jobId==j2.subreceita && o2.pos==0 && o1.pos==jlast[o1.jobId])
    endBeforeStart(ops[o1],ops[o2]);
}

execute {
  var ofile = new IloOplOutputFile("output.txt");
  for (var m in Modes) {
    if (modes[m].present)
      ofile.writeln("Operação " + m.opId + " na máquina " + m.maq + " começando em " + modes[m].start +
        " e terminando em " + modes[m].end);
  }
};

//FIM

```

## ANEXO B – DADOS DE ENTRADA DO CENÁRIO 1

NJobs = 89;

NMaquinas = 61;

**Ops** = { <1,1,0>, <2,1,1>, <3,1,2>, <4,1,3>, <5,1,4>, <6,2,0>, <7,3,0>, <8,3,1>, <9,3,2>, <10,4,0>, <11,4,1>, <12,4,2>, <13,5,0>, <14,5,1>, <15,5,2>, <16,6,0>, <17,6,1>, <18,7,0>, <19,7,1>, <20,7,2>, <21,7,3>, <22,8,0>, <23,8,1>, <24,9,0>, <25,9,1>, <26,10,0>, <27,10,1>, <28,11,0>, <29,11,1>, <30,11,2>, <31,11,3>, <32,11,4>, <33,11,5>, <34,11,6>, <35,12,0>, <36,12,1>, <37,12,2>, <38,12,3>, <39,13,0>, <40,13,1>, <41,13,2>, <42,13,3>, <43,13,4>, <44,13,5>, <45,14,0>, <46,14,1>, <47,14,2>, <48,14,3>, <49,14,4>, <50,15,0>, <51,15,1>, <52,15,2>, <53,16,0>, <54,16,1>, <55,17,0>, <56,17,1>, <57,17,2>, <58,17,3>, <59,18,0>, <60,18,1>, <61,18,2>, <62,18,3>, <63,18,4>, <64,18,5>, <65,18,6>, <66,19,0>, <67,19,1>, <68,19,2>, <69,19,3>, <70,19,4>, <71,20,0>, <72,20,1>, <73,20,2>, <74,20,3>, <75,20,4>, <76,21,0>, <77,21,1>, <78,22,0>, <79,22,1>, <80,22,2>, <81,23,0>, <82,23,1>, <83,23,2>, <84,23,3>, <85,24,0>, <86,24,1>, <87,24,2>, <88,25,0>, <89,25,1>, <90,25,2>, <91,26,0>, <92,26,1>, <93,27,0>, <94,27,1>, <95,27,2>, <96,28,0>, <97,29,0>, <98,29,1>, <99,30,0>, <100,30,1>, <101,30,2>, <102,31,0>, <103,31,1>, <104,32,0>, <105,32,1>, <106,33,0>, <107,33,1>, <108,33,2>, <109,33,3>, <110,34,0>, <111,34,1>, <112,34,2>, <113,34,3>, <114,34,4>, <115,34,5>, <116,34,6>, <117,35,0>, <118,35,1>, <119,36,0>, <120,36,1>, <121,37,0>, <122,37,1>, <123,37,2>, <124,37,3>, <125,38,0>, <126,39,0>, <127,39,1>, <128,39,2>, <129,39,3>, <130,39,4>, <131,40,0>, <132,40,1>, <133,40,2>, <134,40,3>, <135,41,0>, <136,41,1>, <137,41,2>, <138,42,0>, <139,42,1>, <140,42,2>, <141,42,3>, <142,43,0>,

$\langle 143,43,1 \rangle, \langle 144,43,2 \rangle, \langle 145,43,3 \rangle, \langle 146,44,0 \rangle, \langle 147,44,1 \rangle,$   
 $\langle 148,45,0 \rangle, \langle 149,45,1 \rangle, \langle 150,45,2 \rangle, \langle 151,45,3 \rangle, \langle 152,46,0 \rangle,$   
 $\langle 153,47,0 \rangle, \langle 154,47,1 \rangle, \langle 155,47,2 \rangle, \langle 156,47,3 \rangle, \langle 157,48,0 \rangle,$   
 $\langle 158,48,1 \rangle, \langle 159,48,2 \rangle, \langle 160,48,3 \rangle, \langle 161,48,4 \rangle, \langle 162,49,0 \rangle,$   
 $\langle 163,49,1 \rangle, \langle 164,49,2 \rangle, \langle 165,49,3 \rangle, \langle 166,50,0 \rangle, \langle 167,50,1 \rangle,$   
 $\langle 168,50,2 \rangle, \langle 169,51,0 \rangle, \langle 170,51,1 \rangle, \langle 171,51,2 \rangle, \langle 172,51,3 \rangle,$   
 $\langle 173,51,4 \rangle, \langle 174,52,0 \rangle, \langle 175,52,1 \rangle, \langle 176,53,0 \rangle, \langle 177,53,1 \rangle,$   
 $\langle 178,54,0 \rangle, \langle 179,54,1 \rangle, \langle 180,54,2 \rangle, \langle 181,54,3 \rangle, \langle 182,55,0 \rangle,$   
 $\langle 183,56,0 \rangle, \langle 184,56,1 \rangle, \langle 185,56,2 \rangle, \langle 186,57,0 \rangle, \langle 187,57,1 \rangle,$   
 $\langle 188,57,2 \rangle, \langle 189,58,0 \rangle, \langle 190,58,1 \rangle, \langle 191,59,0 \rangle, \langle 192,59,1 \rangle,$   
 $\langle 193,59,2 \rangle, \langle 194,59,3 \rangle, \langle 195,59,4 \rangle, \langle 196,60,0 \rangle, \langle 197,60,1 \rangle,$   
 $\langle 198,61,0 \rangle, \langle 199,61,1 \rangle, \langle 200,62,0 \rangle, \langle 201,62,1 \rangle, \langle 202,62,2 \rangle,$   
 $\langle 203,62,3 \rangle, \langle 204,63,0 \rangle, \langle 205,63,1 \rangle, \langle 206,63,2 \rangle, \langle 207,64,0 \rangle,$   
 $\langle 208,64,1 \rangle, \langle 209,65,0 \rangle, \langle 210,65,1 \rangle, \langle 211,65,2 \rangle, \langle 212,65,3 \rangle,$   
 $\langle 213,65,4 \rangle, \langle 214,65,5 \rangle, \langle 215,66,0 \rangle, \langle 216,66,1 \rangle, \langle 217,66,2 \rangle,$   
 $\langle 218,66,3 \rangle, \langle 219,66,4 \rangle, \langle 220,66,5 \rangle, \langle 221,67,0 \rangle, \langle 222,67,1 \rangle,$   
 $\langle 223,67,2 \rangle, \langle 224,67,3 \rangle, \langle 225,67,4 \rangle, \langle 226,67,5 \rangle, \langle 227,68,0 \rangle,$   
 $\langle 228,68,1 \rangle, \langle 229,69,0 \rangle, \langle 230,69,1 \rangle, \langle 231,69,2 \rangle, \langle 232,69,3 \rangle,$   
 $\langle 233,70,0 \rangle, \langle 234,70,1 \rangle, \langle 235,70,2 \rangle, \langle 236,70,3 \rangle, \langle 237,70,4 \rangle,$   
 $\langle 238,71,0 \rangle, \langle 239,71,1 \rangle, \langle 240,72,0 \rangle, \langle 241,72,1 \rangle, \langle 242,73,0 \rangle,$   
 $\langle 243,73,1 \rangle, \langle 244,74,0 \rangle, \langle 245,74,1 \rangle, \langle 246,74,2 \rangle, \langle 247,74,3 \rangle,$   
 $\langle 248,75,0 \rangle, \langle 249,76,0 \rangle, \langle 250,77,0 \rangle, \langle 251,77,1 \rangle, \langle 252,77,2 \rangle,$   
 $\langle 253,77,3 \rangle, \langle 254,77,4 \rangle, \langle 255,78,0 \rangle, \langle 256,78,1 \rangle, \langle 257,78,2 \rangle,$   
 $\langle 258,79,0 \rangle, \langle 259,79,1 \rangle, \langle 260,80,0 \rangle, \langle 261,80,1 \rangle, \langle 262,80,2 \rangle,$   
 $\langle 263,80,3 \rangle, \langle 264,81,0 \rangle, \langle 265,81,1 \rangle, \langle 266,81,2 \rangle, \langle 267,81,3 \rangle,$   
 $\langle 268,81,4 \rangle, \langle 269,81,5 \rangle, \langle 270,81,6 \rangle, \langle 271,82,0 \rangle, \langle 272,82,1 \rangle,$   
 $\langle 273,82,2 \rangle, \langle 274,82,3 \rangle, \langle 275,82,4 \rangle, \langle 276,82,5 \rangle, \langle 277,83,0 \rangle,$   
 $\langle 278,84,0 \rangle, \langle 279,84,1 \rangle, \langle 280,84,2 \rangle, \langle 281,84,3 \rangle, \langle 282,84,4 \rangle,$   
 $\langle 283,85,0 \rangle, \langle 284,86,0 \rangle, \langle 285,86,1 \rangle, \langle 286,86,2 \rangle, \langle 287,87,0 \rangle,$   
 $\langle 288,87,1 \rangle, \langle 289,87,2 \rangle, \langle 290,87,3 \rangle, \langle 291,87,4 \rangle, \langle 292,88,0 \rangle,$   
 $\langle 293,88,1 \rangle, \langle 294,88,2 \rangle, \langle 295,89,0 \rangle$ ;

Modes =  $\{ \langle 1,34,880 \rangle, \langle 2,17,820 \rangle, \langle 2,18,820 \rangle, \langle 3,57,1699 \rangle,$   
 $\langle 3,58,1699 \rangle, \langle 3,59,1699 \rangle, \langle 3,60,1699 \rangle, \langle 3,61,1699 \rangle,$   
 $\langle 4,44,2420 \rangle, \langle 5,49,11640 \rangle, \langle 6,52,12203 \rangle, \langle 6,53,12203 \rangle,$   
 $\langle 6,54,12203 \rangle, \langle 6,55,12203 \rangle, \langle 6,56,12203 \rangle, \langle 7,52,600 \rangle,$   
 $\langle 7,53,600 \rangle, \langle 7,54,600 \rangle, \langle 7,55,600 \rangle, \langle 7,56,600 \rangle,$   
 $\langle 8,24,3900 \rangle, \langle 9,48,4800 \rangle, \langle 10,21,600 \rangle, \langle 11,57,600 \rangle,$

<11,58,600>, <11,59,600>, <11,60,600>, <11,61,600>, <12,28,1123>, <13,52,2313>, <13,53,2313>, <13,54,2313>, <13,55,2313>, <13,56,2313>, <14,24,1672>, <15,37,1800>, <15,38,1800>, <15,39,1800>, <16,52,603>, <16,53,603>, <16,54,603>, <16,55,603>, <16,56,603>, <17,30,900>, <18,17,600>, <18,18,600>, <19,44,680>, <20,57,600>, <20,58,600>, <20,59,600>, <20,60,600>, <20,61,600>, <21,40,900>, <21,41,900>, <21,42,900>, <22,57,700>, <22,58,700>, <22,59,700>, <22,60,700>, <22,61,700>, <23,15,600>, <24,57,600>, <24,58,600>, <24,59,600>, <24,60,600>, <24,61,600>, <25,49,3000>, <26,57,600>, <26,58,600>, <26,59,600>, <26,60,600>, <26,61,600>, <27,31,1200>, <28,51,2700>, <29,45,1080>, <30,50,4320>, <31,29,3180>, <32,51,840>, <33,47,3400>, <34,36,1200>, <35,57,600>, <35,58,600>, <35,59,600>, <35,60,600>, <35,61,600>, <36,17,3038>, <36,18,3038>, <37,44,1160>, <38,49,900>, <39,51,2280>, <40,29,1740>, <41,26,1500>, <42,47,3760>, <43,51,2680>, <44,36,1800>, <45,17,600>, <45,18,600>, <46,15,750>, <47,34,780>, <48,57,600>, <48,58,600>, <48,59,600>, <48,60,600>, <48,61,600>, <49,49,2520>, <50,17,600>, <50,18,600>, <51,57,600>, <51,58,600>, <51,59,600>, <51,60,600>, <51,61,600>, <52,15,1096>, <53,52,2018>, <53,53,2018>, <53,54,2018>, <53,55,2018>, <53,56,2018>, <54,46,9360>, <55,52,600>, <55,53,600>, <55,54,600>, <55,55,600>, <55,56,600>, <56,37,1140>, <56,38,1140>, <56,39,1140>, <57,52,600>, <57,53,600>, <57,54,600>, <57,55,600>, <57,56,600>, <58,24,1140>, <59,17,600>, <59,18,600>, <60,15,600>, <61,34,762>, <62,57,1000>, <62,58,1000>, <62,59,1000>, <62,60,1000>, <62,61,1000>, <63,25,700>, <64,57,2055>, <64,58,2055>, <64,59,2055>, <64,60,2055>, <64,61,2055>, <65,40,3600>, <65,41,3600>, <65,42,3600>, <66,57,1330>, <66,58,1330>, <66,59,1330>, <66,60,1330>, <66,61,1330>, <67,14,1980>, <68,31,1380>, <69,57,600>, <69,58,600>, <69,59,600>, <69,60,600>, <69,61,600>, <70,40,780>, <70,41,780>, <70,42,780>, <71,17,600>, <71,18,600>, <72,15,600>, <73,34,780>, <74,57,1069>, <74,58,1069>, <74,59,1069>, <74,60,1069>, <74,61,1069>, <75,10,11040>,

<75,11,11040>, <75,12,11040>, <76,57,836>, <76,58,836>, <76,59,836>, <76,60,836>, <76,61,836>, <77,44,4921>, <78,57,600>, <78,58,600>, <78,59,600>, <78,60,600>, <78,61,600>, <79,21,600>, <80,34,840>, <81,31,3600>, <82,57,900>, <82,58,900>, <82,59,900>, <82,60,900>, <82,61,900>, <83,40,9000>, <83,41,9000>, <83,42,9000>, <84,57,900>, <84,58,900>, <84,59,900>, <84,60,900>, <84,61,900>, <85,52,3395>, <85,53,3395>, <85,54,3395>, <85,55,3395>, <85,56,3395>, <86,24,1440>, <87,48,3540>, <88,52,600>, <88,53,600>, <88,54,600>, <88,55,600>, <88,56,600>, <89,24,600>, <90,48,4840>, <91,57,1113>, <91,58,1113>, <91,59,1113>, <91,60,1113>, <91,61,1113>, <92,40,2400>, <92,41,2400>, <92,42,2400>, <93,57,600>, <93,58,600>, <93,59,600>, <93,60,600>, <93,61,600>, <94,40,1320>, <94,41,1320>, <94,42,1320>, <95,31,2400>, <96,51,11630>, <97,57,600>, <97,58,600>, <97,59,600>, <97,60,600>, <97,61,600>, <98,49,4380>, <99,19,600>, <99,20,600>, <100,57,600>, <100,58,600>, <100,59,600>, <100,60,600>, <100,61,600>, <101,28,3720>, <102,57,2027>, <102,58,2027>, <102,59,2027>, <102,60,2027>, <102,61,2027>, <103,40,4920>, <103,41,4920>, <103,42,4920>, <104,57,600>, <104,58,600>, <104,59,600>, <104,60,600>, <104,61,600>, <105,34,825>, <106,28,5220>, <107,57,600>, <107,58,600>, <107,59,600>, <107,60,600>, <107,61,600>, <108,49,840>, <109,10,7360>, <109,11,7360>, <109,12,7360>, <110,17,621>, <110,18,621>, <111,15,829>, <112,34,788>, <113,57,600>, <113,58,600>, <113,59,600>, <113,60,600>, <113,61,600>, <114,25,600>, <115,57,600>, <115,58,600>, <115,59,600>, <115,60,600>, <115,61,600>, <116,40,4500>, <116,41,4500>, <116,42,4500>, <117,57,600>, <117,58,600>, <117,59,600>, <117,60,600>, <117,61,600>, <118,44,1020>, <119,57,600>, <119,58,600>, <119,59,600>, <119,60,600>, <119,61,600>, <120,21,667>, <121,17,600>, <121,18,600>, <122,57,600>, <122,58,600>, <122,59,600>, <122,60,600>, <122,61,600>, <123,15,760>, <124,34,780>, <125,34,1260>, <126,57,600>, <126,58,600>, <126,59,600>, <126,60,600>, <126,61,600>, <127,25,3000>, <128,4,10320>, <129,57,1600>, <129,58,1600>, <129,59,1600>, <129,60,1600>, <129,61,1600>, <130,35,4560>,

<131,57,870>, <131,58,870>, <131,59,870>, <131,60,870>,  
 <131,61,870>, <132,21,600>, <133,19,600>, <133,20,600>,  
 <134,15,600>, <135,57,600>, <135,58,600>, <135,59,600>,  
 <135,60,600>, <135,61,600>, <136,17,810>, <136,18,810>,  
 <137,44,600>, <138,17,600>, <138,18,600>, <139,57,670>,  
 <139,58,670>, <139,59,670>, <139,60,670>, <139,61,670>,  
 <140,44,1500>, <141,34,746>, <142,57,600>, <142,58,600>,  
 <142,59,600>, <142,60,600>, <142,61,600>, <143,10,23940>,  
 <143,11,23940>, <143,12,23940>, <144,31,600>, <145,28,3930>,  
 <146,52,890>, <146,53,890>, <146,54,890>, <146,55,890>,  
 <146,56,890>, <147,37,2700>, <147,38,2700>, <147,39,2700>,  
 <148,17,1186>, <148,18,1186>, <149,57,600>, <149,58,600>,  
 <149,59,600>, <149,60,600>, <149,61,600>, <150,15,3322>,  
 <151,25,7500>, <152,52,8869>, <152,53,8869>, <152,54,8869>,  
 <152,55,8869>, <152,56,8869>, <153,52,600>, <153,53,600>,  
 <153,54,600>, <153,55,600>, <153,56,600>, <154,24,2564>,  
 <155,52,7415>, <155,53,7415>, <155,54,7415>, <155,55,7415>,  
 <155,56,7415>, <156,37,13800>, <156,38,13800>, <156,39,13800>,  
 <157,57,1550>, <157,58,1550>, <157,59,1550>, <157,60,1550>,  
 <157,61,1550>, <158,17,600>, <158,18,600>, <159,44,2357>,  
 <160,31,947>, <161,40,1140>, <161,41,1140>, <161,42,1140>,  
 <162,57,1550>, <162,58,1550>, <162,59,1550>, <162,60,1550>,  
 <162,61,1550>, <163,44,2357>, <164,31,947>, <165,40,1140>,  
 <165,41,1140>, <165,42,1140>, <166,57,1665>, <166,58,1665>,  
 <166,59,1665>, <166,60,1665>, <166,61,1665>, <167,14,1026>,  
 <168,40,2460>, <168,41,2460>, <168,42,2460>, <169,57,1665>,  
 <169,58,1665>, <169,59,1665>, <169,60,1665>, <169,61,1665>,  
 <170,14,1026>, <171,40,2460>, <171,41,2460>, <171,42,2460>,  
 <172,34,1800>, <173,25,1200>, <174,57,600>, <174,58,600>,  
 <174,59,600>, <174,60,600>, <174,61,600>, <175,40,1200>,  
 <175,41,1200>, <175,42,1200>, <176,57,600>, <176,58,600>,  
 <176,59,600>, <176,60,600>, <176,61,600>, <177,40,1100>,  
 <177,41,1100>, <177,42,1100>, <178,17,618>, <178,18,618>,  
 <179,14,1428>, <180,57,600>, <180,58,600>, <180,59,600>,  
 <180,60,600>, <180,61,600>, <181,40,840>, <181,41,840>,  
 <181,42,840>, <182,31,1544>, <183,52,2313>, <183,53,2313>,  
 <183,54,2313>, <183,55,2313>, <183,56,2313>, <184,24,1672>,  
 <185,37,1800>, <185,38,1800>, <185,39,1800>, <186,57,600>,

<186,58,600>, <186,59,600>, <186,60,600>, <186,61,600>, <187,21,785>, <188,19,600>, <188,20,600>, <189,52,603>, <189,53,603>, <189,54,603>, <189,55,603>, <189,56,603>, <190,30,900>, <191,57,747>, <191,58,747>, <191,59,747>, <191,60,747>, <191,61,747>, <192,15,600>, <193,44,1509>, <194,28,990>, <195,10,3600>, <195,11,3600>, <195,12,3600>, <196,57,2027>, <196,58,2027>, <196,59,2027>, <196,60,2027>, <196,61,2027>, <197,40,4920>, <197,41,4920>, <197,42,4920>, <198,57,600>, <198,58,600>, <198,59,600>, <198,60,600>, <198,61,600>, <199,34,825>, <200,28,5220>, <201,57,600>, <201,58,600>, <201,59,600>, <201,60,600>, <201,61,600>, <202,49,840>, <203,10,7360>, <203,11,7360>, <203,12,7360>, <204,57,1550>, <204,58,1550>, <204,59,1550>, <204,60,1550>, <204,61,1550>, <205,17,600>, <205,18,600>, <206,44,2357>, <207,31,947>, <208,40,1140>, <208,41,1140>, <208,42,1140>, <209,29,1548>, <210,50,5760>, <211,47,2987>, <212,50,4050>, <213,32,600>, <214,47,2408>, <215,29,1548>, <216,50,5760>, <217,47,2987>, <218,50,4050>, <219,32,600>, <220,47,2408>, <221,57,2987>, <221,58,2987>, <221,59,2987>, <221,60,2987>, <221,61,2987>, <222,14,2020>, <223,57,600>, <223,58,600>, <223,59,600>, <223,60,600>, <223,61,600>, <224,40,1200>, <224,41,1200>, <224,42,1200>, <225,57,600>, <225,58,600>, <225,59,600>, <225,60,600>, <225,61,600>, <226,34,10149>, <227,52,600>, <227,53,600>, <227,54,600>, <227,55,600>, <227,56,600>, <228,33,2220>, <229,51,1800>, <230,2,4800>, <231,5,12600>, <232,43,3600>, <233,34,832>, <234,17,600>, <234,18,600>, <235,15,1068>, <236,57,600>, <236,58,600>, <236,59,600>, <236,60,600>, <236,61,600>, <237,49,900>, <238,52,631>, <238,53,631>, <238,54,631>, <238,55,631>, <238,56,631>, <239,33,2034>, <240,57,2027>, <240,58,2027>, <240,59,2027>, <240,60,2027>, <240,61,2027>, <241,40,4920>, <241,41,4920>, <241,42,4920>, <242,57,600>, <242,58,600>, <242,59,600>, <242,60,600>, <242,61,600>, <243,34,825>, <244,28,5220>, <245,57,600>, <245,58,600>, <245,59,600>, <245,60,600>, <245,61,600>, <246,49,840>, <247,10,7360>, <247,11,7360>, <247,12,7360>, <248,40,860>, <248,41,860>, <248,42,860>, <249,30,1020>, <250,17,600>, <250,18,600>, <251,15,600>, <252,34,600>, <253,57,600>, <253,58,600>,

