

GREGOR DE ABREU PEREIRA

**OTIMIZAÇÃO VIA SIMULAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DE UM
FLOW SHOP HÍBRIDO**

Guaratinguetá
2016

GREGOR DE ABREU PEREIRA

OTIMIZAÇÃO VIA SIMULAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE PRODUÇÃO DE UM
FLOW SHOP HÍBRIDO

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho de Curso de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, como parte dos requisitos para obtenção do diploma de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. José Roberto Dale Luche

Guaratinguetá

2016

P436o	Pereira, Gregor de Abreu Otimização via simulação da programação de produção de um flow shop híbrido / Gregor de Abreu pereira – Guaratinguetá, 2016. 64 f : il. Bibliografia: f. 43-47 Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2016. Orientador: Prof. Dr. José Roberto Dale Luche 1. Planejamento da produção 2. Métodos de simulação 3. Controle de produção I. Título CDU 658.5
-------	--

GREGOR DE ABREU PEREIRA

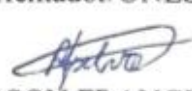
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
“GRADUADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO MECÂNICA”

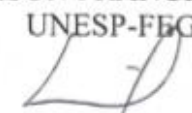
APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM NOME DO CURSO

Prof. Dr. ARMINDA EUGÊNIA MARQUES CAMPOS
Coordenadora

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. JOSÉ ROBERTO DALE LUCHE
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. ANEIRSON FRANCISCO DA SILVA
UNESP-FEG


Eng. Me. LÚCIO FLORE MACIEL
Membro Externo

Janeiro de 2017

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por minha vida, saúde e por tudo que ele me proporcionou.

À *Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá* pela oportunidade de aprender e me desenvolver.

Aos mestres, *Prof. Dr. Aneirson Francisco da Silva* e *Prof. Dr. José Roberto Dale Luche* por todos os ensinamentos providos em todas disciplinas e projetos dos quais tive a oportunidade de participar e por todo auxílio e compreensão no desenvolvimento deste trabalho.

Aos meus avós *Omar Farinatti de Abreu* e *Nelita Lucas de Abreu* por todo investimento, incentivos e ensinamentos que ajudaram na construção de minha educação e caráter.

Aos meus pais *Nádia Lucas de Abreu* e *José Luiz Pereira*, por toda dedicação, amor, disciplina, determinação e por sempre estarem comigo nos momentos fáceis e difíceis da minha caminhada.

Ao meu irmão *Tainã de Abreu Pereira* pela amizade única, companheirismo e incentivos.

A minha namorada *Ana Gabriela dos Santos Araujo* e sua mãe *Elpídia Antônia dos Santos Araújo* por todo companheirismo e dedicação para me ajudar nos momentos difíceis.

Ao amigo *Lúcio Flore Maciel* pelas oportunidades, aprendizados proporcionados e pela sua grande qualidade em desenvolver pessoas.

Aos meus amigos e irmãos das Repúblicas 69 e H-Romeu, pela amizade e aprendizados proporcionados nesta inesquecível jornada.

“O mundo não é um mar de rosas; é um lugar sujo e cruel, que não importa o quanto você é durão, vai botar você de joelhos e te manter assim para sempre se você deixar. Você, eu, ninguém vai bater tão forte como a vida, mas não se trata de quão forte você bate. Se trata de quanto você aguenta apanhar e seguir em frente, o quanto você é capaz de aguentar e continuar tentando. É assim que é feita a vitória!

Agora se você sabe do teu valor, então vá atrás do que você merece, mas esteja preparado para apanhar. E nada de apontar dedos, dizer que você não consegue por causa dele ou dela, ou de quem quer que seja. Só covardes fazem isso e você não é covarde, você é melhor que isso”

Rocky Balboa

PEREIRA, G.A. **Otimização via simulação da programação de produção de um flow shop híbrido**. 2016. 64 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia de Produção Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

RESUMO

Diante da competitividade presente na dinâmica de mercado, uma programação da produção adequada representa vantagem competitiva ao reduzir custos de produção e proporcionar maiores índices de produtividade. No entanto, obter tal programação para sistemas complexos e de variáveis estocásticas representa um desafio para os métodos tradicionais de modelagem matemática. Assim, por proporcionar uma maneira mais simples de lidar com estas complexidades, a otimização via simulação é considerada uma ferramenta útil na programação da produção. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é utilizar a simulação a eventos discretos em conjunto com o algoritmo genético para otimização do planejamento de produção de uma linha de produção de componentes automotivos, caracterizada como um ambiente *flow shop* híbrido. Verificou-se que o método proposto de otimização via simulação eventos discretos é superior ao método de entrega de priorização por data de entrega mais cedo e criticidade utilizado pela empresa. Porém, o tempo computacional exigido para esse tipo de otimização pode ser considerado um ponto negativo para a abordagem.

PALAVRAS-CHAVE: Planejamento e controle da produção. Programação de produção. *Flow shop* híbrido. Otimização via simulação. Algoritmo genético.

PEREIRA, G.A. **Simulation optimization of a hybrid flow shop scheduling**. 2016. 64 f. Graduate Work (Graduate in Mechanical Production Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016.