<253,59,600>, <253,60,600>, <253,61,600>, <254,49,1680>,  
 <255,17,600>, <255,18,600>, <256,57,600>, <256,58,600>,  
 <256,59,600>, <256,60,600>, <256,61,600>, <257,15,730>,  
 <258,52,1345>, <258,53,1345>, <258,54,1345>, <258,55,1345>,  
 <258,56,1345>, <259,46,6240>, <260,52,600>, <260,53,600>,  
 <260,54,600>, <260,55,600>, <260,56,600>, <261,37,760>,  
 <261,38,760>, <261,39,760>, <262,52,600>, <262,53,600>,  
 <262,54,600>, <262,55,600>, <262,56,600>, <263,24,760>,  
 <264,17,600>, <264,18,600>, <265,15,600>, <266,34,600>,  
 <267,57,600>, <267,58,600>, <267,59,600>, <267,60,600>,  
 <267,61,600>, <268,25,600>, <269,57,600>, <269,58,600>,  
 <269,59,600>, <269,60,600>, <269,61,600>, <270,40,1287>,  
 <270,41,1287>, <270,42,1287>, <271,57,600>, <271,58,600>,  
 <271,59,600>, <271,60,600>, <271,61,600>, <272,44,1936>,  
 <273,31,1160>, <274,57,600>, <274,58,600>, <274,59,600>,  
 <274,60,600>, <274,61,600>, <275,40,3600>, <275,41,3600>,  
 <275,42,3600>, <276,57,600>, <276,58,600>, <276,59,600>,  
 <276,60,600>, <276,61,600>, <277,52,2000>, <277,53,2000>,  
 <277,54,2000>, <277,55,2000>, <277,56,2000>, <278,34,880>,  
 <279,17,820>, <279,18,820>, <280,57,1699>, <280,58,1699>,  
 <280,59,1699>, <280,60,1699>, <280,61,1699>, <281,44,2420>,  
 <282,49,11640>, <283,52,12203>, <283,53,12203>, <283,54,12203>,  
 <283,55,12203>, <283,56,12203>, <284,52,600>, <284,53,600>,  
 <284,54,600>, <284,55,600>, <284,56,600>, <285,24,3900>,  
 <286,48,4800>, <287,57,1665>, <287,58,1665>, <287,59,1665>,  
 <287,60,1665>, <287,61,1665>, <288,14,1026>, <289,40,2460>,  
 <289,41,2460>, <289,42,2460>, <290,34,1800>, <291,25,1200>,  
 <292,57,600>, <292,58,600>, <292,59,600>, <292,60,600>,  
 <292,61,600>, <293,40,780>, <293,41,780>, <293,42,780>,  
 <294,31,600>, <295,52,2000>, <295,53,2000>, <295,54,2000>,  
 <295,55,2000>, <295,56,2000>};

Montagens = {<3,1>, <3,2>, <6,4>, <6,5>, <10,7>, <10,8>, <10,9>,  
 <13,12>, <17,14>, <17,15>, <17,16>, <23,21>, <23,22>,  
 <33,31>, <33,32>, <39,34>, <39,35>, <39,36>, <39,37>,  
 <39,38>, <43,40>, <43,41>, <43,42>, <44,43>, <47,45>,  
 <47,46>, <55,53>, <55,54>, <58,56>, <58,57>, <62,60>,  
 <62,61>, <64,62>, <64,63>, <69,67>, <69,68>, <74,72>,



$\langle 74,73 \rangle, \langle 76,70 \rangle, \langle 76,71 \rangle, \langle 76,74 \rangle, \langle 76,75 \rangle, \langle 80,77 \rangle,$   
 $\langle 80,78 \rangle, \langle 80,79 \rangle, \langle 83,80 \rangle, \langle 83,81 \rangle, \langle 83,82 \rangle, \langle 86,84 \rangle,$   
 $\langle 86,85 \rangle, \langle 89,86 \rangle, \langle 89,87 \rangle, \langle 89,88 \rangle \};$

## ANEXO C – DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO DO CENÁRIO 1

Operação 1 na máquina 34 começando em 880 e terminando em 1760  
Operação 2 na máquina 17 começando em 1786 e terminando em 2606  
Operação 3 na máquina 60 começando em 3930 e terminando em 5629  
Operação 4 na máquina 44 começando em 7545 e terminando em 9965  
Operação 5 na máquina 49 começando em 22140 e terminando em 33780  
Operação 6 na máquina 53 começando em 0 e terminando em 12203  
Operação 7 na máquina 56 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 8 na máquina 24 começando em 3164 e terminando em 7064  
Operação 9 na máquina 48 começando em 7064 e terminando em 11864  
Operação 10 na máquina 21 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 11 na máquina 57 começando em 12482 e terminando em 13082  
Operação 12 na máquina 28 começando em 20370 e terminando em 21493  
Operação 13 na máquina 55 começando em 11378 e terminando em 13691  
Operação 14 na máquina 24 começando em 19815 e terminando em 21487  
Operação 15 na máquina 38 começando em 21487 e terminando em 23287  
Operação 16 na máquina 54 começando em 16801 e terminando em 17404  
Operação 17 na máquina 30 começando em 17701 e terminando em 18601  
Operação 18 na máquina 17 começando em 10103 e terminando em 10703  
Operação 19 na máquina 44 começando em 23457 e terminando em 24137  
Operação 20 na máquina 58 começando em 24137 e terminando em 24737  
Operação 21 na máquina 42 começando em 24737 e terminando em 25637  
Operação 22 na máquina 58 começando em 11792 e terminando em 12492  
Operação 23 na máquina 15 começando em 13863 e terminando em 14463  
Operação 24 na máquina 58 começando em 2987 e terminando em 3587  
Operação 25 na máquina 49 começando em 4980 e terminando em 7980  
Operação 26 na máquina 57 começando em 11882 e terminando em 12482

Operação 27 na máquina 31 começando em 12482 e terminando em 13682  
Operação 28 na máquina 51 começando em 1800 e terminando em 4500  
Operação 29 na máquina 45 começando em 4500 e terminando em 5580  
Operação 30 na máquina 50 começando em 13068 e terminando em 17388  
Operação 31 na máquina 29 começando em 17388 e terminando em 20568  
Operação 32 na máquina 51 começando em 21090 e terminando em 21930  
Operação 33 na máquina 47 começando em 21930 e terminando em 25330  
Operação 34 na máquina 36 começando em 25330 e terminando em 26530  
Operação 35 na máquina 61 começando em 1347 e terminando em 1947  
Operação 36 na máquina 17 começando em 4647 e terminando em 7685  
Operação 37 na máquina 44 começando em 24137 e terminando em 25297  
Operação 38 na máquina 49 começando em 38880 e terminando em 39780  
Operação 39 na máquina 51 começando em 4500 e terminando em 6780  
Operação 40 na máquina 29 começando em 6780 e terminando em 8520  
Operação 41 na máquina 26 começando em 8520 e terminando em 10020  
Operação 42 na máquina 47 começando em 10295 e terminando em 14055  
Operação 43 na máquina 51 começando em 18410 e terminando em 21090  
Operação 44 na máquina 36 começando em 21090 e terminando em 22890  
Operação 45 na máquina 17 começando em 4047 e terminando em 4647  
Operação 46 na máquina 15 começando em 6778 e terminando em 7528  
Operação 47 na máquina 34 começando em 7566 e terminando em 8346  
Operação 48 na máquina 57 começando em 10682 e terminando em 11282  
Operação 49 na máquina 49 começando em 33780 e terminando em 36300  
Operação 50 na máquina 18 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 51 na máquina 60 começando em 9029 e terminando em 9629  
Operação 52 na máquina 15 começando em 11072 e terminando em 12168  
Operação 53 na máquina 55 começando em 0 e terminando em 2018  
Operação 54 na máquina 46 começando em 2018 e terminando em 11378  
Operação 55 na máquina 55 começando em 14291 e terminando em 14891  
Operação 56 na máquina 39 começando em 14891 e terminando em 16031  
Operação 57 na máquina 55 começando em 16031 e terminando em 16631  
Operação 58 na máquina 24 começando em 21487 e terminando em 22627  
Operação 59 na máquina 18 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 60 na máquina 15 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 61 na máquina 34 começando em 2540 e terminando em 3302  
Operação 62 na máquina 58 começando em 3587 e terminando em 4587

Operação 63 na máquina 25 começando em 4587 e terminando em 5287  
Operação 64 na máquina 59 começando em 5287 e terminando em 7342  
Operação 65 na máquina 40 começando em 17987 e terminando em 21587  
Operação 66 na máquina 60 começando em 5629 e terminando em 6959  
Operação 67 na máquina 14 começando em 6959 e terminando em 8939  
Operação 68 na máquina 31 começando em 8939 e terminando em 10319  
Operação 69 na máquina 61 começando em 10319 e terminando em 10919  
Operação 70 na máquina 40 começando em 25214 e terminando em 25994  
Operação 71 na máquina 17 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 72 na máquina 15 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 73 na máquina 34 começando em 1760 e terminando em 2540  
Operação 74 na máquina 57 começando em 2627 e terminando em 3696  
Operação 75 na máquina 10 começando em 3696 e terminando em 14736  
Operação 76 na máquina 57 começando em 8296 e terminando em 9132  
Operação 77 na máquina 44 começando em 9965 e terminando em 14886  
Operação 78 na máquina 57 começando em 11282 e terminando em 11882  
Operação 79 na máquina 21 começando em 11882 e terminando em 12482  
Operação 80 na máquina 34 começando em 23963 e terminando em 24803  
Operação 81 na máquina 31 começando em 0 e terminando em 3600  
Operação 82 na máquina 57 começando em 3696 e terminando em 4596  
Operação 83 na máquina 41 começando em 6947 e terminando em 15947  
Operação 84 na máquina 58 começando em 16260 e terminando em 17160  
Operação 85 na máquina 54 começando em 12803 e terminando em 16198  
Operação 86 na máquina 24 começando em 16703 e terminando em 18143  
Operação 87 na máquina 48 começando em 21618 e terminando em 25158  
Operação 88 na máquina 55 começando em 10778 e terminando em 11378  
Operação 89 na máquina 24 começando em 11378 e terminando em 11978  
Operação 90 na máquina 48 começando em 11978 e terminando em 16818  
Operação 91 na máquina 58 começando em 9479 e terminando em 10592  
Operação 92 na máquina 42 começando em 12425 e terminando em 14825  
Operação 93 na máquina 60 começando em 6959 e terminando em 7559  
Operação 94 na máquina 40 começando em 16667 e terminando em 17987  
Operação 95 na máquina 31 começando em 17987 e terminando em 20387  
Operação 96 na máquina 51 começando em 6780 e terminando em 18410  
Operação 97 na máquina 60 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 98 na máquina 49 começando em 600 e terminando em 4980

Operação 99 na máquina 19 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 100 na máquina 61 começando em 1947 e terminando em 2547  
Operação 101 na máquina 28 começando em 16650 e terminando em 20370  
Operação 102 na máquina 59 começando em 1200 e terminando em 3227  
Operação 103 na máquina 40 começando em 3227 e terminando em 8147  
Operação 104 na máquina 57 começando em 13082 e terminando em 13682  
Operação 105 na máquina 34 começando em 24803 e terminando em 25628  
Operação 106 na máquina 28 começando em 10440 e terminando em 15660  
Operação 107 na máquina 58 começando em 15660 e terminando em 16260  
Operação 108 na máquina 49 começando em 21300 e terminando em 22140  
Operação 109 na máquina 10 começando em 28660 e terminando em 36020  
Operação 110 na máquina 17 começando em 3426 e terminando em 4047  
Operação 111 na máquina 15 começando em 5949 e terminando em 6778  
Operação 112 na máquina 34 começando em 6778 e terminando em 7566  
Operação 113 na máquina 57 começando em 7696 e terminando em 8296  
Operação 114 na máquina 25 começando em 13449 e terminando em 14049  
Operação 115 na máquina 59 começando em 14049 e terminando em 14649  
Operação 116 na máquina 41 começando em 20867 e terminando em 25367  
Operação 117 na máquina 59 começando em 8542 e terminando em 9142  
Operação 118 na máquina 44 começando em 25297 e terminando em 26317  
Operação 119 na máquina 59 começando em 10342 e terminando em 10942  
Operação 120 na máquina 21 começando em 10942 e terminando em 11609  
Operação 121 na máquina 17 começando em 11303 e terminando em 11903  
Operação 122 na máquina 61 começando em 11903 e terminando em 12503  
Operação 123 na máquina 15 começando em 12503 e terminando em 13263  
Operação 124 na máquina 34 começando em 27278 e terminando em 28058  
Operação 125 na máquina 34 começando em 4134 e terminando em 5394  
Operação 126 na máquina 59 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 127 na máquina 25 começando em 600 e terminando em 3600  
Operação 128 na máquina 4 começando em 3600 e terminando em 13920  
Operação 129 na máquina 57 começando em 13920 e terminando em 15520  
Operação 130 na máquina 35 começando em 15520 e terminando em 20080  
Operação 131 na máquina 60 começando em 7559 e terminando em 8429  
Operação 132 na máquina 21 começando em 8429 e terminando em 9029  
Operação 133 na máquina 19 começando em 9029 e terminando em 9629  
Operação 134 na máquina 15 começando em 13263 e terminando em 13863

Operação 135 na máquina 58 começando em 10592 e terminando em 11192  
Operação 136 na máquina 17 começando em 11903 e terminando em 12713  
Operação 137 na máquina 44 começando em 26317 e terminando em 26917  
Operação 138 na máquina 17 começando em 8885 e terminando em 9485  
Operação 139 na máquina 61 começando em 9485 e terminando em 10155  
Operação 140 na máquina 44 começando em 21957 e terminando em 23457  
Operação 141 na máquina 34 começando em 28058 e terminando em 28804  
Operação 142 na máquina 61 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 143 na máquina 12 começando em 600 e terminando em 24540  
Operação 144 na máquina 31 começando em 24540 e terminando em 25140  
Operação 145 na máquina 28 começando em 25140 e terminando em 29070  
Operação 146 na máquina 52 começando em 29070 e terminando em 29960  
Operação 147 na máquina 39 começando em 29960 e terminando em 32660  
Operação 148 na máquina 17 começando em 600 e terminando em 1786  
Operação 149 na máquina 57 começando em 2027 e terminando em 2627  
Operação 150 na máquina 15 começando em 2627 e terminando em 5949  
Operação 151 na máquina 25 começando em 5949 e terminando em 13449  
Operação 152 na máquina 56 começando em 1200 e terminando em 10069  
Operação 153 na máquina 56 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 154 na máquina 24 começando em 600 e terminando em 3164  
Operação 155 na máquina 55 começando em 3363 e terminando em 10778  
Operação 156 na máquina 37 começando em 10778 e terminando em 24578  
Operação 157 na máquina 57 começando em 4596 e terminando em 6146  
Operação 158 na máquina 18 começando em 6146 e terminando em 6746  
Operação 159 na máquina 44 começando em 14886 e terminando em 17243  
Operação 160 na máquina 31 começando em 20387 e terminando em 21334  
Operação 161 na máquina 40 começando em 24074 e terminando em 25214  
Operação 162 na máquina 57 começando em 6146 e terminando em 7696  
Operação 163 na máquina 44 começando em 17243 e terminando em 19600  
Operação 164 na máquina 31 começando em 21334 e terminando em 22281  
Operação 165 na máquina 42 começando em 22281 e terminando em 23421  
Operação 166 na máquina 58 começando em 7214 e terminando em 8879  
Operação 167 na máquina 14 começando em 8939 e terminando em 9965  
Operação 168 na máquina 42 começando em 9965 e terminando em 12425  