ABSTRACT

Given the competitiveness present in the market dynamics, proper production scheduling represents a competitive advantage by reducing production costs and providing higher productivity rates. However, obtaining a schedule for complex systems and with stochastic variables represents a challenge for traditional mathematical modeling methods. Thus, by providing a simpler way of dealing with these complexities, simulation optimization is considered a useful tool in production scheduling. In this sense, the objective of this work is to use discrete event simulation in conjunction with the genetic algorithm to optimize the production planning of an automotive component production line, characterized as a hybrid flow shop environment. It was found that the proposed method of optimization via simulation discrete events is superior to the method of delivery of prioritization by earlier date of delivery and criticality used by the company. However, the computational time required for this type of optimization can be considered a negative point for the approach.

KEYWORDS: Production planning and control. Scheduling. Hybrid flow shop. Simulation optimization. Genetic algorithm.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Publicações sobre o tema Scheduling.	15
Figura 2 - Classificação da pesquisa	16
Figura 3 - Estrutura padrão de um flow shop híbrido.	22
Figura 4 - Pseudocódigo do Algoritmo Genético	25
Figura 5 - Abordagem integrada de otimização via simulação	26
Figura 6 - Modelagem conceitual do sistema.	30
Figura 7 - Interface do módulo DataFit.	31
Figura 8 - Exemplo de resposta do módulo DataFit.	31
Figura 9 – Estrutura de tempos de setup para laminação.	33
Figura 10 – Estrutura de tempos de setup para prensaria.	34
Figura 11 - Modelo computacional.	34
Figura 12 - Exemplo de método no Plant Simulation.	35
Figura 13 - Barra de ferramentas de auxílio à verificação e desenvolvimento de métodos.	36
Figura 14 - Resultados obtidos no Minitab.	37
Figura 15 - Interface de configuração do módulo otimizador.	39
Figura 16 - Parâmetros de cruzamento e mutação.	40
Figura 17 - Evolução da performance obtida pelo algoritmo genético para o cenário 1	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção total de auto veículos no Brasil.	14
Tabela 2 - Comparação entre a resposta da simulação e os resultados reais do sistema.	36
Tabela 3 - Resultados dos métodos atuais e obtidos na otimização.	41
Tabela 4 - Tempos de execução da otimização por cenários.	41
Tabela 5 - Resultados detalhados para o Cenário 1.	60
Tabela 6 - Resultados detalhados para o Cenário 2.	61
Tabela 7 - Resultados detalhados para o Cenário 3.	62
Tabela 8 - Resultados detalhados para o Cenário 4.	63
Tabela 9 - Resultados detalhados para o Cenário 5.	64
Tabela 10 - Resultados detalhados para o Cenário 6.	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Atividades do PCP	19
Quadro 2 - Simbologia utilizada na representação IDEF-SIM.....	29
Quadro 3 - Distribuições e parâmetros para Laminação.	32
Quadro 4 - Distribuições e parâmetros para Prensaria.	32
Quadro 5 - Distribuições e parâmetros para Montagem.....	33
Quadro 6 - Tempos e distribuições utilizadas para laminação.	49
Quadro 7 - Tempos e distribuições utilizadas para prensaria.	50
Quadro 8 - Tempos e distribuições utilizadas para montagem.....	51
Quadro 9 - Tarefas do Cenário 1.	52
Quadro 10 - Tarefas do Cenário 2.	53
Quadro 11 - Tarefas do Cenário 3.	54
Quadro 12 - Tarefas do Cenário 4.	55
Quadro 13 - Tarefas do Cenário 5.	56
Quadro 14 - Tarefas do Cenário 6.	57
Quadro 15 - Sequências obtidas para os cenários (Continua).	58