Operação 169 na máquina 60 começando em 600 e terminando em 2265  
Operação 170 na máquina 14 começando em 2265 e terminando em 3291

Operação 171 na máquina 41 começando em 15947 e terminando em 18407  
Operação 172 na máquina 34 começando em 19763 e terminando em 21563  
Operação 173 na máquina 25 começando em 21563 e terminando em 22763  
Operação 174 na máquina 59 começando em 7342 e terminando em 7942  
Operação 175 na máquina 40 começando em 22874 e terminando em 24074  
Operação 176 na máquina 59 começando em 7942 e terminando em 8542  
Operação 177 na máquina 42 começando em 8542 e terminando em 9642  
Operação 178 na máquina 17 começando em 9485 e terminando em 10103  
Operação 179 na máquina 14 começando em 10103 e terminando em 11531  
Operação 180 na máquina 59 começando em 11531 e terminando em 12131  
Operação 181 na máquina 42 começando em 14825 e terminando em 15665  
Operação 182 na máquina 31 começando em 4760 e terminando em 6304  
Operação 183 na máquina 53 começando em 12203 e terminando em 14516  
Operação 184 na máquina 24 começando em 18143 e terminando em 19815  
Operação 185 na máquina 38 começando em 23287 e terminando em 25087  
Operação 186 na máquina 60 começando em 8429 e terminando em 9029  
Operação 187 na máquina 21 começando em 9029 e terminando em 9814  
Operação 188 na máquina 19 começando em 9814 e terminando em 10414  
Operação 189 na máquina 54 começando em 16198 e terminando em 16801  
Operação 190 na máquina 30 começando em 16801 e terminando em 17701  
Operação 191 na máquina 61 começando em 600 e terminando em 1347  
Operação 192 na máquina 15 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 193 na máquina 44 começando em 3136 e terminando em 4645  
Operação 194 na máquina 28 começando em 15660 e terminando em 16650  
Operação 195 na máquina 10 começando em 16650 e terminando em 20250  
Operação 196 na máquina 58 começando em 4587 e terminando em 6614  
Operação 197 na máquina 40 começando em 8147 e terminando em 13067  
Operação 198 na máquina 59 começando em 9142 e terminando em 9742  
Operação 199 na máquina 34 começando em 26453 e terminando em 27278  
Operação 200 na máquina 28 começando em 0 e terminando em 5220  
Operação 201 na máquina 61 começando em 5220 e terminando em 5820  
Operação 202 na máquina 49 começando em 20460 e terminando em 21300  
Operação 203 na máquina 10 começando em 21300 e terminando em 28660  
Operação 204 na máquina 57 começando em 9132 e terminando em 10682  
Operação 205 na máquina 17 começando em 10703 e terminando em 11303  
Operação 206 na máquina 44 começando em 19600 e terminando em 21957

Operação 207 na máquina 31 começando em 28660 e terminando em 29607  
Operação 208 na máquina 40 começando em 29607 e terminando em 30747  
Operação 209 na máquina 29 começando em 0 e terminando em 1548  
Operação 210 na máquina 50 começando em 1548 e terminando em 7308  
Operação 211 na máquina 47 começando em 7308 e terminando em 10295  
Operação 212 na máquina 50 começando em 17388 e terminando em 21438  
Operação 213 na máquina 32 começando em 21438 e terminando em 22038  
Operação 214 na máquina 47 começando em 25330 e terminando em 27738  
Operação 215 na máquina 29 começando em 1548 e terminando em 3096  
Operação 216 na máquina 50 começando em 7308 e terminando em 13068  
Operação 217 na máquina 47 começando em 14055 e terminando em 17042  
Operação 218 na máquina 50 começando em 21438 e terminando em 25488  
Operação 219 na máquina 32 começando em 25488 e terminando em 26088  
Operação 220 na máquina 47 começando em 27738 e terminando em 30146  
Operação 221 na máquina 58 começando em 0 e terminando em 2987  
Operação 222 na máquina 14 começando em 3291 e terminando em 5311  
Operação 223 na máquina 58 começando em 6614 e terminando em 7214  
Operação 224 na máquina 42 começando em 7214 e terminando em 8414  
Operação 225 na máquina 61 começando em 8414 e terminando em 9014  
Operação 226 na máquina 34 começando em 9014 e terminando em 19163  
Operação 227 na máquina 52 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 228 na máquina 33 começando em 600 e terminando em 2820  
Operação 229 na máquina 51 começando em 0 e terminando em 1800  
Operação 230 na máquina 2 começando em 1800 e terminando em 6600  
Operação 231 na máquina 5 começando em 6600 e terminando em 19200  
Operação 232 na máquina 43 começando em 19200 e terminando em 22800  
Operação 233 na máquina 34 começando em 3302 e terminando em 4134  
Operação 234 na máquina 18 começando em 4134 e terminando em 4734  
Operação 235 na máquina 15 começando em 7528 e terminando em 8596  
Operação 236 na máquina 58 começando em 11192 e terminando em 11792  
Operação 237 na máquina 49 começando em 37980 e terminando em 38880  
Operação 238 na máquina 56 começando em 10069 e terminando em 10700  
Operação 239 na máquina 33 começando em 10700 e terminando em 12734  
Operação 240 na máquina 57 começando em 0 e terminando em 2027  
Operação 241 na máquina 41 começando em 2027 e terminando em 6947  
Operação 242 na máquina 60 começando em 9629 e terminando em 10229



Operação 243 na máquina 34 começando em 25628 e terminando em 26453  
Operação 244 na máquina 28 começando em 5220 e terminando em 10440  
Operação 245 na máquina 61 começando em 10919 e terminando em 11519  
Operação 246 na máquina 49 começando em 19620 e terminando em 20460  
Operação 247 na máquina 12 começando em 24540 e terminando em 31900  
Operação 248 na máquina 42 começando em 0 e terminando em 860  
Operação 249 na máquina 30 começando em 31900 e terminando em 32920  
Operação 250 na máquina 17 começando em 8285 e terminando em 8885  
Operação 251 na máquina 15 começando em 9196 e terminando em 9796  
Operação 252 na máquina 34 começando em 23363 e terminando em 23963  
Operação 253 na máquina 61 começando em 23963 e terminando em 24563  
Operação 254 na máquina 49 começando em 36300 e terminando em 37980  
Operação 255 na máquina 18 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 256 na máquina 59 começando em 9742 e terminando em 10342  
Operação 257 na máquina 15 começando em 10342 e terminando em 11072  
Operação 258 na máquina 55 começando em 2018 e terminando em 3363  
Operação 259 na máquina 46 começando em 11378 e terminando em 17618  
Operação 260 na máquina 55 começando em 13691 e terminando em 14291  
Operação 261 na máquina 37 começando em 24578 e terminando em 25338  
Operação 262 na máquina 52 começando em 25338 e terminando em 25938  
Operação 263 na máquina 24 começando em 25938 e terminando em 26698  
Operação 264 na máquina 17 começando em 7685 e terminando em 8285  
Operação 265 na máquina 15 começando em 8596 e terminando em 9196  
Operação 266 na máquina 34 começando em 19163 e terminando em 19763  
Operação 267 na máquina 59 começando em 19763 e terminando em 20363  
Operação 268 na máquina 25 começando em 20363 e terminando em 20963  
Operação 269 na máquina 59 começando em 20963 e terminando em 21563  
Operação 270 na máquina 40 começando em 21587 e terminando em 22874  
Operação 271 na máquina 59 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 272 na máquina 44 começando em 1200 e terminando em 3136  
Operação 273 na máquina 31 começando em 3600 e terminando em 4760  
Operação 274 na máquina 58 começando em 8879 e terminando em 9479  
Operação 275 na máquina 40 começando em 13067 e terminando em 16667  
Operação 276 na máquina 57 começando em 16667 e terminando em 17267  
Operação 277 na máquina 53 começando em 26698 e terminando em 28698  
Operação 278 na máquina 34 começando em 0 e terminando em 880

Operação 279 na máquina 17 começando em 2606 e terminando em 3426  
Operação 280 na máquina 59 começando em 3426 e terminando em 5125  
Operação 281 na máquina 44 começando em 5125 e terminando em 7545  
Operação 282 na máquina 49 começando em 7980 e terminando em 19620  
Operação 283 na máquina 54 começando em 0 e terminando em 12203  
Operação 284 na máquina 54 começando em 12203 e terminando em 12803  
Operação 285 na máquina 24 começando em 12803 e terminando em 16703  
Operação 286 na máquina 48 começando em 16818 e terminando em 21618  
Operação 287 na máquina 60 começando em 2265 e terminando em 3930  
Operação 288 na máquina 14 começando em 5311 e terminando em 6337  
Operação 289 na máquina 41 começando em 18407 e terminando em 20867  
Operação 290 na máquina 34 começando em 21563 e terminando em 23363  
Operação 291 na máquina 25 começando em 23363 e terminando em 24563  
Operação 292 na máquina 61 começando em 2547 e terminando em 3147  
Operação 293 na máquina 41 começando em 25367 e terminando em 26147  
Operação 294 na máquina 31 começando em 26147 e terminando em 26747  
Operação 295 na máquina 53 começando em 21618 e terminando em 23618

## ANEXO D – DADOS DE ENTRADA DO CENÁRIO 2

NJobs = 89;

NMaquinas = 61;

**Ops** = { <1,1,0>, <2,1,1>, <3,1,2>, <4,1,3>, <5,1,4>, <6,1,5>,  
 <7,2,0>, <8,2,1>, <9,3,0>, <10,3,1>, <11,3,2>, <12,3,3>,  
 <13,4,0>, <14,4,1>, <15,4,2>, <16,5,0>, <17,5,1>, <18,6,0>,  
 <19,6,1>, <20,7,0>, <21,8,0>, <22,8,1>, <23,8,2>, <24,8,3>,  
 <25,8,4>, <26,9,0>, <27,10,0>, <28,10,1>, <29,10,2>, <30,11,0>,  
 <31,11,1>, <32,11,2>, <33,11,3>, <34,12,0>, <35,12,1>, <36,12,2>,  
 <37,12,3>, <38,12,4>, <39,12,5>, <40,13,0>, <41,14,0>, <42,14,1>,  
 <43,14,2>, <44,15,0>, <45,15,1>, <46,15,2>, <47,16,0>, <48,17,0>,  
 <49,17,1>, <50,18,0>, <51,18,1>, <52,18,2>, <53,19,0>, <54,19,1>,  
 <55,19,2>, <56,19,3>, <57,19,4>, <58,20,0>, <59,21,0>, <60,21,1>,  
 <61,21,2>, <62,21,3>, <63,21,4>, <64,21,5>, <65,22,0>, <66,22,1>,  
 <67,22,2>, <68,23,0>, <69,23,1>, <70,24,0>, <71,24,1>, <72,24,2>,  
 <73,24,3>, <74,24,4>, <75,25,0>, <76,26,0>, <77,26,1>, <78,26,2>,  
 <79,27,0>, <80,27,1>, <81,28,0>, <82,28,1>, <83,28,2>, <84,28,3>,  
 <85,28,4>, <86,28,5>, <87,29,0>, <88,29,1>, <89,29,2>, <90,30,0>,  
 <91,30,1>, <92,31,0>, <93,31,1>, <94,31,2>, <95,31,3>, <96,31,4>,  
 <97,31,5>, <98,32,0>, <99,32,1>, <100,32,2>, <101,32,3>,  
 <102,33,0>, <103,33,1>, <104,33,2>, <105,33,3>, <106,34,0>,  
 <107,34,1>, <108,34,2>, <109,35,0>, <110,35,1>, <111,35,2>,  
 <112,35,3>, <113,36,0>, <114,36,1>, <115,36,2>, <116,36,3>,  
 <117,37,0>, <118,37,1>, <119,38,0>, <120,38,1>, <121,39,0>,  
 <122,39,1>, <123,40,0>, <124,40,1>, <125,40,2>, <126,40,3>,  
 <127,41,0>, <128,41,1>, <129,41,2>, <130,42,0>, <131,42,1>,  
 <132,42,2>, <133,42,3>, <134,42,4>, <135,42,5>, <136,43,0>,  
 <137,43,1>, <138,43,2>, <139,43,3>, <140,43,4>, <141,43,5>,

$\langle 142,44,0 \rangle, \langle 143,44,1 \rangle, \langle 144,45,0 \rangle, \langle 145,45,1 \rangle, \langle 146,46,0 \rangle,$   
 $\langle 147,46,1 \rangle, \langle 148,46,2 \rangle, \langle 149,46,3 \rangle, \langle 150,47,0 \rangle, \langle 151,48,0 \rangle,$   
 $\langle 152,48,1 \rangle, \langle 153,48,2 \rangle, \langle 154,48,3 \rangle, \langle 155,49,0 \rangle, \langle 156,49,1 \rangle,$   
 $\langle 157,49,2 \rangle, \langle 158,49,3 \rangle, \langle 159,49,4 \rangle, \langle 160,49,5 \rangle, \langle 161,50,0 \rangle,$   
 $\langle 162,50,1 \rangle, \langle 163,50,2 \rangle, \langle 164,50,3 \rangle, \langle 165,50,4 \rangle, \langle 166,51,0 \rangle,$   
 $\langle 167,51,1 \rangle, \langle 168,51,2 \rangle, \langle 169,51,3 \rangle, \langle 170,51,4 \rangle, \langle 171,52,0 \rangle,$   
 $\langle 172,52,1 \rangle, \langle 173,52,2 \rangle, \langle 174,53,0 \rangle, \langle 175,53,1 \rangle, \langle 176,53,2 \rangle,$   
 $\langle 177,54,0 \rangle, \langle 178,54,1 \rangle, \langle 179,55,0 \rangle, \langle 180,55,1 \rangle, \langle 181,56,0 \rangle,$   
 $\langle 182,57,0 \rangle, \langle 183,57,1 \rangle, \langle 184,57,2 \rangle, \langle 185,58,0 \rangle, \langle 186,58,1 \rangle,$   
 $\langle 187,58,2 \rangle, \langle 188,58,3 \rangle, \langle 189,58,4 \rangle, \langle 190,58,5 \rangle, \langle 191,59,0 \rangle,$   
 $\langle 192,59,1 \rangle, \langle 193,59,2 \rangle, \langle 194,59,3 \rangle, \langle 195,59,4 \rangle, \langle 196,59,5 \rangle,$   
 $\langle 197,59,6 \rangle, \langle 198,60,0 \rangle, \langle 199,60,1 \rangle, \langle 200,61,0 \rangle, \langle 201,61,1 \rangle,$   
 $\langle 202,62,0 \rangle, \langle 203,62,1 \rangle, \langle 204,62,2 \rangle, \langle 205,63,0 \rangle, \langle 206,63,1 \rangle,$   
 $\langle 207,63,2 \rangle, \langle 208,64,0 \rangle, \langle 209,64,1 \rangle, \langle 210,64,2 \rangle, \langle 211,64,3 \rangle,$   
 $\langle 212,64,4 \rangle, \langle 213,65,0 \rangle, \langle 214,65,1 \rangle, \langle 215,65,2 \rangle, \langle 216,65,3 \rangle,$   
 $\langle 217,66,0 \rangle, \langle 218,66,1 \rangle, \langle 219,67,0 \rangle, \langle 220,67,1 \rangle, \langle 221,67,2 \rangle,$   
 $\langle 222,67,3 \rangle, \langle 223,67,4 \rangle, \langle 224,68,0 \rangle, \langle 225,69,0 \rangle, \langle 226,69,1 \rangle,$   
 $\langle 227,69,2 \rangle, \langle 228,69,3 \rangle, \langle 229,70,0 \rangle, \langle 230,70,1 \rangle, \langle 231,71,0 \rangle,$   
 $\langle 232,71,1 \rangle, \langle 233,72,0 \rangle, \langle 234,72,1 \rangle, \langle 235,72,2 \rangle, \langle 236,72,3 \rangle,$   
 $\langle 237,73,0 \rangle, \langle 238,73,1 \rangle, \langle 239,74,0 \rangle, \langle 240,74,1 \rangle, \langle 241,75,0 \rangle,$   
 $\langle 242,75,1 \rangle, \langle 243,75,2 \rangle, \langle 244,75,3 \rangle, \langle 245,76,0 \rangle, \langle 246,76,1 \rangle,$   
 $\langle 247,76,2 \rangle, \langle 248,77,0 \rangle, \langle 249,77,1 \rangle, \langle 250,78,0 \rangle, \langle 251,78,1 \rangle,$   
 $\langle 252,78,2 \rangle, \langle 253,78,3 \rangle, \langle 254,78,4 \rangle, \langle 255,79,0 \rangle, \langle 256,80,0 \rangle,$   
 $\langle 257,80,1 \rangle, \langle 258,81,0 \rangle, \langle 259,81,1 \rangle, \langle 260,81,2 \rangle, \langle 261,81,3 \rangle,$   
 $\langle 262,82,0 \rangle, \langle 263,82,1 \rangle, \langle 264,83,0 \rangle, \langle 265,84,0 \rangle, \langle 266,84,1 \rangle,$   
 $\langle 267,84,2 \rangle, \langle 268,84,3 \rangle, \langle 269,84,4 \rangle, \langle 270,85,0 \rangle, \langle 271,86,0 \rangle,$   
 $\langle 272,86,1 \rangle, \langle 273,86,2 \rangle, \langle 274,87,0 \rangle, \langle 275,87,1 \rangle, \langle 276,87,2 \rangle,$   
 $\langle 277,87,3 \rangle, \langle 278,87,4 \rangle, \langle 279,88,0 \rangle, \langle 280,88,1 \rangle, \langle 281,88,2 \rangle,$   
 $\langle 282,89,0 \rangle \};$

Modes =  $\{ \langle 1,57,1123 \rangle, \langle 1,58,1123 \rangle, \langle 1,59,1123 \rangle, \langle 1,60,1123 \rangle,$   
 $\langle 1,61,1123 \rangle, \langle 2,44,5809 \rangle, \langle 3,31,3480 \rangle, \langle 4,57,1080 \rangle,$   
 $\langle 4,58,1080 \rangle, \langle 4,59,1080 \rangle, \langle 4,60,1080 \rangle, \langle 4,61,1080 \rangle,$   
 $\langle 5,40,10800 \rangle, \langle 5,41,10800 \rangle, \langle 5,42,10800 \rangle, \langle 6,57,1380 \rangle,$   
 $\langle 6,58,1380 \rangle, \langle 6,59,1380 \rangle, \langle 6,60,1380 \rangle, \langle 6,61,1380 \rangle,$   