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 11

F _Toc4
7267462
2 \h 11

1.1 Considerações iniciais 11

F _Toc4
7267462
3 \h 11

1.2 Questão de pesquisa 13

F _Toc4
7267462
4 \h 13

1.3 Objetivos..... 13

F _Toc4
7267462
5 \h 13

1.3.1 Objetivo geral
13

F_Toc4
7267462
6 \h 13

1.3.2 Objetivos específicos
13

F_Toc4726746
27 \h 13

1.4 Justificativa 13

F_Toc4
7267462
8 \h 13

1.5 Delimitações 15

F_Toc4
7267462
9 \h 15

1.6 Método de pesquisa 16

F_Toc4726
74630 \

h 16

1.7 Estrutura do trabalho 17

F _Toc4
7267463
1 \h 17

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 18

F _Toc4
7267463
2 \h 18

2.1 Planejamento e controle da produção 18

F _Toc4
7267463
3 \h 18

2.2 Programação da produção 20

F _Toc4
7267463
4 \h 20

2.3 O sistema flow shop híbrido	22
--	-----------

F _Toc4

7267463

5 \h 22

2.4 Simulação a eventos discretos.....	23
---	-----------

F _Toc4

7267463

6 \h 23

2.5 Meta-heurística e Algoritmo genético	24
---	-----------

F _Toc4

7267463

7 \h 24

2.6 Otimização via simulação a eventos discretos.....	25
--	-----------

F _Toc4

7267463

8 \h 25

3 MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO	28
--	-----------

F _Toc4

7267463

3.1 Considerações iniciais 28

3.2 Modelagem conceitual..... 29

F _Toc4
7267464
1 \h 29

3.3 Coleta de dados 30

F _Toc4
7267464
2 \h 30

3.4 Modelagem computacional 34

F _Toc472
674643
\h 34

3.5 Verificação e validação..... 36

F _Toc4
7267464
4 \h 36

3.6 Simulação e otimização 38
F _Toc4
7267464
5 \h 38

3.7 Comparação de resultados..... 40
F _Toc4
7267464
6 \h 40

4 CONCLUSÃO 43
F _Toc4
7267464
7 \h 43

4.1 Verificação dos Objetivos 43
F _Toc4
7267464
8 \h 43

4.2 Recomendações para Futuras Pesquisas 43
F _Toc4
7267464

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 44

F _Toc4
7267465
0 \h 44

APÊNDICE A – TEMPOS E DISTRIBUIÇÕES..... 49

F _Toc47267
4651 \h
49

APÊNDICE B – CENÁRIOS UTILIZADOS..... 52

F _Toc4
7267465
2 \h 52

APÊNDICE C – SEQUÊNCIAS OBTIDAS..... 58

F _Toc4
7267465

APÊNDICE D – RESULTADOS	
.....	
	60
F _Toc4	
7267465	
4 \h 60	

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

A partir da década de 90, observou-se uma importante mudança no padrão de concorrência do setor automobilístico. A entrada em nível mundial de empresas orientais, dotadas de um modelo de produção consolidado que alia custos baixos à alta qualidade, conquista progressivamente a credibilidade dos consumidores, deslocando significativamente a participação de mercado das montadoras tradicionais.

A concorrência mais acirrada, aliada ao custo de produção mais baixo desses novos players, resultou em um expressivo aperto das margens de lucro das montadoras ocidentais (CASOTTI; GOLDENSTEIN, 2008). Assim, cresce a cada dia a pressão por sistemas produtivos que sejam mais eficientes e controláveis, fomentando a busca por alternativas inteligentes e viáveis (PEREIRA; LIBRANTZ, 2015).

Pressionadas pelo acirramento da concorrência, nos últimos tempos, as empresas industriais conquistaram notáveis ganhos em produtividade e qualidade, mas sabem que não podem arrefecer seus esforços de melhoria contínua (SILVA et al., 2011). Para Rodriguez, Costa e Carmo (2013), os sistemas de Planejamento e Controle da Produção (PCP) desempenham assim, um importante papel na busca contínua pela melhor utilização dos recursos de produção.

Neste contexto, Márquez Delgado et al. (2012) comentam que o planejamento e controle da produção é reconhecido como um problema complexo no mundo dos negócios, especialmente sequenciamento (*scheduling*), que desempenha um papel muito importante no processo de tomada de decisão.

Deste modo, as empresas devem programar atividades de forma a utilizar os recursos disponíveis de maneira eficiente, a fim de minimizar custos e respeitar compromissos de entrega estabelecidos com os clientes (ROUBELLAT; LOPEZ, 2010).

A programação da produção tem sido muito estudada nas últimas décadas, sempre buscando soluções ótimas, ou boas, do ponto de vista de redução de tempo e custo de setup, tempo de produção (*makespan*), tempo de fluxo, atraso das tarefas e no atendimento das ordens de produção dentro de prazos de entrega e com a melhor utilização dos recursos da fábrica (PEREIRA; LIBRANTZ, 2015).

Quando o sistema de produção funciona como uma linha de produção, em um fluxo, tem-se um *flow shop*. Dada a necessidade de se aumentar a capacidade da linha adicionando-se mais máquinas em determinados estágios do processo criou-se o *flow shop* híbrido (OLIVEIRA; TURRIONI, 2012).

O estudo teve como base uma linha de produção do tipo *flow shop* híbrido, de uma empresa multinacional do setor automotivo. O produto final resulta da montagem de dois componentes, sendo esta montagem realizada em uma de quatro diferentes estações, a depender das características deste produto.

As principais características do sistema do ponto de vista da programação de produção são tempos de processamento estocásticos e tempos de *setup* dependentes da sequência.

Os sistemas de *flow shop* híbrido (HFS) são ambientes de produção comuns em que um conjunto de n postos de trabalho devem ser processados em uma série de m estágios otimizando uma determinada função objetivo (RUIZ; VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, 2010). Nos últimos anos métodos meta-heurísticos são comumente utilizados para a solução de problemas de *scheduling* em ambientes *flow shop* híbrido, obtendo resultados satisfatórios (ZHANG et al., 2017).

Em conjunto com tais métodos, modelos de programação algébrica servem o escopo de determinar soluções ótimas ou quase ótimas para variáveis de decisão através da descrição de problemas em termos de função objetivo e restrições a serem satisfeitas. No entanto esses são complexos e difíceis de envolver incertezas em sua formulação. Assim, modelos de simulação surgem como alternativa viável na solução desses problemas (CAGGIANO; BRUNO; TETI, 2015). Desta forma, a utilização da simulação a eventos discretos em conjunto com tais algoritmos é comum na solução de problemas deste tipo (ALLAOUI; ARTIBA, 2004; FRANTZÉN; NG; MOORE, 2011; LIN; CHEN, 2015).

É fato que a programação da produção tem sido objeto de estudo frequentemente explorado pelas comunidades acadêmicas desde a década de 60. Trata-se de uma das áreas com mais publicações em conferências e revistas especializadas. Todavia, trata-se também de uma das áreas onde há uma enorme distância entre a teoria e o que se consegue aplicar na prática (ENDLER et al., 2015). Assim, ao se basear em um sistema real para sua modelagem, este trabalho vem contribuir a este ramo de pesquisa.

1.2 Questão de pesquisa

Existem vantagens em utilizar a simulação a eventos discretos, em conjunto com o algoritmo genético, para otimização do programa de produção de uma linha de montagem do tipo *flow shop* híbrido de uma empresa de componentes automobilísticos em relação à regra de data mais cedo de entrega com priorização por criticidade de pedido atualmente utilizada?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho é utilizar a simulação a eventos discretos em conjunto com o algoritmo genético para otimização do planejamento de produção de uma linha de produção de componentes automotivos, caracterizada como um ambiente *flow shop* híbrido.

1.3.2 Objetivos específicos

- Desenvolver o modelo computacional, e garantir sua qualidade por meio de verificação e validação;
- Comparar os resultados obtidos pelo algoritmo com o desempenho da regra de programação da produção utilizada na empresa.

1.4 Justificativa

A economia brasileira atravessa um período de grande retração. O PIB (Produto Interno Bruto) do país encolheu 3,8% em 2015 na comparação com 2014. No setor industrial, a queda foi ainda maior, apresentando uma redução de 6,2% em relação ao ano anterior (IBGE, 2016).

A indústria automotiva é de grande representatividade no Brasil. Emprega direta e indiretamente 1,5 milhão de brasileiros, compondo, em 2014, 20,4% do PIB industrial brasileiro e 4,1% do PIB total (ANFAVEA, 2016).

Acompanhando o quadro nacional, o setor automotivo também atravessa um momento difícil, como pode-se constatar ao analisar a Tabela 1. Para o mercado de veículos caminhões e ônibus, os níveis de produção total assemelham-se aos de 2003.

Tabela 1 - Produção total de auto veículos no Brasil.

ANO	AUTOMÓVEIS	COMERCIAIS LEVES	CAMINHÕES	ÔNIBUS	TOTAL
2003	1.561.780	160.061	78.960	26.990	1.827.791
2005	2.122.101	255.068	117.693	35.387	2.530.249
2010	2.924.208	484.839	191.621	45.880	3.646.548
2011	2.630.893	530.330	229.083	56.023	3.446.329
2012	2.765.557	488.872	136.264	41.556	3.432.249
2013	2.954.711	547.749	190.962	45.026	3.738.448
2014	2.504.117	487.751	143.660	37.222	3.172.750
2015	2.017.831	332.446	77.686	25.659	2.453.622

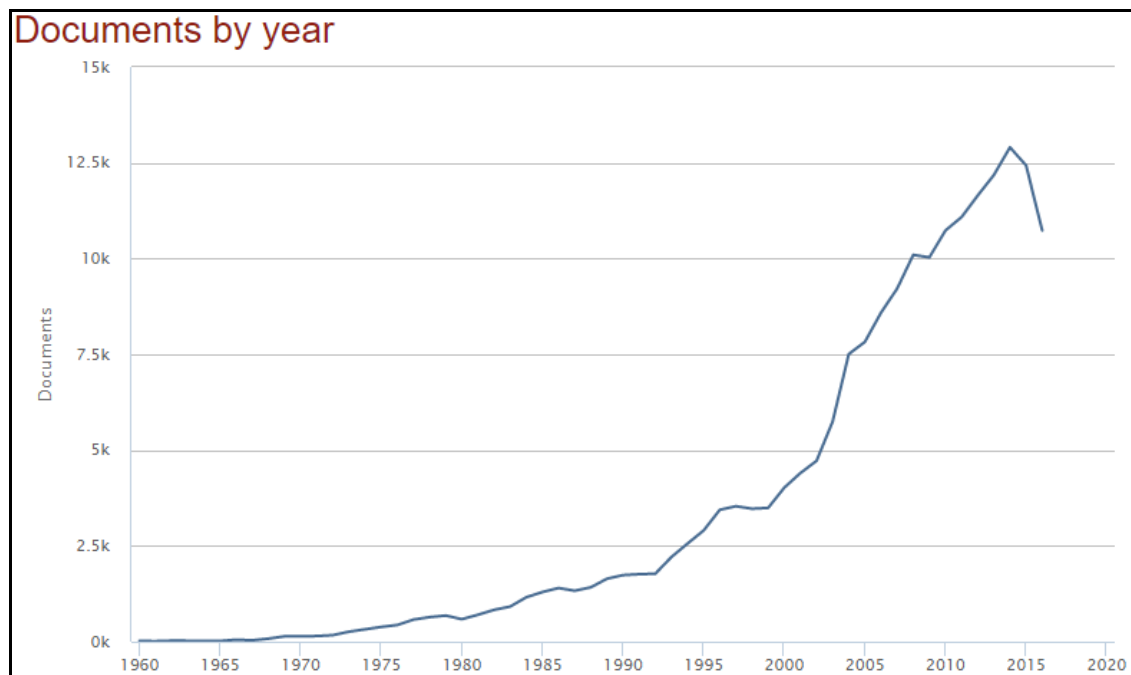
Fonte: (ANFAVEA, 2016).

Esta situação fomenta a busca por métodos de otimização de recursos e redução de custos. Ambas necessidades são satisfeitas ao se empregar um planejamento de produção mais eficiente.

Segundo Freitas e Vieira (2010), programas de produção devidamente dimensionados são capazes de aproveitar de modo adequado a capacidade produtiva dos recursos produtivos disponíveis, configurando notável vantagem competitiva a partir da redução de custos de produção por meio de menores níveis de estoques e maiores índices de produtividade.

Junto à academia, cresce o número de publicações na área de programação de produção, como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 – Publicações sobre o tema *Scheduling*.



Fonte: Scopus.