 $\langle 7,57,600 \rangle, \langle 7,58,600 \rangle, \langle 7,59,600 \rangle, \langle 7,60,600 \rangle, \langle 7,61,600 \rangle,$   
 $\langle 8,40,1100 \rangle, \langle 8,41,1100 \rangle, \langle 8,42,1100 \rangle, \langle 9,17,618 \rangle,$   
 $\langle 9,18,618 \rangle, \langle 10,14,1428 \rangle, \langle 11,57,600 \rangle, \langle 11,58,600 \rangle,$

<11,59,600>, <11,60,600>, <11,61,600>, <12,40,840>,  
 <12,41,840>, <12,42,840>, <13,44,754>, <14,57,600>,  
 <14,58,600>, <14,59,600>, <14,60,600>, <14,61,600>,  
 <15,40,907>, <15,41,907>, <15,42,907>, <16,57,600>,  
 <16,58,600>, <16,59,600>, <16,60,600>, <16,61,600>,  
 <17,21,600>, <18,57,600>, <18,58,600>, <18,59,600>,  
 <18,60,600>, <18,61,600>, <19,19,600>, <19,20,600>,  
 <20,31,1544>, <21,34,880>, <22,17,820>, <22,18,820>,  
 <23,57,1699>, <23,58,1699>, <23,59,1699>, <23,60,1699>,  
 <23,61,1699>, <24,44,2420>, <25,49,11640>, <26,52,12203>,  
 <26,53,12203>, <26,54,12203>, <26,55,12203>, <26,56,12203>,  
 <27,52,600>, <27,53,600>, <27,54,600>, <27,55,600>,  
 <27,56,600>, <28,24,3900>, <29,48,4800>, <30,57,600>,  
 <30,58,600>, <30,59,600>, <30,60,600>, <30,61,600>,  
 <31,17,3038>, <31,18,3038>, <32,44,1160>, <33,49,900>,  
 <34,51,2280>, <35,29,1740>, <36,26,1500>, <37,47,3760>,  
 <38,51,2680>, <39,36,1800>, <40,40,1440>, <40,41,1440>,  
 <40,42,1440>, <41,19,840>, <41,20,840>, <42,57,600>,  
 <42,58,600>, <42,59,600>, <42,60,600>, <42,61,600>,  
 <43,49,3000>, <44,17,600>, <44,18,600>, <45,57,600>,  
 <45,58,600>, <45,59,600>, <45,60,600>, <45,61,600>,  
 <46,15,1020>, <47,57,600>, <47,58,600>, <47,59,600>,  
 <47,60,600>, <47,61,600>, <48,52,600>, <48,53,600>,  
 <48,54,600>, <48,55,600>, <48,56,600>, <49,33,2220>,  
 <50,1,1900>, <51,3,8172>, <52,37,1680>, <52,38,1680>,  
 <52,39,1680>, <53,17,600>, <53,18,600>, <54,15,600>,  
 <55,34,780>, <56,57,1069>, <56,58,1069>, <56,59,1069>,  
 <56,60,1069>, <56,61,1069>, <57,10,11040>, <57,11,11040>,  
 <57,12,11040>, <58,51,780>, <59,57,1123>, <59,58,1123>,  
 <59,59,1123>, <59,60,1123>, <59,61,1123>, <60,44,5809>,  
 <61,31,3480>, <62,57,1080>, <62,58,1080>, <62,59,1080>,  
 <62,60,1080>, <62,61,1080>, <63,40,10800>, <63,41,10800>,  
 <63,42,10800>, <64,57,1380>, <64,58,1380>, <64,59,1380>,  
 <64,60,1380>, <64,61,1380>, <65,17,600>, <65,18,600>,  
 <66,57,2450>, <66,58,2450>, <66,59,2450>, <66,60,2450>,  
 <66,61,2450>, <67,15,1154>, <68,57,1654>, <68,58,1654>,  
 <68,59,1654>, <68,60,1654>, <68,61,1654>, <69,15,690>,  
 <70,57,1067>, <70,58,1067>, <70,59,1067>, <70,60,1067>,

<70,61,1067>, <71,19,1350>, <71,20,1350>, <72,34,941>,  
 <73,6,600>, <74,15,600>, <75,28,1360>, <76,52,8450>,  
 <76,53,8450>, <76,54,8450>, <76,55,8450>, <76,56,8450>,  
 <77,24,840>, <78,48,9620>, <79,52,600>, <79,53,600>,  
 <79,54,600>, <79,55,600>, <79,56,600>, <80,48,5880>,  
 <81,52,2640>, <81,53,2640>, <81,54,2640>, <81,55,2640>,  
 <81,56,2640>, <82,33,5134>, <83,24,1620>, <84,22,11520>,  
 <85,52,1140>, <85,53,1140>, <85,54,1140>, <85,55,1140>,  
 <85,56,1140>, <86,37,17820>, <86,38,17820>, <86,39,17820>,  
 <87,57,600>, <87,58,600>, <87,59,600>, <87,60,600>,  
 <87,61,600>, <88,40,1320>, <88,41,1320>, <88,42,1320>,  
 <89,31,2400>, <90,57,1053>, <90,58,1053>, <90,59,1053>,  
 <90,60,1053>, <90,61,1053>, <91,14,2544>, <92,57,600>,  
 <92,58,600>, <92,59,600>, <92,60,600>, <92,61,600>,  
 <93,25,3210>, <94,57,1204>, <94,58,1204>, <94,59,1204>,  
 <94,60,1204>, <94,61,1204>, <95,40,3960>, <95,41,3960>,  
 <95,42,3960>, <96,57,600>, <96,58,600>, <96,59,600>,  
 <96,60,600>, <96,61,600>, <97,31,3306>, <98,51,1072>,  
 <99,26,2130>, <100,47,2993>, <101,36,1980>, <102,57,870>,  
 <102,58,870>, <102,59,870>, <102,60,870>, <102,61,870>,  
 <103,21,600>, <104,19,600>, <104,20,600>, <105,15,600>,  
 <106,57,600>, <106,58,600>, <106,59,600>, <106,60,600>,  
 <106,61,600>, <107,17,810>, <107,18,810>, <108,44,600>,  
 <109,17,600>, <109,18,600>, <110,57,670>, <110,58,670>,  
 <110,59,670>, <110,60,670>, <110,61,670>, <111,44,1500>,  
 <112,34,746>, <113,57,600>, <113,58,600>, <113,59,600>,  
 <113,60,600>, <113,61,600>, <114,10,23940>, <114,11,23940>,  
 <114,12,23940>, <115,31,600>, <116,28,3930>, <117,52,890>,  
 <117,53,890>, <117,54,890>, <117,55,890>, <117,56,890>,  
 <118,37,2700>, <118,38,2700>, <118,39,2700>, <119,57,600>,  
 <119,58,600>, <119,59,600>, <119,60,600>, <119,61,600>,  
 <120,44,1260>, <121,57,2110>, <121,58,2110>, <121,59,2110>,  
 <121,60,2110>, <121,61,2110>, <122,15,1320>, <123,17,960>,  
 <123,18,960>, <124,57,600>, <124,58,600>, <124,59,600>,  
 <124,60,600>, <124,61,600>, <125,15,1380>, <126,34,821>,  
 <127,57,600>, <127,58,600>, <127,59,600>, <127,60,600>,  
 <127,61,600>, <128,28,1435>, <129,10,13800>, <129,11,13800>,  
 <129,12,13800>, <130,57,600>, <130,58,600>, <130,59,600>,

<130,60,600>, <130,61,600>, <131,14,1540>, <132,57,779>,  
 <132,58,779>, <132,59,779>, <132,60,779>, <132,61,779>,  
 <133,14,1523>, <134,57,600>, <134,58,600>, <134,59,600>,  
 <134,60,600>, <134,61,600>, <135,40,1200>, <135,41,1200>,  
 <135,42,1200>, <136,57,600>, <136,58,600>, <136,59,600>,  
 <136,60,600>, <136,61,600>, <137,14,1540>, <138,57,779>,  
 <138,58,779>, <138,59,779>, <138,60,779>, <138,61,779>,  
 <139,14,1523>, <140,57,600>, <140,58,600>, <140,59,600>,  
 <140,60,600>, <140,61,600>, <141,40,1200>, <141,41,1200>,  
 <141,42,1200>, <142,57,730>, <142,58,730>, <142,59,730>,  
 <142,60,730>, <142,61,730>, <143,10,39600>, <143,11,39600>,  
 <143,12,39600>, <144,57,600>, <144,58,600>, <144,59,600>,  
 <144,60,600>, <144,61,600>, <145,31,2160>, <146,17,1186>,  
 <146,18,1186>, <147,57,600>, <147,58,600>, <147,59,600>,  
 <147,60,600>, <147,61,600>, <148,15,3322>, <149,25,7500>,  
 <150,52,8869>, <150,53,8869>, <150,54,8869>, <150,55,8869>,  
 <150,56,8869>, <151,52,600>, <151,53,600>, <151,54,600>,  
 <151,55,600>, <151,56,600>, <152,24,2564>, <153,52,7415>,  
 <153,53,7415>, <153,54,7415>, <153,55,7415>, <153,56,7415>,  
 <154,37,13800>, <154,38,13800>, <154,39,13800>, <155,57,1123>,  
 <155,58,1123>, <155,59,1123>, <155,60,1123>, <155,61,1123>,  
 <156,44,5809>, <157,31,3480>, <158,57,1080>, <158,58,1080>,  
 <158,59,1080>, <158,60,1080>, <158,61,1080>, <159,40,10800>,  
 <159,41,10800>, <159,42,10800>, <160,57,1380>, <160,58,1380>,  
 <160,59,1380>, <160,60,1380>, <160,61,1380>, <161,57,1550>,  
 <161,58,1550>, <161,59,1550>, <161,60,1550>, <161,61,1550>,  
 <162,17,600>, <162,18,600>, <163,44,2357>, <164,31,947>,  
 <165,40,1140>, <165,41,1140>, <165,42,1140>, <166,17,2787>,  
 <166,18,2787>, <167,44,1393>, <168,40,3120>, <168,41,3120>,  
 <168,42,3120>, <169,34,1626>, <170,25,900>, <171,52,2313>,  
 <171,53,2313>, <171,54,2313>, <171,55,2313>, <171,56,2313>,  
 <172,24,1672>, <173,37,1800>, <173,38,1800>, <173,39,1800>,  
 <174,57,600>, <174,58,600>, <174,59,600>, <174,60,600>,  
 <174,61,600>, <175,21,785>, <176,19,600>, <176,20,600>,  
 <177,52,603>, <177,53,603>, <177,54,603>, <177,55,603>,  
 <177,56,603>, <178,30,900>, <179,57,600>, <179,58,600>,  
 <179,59,600>, <179,60,600>, <179,61,600>, <180,21,785>,  
 <181,52,12203>, <181,53,12203>, <181,54,12203>, <181,55,12203>,

<181,56,12203>, <182,52,600>, <182,53,600>, <182,54,600>, <182,55,600>, <182,56,600>, <183,24,3900>, <184,48,4800>, <185,51,2280>, <186,29,1740>, <187,26,1500>, <188,47,3760>, <189,51,2680>, <190,36,1800>, <191,16,600>, <192,51,2280>, <193,29,1740>, <194,32,1500>, <195,47,3760>, <196,51,2680>, <197,36,1800>, <198,57,600>, <198,58,600>, <198,59,600>, <198,60,600>, <198,61,600>, <199,44,893>, <200,57,600>, <200,58,600>, <200,59,600>, <200,60,600>, <200,61,600>, <201,14,1736>, <202,17,600>, <202,18,600>, <203,57,600>, <203,58,600>, <203,59,600>, <203,60,600>, <203,61,600>, <204,44,789>, <205,31,1089>, <206,57,600>, <206,58,600>, <206,59,600>, <206,60,600>, <206,61,600>, <207,40,1796>, <207,41,1796>, <207,42,1796>, <208,57,1308>, <208,58,1308>, <208,59,1308>, <208,60,1308>, <208,61,1308>, <209,15,600>, <210,57,600>, <210,58,600>, <210,59,600>, <210,60,600>, <210,61,600>, <211,49,2580>, <212,31,600>, <213,52,6804>, <213,53,6804>, <213,54,6804>, <213,55,6804>, <213,56,6804>, <214,46,6480>, <215,52,928>, <215,53,928>, <215,54,928>, <215,55,928>, <215,56,928>, <216,37,1080>, <216,38,1080>, <216,39,1080>, <217,52,2216>, <217,53,2216>, <217,54,2216>, <217,55,2216>, <217,56,2216>, <218,24,3180>, <219,17,600>, <219,18,600>, <220,15,750>, <221,34,780>, <222,57,600>, <222,58,600>, <222,59,600>, <222,60,600>, <222,61,600>, <223,49,2520>, <224,57,600>, <224,58,600>, <224,59,600>, <224,60,600>, <224,61,600>, <225,57,600>, <225,58,600>, <225,59,600>, <225,60,600>, <225,61,600>, <226,40,1140>, <226,41,1140>, <226,42,1140>, <227,57,600>, <227,58,600>, <227,59,600>, <227,60,600>, <227,61,600>, <228,25,1140>, <229,17,600>, <229,18,600>, <230,15,4223>, <231,57,600>, <231,58,600>, <231,59,600>, <231,60,600>, <231,61,600>, <232,34,1551>, <233,31,1151>, <234,25,998>, <235,23,5400>, <236,40,660>, <236,41,660>, <236,42,660>, <237,57,2027>, <237,58,2027>, <237,59,2027>, <237,60,2027>, <237,61,2027>, <238,40,4920>, <238,41,4920>, <238,42,4920>, <239,57,600>, <239,58,600>, <239,59,600>, <239,60,600>, <239,61,600>, <240,34,825>, <241,28,5220>, <242,57,600>, <242,58,600>, <242,59,600>, <242,60,600>, <242,61,600>, <243,49,840>, <244,10,7360>, <244,11,7360>, <244,12,7360>, <245,57,1550>,



<245,58,1550>, <245,59,1550>, <245,60,1550>, <245,61,1550>,  
 <246,17,600>, <246,18,600>, <247,44,2357>, <248,31,947>,  
 <249,40,1140>, <249,41,1140>, <249,42,1140>, <250,57,600>,  
 <250,58,600>, <250,59,600>, <250,60,600>, <250,61,600>,  
 <251,21,600>, <252,17,4332>, <252,18,4332>, <253,44,2022>,  
 <254,28,600>, <255,52,2313>, <255,53,2313>, <255,54,2313>,  
 <255,55,2313>, <255,56,2313>, <256,24,928>, <257,7,3000>,  
 <257,8,3000>, <257,9,3000>, <258,17,600>, <258,18,600>,  
 <259,15,1427>, <260,57,600>, <260,58,600>, <260,59,600>,  
 <260,60,600>, <260,61,600>, <261,40,1080>, <261,41,1080>,  
 <261,42,1080>, <262,52,2313>, <262,53,2313>, <262,54,2313>,  
 <262,55,2313>, <262,56,2313>, <263,27,600>, <264,7,6300>,  
 <264,8,6300>, <264,9,6300>, <265,34,880>, <266,17,820>,  
 <266,18,820>, <267,57,1699>, <267,58,1699>, <267,59,1699>,  
 <267,60,1699>, <267,61,1699>, <268,44,2420>, <269,49,11640>,  
 <270,52,12203>, <270,53,12203>, <270,54,12203>, <270,55,12203>,  
 <270,56,12203>, <271,52,600>, <271,53,600>, <271,54,600>,  
 <271,55,600>, <271,56,600>, <272,24,3900>, <273,48,4800>,  
 <274,57,1665>, <274,58,1665>, <274,59,1665>, <274,60,1665>,  
 <274,61,1665>, <275,14,1026>, <276,40,2460>, <276,41,2460>,  
 <276,42,2460>, <277,34,1800>, <278,25,1200>, <279,57,600>,  
 <279,58,600>, <279,59,600>, <279,60,600>, <279,61,600>,  
 <280,40,780>, <280,41,780>, <280,42,780>, <281,31,600>,  
 <282,52,2000>, <282,53,2000>, <282,54,2000>, <282,55,2000>,  
 <282,56,2000>};

Montagens = {<7,2>, <7,3>, <7,4>, <7,5>, <7,6>, <10,8>, <10,9>, <12,11>,  
 <18,13>, <18,14>, <18,15>, <18,16>, <18,17>, <27,22>,  
 <27,23>, <27,24>, <27,25>, <27,26>, <31,30>, <36,33>,  
 <36,34>, <36,35>, <37,36>, <41,38>, <41,39>, <41,40>,  
 <45,41>, <45,42>, <45,43>, <45,44>, <48,46>, <48,47>,  
 <54,52>, <54,53>, <57,55>, <57,56>, <63,60>, <63,61>,  
 <63,62>, <66,63>, <66,64>, <66,65>, <69,67>, <69,68>,  
 <72,70>, <72,71>, <75,73>, <75,74>, <77,75>, <77,76>,  
 <80,78>, <80,79>, <83,81>, <83,82>, <86,84>, <86,85>,  
 <89,86>, <89,87>, <89,88>};

## ANEXO E – DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO DO CENÁRIO 2

Operação 1 na máquina 57 começando em 600 e terminando em 1723  
Operação 2 na máquina 44 começando em 15891 e terminando em 21700  
Operação 3 na máquina 31 começando em 21700 e terminando em 25180  
Operação 4 na máquina 57 começando em 25180 e terminando em 26260  
Operação 5 na máquina 40 começando em 26260 e terminando em 37060  
Operação 6 na máquina 61 começando em 37060 e terminando em 38440  
Operação 7 na máquina 60 começando em 9062 e terminando em 9662  
Operação 8 na máquina 42 começando em 14258 e terminando em 15358  
Operação 9 na máquina 17 começando em 12937 e terminando em 13555  
Operação 10 na máquina 14 começando em 13555 e terminando em 14983  
Operação 11 na máquina 57 começando em 14983 e terminando em 15583  
Operação 12 na máquina 42 começando em 15583 e terminando em 16423  
Operação 13 na máquina 44 começando em 0 e terminando em 754  
Operação 14 na máquina 60 começando em 10262 e terminando em 10862  
Operação 15 na máquina 41 começando em 12360 e terminando em 13267  
Operação 16 na máquina 61 começando em 9453 e terminando em 10053  
Operação 17 na máquina 21 começando em 10053 e terminando em 10653  
Operação 18 na máquina 60 começando em 10862 e terminando em 11462  
Operação 19 na máquina 20 começando em 11462 e terminando em 12062  
Operação 20 na máquina 31 começando em 2240 e terminando em 3784  
Operação 21 na máquina 34 começando em 880 e terminando em 1760  
Operação 22 na máquina 18 começando em 1800 e terminando em 2620  
Operação 23 na máquina 61 começando em 3705 e terminando em 5404  
Operação 24 na máquina 44 começando em 21700 e terminando em 24120  
Operação 25 na máquina 49 começando em 27531 e terminando em 39171  
Operação 26 na máquina 56 começando em 2640 e terminando em 14843

Operação 27 na máquina 53 começando em 16454 e terminando em 17054  
Operação 28 na máquina 24 começando em 17599 e terminando em 21499  
Operação 29 na máquina 48 começando em 25734 e terminando em 30534  
Operação 30 na máquina 57 começando em 1723 e terminando em 2323  
Operação 31 na máquina 18 começando em 2620 e terminando em 5658  
Operação 32 na máquina 44 começando em 33749 e terminando em 34909  
Operação 33 na máquina 49 começando em 39171 e terminando em 40071  
Operação 34 na máquina 51 começando em 4560 e terminando em 6840  
Operação 35 na máquina 29 começando em 6840 e terminando em 8580  
Operação 36 na máquina 26 começando em 10042 e terminando em 11542  
Operação 37 na máquina 47 começando em 13040 e terminando em 16800  
Operação 38 na máquina 51 começando em 16800 e terminando em 19480  
Operação 39 na máquina 36 começando em 21773 e terminando em 23573  
Operação 40 na máquina 40 começando em 0 e terminando em 1440  
Operação 41 na máquina 20 começando em 0 e terminando em 840  
Operação 42 na máquina 60 começando em 5008 e terminando em 5608  
Operação 43 na máquina 49 começando em 6844 e terminando em 9844  
Operação 44 na máquina 18 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 45 na máquina 60 começando em 9662 e terminando em 10262  
Operação 46 na máquina 15 começando em 11730 e terminando em 12750  
Operação 47 na máquina 61 começando em 10053 e terminando em 10653  
Operação 48 na máquina 53 começando em 17654 e terminando em 18254  
Operação 49 na máquina 33 começando em 18254 e terminando em 20474  
Operação 50 na máquina 1 começando em 0 e terminando em 1900  
Operação 51 na máquina 3 começando em 1900 e terminando em 10072  