Segundo Fuchigami e Moccellini (2015), os sistemas *flexible flow shop* estão se tornando gradativamente mais frequentes na indústria, principalmente devido à grande carga de trabalho requerida pelas tarefas nas máquinas.

O sistema *flow shop* híbrido pode ser encontrado em um vasto número de indústrias, como química, eletrônica, de empacotamento, farmacêutica, automotiva, fabricação de embalagens de vidro, madeireira, têxtil, de herbicidas, alimentícia, de cosméticos e de semicondutores. Dada sua superioridade e aplicação em indústrias, o *flow shop* híbrido tem se tornado um tópico de destaque e muitas diferentes técnicas de sequenciamento têm se desenvolvido (ZHANG et al., 2017).

O problema de sequenciamento da produção, apesar de apresentar variados métodos de solução, ao considerar parâmetros aleatórios destaca-se a otimização via simulação devido a sua capacidade para estudar as dinâmicas do sistema e suas aleatoriedades (KAYLANI; ATIEH, 2016). Esta abordagem é utilizada neste trabalho.

1.5 Delimitações

Este trabalho delimita-se ao estudo da otimização da programação da produção de uma empresa de componentes automotivos presente na região do Vale do Paraíba.

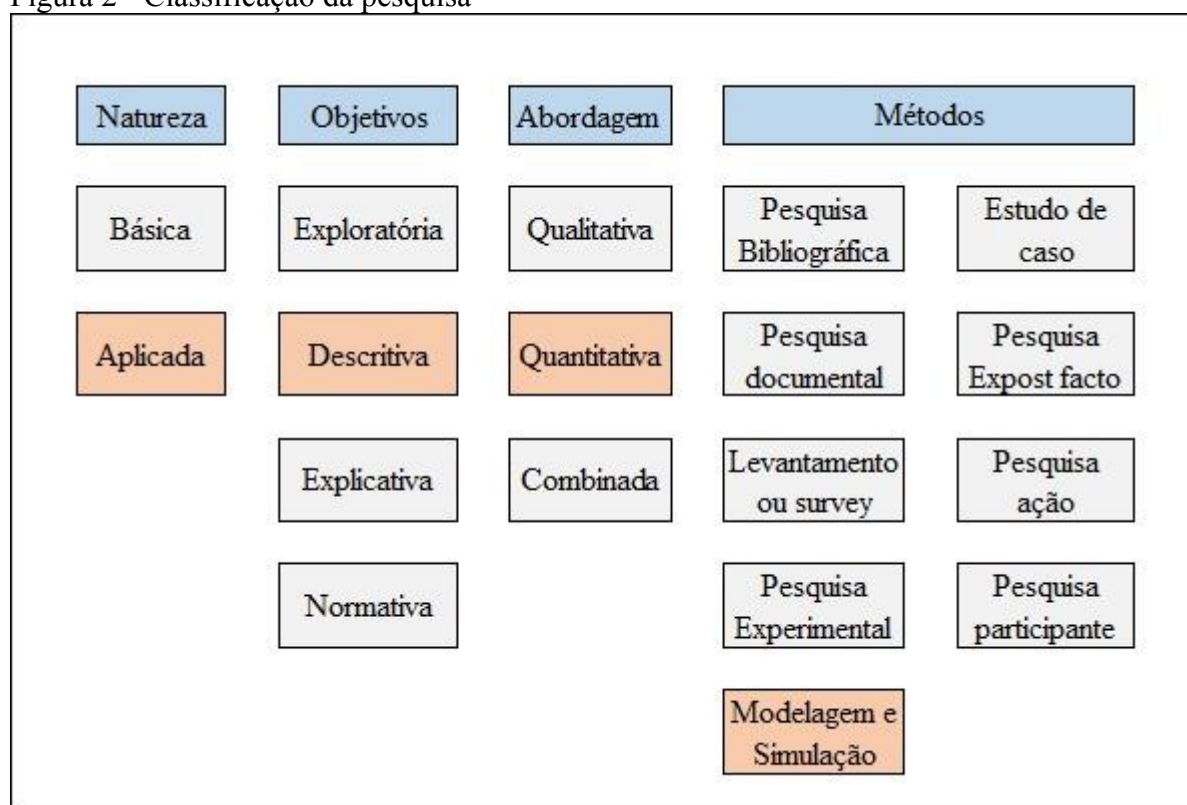
O sistema produtivo estudado é o de *flow shop* híbrido de montagem com tempos de processamento estocásticos e tempos de *setup* dependentes da sequência. Considera-se todas as tarefas, máquinas e recursos disponíveis no instante inicial. Por fim, este trabalho limita-se

à utilização do software *Plant Simulation*®, disponibilizado pela empresa, para a simulação e uso de seu otimizador via algoritmo genético.

1.6 Método de pesquisa

Seguindo a classificação proposta por Miguel (2012), esta pesquisa é de abordagem quantitativa, pois busca por meio dos números apontar fenômenos e extrair informações para estratificá-las e analisá-las. Com relação à sua natureza, classifica-se como aplicada, pois busca contribuir com conhecimentos de aplicação prática. Do ponto de vista de seus objetivos, caracteriza-se como descritiva, buscando, sem interferir no sistema, a análise e interpretação dos eventos estudados. Por fim, o procedimento de pesquisa utilizado será o de modelagem e simulação. A Figura 2 resume a classificação desta pesquisa.

Figura 2 - Classificação da pesquisa



Fonte: Adaptado de (MARTINS; MELLO; TURRIONI, 2014).

Para o estudo buscou-se uma empresa que se enquadrasse no modelo de produção estudado, do setor automotivo, situada no Vale do Paraíba e aberta a disponibilizar dados para o desenvolvimento deste.

Os dados foram coletados junto à empresa, via documentação.

Após o entendimento e modelagem conceitual do problema, este foi traduzido computacionalmente com o auxílio do software *Plant Simulation*. Este software,

especializado em simulação de eventos discretos, possui um módulo otimizador que aplica a meta-heurística do algoritmo genético, dados os parâmetros de otimização e função objetivo, na busca de melhores resultados. O mesmo software já foi utilizado com sucesso em estudos semelhantes (BAKO; BOŽEK, 2016; KLOUD; KOBLASA, 2011; TIAN; WANG, 2012). Após a simulação, os resultados dos modelos foram comparados e analisados.

1.7 Estrutura do trabalho

Este trabalho estrutura-se como segue. A Seção 2 apresenta o referencial teórico, elaborando sobre ferramentas de auxílio a tomada de decisões, em específico sobre planejamento e controle da produção, programação da produção, flow shop híbrido, simulação a eventos discretos, meta-heurística e algoritmo genético e, por fim, otimização via simulação a eventos discretos. A Seção 3 contém a modelagem, simulação e otimização do sistema. Encerrando, a Seção 4 expõe as conclusões e contribuições do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Planejamento e controle da produção

Para as empresas atingirem seus objetivos, elas precisam planejar antecipadamente e controlar de forma adequada sua produção. Para isso, existe o planejamento e controle de produção (PCP) que visa aumentar a eficiência e a eficácia da empresa (CHIAVENATO, 2008).

O Planejamento, Programação e Controle da Produção é definido por Slack, Brandon-Chambers e Johnston (2013) como um conjunto de atividades que buscam conciliar o fornecimento dos produtos e serviços de uma operação com a sua demanda, garantindo a disponibilidade dos recursos produtivos na quantidade, no momento e no nível de qualidade correta.

Segundo Fernandes e Godinho (2009), as principais atividades do PCP são:

- Prever a demanda;
- Desenvolver um plano de produção agregado
- Realizar um planejamento da capacidade que suporte o planejamento agregado;
- Desagregar o plano agregado;
- Programar a produção no curto prazo em termos de itens finais e analisar a capacidade no nível MPS (Programa Mestre de Produção);
- Controlar por meio de regras de controle (por exemplo, regras de controle de estoques) ou programar as necessidades em termos de componentes e materiais e avaliar/analisar a capacidade no nível SCO;
- Controlar a emissão/liberação das ordens de produção e compra, determinando se e quando liberar as ordens (atividade chamada na literatura de revisão e liberação de ordens – *Order Review and Release* – ORR);
- Controlar estoques;
- Programar/sequenciar as tarefas nas máquinas (*dispatching* ou *scheduling*).

Para um melhor entendimento sobre o PCP, é importante diferenciarmos planejamento e controle, uma vez que as atividades envolvidas nessa disciplina relacionam-se à gestão da capacidade de execução de uma certa operação com as demandas que esta exige (SLACK; BRANDON-JONES; JOHNSTON, 2013).

Segundo Chiavenato (2008), planejamento é a função administrativa que determina antecipadamente quais os objetivos a alcançar, o que fazer, como fazer e quando fazer, para

atingi-los da melhor maneira possível. Já controle é a função administrativa que consiste em medir e corrigir o desempenho fazendo com que os planos sejam executados da melhor maneira possível. A tarefa do controle é verificar se está sendo feito conforme o que foi planejado e organizado, para identificar os erros ou desvios, a fim de corrigi-los e evitar repetição.

Para Andrade e Fernandes (2015), pode-se observar que independentemente do sistema produtivo, da tecnologia empregada no processo e da forma empregada para administrar a produção, existem algumas atividades que são inerentes à realização do PCP. Estas atividades são apresentadas no Quadro 1, já elencadas de acordo com sua alocação no PP e CP.

Quadro 1 - Atividades do PCP

PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO (PP)	CONTROLE DA PRODUÇÃO (CP)
➤ Previsão de demanda ➤ Planejamento agregado ➤ Planejamento da capacidade ➤ Planejamento desagregado	➤ Programação mestre ➤ Análise de capacidade ➤ Coordenação de ordens de compra e produção ➤ Controle de estoques ➤ Controle de chão de fábrica ▪ Liberação de ordens ▪ Programação de operações ▪ Apontamento de produção

Fonte: (ANDRADE; FERNANDES, 2015).

A gestão dos sistemas de produção desempenha um papel estratégico na manufatura, e nesse aspecto sobressai o planejamento e controle da produção (PCP). Dentre as funções do PCP, a programação da produção é essencial para viabilizar o planejamento (BITTENCOURT; LANDMANN, 2007) .

2.2 Programação da produção

A programação da produção refere-se à ordenação de tarefas a serem executadas, em uma ou diversas máquinas, considerando-se uma base de tempo, ou seja, determinando-se principalmente, as datas de início e fim de cada tarefa. Em outras palavras, a programação da produção pode ser definida como a determinação de quanto e onde cada operação necessária para a fabricação de um produto deve ser realizada.

As tarefas são conhecidas, determinadas e devem ser executadas nas máquinas. Cada tarefa corresponde a um dado conjunto de operações que tem uma sequência a ser seguida para a execução completa (MORAIS; MOCCELLIN, 2010).