Operação 52 na máquina 38 começando em 10072 e terminando em 11752  
Operação 53 na máquina 18 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 54 na máquina 15 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 55 na máquina 34 começando em 1760 e terminando em 2540  
Operação 56 na máquina 58 começando em 3576 e terminando em 4645  
Operação 57 na máquina 11 começando em 24540 e terminando em 35580  
Operação 58 na máquina 51 começando em 7912 e terminando em 8692  
Operação 59 na máquina 58 começando em 1853 e terminando em 2976  
Operação 60 na máquina 44 começando em 7662 e terminando em 13471  
Operação 61 na máquina 31 começando em 13542 e terminando em 17022  
Operação 62 na máquina 61 começando em 17022 e terminando em 18102

Operação 63 na máquina 41 começando em 18102 e terminando em 28902  
Operação 64 na máquina 60 começando em 28902 e terminando em 30282  
Operação 65 na máquina 17 começando em 10177 e terminando em 10777  
Operação 66 na máquina 57 começando em 10777 e terminando em 13227  
Operação 67 na máquina 15 começando em 15557 e terminando em 16711  
Operação 68 na máquina 60 começando em 6208 e terminando em 7862  
Operação 69 na máquina 15 começando em 16711 e terminando em 17401  
Operação 70 na máquina 61 começando em 600 e terminando em 1667  
Operação 71 na máquina 20 começando em 1667 e terminando em 3017  
Operação 72 na máquina 34 começando em 3320 e terminando em 4261  
Operação 73 na máquina 6 começando em 4261 e terminando em 4861  
Operação 74 na máquina 15 começando em 18001 e terminando em 18601  
Operação 75 na máquina 28 começando em 6655 e terminando em 8015  
Operação 76 na máquina 53 começando em 600 e terminando em 9050  
Operação 77 na máquina 24 começando em 9394 e terminando em 10234  
Operação 78 na máquina 48 começando em 10234 e terminando em 19854  
Operação 79 na máquina 53 começando em 17054 e terminando em 17654  
Operação 80 na máquina 48 começando em 19854 e terminando em 25734  
Operação 81 na máquina 56 começando em 0 e terminando em 2640  
Operação 82 na máquina 33 começando em 2640 e terminando em 7774  
Operação 83 na máquina 24 começando em 7774 e terminando em 9394  
Operação 84 na máquina 22 começando em 9394 e terminando em 20914  
Operação 85 na máquina 53 começando em 20914 e terminando em 22054  
Operação 86 na máquina 38 começando em 22054 e terminando em 39874  
Operação 87 na máquina 61 começando em 6604 e terminando em 7204  
Operação 88 na máquina 40 começando em 7204 e terminando em 8524  
Operação 89 na máquina 31 começando em 11142 e terminando em 13542  
Operação 90 na máquina 59 começando em 2265 e terminando em 3318  
Operação 91 na máquina 14 começando em 3318 e terminando em 5862  
Operação 92 na máquina 58 começando em 2976 e terminando em 3576  
Operação 93 na máquina 25 começando em 3576 e terminando em 6786  
Operação 94 na máquina 57 começando em 6786 e terminando em 7990  
Operação 95 na máquina 41 começando em 8400 e terminando em 12360  
Operação 96 na máquina 58 começando em 12360 e terminando em 12960  
Operação 97 na máquina 31 começando em 17022 e terminando em 20328  
Operação 98 na máquina 51 começando em 6840 e terminando em 7912

Operação 99 na máquina 26 começando em 7912 e terminando em 10042  
Operação 100 na máquina 47 começando em 16800 e terminando em 19793  
Operação 101 na máquina 36 começando em 19793 e terminando em 21773  
Operação 102 na máquina 61 começando em 7983 e terminando em 8853  
Operação 103 na máquina 21 começando em 9247 e terminando em 9847  
Operação 104 na máquina 20 começando em 9847 e terminando em 10447  
Operação 105 na máquina 15 começando em 17401 e terminando em 18001  
Operação 106 na máquina 61 começando em 8853 e terminando em 9453  
Operação 107 na máquina 18 começando em 9453 e terminando em 10263  
Operação 108 na máquina 44 começando em 37851 e terminando em 38451  
Operação 109 na máquina 17 começando em 12337 e terminando em 12937  
Operação 110 na máquina 58 começando em 12960 e terminando em 13630  
Operação 111 na máquina 44 começando em 32249 e terminando em 33749  
Operação 112 na máquina 34 começando em 33749 e terminando em 34495  
Operação 113 na máquina 57 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 114 na máquina 11 começando em 600 e terminando em 24540  
Operação 115 na máquina 31 começando em 25180 e terminando em 25780  
Operação 116 na máquina 28 começando em 25780 e terminando em 29710  
Operação 117 na máquina 53 começando em 30923 e terminando em 31813  
Operação 118 na máquina 39 começando em 36058 e terminando em 38758  
Operação 119 na máquina 59 começando em 7228 e terminando em 7828  
Operação 120 na máquina 44 começando em 34909 e terminando em 36169  
Operação 121 na máquina 59 começando em 3918 e terminando em 6028  
Operação 122 na máquina 15 começando em 10410 e terminando em 11730  
Operação 123 na máquina 17 começando em 10777 e terminando em 11737  
Operação 124 na máquina 61 começando em 11737 e terminando em 12337  
Operação 125 na máquina 15 começando em 14177 e terminando em 15557  
Operação 126 na máquina 34 começando em 15557 e terminando em 16378  
Operação 127 na máquina 60 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 128 na máquina 28 começando em 5220 e terminando em 6655  
Operação 129 na máquina 10 começando em 6655 e terminando em 20455  
Operação 130 na máquina 58 começando em 7272 e terminando em 7872  
Operação 131 na máquina 14 começando em 7872 e terminando em 9412  
Operação 132 na máquina 58 começando em 9412 e terminando em 10191  
Operação 133 na máquina 14 começando em 10935 e terminando em 12458  
Operação 134 na máquina 61 começando em 12458 e terminando em 13058

Operação 135 na máquina 42 começando em 13058 e terminando em 14258  
Operação 136 na máquina 61 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 137 na máquina 14 começando em 600 e terminando em 2140  
Operação 138 na máquina 61 começando em 7204 e terminando em 7983  
Operação 139 na máquina 14 começando em 9412 e terminando em 10935  
Operação 140 na máquina 58 começando em 10935 e terminando em 11535  
Operação 141 na máquina 40 começando em 11535 e terminando em 12735  
Operação 142 na máquina 58 começando em 0 e terminando em 730  
Operação 143 na máquina 12 começando em 730 e terminando em 40330  
Operação 144 na máquina 57 começando em 20455 e terminando em 21055  
Operação 145 na máquina 31 começando em 25780 e terminando em 27940  
Operação 146 na máquina 17 começando em 0 e terminando em 1186  
Operação 147 na máquina 59 começando em 1665 e terminando em 2265  
Operação 148 na máquina 15 começando em 2265 e terminando em 5587  
Operação 149 na máquina 25 começando em 6786 e terminando em 14286  
Operação 150 na máquina 53 começando em 22054 e terminando em 30923  
Operação 151 na máquina 53 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 152 na máquina 24 começando em 600 e terminando em 3164  
Operação 153 na máquina 56 começando em 14843 e terminando em 22258  
Operação 154 na máquina 39 começando em 22258 e terminando em 36058  
Operação 155 na máquina 58 começando em 730 e terminando em 1853  
Operação 156 na máquina 44 começando em 1853 e terminando em 7662  
Operação 157 na máquina 31 começando em 7662 e terminando em 11142  
Operação 158 na máquina 59 começando em 11142 e terminando em 12222  
Operação 159 na máquina 40 começando em 12735 e terminando em 23535  
Operação 160 na máquina 58 começando em 23535 e terminando em 24915  
Operação 161 na máquina 60 começando em 600 e terminando em 2150  
Operação 162 na máquina 18 começando em 5658 e terminando em 6258  
Operação 163 na máquina 44 começando em 25513 e terminando em 27870  
Operação 164 na máquina 31 começando em 28887 e terminando em 29834  
Operação 165 na máquina 40 começando em 38200 e terminando em 39340  
Operação 166 na máquina 17 começando em 2006 e terminando em 4793  
Operação 167 na máquina 44 começando em 24120 e terminando em 25513  
Operação 168 na máquina 41 começando em 28902 e terminando em 32022  
Operação 169 na máquina 34 começando em 32022 e terminando em 33648  
Operação 170 na máquina 25 começando em 33648 e terminando em 34548

Operação 171 na máquina 55 começando em 0 e terminando em 2313  
Operação 172 na máquina 24 começando em 4092 e terminando em 5764  
Operação 173 na máquina 39 começando em 5764 e terminando em 7564  
Operação 174 na máquina 60 começando em 7862 e terminando em 8462  
Operação 175 na máquina 21 começando em 8462 e terminando em 9247  
Operação 176 na máquina 20 começando em 9247 e terminando em 9847  
Operação 177 na máquina 52 começando em 12203 e terminando em 12806  
Operação 178 na máquina 30 começando em 12806 e terminando em 13706  
Operação 179 na máquina 58 começando em 10191 e terminando em 10791  
Operação 180 na máquina 21 começando em 10791 e terminando em 11576  
Operação 181 na máquina 54 começando em 0 e terminando em 12203  
Operação 182 na máquina 53 começando em 15854 e terminando em 16454  
Operação 183 na máquina 24 começando em 21499 e terminando em 25399  
Operação 184 na máquina 48 começando em 35334 e terminando em 40134  
Operação 185 na máquina 51 começando em 0 e terminando em 2280  
Operação 186 na máquina 29 começando em 2280 e terminando em 4020  
Operação 187 na máquina 26 começando em 4020 e terminando em 5520  
Operação 188 na máquina 47 começando em 5520 e terminando em 9280  
Operação 189 na máquina 51 começando em 9280 e terminando em 11960  
Operação 190 na máquina 36 começando em 11960 e terminando em 13760  
Operação 191 na máquina 16 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 192 na máquina 51 começando em 2280 e terminando em 4560  
Operação 193 na máquina 29 começando em 4560 e terminando em 6300  
Operação 194 na máquina 32 começando em 6300 e terminando em 7800  
Operação 195 na máquina 47 começando em 9280 e terminando em 13040  
Operação 196 na máquina 51 começando em 13040 e terminando em 15720  
Operação 197 na máquina 36 começando em 15720 e terminando em 17520  
Operação 198 na máquina 58 começando em 8472 e terminando em 9072  
Operação 199 na máquina 44 começando em 36169 e terminando em 37062  
Operação 200 na máquina 57 começando em 2323 e terminando em 2923  
Operação 201 na máquina 14 começando em 5862 e terminando em 7598  
Operação 202 na máquina 18 começando em 6258 e terminando em 6858  
Operação 203 na máquina 59 começando em 8428 e terminando em 9028  
Operação 204 na máquina 44 começando em 37062 e terminando em 37851  
Operação 205 na máquina 31 começando em 0 e terminando em 1089  
Operação 206 na máquina 61 começando em 6004 e terminando em 6604

Operação 207 na máquina 41 começando em 6604 e terminando em 8400  
Operação 208 na máquina 60 começando em 2150 e terminando em 3458  
Operação 209 na máquina 15 começando em 5587 e terminando em 6187  
Operação 210 na máquina 58 começando em 7872 e terminando em 8472  
Operação 211 na máquina 49 começando em 9844 e terminando em 12424  
Operação 212 na máquina 31 começando em 20928 e terminando em 21528  
Operação 213 na máquina 53 começando em 9050 e terminando em 15854  
Operação 214 na máquina 46 começando em 15854 e terminando em 22334  
Operação 215 na máquina 56 começando em 25171 e terminando em 26099  
Operação 216 na máquina 37 começando em 26099 e terminando em 27179  
Operação 217 na máquina 54 começando em 12203 e terminando em 14419  
Operação 218 na máquina 24 começando em 14419 e terminando em 17599  
Operação 219 na máquina 18 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 220 na máquina 15 começando em 1200 e terminando em 1950  
Operação 221 na máquina 34 começando em 2540 e terminando em 3320  
Operação 222 na máquina 60 começando em 5608 e terminando em 6208  
Operação 223 na máquina 49 começando em 12424 e terminando em 14944  
Operação 224 na máquina 60 começando em 11462 e terminando em 12062  
Operação 225 na máquina 59 começando em 3318 e terminando em 3918  
Operação 226 na máquina 42 começando em 3918 e terminando em 5058  
Operação 227 na máquina 60 começando em 8462 e terminando em 9062  
Operação 228 na máquina 25 começando em 15486 e terminando em 16626  
Operação 229 na máquina 17 começando em 4793 e terminando em 5393  
Operação 230 na máquina 15 começando em 6187 e terminando em 10410  
Operação 231 na máquina 59 começando em 6028 e terminando em 6628  
Operação 232 na máquina 34 começando em 7426 e terminando em 8977  
Operação 233 na máquina 31 começando em 1089 e terminando em 2240  
Operação 234 na máquina 25 começando em 2240 e terminando em 3238  
Operação 235 na máquina 23 começando em 3238 e terminando em 8638  
Operação 236 na máquina 40 começando em 8638 e terminando em 9298  
Operação 237 na máquina 58 começando em 5245 e terminando em 7272  
Operação 238 na máquina 42 começando em 7272 e terminando em 12192  
Operação 239 na máquina 59 começando em 7828 e terminando em 8428  
Operação 240 na máquina 34 começando em 8977 e terminando em 9802  
Operação 241 na máquina 28 começando em 0 e terminando em 5220  
Operação 242 na máquina 61 começando em 5404 e terminando em 6004



Operação 243 na máquina 49 começando em 6004 e terminando em 6844  
Operação 244 na máquina 10 começando em 20455 e terminando em 27815  
Operação 245 na máquina 60 começando em 3458 e terminando em 5008  
Operação 246 na máquina 17 começando em 13555 e terminando em 14155  
Operação 247 na máquina 44 começando em 29892 e terminando em 32249  
Operação 248 na máquina 31 começando em 27940 e terminando em 28887  
Operação 249 na máquina 40 começando em 37060 e terminando em 38200  
Operação 250 na máquina 58 começando em 4645 e terminando em 5245  
Operação 251 na máquina 21 começando em 5245 e terminando em 5845  
Operação 252 na máquina 17 começando em 5845 e terminando em 10177  
Operação 253 na máquina 44 começando em 27870 e terminando em 29892  
Operação 254 na máquina 28 começando em 29892 e terminando em 30492  
Operação 255 na máquina 56 começando em 22858 e terminando em 25171  
Operação 256 na máquina 24 começando em 3164 e terminando em 4092  
Operação 257 na máquina 8 começando em 6300 e terminando em 9300  
Operação 258 na máquina 17 começando em 11737 e terminando em 12337  
Operação 259 na máquina 15 começando em 12750 e terminando em 14177  
Operação 260 na máquina 60 começando em 14177 e terminando em 14777  
Operação 261 na máquina 40 começando em 23535 e terminando em 24615  
Operação 262 na máquina 55 começando em 2313 e terminando em 4626  
Operação 263 na máquina 27 começando em 4626 e terminando em 5226  
Operação 264 na máquina 8 começando em 0 e terminando em 6300  
Operação 265 na máquina 34 começando em 0 e terminando em 880  
Operação 266 na máquina 17 começando em 1186 e terminando em 2006  
Operação 267 na máquina 61 começando em 2006 e terminando em 3705  
Operação 268 na máquina 44 começando em 13471 e terminando em 15891  