A programação da produção (*scheduling*) é caracterizada como um processo de tomada de decisões em nível operacional, o qual pode ser definido como a alocação dos recursos de produção disponíveis para executar determinadas tarefas de forma eficiente em um determinado período de tempo (JUNGWATTANAKIT; REODECHA; CHAOVALITWONGSE, 2009; PHANDEN; JAIN; VERMA, 2012).

O *scheduling* é uma função importante dentro de toda organização, pois dela depende que os clientes possam receber os produtos requeridos nas quantidades, momento e lugar indicado. Problemas de *scheduling* se relacionam com a alocação de recursos limitados, ao longo do tempo, para realizar tarefas, de modo que satisfaça objetivos estabelecidos. Vale ressaltar o amplo significado de recursos, que podem ser ferramentas, materiais, máquinas, energia, e outros (PINEDO, 2016).

Para Morais et al. (2010) os Problemas de Programação da Produção (PPP) são classificados de acordo com os sistemas de produção, por tipo de posicionamento do processo de produção, onde ocorrem. Assim, podem ser classificados conforme segue em: Máquina Única; Máquinas Paralelas; *Flow Shop*; *Flow Shop* Permutacional (FSP); *Flow Shop* com máquinas múltiplas; Job Shop; Job Shop com máquinas múltiplas, também denominado na literatura de *Flow Shop* Flexível, *Flow Shop* com Máquinas em Paralelo e *Flow Shop* Híbrido; Open Shop; Por Projeto;

Destes destacam-se, segundo Oliveira e Turrioni (2012):

- *Open shops* - são o tipo mais geral e mais flexível dos problemas de planejamento da produção, nesse tipo de problema não existem rotas específicas para cada tarefa ou produto, elas podem ser fabricadas em qualquer máquina do sistema e suas operações pode seguir qualquer ordem de fabricação sem afetar o bom andamento do processo;

- *Job shop*- o sistema de produção funciona como se fosse uma célula de produção composta por m máquinas em série e o produto estaria pronto ao passar por todas essas operações.
- *Flow shop* - Quando o sistema de produção funciona como uma linha de produção, em um fluxo.
- *Flow shop híbrido* - Dada a necessidade de se aumentar a capacidade da linha adicionando-se mais máquinas em determinados estágios do processo.

Endler et al. (2015) faz uso de uma notação de três parâmetros $\alpha/\beta/\gamma$, amplamente utilizada na literatura atual, para descrever os problemas de programação, onde:

- O campo α descreve o ambiente da máquina e contém uma única entrada; existem cinco categorias: máquina única, máquinas paralelas, *flow shop*, *job shop* e *open shop*. Alguns deles podem ser quebrados em subcategorias.
- O campo β fornece detalhes das características de processamento e as restrições, e pode não conter entradas, uma entrada única, ou múltiplas entradas;
- O campo γ contém o objetivo a ser minimizado e, geralmente, contém uma única entrada.

Existem cinco principais categorias de ambiente de máquina (α) em problemas de programação: máquina única, máquinas paralelas, *flow shop*, *job shop* e *open shop*.

Alguns deles podem ser quebrados em subcategorias. O caso de uma única máquina é apresentado no campo $\alpha=1$ e é o mais simples de todos os ambientes de máquinas possível. Os exemplos de possíveis dados de entrada no campo β são: data de liberação (r_j), os tempos de setup dependentes da sequência (s_{jk}), interrupções ($prmn$), restrições de precedência ($prec$), avarias ($brkdown$), restrições de elegibilidade de máquina (M_j), permutações ($prmu$), bloqueio (*block*) sem-espera (*nwt*) e recirculação (*recrc*).

Exemplos de possíveis dados de entrada no campo β são: data de término (s_{jk}), tempo de fluxo (F_j), atraso da tarefa (L_j), tempo de atraso da tarefa (T_j), makespan – o tempo para completar todas as tarefas (C_{max}), atraso máximo (L_{max}), atraso ponderado ($\sum_{j=1}^n w_j C_j$), tempo de término total ponderado ($\sum_{j=1}^n w_j T_j$), número ponderado de tarefas atrasadas ($\sum_{j=1}^n w_j U_j$), etc. As entradas do campo γ são indicadores de desempenho determinados pela exigência da operação e gestão.

No entanto, Vignier et al. (1999) estabelece a divisão do parâmetro α em 4 sub-parâmetros:

- α_1 : O qual define o tipo de sistema produtivo. No caso HF seria *flow shop* híbrido.
- α_2 : O número de estágios

α_3 : Se o mesmo apresenta máquinas paralelas idênticas (P), uniformes (Q) ou não relacionadas (R).

α_4 : O número de máquinas paralelas em determinado estágio.

Desta forma, na notação proposta pelos autores, o sistema estudado neste trabalho pode então ser classificado como: HF,2,R,4/ $s_{jk} / \sum_{j=1}^n w_j C_j$.