Operação 269 na máquina 49 começando em 15891 e terminando em 27531  
Operação 270 na máquina 52 começando em 0 e terminando em 12203  
Operação 271 na máquina 56 começando em 22258 e terminando em 22858  
Operação 272 na máquina 24 começando em 25399 e terminando em 29299  
Operação 273 na máquina 48 começando em 30534 e terminando em 35334  
Operação 274 na máquina 59 começando em 0 e terminando em 1665  
Operação 275 na máquina 14 começando em 2140 e terminando em 3166  
Operação 276 na máquina 40 começando em 3166 e terminando em 5626  
Operação 277 na máquina 34 começando em 5626 e terminando em 7426  
Operação 278 na máquina 25 começando em 14286 e terminando em 15486

Operação 279 na máquina 59 começando em 6628 e terminando em 7228

Operação 280 na máquina 42 começando em 12192 e terminando em 12972

Operação 281 na máquina 31 começando em 20328 e terminando em 20928

Operação 282 na máquina 53 começando em 35334 e terminando em 37334

## ANEXO F – DADOS DE ENTRADA DO CENÁRIO 3

NJobs = 110;

NMaquinas = 61;

**Ops** = { <1,1,0>, <2,1,1>, <3,1,2>, <4,1,3>, <5,1,4>, <6,2,0>, <7,3,0>, <8,3,1>, <9,3,2>, <10,4,0>, <11,4,1>, <12,4,2>, <13,4,3>, <14,4,4>, <15,5,0>, <16,5,1>, <17,5,2>, <18,5,3>, <19,6,0>, <20,6,1>, <21,7,0>, <22,8,0>, <23,8,1>, <24,9,0>, <25,9,1>, <26,10,0>, <27,10,1>, <28,10,2>, <29,11,0>, <30,11,1>, <31,12,0>, <32,12,1>, <33,13,0>, <34,13,1>, <35,14,0>, <36,14,1>, <37,14,2>, <38,14,3>, <39,15,0>, <40,15,1>, <41,16,0>, <42,16,1>, <43,17,0>, <44,17,1>, <45,18,0>, <46,19,0>, <47,19,1>, <48,19,2>, <49,20,0>, <50,20,1>, <51,20,2>, <52,21,0>, <53,22,0>, <54,22,1>, <55,23,0>, <56,23,1>, <57,23,2>, <58,24,0>, <59,24,1>, <60,25,0>, <61,25,1>, <62,25,2>, <63,26,0>, <64,27,0>, <65,27,1>, <66,27,2>, <67,27,3>, <68,27,4>, <69,27,5>, <70,27,6>, <71,28,0>, <72,28,1>, <73,28,2>, <74,29,0>, <75,29,1>, <76,29,2>, <77,30,0>, <78,30,1>, <79,30,2>, <80,31,0>, <81,31,1>, <82,32,0>, <83,32,1>, <84,33,0>, <85,34,0>, <86,34,1>, <87,35,0>, <88,35,1>, <89,35,2>, <90,35,3>, <91,35,4>, <92,35,5>, <93,36,0>, <94,36,1>, <95,37,0>, <96,37,1>, <97,38,0>, <98,38,1>, <99,38,2>, <100,38,3>, <101,39,0>, <102,39,1>, <103,39,2>, <104,39,3>, <105,40,0>, <106,40,1>, <107,41,0>, <108,41,1>, <109,42,0>, <110,42,1>, <111,43,0>, <112,43,1>, <113,43,2>, <114,44,0>, <115,44,1>, <116,44,2>, <117,45,0>, <118,46,0>, <119,46,1>, <120,46,2>, <121,47,0>, <122,47,1>, <123,48,0>, <124,48,1>, <125,48,2>, <126,49,0>, <127,49,1>, <128,49,2>, <129,49,3>, <130,50,0>,

<131,50,1>, <132,50,2>, <133,51,0>, <134,51,1>, <135,51,2>,  
 <136,51,3>, <137,52,0>, <138,52,1>, <139,52,2>, <140,52,3>,  
 <141,53,0>, <142,53,1>, <143,54,0>, <144,54,1>, <145,54,2>,  
 <146,54,3>, <147,55,0>, <148,56,0>, <149,56,1>, <150,56,2>,  
 <151,56,3>, <152,57,0>, <153,57,1>, <154,57,2>, <155,58,0>,  
 <156,58,1>, <157,58,2>, <158,59,0>, <159,59,1>, <160,59,2>,  
 <161,60,0>, <162,61,0>, <163,61,1>, <164,61,2>, <165,62,0>,  
 <166,62,1>, <167,62,2>, <168,62,3>, <169,62,4>, <170,62,5>,  
 <171,62,6>, <172,63,0>, <173,63,1>, <174,64,0>, <175,64,1>,  
 <176,64,2>, <177,65,0>, <178,65,1>, <179,65,2>, <180,65,3>,  
 <181,66,0>, <182,66,1>, <183,66,2>, <184,66,3>, <185,66,4>,  
 <186,66,5>, <187,67,0>, <188,67,1>, <189,67,2>, <190,67,3>,  
 <191,68,0>, <192,68,1>, <193,69,0>, <194,69,1>, <195,69,2>,  
 <196,70,0>, <197,70,1>, <198,70,2>, <199,70,3>, <200,70,4>,  
 <201,71,0>, <202,71,1>, <203,71,2>, <204,71,3>, <205,71,4>,  
 <206,71,5>, <207,72,0>, <208,72,1>, <209,72,2>, <210,72,3>,  
 <211,72,4>, <212,73,0>, <213,73,1>, <214,74,0>, <215,74,1>,  
 <216,74,2>, <217,75,0>, <218,75,1>, <219,76,0>, <220,76,1>,  
 <221,76,2>, <222,76,3>, <223,76,4>, <224,76,5>, <225,76,6>  
 <226,77,0>, <227,77,1>, <228,77,2>, <229,77,3>, <230,77,4>,  
 <231,78,0>, <232,79,0>, <233,79,1>, <234,79,2>, <235,79,3>,  
 <236,80,0>, <237,80,1>, <238,81,0>, <239,81,1>, <240,82,0>,  
 <241,82,1>, <242,82,2>, <243,82,3>, <244,83,0>, <245,83,1>,  
 <246,83,2>, <247,84,0>, <248,84,1>, <249,85,0>, <250,85,1>,  
 <251,85,2>, <252,85,3>, <253,85,4>, <254,85,5>, <255,86,0>,  
 <256,86,1>, <257,86,2>, <258,86,3>, <259,87,0>, <260,87,1>,  
 <261,88,0>, <262,89,0>, <263,89,1>, <264,89,2>, <265,89,3>,  
 <266,90,0>, <267,91,0>, <268,91,1>, <269,92,0>, <270,92,1>,  
 <271,93,0>, <272,93,1>, <273,93,2>, <274,93,3>, <275,93,4>,  
 <276,94,0>, <277,95,0>, <278,95,1>, <279,95,2>, <280,96,0>,  
 <281,96,1>, <282,96,2>, <283,96,3>, <284,96,4>, <285,97,0>,  
 <286,97,1>, <287,97,2>, <288,98,0>, <289,99,0>, <290,99,1>,  
 <291,99,2>, <292,99,3>, <293,99,4>, <294,100,0>, <295,100,1>,  
 <296,100,2>, <297,100,3>, <298,100,4>, <299,101,0>,  
 <300,101,1>, <301,102,0>, <302,102,1>, <303,102,2>,  
 <304,102,3>, <305,102,4>, <306,102,5>, <307,103,0>,  
 <308,104,0>, <309,104,1>, <310,104,2>, <311,104,3>,  
 <312,104,4>, <313,105,0>, <314,105,1>, <315,105,2>,

$\langle 316,106,0 \rangle$ ,  $\langle 317,106,1 \rangle$ ,  $\langle 318,107,0 \rangle$ ,  $\langle 319,107,1 \rangle$ ,  
 $\langle 320,107,2 \rangle$ ,  $\langle 321,107,3 \rangle$ ,  $\langle 322,108,0 \rangle$ ,  $\langle 323,108,1 \rangle$ ,  
 $\langle 324,108,2 \rangle$ ,  $\langle 325,108,3 \rangle$ ,  $\langle 326,108,4 \rangle$ ,  $\langle 327,108,5 \rangle$ ,  
 $\langle 328,108,6 \rangle$ ,  $\langle 329,109,0 \rangle$ ,  $\langle 330,109,1 \rangle$ ,  $\langle 331,109,2 \rangle$ ,  
 $\langle 332,109,3 \rangle$ ,  $\langle 333,109,4 \rangle$ ,  $\langle 334,109,5 \rangle$ ,  $\langle 335,110,0 \rangle$ };

Modes = {  $\langle 1,34,880 \rangle$ ,  $\langle 2,17,820 \rangle$ ,  $\langle 2,18,820 \rangle$ ,  $\langle 3,57,1699 \rangle$ ,  $\langle 3,58,1699 \rangle$ ,  
 $\langle 3,59,1699 \rangle$ ,  $\langle 3,60,1699 \rangle$ ,  $\langle 3,61,1699 \rangle$ ,  $\langle 4,44,2420 \rangle$ ,  
 $\langle 5,49,11640 \rangle$ ,  $\langle 6,52,12203 \rangle$ ,  $\langle 6,53,12203 \rangle$ ,  $\langle 6,54,12203 \rangle$ ,  
 $\langle 6,55,12203 \rangle$ ,  $\langle 6,56,12203 \rangle$ ,  $\langle 7,52,150 \rangle$ ,  $\langle 7,53,150 \rangle$ ,  
 $\langle 7,54,150 \rangle$ ,  $\langle 7,55,150 \rangle$ ,  $\langle 7,56,150 \rangle$ ,  $\langle 8,24,3900 \rangle$ ,  $\langle 9,48,4800 \rangle$ ,  
 $\langle 10,34,832 \rangle$ ,  $\langle 11,17,340 \rangle$ ,  $\langle 11,18,340 \rangle$ ,  $\langle 12,15,1068 \rangle$ ,  
 $\langle 13,57,375 \rangle$ ,  $\langle 13,58,375 \rangle$ ,  $\langle 13,59,375 \rangle$ ,  $\langle 13,60,375 \rangle$ ,  $\langle 13,61,375 \rangle$ ,  
 $\langle 14,49,900 \rangle$ ,  $\langle 15,57,207 \rangle$ ,  $\langle 15,58,207 \rangle$ ,  $\langle 15,59,207 \rangle$ ,  $\langle 15,60,207 \rangle$ ,  
 $\langle 15,61,207 \rangle$ ,  $\langle 16,17,2812 \rangle$ ,  $\langle 16,18,2812 \rangle$ ,  $\langle 17,44,984 \rangle$ ,  
 $\langle 18,40,1125 \rangle$ ,  $\langle 18,41,1125 \rangle$ ,  $\langle 18,42,1125 \rangle$ ,  $\langle 19,57,319 \rangle$ ,  
 $\langle 19,58,319 \rangle$ ,  $\langle 19,59,319 \rangle$ ,  $\langle 19,60,319 \rangle$ ,  $\langle 19,61,319 \rangle$ ,  $\langle 20,40,900 \rangle$ ,  
 $\langle 20,41,900 \rangle$ ,  $\langle 20,42,900 \rangle$ ,  $\langle 21,52,631 \rangle$ ,  $\langle 21,53,631 \rangle$ ,  $\langle 21,54,631 \rangle$ ,  
 $\langle 21,55,631 \rangle$ ,  $\langle 21,56,631 \rangle$ ,  $\langle 22,33,2034 \rangle$ ,  $\langle 23,7,20040 \rangle$ ,  
 $\langle 23,8,20040 \rangle$ ,  $\langle 23,9,20040 \rangle$ ,  $\langle 24,57,747 \rangle$ ,  $\langle 24,58,747 \rangle$ ,  
 $\langle 24,59,747 \rangle$ ,  $\langle 24,60,747 \rangle$ ,  $\langle 24,61,747 \rangle$ ,  $\langle 25,40,2880 \rangle$ ,  
 $\langle 25,41,2880 \rangle$ ,  $\langle 25,42,2880 \rangle$ ,  $\langle 26,17,580 \rangle$ ,  $\langle 26,18,580 \rangle$ ,  
 $\langle 27,57,527 \rangle$ ,  $\langle 27,58,527 \rangle$ ,  $\langle 27,59,527 \rangle$ ,  $\langle 27,60,527 \rangle$ ,  $\langle 27,61,527 \rangle$ ,  
 $\langle 28,14,1480 \rangle$ ,  $\langle 29,57,2150 \rangle$ ,  $\langle 29,58,2150 \rangle$ ,  $\langle 29,59,2150 \rangle$ ,  
 $\langle 29,60,2150 \rangle$ ,  $\langle 29,61,2150 \rangle$ ,  $\langle 30,21,680 \rangle$ ,  $\langle 31,57,676 \rangle$ ,  
 $\langle 31,58,676 \rangle$ ,  $\langle 31,59,676 \rangle$ ,  $\langle 31,60,676 \rangle$ ,  $\langle 31,61,676 \rangle$ ,  $\langle 32,6,1500 \rangle$ ,  
 $\langle 33,57,215 \rangle$ ,  $\langle 33,58,215 \rangle$ ,  $\langle 33,59,215 \rangle$ ,  $\langle 33,60,215 \rangle$ ,  $\langle 33,61,215 \rangle$ ,  
 $\langle 34,25,1260 \rangle$ ,  $\langle 35,17,260 \rangle$ ,  $\langle 35,18,260 \rangle$ ,  $\langle 36,44,680 \rangle$ ,  $\langle 37,57,172 \rangle$ ,  
 $\langle 37,58,172 \rangle$ ,  $\langle 37,59,172 \rangle$ ,  $\langle 37,60,172 \rangle$ ,  $\langle 37,61,172 \rangle$ ,  $\langle 38,40,900 \rangle$ ,  
 $\langle 38,41,900 \rangle$ ,  $\langle 38,42,900 \rangle$ ,  $\langle 39,57,700 \rangle$ ,  $\langle 39,58,700 \rangle$ ,  $\langle 39,59,700 \rangle$ ,  
 $\langle 39,60,700 \rangle$ ,  $\langle 39,61,700 \rangle$ ,  $\langle 40,15,450 \rangle$ ,  $\langle 41,57,75 \rangle$ ,  $\langle 41,58,75 \rangle$ ,  
 $\langle 41,59,75 \rangle$ ,  $\langle 41,60,75 \rangle$ ,  $\langle 41,61,75 \rangle$ ,  $\langle 42,49,3000 \rangle$ ,  $\langle 43,57,150 \rangle$ ,  
 $\langle 43,58,150 \rangle$ ,  $\langle 43,59,150 \rangle$ ,  $\langle 43,60,150 \rangle$ ,  $\langle 43,61,150 \rangle$ ,  $\langle 44,31,1200 \rangle$ ,  
 $\langle 45,40,1440 \rangle$ ,  $\langle 45,41,1440 \rangle$ ,  $\langle 45,42,1440 \rangle$ ,  $\langle 46,19,840 \rangle$ ,  
 $\langle 46,20,840 \rangle$ ,  $\langle 47,57,135 \rangle$ ,  $\langle 47,58,135 \rangle$ ,  $\langle 47,59,135 \rangle$ ,  $\langle 47,60,135 \rangle$ ,  
 $\langle 47,61,135 \rangle$ ,  $\langle 48,49,3000 \rangle$ ,  $\langle 49,17,340 \rangle$ ,  $\langle 49,18,340 \rangle$ ,  $\langle 50,57,267 \rangle$ ,  
 $\langle 50,58,267 \rangle$ ,  $\langle 50,59,267 \rangle$ ,  $\langle 50,60,267 \rangle$ ,  $\langle 50,61,267 \rangle$ ,  $\langle 51,15,1020 \rangle$ ,  
 $\langle 52,57,400 \rangle$ ,  $\langle 52,58,400 \rangle$ ,  $\langle 52,59,400 \rangle$ ,  $\langle 52,60,400 \rangle$ ,  $\langle 52,61,400 \rangle$ ,

<53,52,300>, <53,53,300>, <53,54,300>, <53,55,300>, <53,56,300>,  
 <54,33,2220>, <55,1,1900>, <56,3,8172>, <57,37,1680>,  
 <57,38,1680>, <57,39,1680>, <58,57,200>, <58,58,200>,  
 <58,59,200>, <58,60,200>, <58,61,200>, <59,49,3948>,  
 <60,52,13530>, <60,53,13530>, <60,54,13530>, <60,55,13530>,  
 <60,56,13530>, <61,46,9172>, <62,48,12619>, <63,30,960>,  
 <64,17,230>, <64,18,230>, <65,15,435>, <66,34,344>, <67,57,113>,  
 <67,58,113>, <67,59,113>, <67,60,113>, <67,61,113>, <68,25,480>,  
 <69,57,344>, <69,58,344>, <69,59,344>, <69,60,344>, <69,61,344>,  
 <70,40,1930>, <70,41,1930>, <70,42,1930>, <71,52,3395>,  
 <71,53,3395>, <71,54,3395>, <71,55,3395>, <71,56,3395>,  
 <72,24,1440>, <73,48,3540>, <74,57,248>, <74,58,248>,  
 <74,59,248>, <74,60,248>, <74,61,248>, <75,40,1320>,  
 <75,41,1320>, <75,42,1320>, <76,31,2400>, <77,51,200>,  
 <78,19,803>, <78,20,803>, <79,50,540>, <80,51,4980>, <81,36,840>,  
 <82,51,2420>, <83,36,2280>, <84,51,200>, <85,57,1053>,  
 <85,58,1053>, <85,59,1053>, <85,60,1053>, <85,61,1053>,  
 <86,14,2544>, <87,57,397>, <87,58,397>, <87,59,397>, <87,60,397>,  
 <87,61,397>, <88,25,3210>, <89,57,1204>, <89,58,1204>,  
 <89,59,1204>, <89,60,1204>, <89,61,1204>, <90,40,3960>,  
 <90,41,3960>, <90,42,3960>, <91,57,470>, <91,58,470>,  
 <91,59,470>, <91,60,470>, <91,61,470>, <92,31,3306>,  
 <93,57,2027>, <93,58,2027>, <93,59,2027>, <93,60,2027>,  
 <93,61,2027>, <94,40,4920>, <94,41,4920>, <94,42,4920>,  
 <95,57,20>, <95,58,20>, <95,59,20>, <95,60,20>, <95,61,20>,  
 <96,34,825>, <97,28,5220>, <98,57,70>, <98,58,70>,  
 <98,59,70>, <98,60,70>, <98,61,70>, <99,49,840>,  
 <100,10,7360>, <100,11,7360>, <100,12,7360>, <101,17,523>,  
 <101,18,523>, <102,57,536>, <102,58,536>, <102,59,536>,  
 <102,60,536>, <102,61,536>, <103,15,1080>, <104,10,12060>,  
 <104,11,12060>, <104,12,12060>, <105,40,1532>, <105,41,1532>,  
 <105,42,1532>, <106,44,1080>, <107,57,312>, <107,58,312>,  
 <107,59,312>, <107,60,312>, <107,61,312>, <108,44,1320>,  
 <109,13,285>, <110,44,646>, <111,57,146>, <111,58,146>,  
 <111,59,146>, <111,60,146>, <111,61,146>, <112,49,6355>,  
 <113,25,3539>, <114,57,211>, <114,58,211>, <114,59,211>,  
 <114,60,211>, <114,61,211>, <115,17,208>, <115,18,208>,  
 <116,10,13842>, <116,11,13842>, <116,12,13842>, <117,19,616>,

<117,20,616>, <118,17,444>, <118,18,444>, <119,57,426>, <119,58,426>, <119,59,426>, <119,60,426>, <119,61,426>, <120,15,750>, <121,13,360>, <122,44,690>, <123,57,167>, <123,58,167>, <123,59,167>, <123,60,167>, <123,61,167>, <124,49,7200>, <125,25,4020>, <126,57,870>, <126,58,870>, <126,59,870>, <126,60,870>, <126,61,870>, <127,21,375>, <128,19,480>, <128,20,480>, <129,15,450>, <130,57,70>, <130,58,70>, <130,59,70>, <130,60,70>, <130,61,70>, <131,17,810>, <131,18,810>, <132,44,600>, <133,17,360>, <133,18,360>, <134,57,670>, <134,58,670>, <134,59,670>, <134,60,670>, <134,61,670>, <135,44,1500>, <136,34,746>, <137,57,230>, <137,58,230>, <137,59,230>, <137,60,230>, <137,61,230>, <138,10,23940>, <138,11,23940>, <138,12,23940>, <139,31,420>, <140,28,3930>, <141,52,890>, <141,53,890>, <141,54,890>, <141,55,890>, <141,56,890>, <142,37,2700>, <142,38,2700>, <142,39,2700>, <143,17,1186>, <143,18,1186>, <144,57,258>, <144,58,258>, <144,59,258>, <144,60,258>, <144,61,258>, <145,15,3322>, <146,25,7500>, <147,52,8869>, <147,53,8869>, <147,54,8869>, <147,55,8869>, <147,56,8869>, <148,52,120>, <148,53,120>, <148,54,120>, <148,55,120>, <148,56,120>, <149,24,2564>, <150,52,7415>, <150,53,7415>, <150,54,7415>, <150,55,7415>, <150,56,7415>, <151,37,13800>, <151,38,13800>, <151,39,13800>, <152,57,1195>, <152,58,1195>, <152,59,1195>, <152,60,1195>, <152,61,1195>, <153,17,660>, <153,18,660>, <154,14,3413>, <155,57,544>, <155,58,544>, <155,59,544>, <155,60,544>, <155,61,544>, <156,19,1651>, <156,20,1651>, <157,21,376>, <158,10,16500>, <158,11,16500>, <158,12,16500>, <159,31,3660>, <160,28,2280>, <161,52,1560>, <161,53,1560>, <161,54,1560>, <161,55,1560>, <161,56,1560>, <162,24,1186>, <163,52,472>, <163,53,472>, <163,54,472>, <163,55,472>, <163,56,472>, <164,37,2700>, <164,38,2700>, <164,39,2700>, <165,13,600>, <166,45,1380>, <167,51,600>, <168,45,540>, <169,26,900>, <170,5,4920>, <171,36,1200>, <172,57,836>, <172,58,836>, <172,59,836>, <172,60,836>, <172,61,836>, <173,44,4921>, <174,57,575>, <174,58,575>, <174,59,575>, <174,60,575>, <174,61,575>, <175,21,490>, <176,34,840>, <177,31,3600>, <178,57,900>, <178,58,900>, <178,59,900>, <178,60,900>, <178,61,900>,

<179,40,9000>, <179,41,9000>, <179,42,9000>, <180,57,900>, <180,58,900>, <180,59,900>, <180,60,900>, <180,61,900>, <181,57,1123>, <181,58,1123>, <181,59,1123>, <181,60,1123>, <181,61,1123>, <182,44,5809>, <183,31,3480>, <184,57,1080>, <184,58,1080>, <184,59,1080>, <184,60,1080>, <184,61,1080>, <185,40,10800>, <185,41,10800>, <185,42,10800>, <186,57,1380>, <186,58,1380>, <186,59,1380>, <186,60,1380>, <186,61,1380>, <187,57,1550>, <187,58,1550>, <187,59,1550>, <187,60,1550>, <187,61,1550>, <188,44,2357>, <189,31,947>, <190,40,1140>, <190,41,1140>, <190,42,1140>, <191,52,636>, <191,53,636>, <191,54,636>, <191,55,636>, <191,56,636>, <192,37,1380>, <192,38,1380>, <192,39,1380>, <193,57,1665>, <193,58,1665>, <193,59,1665>, <193,60,1665>, <193,61,1665>, <194,14,1026>, <195,40,2460>, <195,41,2460>, <195,42,2460>, <196,57,1665>, <196,58,1665>, <196,59,1665>, <196,60,1665>, <196,61,1665>, <197,14,1026>, <198,40,2460>, <198,41,2460>, <198,42,2460>, <199,34,1800>, <200,25,1200>, <201,52,2640>, <201,53,2640>, <201,54,2640>, <201,55,2640>, <201,56,2640>, <202,33,5134>, <203,24,1620>, <204,22,11520>, <205,52,1140>, <205,53,1140>, <205,54,1140>, <205,55,1140>, <205,56,1140>, <206,37,17820>, <206,38,17820>, <206,39,17820>, <207,17,2787>, <207,18,2787>, <208,44,1393>, <209,40,3120>, <209,41,3120>, <209,42,3120>, <210,34,1626>, <211,25,900>, <212,57,183>, <212,58,183>, <212,59,183>, <212,60,183>, <212,61,183>, <213,28,1123>, <214,52,2313>, <214,53,2313>, <214,54,2313>, <214,55,2313>, <214,56,2313>, <215,24,1672>, <216,37,1800>, <216,38,1800>, <216,39,1800>, <217,52,603>, <217,53,603>, <217,54,603>, <217,55,603>, <217,56,603>, <218,30,900>, <219,16,270>, <220,51,2280>, <221,29,1740>, <222,32,1500>, <223,47,3760>, <224,51,2680>, <225,36,1800>, <226,17,240>, <226,18,240>, <227,15,750>, <228,34,780>, <229,57,483>, <229,58,483>, <229,59,483>, <229,60,483>, <229,61,483>, <230,49,2520>, <231,57,280>, <231,58,280>, <231,59,280>, <231,60,280>, <231,61,280>, <232,57,290>, <232,58,290>, <232,59,290>, <232,60,290>, <232,61,290>, <233,40,1140>, <233,41,1140>, <233,42,1140>, <234,57,420>, <234,58,420>, <234,59,420>, <234,60,420>, <234,61,420>, <235,25,1140>, <236,57,2027>, <236,58,2027>, <236,59,2027>, <236,60,2027>, <236,61,2027>,



<237,40,4920>, <237,41,4920>, <237,42,4920>, <238,57,20>, <238,58,20>, <238,59,20>, <238,60,20>, <238,61,20>, <239,34,825>, <240,28,5220>, <241,57,70>, <241,58,70>, <241,59,70>, <241,60,70>, <241,61,70>, <242,49,840>, <243,10,7360>, <243,11,7360>, <243,12,7360>, <244,57,1550>, <244,58,1550>, <244,59,1550>, <244,60,1550>, <244,61,1550>, <245,17,390>, <245,18,390>, <246,44,2357>, <247,31,947>, <248,40,1140>, <248,41,1140>, <248,42,1140>, <249,29,1548>, <250,50,5760>, <251,47,2987>, <252,50,4050>, <253,32,300>, <254,47,2408>, <255,17,244>, <255,18,244>, <256,15,1427>, <257,57,60>, <257,58,60>, <257,59,60>, <257,60,60>, <257,61,60>, <258,40,1080>, <258,41,1080>, <258,42,1080>, <259,52,2313>, <259,53,2313>, <259,54,2313>, <259,55,2313>, <259,56,2313>, <260,27,180>, <261,7,6300>, <261,8,6300>, <261,9,6300>, <262,57,583>, <262,58,583>, <262,59,583>, <262,60,583>, <262,61,583>, <263,17,4332>, <263,18,4332>, <264,44,2022>, <265,28,495>, <266,52,2313>, <266,53,2313>, <266,54,2313>, <266,55,2313>, <266,56,2313>, <267,13,360>, <268,44,690>, <269,24,928>, <270,7,3000>, <270,8,3000>, <270,9,3000>, <271,34,880>, <272,17,820>, <272,18,820>, <273,57,1699>, <273,58,1699>, <273,59,1699>, <273,60,1699>, <273,61,1699>, <274,44,2420>, <275,49,11640>, <276,52,12203>, <276,53,12203>, <276,54,12203>, <276,55,12203>, <276,56,12203>, <277,52,150>, <277,53,150>, <277,54,150>, <277,55,150>, <277,56,150>, <278,24,3900>, <279,48,4800>, <280,57,1665>, <280,58,1665>, <280,59,1665>, <280,60,1665>, <280,61,1665>, <281,14,1026>, <282,40,2460>, <282,41,2460>, <282,42,2460>, <283,34,1800>, <284,25,1200>, <285,57,178>, <285,58,178>, <285,59,178>, <285,60,178>, <285,61,178>, <286,40,780>, <286,41,780>, <286,42,780>, <287,31,122>, <288,52,2000>, <288,53,2000>, <288,54,2000>, <288,55,2000>, <288,56,2000>, <289,52,8180>, <289,53,8180>, <289,54,8180>, <289,55,8180>, <289,56,8180>, <290,46,12600>, <291,52,450>, <291,53,450>, <291,54,450>, <291,55,450>, <291,56,450>, <292,37,8520>, <292,38,8520>, <292,39,8520>, <293,52,3600>, <293,53,3600>, <293,54,3600>, <293,55,3600>, <293,56,3600>, <294,17,2787>, <294,18,2787>, <295,44,1393>, <296,40,3120>, <296,41,3120>, <296,42,3120>, <297,34,1626>, <298,25,900>,

<299,57,1053>, <299,58,1053>, <299,59,1053>, <299,60,1053>, <299,61,1053>, <300,14,2544>, <301,57,397>, <301,58,397>, <301,59,397>, <301,60,397>, <301,61,397>, <302,25,3210>, <303,57,1204>, <303,58,1204>, <303,59,1204>, <303,60,1204>, <303,61,1204>, <304,40,3960>, <304,41,3960>, <304,42,3960>, <305,57,470>, <305,58,470>, <305,59,470>, <305,60,470>, <305,61,470>, <306,31,3306>, <307,52,2000>, <307,53,2000>, <307,54,2000>, <307,55,2000>, <307,56,2000>, <308,17,160>, <308,18,160>, <309,15,500>, <310,34,520>, <311,57,322>, <311,58,322>, <311,59,322>, <311,60,322>, <311,61,322>, <312,49,1680>, <313,17,240>, <313,18,240>, <314,57,190>, <314,58,190>, <314,59,190>, <314,60,190>, <314,61,190>, <315,15,730>, <316,52,1345>, <316,53,1345>, <316,54,1345>, <316,55,1345>, <316,56,1345>, <317,46,6240>, <318,52,193>, <318,53,193>, <318,54,193>, <318,55,193>, <318,56,193>, <319,37,760>, <319,38,760>, <319,39,760>, <320,52,280>, <320,53,280>, <320,54,280>, <320,55,280>, <320,56,280>, <321,24,760>, <322,17,153>, <322,18,153>, <323,15,290>, <324,34,230>, <325,57,76>, <325,58,76>, <325,59,76>, <325,60,76>, <325,61,76>, <326,25,320>, <327,57,229>, <327,58,229>, <327,59,229>, <327,60,229>, <327,61,229>, <328,40,1287>, <328,41,1287>, <328,42,1287>, <329,57,375>, <329,58,375>, <329,59,375>, <329,60,375>, <329,61,375>, <330,44,1936>, <331,31,1160>, <332,57,360>, <332,58,360>, <332,59,360>, <332,60,360>, <332,61,360>, <333,40,3600>, <333,41,3600>, <333,42,3600>, <334,57,460>, <334,58,460>, <334,59,460>, <334,60,460>, <334,61,460>, <335,52,2000>, <335,53,2000>, <335,54,2000>, <335,55,2000>, <335,56,2000>};

Montagens = {<3,1>, <3,2>, <8,4>, <8,5>, <8,6>, <8,7>, <13,9>, <13,10>, <13,11>, <13,12>, <17,14>, <17,15>, <17,16>, <23,18>, <23,19>, <23,20>, <23,21>, <23,22>, <26,24>, <26,25>, <33,30>, <33,31>, <33,32>, <35,34>, <38,36>, <38,37>, <43,39>, <43,40>, <43,41>, <43,42>, <48,44>, <48,45>, <48,46>, <48,47>, <52,49>, <52,50>, <52,51>, <53,52>, <56,54>, <56,55>, <59,57>, <59,58>, <61,59>, <61,60>, <65,63>, <65,64>, <75,73>, <75,74>, <79,77>, <79,78>, <82,80>, <82,81>, <84,83>, <88,86>, <88,87>,

$\langle 92,89 \rangle, \langle 92,90 \rangle, \langle 92,91 \rangle, \langle 95,93 \rangle, \langle 95,94 \rangle, \langle 98,95 \rangle,$   
 $\langle 98,96 \rangle, \langle 98,97 \rangle, \langle 102,101 \rangle, \langle 103,99 \rangle, \langle 103,100 \rangle,$   
 $\langle 103,102 \rangle, \langle 107,104 \rangle, \langle 107,105 \rangle, \langle 107,106 \rangle, \langle 110,107 \rangle,$   
 $\langle 110,108 \rangle, \langle 110,109 \rangle\};$

## ANEXO G – DETALHAMENTO DA SOLUÇÃO DO CENÁRIO 3

Operação 1 na máquina 34 começando em 0 e terminando em 880  
Operação 2 na máquina 18 começando em 5400 e terminando em 6220  
Operação 3 na máquina 57 começando em 8826 e terminando em 10525  
Operação 4 na máquina 44 começando em 25530 e terminando em 27950  
Operação 5 na máquina 49 começando em 29203 e terminando em 40843  
Operação 6 na máquina 52 começando em 9484 e terminando em 21687  
Operação 7 na máquina 54 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 8 na máquina 24 começando em 3492 e terminando em 7392  
Operação 9 na máquina 48 começando em 7392 e terminando em 12192  
Operação 10 na máquina 34 começando em 880 e terminando em 1712  
Operação 11 na máquina 17 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 12 na máquina 15 começando em 9327 e terminando em 10395  
Operação 13 na máquina 57 começando em 11220 e terminando em 11820  
Operação 14 na máquina 49 começando em 28303 e terminando em 29203  
Operação 15 na máquina 59 começando em 4800 e terminando em 5400  
Operação 16 na máquina 17 começando em 9733 e terminando em 12545  
Operação 17 na máquina 44 começando em 33156 e terminando em 34140  
Operação 18 na máquina 42 começando em 34140 e terminando em 35265  
Operação 19 na máquina 58 começando em 3000 e terminando em 3600  
Operação 20 na máquina 40 começando em 3600 e terminando em 4500  
Operação 21 na máquina 54 começando em 1203 e terminando em 1834  
Operação 22 na máquina 33 começando em 0 e terminando em 2034  
Operação 23 na máquina 7 começando em 10228 e terminando em 30268  
Operação 24 na máquina 57 começando em 6493 e terminando em 7240  
Operação 25 na máquina 41 começando em 7240 e terminando em 10120  
Operação 26 na máquina 18 começando em 4800 e terminando em 5400

Operação 27 na máquina 59 começando em 5400 e terminando em 6000  
Operação 28 na máquina 14 começando em 6000 e terminando em 7480  
Operação 29 na máquina 58 começando em 11117 e terminando em 13267  
Operação 30 na máquina 21 começando em 13267 e terminando em 13947  
Operação 31 na máquina 57 começando em 5817 e terminando em 6493  
Operação 32 na máquina 6 começando em 6493 e terminando em 7993  
Operação 33 na máquina 61 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 34 na máquina 25 começando em 1200 e terminando em 2460  
Operação 35 na máquina 18 começando em 3600 e terminando em 4200  
Operação 36 na máquina 44 começando em 4200 e terminando em 4880  
Operação 37 na máquina 61 começando em 4880 e terminando em 5480  
Operação 38 na máquina 41 começando em 5480 e terminando em 6380  
Operação 39 na máquina 61 começando em 3000 e terminando em 3700  
Operação 40 na máquina 15 começando em 8727 e terminando em 9327  
Operação 41 na máquina 61 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 42 na máquina 49 começando em 600 e terminando em 3600  
Operação 43 na máquina 60 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 44 na máquina 31 começando em 4547 e terminando em 5747  
Operação 45 na máquina 42 começando em 4920 e terminando em 6360  
Operação 46 na máquina 20 começando em 616 e terminando em 1456  
Operação 47 na máquina 60 começando em 3836 e terminando em 4436  
Operação 48 na máquina 49 começando em 25303 e terminando em 28303  
Operação 49 na máquina 18 começando em 3000 e terminando em 3600  
Operação 50 na máquina 57 começando em 3600 e terminando em 4200  
Operação 51 na máquina 15 começando em 6280 e terminando em 7300  
Operação 52 na máquina 60 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 53 na máquina 52 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 54 na máquina 33 começando em 2034 e terminando em 4254  
Operação 55 na máquina 1 começando em 0 e terminando em 1900  
Operação 56 na máquina 3 começando em 1900 e terminando em 10072  
Operação 57 na máquina 39 começando em 10072 e terminando em 11752  
Operação 58 na máquina 59 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 59 na máquina 49 começando em 3600 e terminando em 7548  
Operação 60 na máquina 54 começando em 1834 e terminando em 15364  
Operação 61 na máquina 46 começando em 25580 e terminando em 34752  
Operação 62 na máquina 48 começando em 34752 e terminando em 47371

Operação 63 na máquina 30 começando em 0 e terminando em 960  
Operação 64 na máquina 17 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 65 na máquina 15 começando em 4930 e terminando em 5530  
Operação 66 na máquina 34 começando em 5625 e terminando em 6225  
Operação 67 na máquina 60 começando em 6225 e terminando em 6825  
Operação 68 na máquina 25 começando em 9420 e terminando em 10020  
Operação 69 na máquina 60 começando em 10020 e terminando em 10620  
Operação 70 na máquina 40 começando em 10620 e terminando em 12550  
Operação 71 na máquina 53 começando em 600 e terminando em 3995  
Operação 72 na máquina 24 começando em 13724 e terminando em 15164  
Operação 73 na máquina 48 começando em 15164 e terminando em 18704  
Operação 74 na máquina 59 começando em 3000 e terminando em 3600  
Operação 75 na máquina 42 começando em 3600 e terminando em 4920  
Operação 76 na máquina 31 começando em 6347 e terminando em 8747  
Operação 77 na máquina 51 começando em 3020 e terminando em 3620  
Operação 78 na máquina 19 começando em 3620 e terminando em 4423  
Operação 79 na máquina 50 começando em 4423 e terminando em 5023  
Operação 80 na máquina 51 começando em 3620 e terminando em 8600  
Operação 81 na máquina 36 começando em 8600 e terminando em 9440  
Operação 82 na máquina 51 começando em 0 e terminando em 2420  
Operação 83 na máquina 36 começando em 2420 e terminando em 4700  
Operação 84 na máquina 51 começando em 2420 e terminando em 3020  
Operação 85 na máquina 58 começando em 3600 e terminando em 4653  
Operação 86 na máquina 14 começando em 10422 e terminando em 12966  
Operação 87 na máquina 61 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 88 na máquina 25 começando em 6210 e terminando em 9420  
Operação 89 na máquina 57 começando em 11820 e terminando em 13024  
Operação 90 na máquina 40 começando em 39396 e terminando em 43356  
Operação 91 na máquina 57 começando em 43356 e terminando em 43956  
Operação 92 na máquina 31 começando em 43956 e terminando em 47262  
Operação 93 na máquina 61 começando em 9327 e terminando em 11354  
Operação 94 na máquina 41 começando em 17567 e terminando em 22487  
Operação 95 na máquina 57 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 96 na máquina 34 começando em 2592 e terminando em 3417  
Operação 97 na máquina 28 começando em 5220 e terminando em 10440  
Operação 98 na máquina 59 começando em 10507 e terminando em 11107

Operação 99 na máquina 49 começando em 41683 e terminando em 42523  
Operação 100 na máquina 12 começando em 42523 e terminando em 49883  
Operação 101 na máquina 18 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 102 na máquina 57 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 103 na máquina 15 começando em 3000 e terminando em 4080  
Operação 104 na máquina 10 começando em 4080 e terminando em 16140  
Operação 105 na máquina 41 começando em 0 e terminando em 1532  
Operação 106 na máquina 44 começando em 19736 e terminando em 20816  
Operação 107 na máquina 58 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 108 na máquina 44 começando em 600 e terminando em 1920  
Operação 109 na máquina 13 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 110 na máquina 44 começando em 4880 e terminando em 5526  
Operação 111 na máquina 58 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 112 na máquina 49 começando em 14748 e terminando em 21103  
Operação 113 na máquina 25 começando em 23891 e terminando em 27430  
Operação 114 na máquina 58 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 115 na máquina 18 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 116 na máquina 10 começando em 16140 e terminando em 29982  
Operação 117 na máquina 20 começando em 0 e terminando em 616  
Operação 118 na máquina 17 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 119 na máquina 57 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 120 na máquina 15 começando em 5530 e terminando em 6280  
Operação 121 na máquina 13 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 122 na máquina 44 começando em 5526 e terminando em 6216  
Operação 123 na máquina 60 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 124 na máquina 49 começando em 7548 e terminando em 14748  
Operação 125 na máquina 25 começando em 30720 e terminando em 34740  
Operação 126 na máquina 60 começando em 4436 e terminando em 5306  
Operação 127 na máquina 21 começando em 5306 e terminando em 5906  
Operação 128 na máquina 20 começando em 5906 e terminando em 6506  
Operação 129 na máquina 15 começando em 10395 e terminando em 10995  
Operação 130 na máquina 59 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 131 na máquina 17 começando em 3000 e terminando em 3810  
Operação 132 na máquina 44 começando em 8406 e terminando em 9006  
Operação 133 na máquina 18 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 134 na máquina 59 começando em 6000 e terminando em 6670

Operação 135 na máquina 44 começando em 6906 e terminando em 8406  
Operação 136 na máquina 34 começando em 8406 e terminando em 9152  
Operação 137 na máquina 59 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 138 na máquina 11 começando em 2400 e terminando em 26340  
Operação 139 na máquina 31 começando em 27600 e terminando em 28200  
Operação 140 na máquina 28 começando em 28200 e terminando em 32130  
Operação 141 na máquina 56 começando em 32130 e terminando em 33020  
Operação 142 na máquina 37 começando em 51200 e terminando em 53900  
Operação 143 na máquina 18 começando em 7040 e terminando em 8226  
Operação 144 na máquina 57 começando em 8226 e terminando em 8826  
Operação 145 na máquina 15 começando em 10995 e terminando em 14317  
Operação 146 na máquina 25 começando em 14317 e terminando em 21817  
Operação 147 na máquina 55 começando em 12980 e terminando em 21849  
Operação 148 na máquina 55 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 149 na máquina 24 começando em 928 e terminando em 3492  
Operação 150 na máquina 53 começando em 3995 e terminando em 11410  
Operação 151 na máquina 37 começando em 34700 e terminando em 48500  
Operação 152 na máquina 60 começando em 7878 e terminando em 9073  
Operação 153 na máquina 17 começando em 9073 e terminando em 9733  
Operação 154 na máquina 14 começando em 12966 e terminando em 16379  
Operação 155 na máquina 58 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 156 na máquina 19 começando em 1200 e terminando em 2851  
Operação 157 na máquina 21 começando em 2851 e terminando em 3451  
Operação 158 na máquina 12 começando em 0 e terminando em 16500  
Operação 159 na máquina 31 começando em 16500 e terminando em 20160  
Operação 160 na máquina 28 começando em 20160 e terminando em 22440  
Operação 161 na máquina 55 começando em 600 e terminando em 2160  
Operação 162 na máquina 24 começando em 22440 e terminando em 23626  
Operação 163 na máquina 56 começando em 23626 e terminando em 24226  
Operação 164 na máquina 37 começando em 48500 e terminando em 51200  
Operação 165 na máquina 13 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 166 na máquina 45 começando em 2400 e terminando em 3780  
Operação 167 na máquina 51 começando em 10880 e terminando em 11480  
Operação 168 na máquina 45 começando em 11480 e terminando em 12080  
Operação 169 na máquina 26 começando em 12080 e terminando em 12980  
Operação 170 na máquina 5 começando em 12980 e terminando em 17900



Operação 171 na máquina 36 começando em 17900 e terminando em 19100  
Operação 172 na máquina 60 começando em 3000 e terminando em 3836  
Operação 173 na máquina 44 começando em 9006 e terminando em 13927  
Operação 174 na máquina 59 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 175 na máquina 21 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 176 na máquina 34 começando em 6225 e terminando em 7065  
Operação 177 na máquina 31 começando em 947 e terminando em 4547  
Operação 178 na máquina 58 começando em 14471 e terminando em 15371  
Operação 179 na máquina 42 começando em 15371 e terminando em 24371  
Operação 180 na máquina 59 começando em 24371 e terminando em 25271  
Operação 181 na máquina 61 começando em 3700 e terminando em 4823  
Operação 182 na máquina 44 começando em 13927 e terminando em 19736  
Operação 183 na máquina 31 começando em 24120 e terminando em 27600  
Operação 184 na máquina 61 começando em 27600 e terminando em 28680  
Operação 185 na máquina 42 começando em 35265 e terminando em 46065  
Operação 186 na máquina 60 começando em 46065 e terminando em 47445  
Operação 187 na máquina 58 começando em 4653 e terminando em 6203  
Operação 188 na máquina 44 começando em 20816 e terminando em 23173  
Operação 189 na máquina 31 começando em 23173 e terminando em 24120  
Operação 190 na máquina 40 começando em 24120 e terminando em 25260  
Operação 191 na máquina 56 começando em 0 e terminando em 636  
Operação 192 na máquina 39 começando em 636 e terminando em 2016  
Operação 193 na máquina 61 começando em 5480 e terminando em 7145  
Operação 194 na máquina 14 começando em 16379 e terminando em 17405  
Operação 195 na máquina 40 começando em 20891 e terminando em 23351  
Operação 196 na máquina 59 começando em 6670 e terminando em 8335  
Operação 197 na máquina 14 começando em 17405 e terminando em 18431  
Operação 198 na máquina 40 começando em 18431 e terminando em 20891  
Operação 199 na máquina 34 começando em 20891 e terminando em 22691  
Operação 200 na máquina 25 começando em 22691 e terminando em 23891  
Operação 201 na máquina 55 começando em 2160 e terminando em 4800  
Operação 202 na máquina 33 começando em 4800 e terminando em 9934  
Operação 203 na máquina 24 começando em 15164 e terminando em 16784  
Operação 204 na máquina 22 começando em 16784 e terminando em 28304  
Operação 205 na máquina 55 começando em 28304 e terminando em 29444  
Operação 206 na máquina 39 começando em 29444 e terminando em 47264

Operação 207 na máquina 18 começando em 11013 e terminando em 13800  
Operação 208 na máquina 44 começando em 31763 e terminando em 33156  
Operação 209 na máquina 40 começando em 33156 e terminando em 36276  
Operação 210 na máquina 34 começando em 36276 e terminando em 37902  
Operação 211 na máquina 25 começando em 37902 e terminando em 38802  
Operação 212 na máquina 61 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 213 na máquina 28 começando em 10440 e terminando em 11563  
Operação 214 na máquina 52 começando em 4858 e terminando em 7171  
Operação 215 na máquina 24 começando em 12052 e terminando em 13724  
Operação 216 na máquina 37 começando em 13724 e terminando em 15524  
Operação 217 na máquina 54 começando em 600 e terminando em 1203  
Operação 218 na máquina 30 começando em 1203 e terminando em 2103  
Operação 219 na máquina 16 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 220 na máquina 51 começando em 8600 e terminando em 10880  
Operação 221 na máquina 29 começando em 10880 e terminando em 12620  
Operação 222 na máquina 32 começando em 12620 e terminando em 14120  
Operação 223 na máquina 47 começando em 14120 e terminando em 17880  
Operação 224 na máquina 51 começando em 17880 e terminando em 20560  
Operação 225 na máquina 36 começando em 20560 e terminando em 22360  
Operação 226 na máquina 18 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 227 na máquina 15 começando em 1800 e terminando em 2550  
Operação 228 na máquina 34 começando em 7065 e terminando em 7845  
Operação 229 na máquina 61 começando em 7845 e terminando em 8445  
Operação 230 na máquina 49 começando em 22783 e terminando em 25303  
Operação 231 na máquina 57 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 232 na máquina 60 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 233 na máquina 40 começando em 600 e terminando em 1740  
Operação 234 na máquina 57 começando em 3000 e terminando em 3600  
Operação 235 na máquina 25 começando em 10620 e terminando em 11760  
Operação 236 na máquina 60 começando em 10620 e terminando em 12647  
Operação 237 na máquina 41 começando em 12647 e terminando em 17567  
Operação 238 na máquina 59 começando em 4200 e terminando em 4800  
Operação 239 na máquina 34 começando em 4800 e terminando em 5625  
Operação 240 na máquina 28 começando em 0 e terminando em 5220  
Operação 241 na máquina 60 começando em 5306 e terminando em 5906  
Operação 242 na máquina 49 começando em 40843 e terminando em 41683

Operação 243 na máquina 11 começando em 41683 e terminando em 49043  
Operação 244 na máquina 58 começando em 6203 e terminando em 7753  
Operação 245 na máquina 17 começando em 7753 e terminando em 8353  
Operação 246 na máquina 44 começando em 23173 e terminando em 25530  
Operação 247 na máquina 31 começando em 0 e terminando em 947  
Operação 248 na máquina 42 começando em 1380 e terminando em 2520  
Operação 249 na máquina 29 começando em 0 e terminando em 1548  
Operação 250 na máquina 50 começando em 5023 e terminando em 10783  
Operação 251 na máquina 47 começando em 10783 e terminando em 13770  
Operação 252 na máquina 50 começando em 13770 e terminando em 17820  
Operação 253 na máquina 32 começando em 17820 e terminando em 18420  
Operação 254 na máquina 47 começando em 18420 e terminando em 20828  
Operação 255 na máquina 18 começando em 4200 e terminando em 4800  
Operação 256 na máquina 15 começando em 7300 e terminando em 8727  
Operação 257 na máquina 61 começando em 8727 e terminando em 9327  
Operação 258 na máquina 40 começando em 9327 e terminando em 10407  
Operação 259 na máquina 52 começando em 2545 e terminando em 4858  
Operação 260 na máquina 27 começando em 4858 e terminando em 5458  
Operação 261 na máquina 7 começando em 3928 e terminando em 10228  
Operação 262 na máquina 60 começando em 1800 e terminando em 2400  
Operação 263 na máquina 18 começando em 13800 e terminando em 18132  
Operação 264 na máquina 44 começando em 34140 e terminando em 36162  
Operação 265 na máquina 28 começando em 36162 e terminando em 36762  
Operação 266 na máquina 52 começando em 7171 e terminando em 9484  
Operação 267 na máquina 13 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 268 na máquina 44 começando em 6216 e terminando em 6906  
Operação 269 na máquina 24 começando em 0 e terminando em 928  
Operação 270 na máquina 7 começando em 928 e terminando em 3928  
Operação 271 na máquina 34 começando em 1712 e terminando em 2592  
Operação 272 na máquina 18 começando em 6220 e terminando em 7040  
Operação 273 na máquina 58 começando em 9418 e terminando em 11117  
Operação 274 na máquina 44 começando em 27950 e terminando em 30370  
Operação 275 na máquina 49 começando em 42523 e terminando em 54163  
Operação 276 na máquina 55 começando em 29444 e terminando em 41647  
Operação 277 na máquina 53 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 278 na máquina 24 começando em 7392 e terminando em 11292

Operação 279 na máquina 48 começando em 18704 e terminando em 23504  
Operação 280 na máquina 58 começando em 7753 e terminando em 9418  
Operação 281 na máquina 14 começando em 18431 e terminando em 19457  
Operação 282 na máquina 40 começando em 25260 e terminando em 27720  
Operação 283 na máquina 34 começando em 27720 e terminando em 29520  
Operação 284 na máquina 25 começando em 29520 e terminando em 30720  
Operação 285 na máquina 59 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 286 na máquina 42 começando em 600 e terminando em 1380  
Operação 287 na máquina 31 começando em 5747 e terminando em 6347  
Operação 288 na máquina 52 começando em 23504 e terminando em 25504  
Operação 289 na máquina 55 começando em 4800 e terminando em 12980  
Operação 290 na máquina 46 começando em 12980 e terminando em 25580  
Operação 291 na máquina 55 começando em 25580 e terminando em 26180  
Operação 292 na máquina 37 começando em 26180 e terminando em 34700  
Operação 293 na máquina 55 começando em 41647 e terminando em 45247  
Operação 294 na máquina 18 começando em 8226 e terminando em 11013  
Operação 295 na máquina 44 começando em 30370 e terminando em 31763  
Operação 296 na máquina 40 começando em 36276 e terminando em 39396  
Operação 297 na máquina 34 começando em 39396 e terminando em 41022  
Operação 298 na máquina 25 começando em 41022 e terminando em 41922  
Operação 299 na máquina 60 começando em 6825 e terminando em 7878  
Operação 300 na máquina 14 começando em 7878 e terminando em 10422  
Operação 301 na máquina 58 começando em 2400 e terminando em 3000  
Operação 302 na máquina 25 começando em 3000 e terminando em 6210  
Operação 303 na máquina 58 começando em 13267 e terminando em 14471  
Operação 304 na máquina 40 começando em 27720 e terminando em 31680  
Operação 305 na máquina 61 começando em 31680 e terminando em 32280  
Operação 306 na máquina 31 começando em 32280 e terminando em 35586  
Operação 307 na máquina 56 começando em 35586 e terminando em 37586  
Operação 308 na máquina 17 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 309 na máquina 15 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 310 na máquina 34 começando em 3417 e terminando em 4017  
Operação 311 na máquina 57 começando em 5217 e terminando em 5817  
Operação 312 na máquina 49 começando em 21103 e terminando em 22783  
Operação 313 na máquina 18 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 314 na máquina 59 começando em 3600 e terminando em 4200

Operação 315 na máquina 15 começando em 4200 e terminando em 4930  
Operação 316 na máquina 52 começando em 1200 e terminando em 2545  
Operação 317 na máquina 46 começando em 2545 e terminando em 8785  
Operação 318 na máquina 52 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 319 na máquina 38 começando em 1200 e terminando em 1960  
Operação 320 na máquina 56 começando em 1960 e terminando em 2560  
Operação 321 na máquina 24 começando em 11292 e terminando em 12052  
Operação 322 na máquina 17 começando em 0 e terminando em 600  
Operação 323 na máquina 15 começando em 600 e terminando em 1200  
Operação 324 na máquina 34 começando em 4017 e terminando em 4617  
Operação 325 na máquina 57 começando em 4617 e terminando em 5217  
Operação 326 na máquina 25 começando em 10020 e terminando em 10620  
Operação 327 na máquina 57 começando em 10620 e terminando em 11220  
Operação 328 na máquina 41 começando em 11220 e terminando em 12507  
Operação 329 na máquina 61 começando em 1200 e terminando em 1800  
Operação 330 na máquina 44 começando em 1920 e terminando em 3856  
Operação 331 na máquina 31 começando em 8747 e terminando em 9907  
Operação 332 na máquina 59 começando em 9907 e terminando em 10507  
Operação 333 na máquina 40 começando em 12550 e terminando em 16150  
Operação 334 na máquina 59 começando em 16150 e terminando em 16750  
Operação 335 na máquina 56 começando em 12052 e terminando em 14052