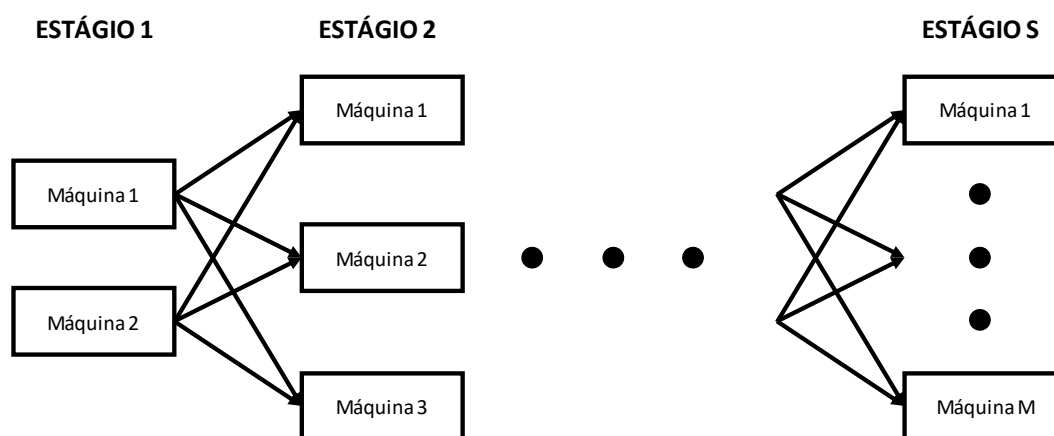
2.3 O sistema *flow shop* híbrido

Os *flow shop* híbridos são sistemas produtivos caracterizados por um fluxo unidirecional de tarefas que passam por sucessivos estágios de produção. Alguns estágios podem ter apenas uma máquina, porém ao menos um estágio deve possuir mais de uma máquina.

Em cada estágio, as tarefas devem ser executadas necessariamente por uma única máquina. Em essência, este sistema consiste em dois subproblemas: associar as operações das tarefas nas máquinas (problema de alocação) e sequenciar as operações em cada máquina (problema de sequenciamento) (FUCHIGAMI; MOCCELLIN, 2015; ZHANG et al., 2017).

A Figura 3 ilustra uma estrutura padrão de um *flow shop* híbrido.

Figura 3 - Estrutura padrão de um *flow shop* híbrido.



Fonte: Adaptado de Lin e Chen (2015).

Segundo Oliveira e Turrioni, 2012, em um *flow shop* híbrido, existem três tipos básicos de máquinas que são geralmente considerados:

- Máquinas idênticas: são aquelas que têm a mesma capacidade de produção e desenvolvem os trabalhos na mesma velocidade.

-Máquinas uniformes: são aquelas em que cada máquina dentro de um estágio escolhido tem uma velocidade relacionada e esta velocidade será utilizada como parâmetro para encontrar o novo tempo de processamento da tarefa naquela máquina.

- Máquinas não relacionadas: o tempo de processamento depende de cada máquina em específico. É encontrado nos sistemas de produção devido a máquinas que se ajustam melhor a alguns tipos de tarefas do que em outros ou em sistemas de produção com máquinas dedicadas, adquiridas para realizar uma única tarefa, pois essa tarefa apresenta características muito específicas.

Desta forma, o sistema apresentado no trabalho classifica-se como um *flow shop* híbrido de máquinas não relacionadas.

Os métodos de solução para Problemas de Programação da Produção são divididos em duas categorias: a) métodos de solução ótima - geram uma programação ótima de acordo com o critério de desempenho adotado, tais como técnicas de enumeração do tipo Branch-and-Bound e Programação Linear Inteira; b) métodos heurísticos - buscam alcançar uma solução próxima da solução ótima, em um tempo computacional (tempo de solução) aceitável, tais como metaheurísticas Busca Tabu, Simulated Annealing e Algoritmo Genético, são classificados em construtivos ou melhorativos (MORAIS; MOCCELLIN, 2010).

2.4 Simulação a eventos discretos

O termo simulação a eventos discretos refere-se a uma técnica de modelagem onde apenas as alterações nos estados do sistema são representadas. Essencialmente, ele cria uma fila de eventos que afetam o estado do sistema. Esses eventos são organizados com base em seus horários. A simulação passa então por esses eventos e aplica as mudanças no sistema sem modelar o tempo entre dois eventos (ALRABGHI; TIWARI, 2016).

A vantagem da simulação baseada em eventos é que o período inativo entre dois eventos mais próximos pode ser ignorado e a causalidade é garantida na simulação (PENG; QU; SHI, 2014).

Para realizar estudos de simulação em sistemas reais são reconhecidas as seguintes etapas: o modelo conceitual; análise das entradas do sistema; desenvolvimento de modelos; verificação; validação; análise dos resultados; e experimentação com o modelo de simulação (NÚÑEZ SEGOVIA; GODOY GARVS; PÉREZ POZO, 2016).

A modelagem conceitual é um dos aspectos mais importantes de um projeto de simulação. Envolve a abstração de um modelo do sistema do mundo real, identificando o que tem de ser modelado e como (FURIAN et al., 2015). Esta compreende o levantamento de suposições sobre os componentes do sistema, a estrutura do sistema (inclusive as interações

entre os componentes) e as hipóteses sobre os parâmetros e variáveis envolvidas (SAKURADA; MIYAKE, 2009).

Antes de tomar qualquer decisão com base em resultados provenientes do modelo de simulação, é fundamental que o modelo desenvolvido represente exatamente o atual sistema. Primeiro, a verificação deve ser feita a fim de assegurar que o modelo se comporta como esperado. Em seguida, é realizada a validação, que consiste em definir se o modelo de simulação se comporta exatamente como o sistema real (JIMÉNEZ-GARCÍA et al., 2014).

2.5 Meta-heurística e Algoritmo genético

A ideia mais genérica do termo heurística é a de resolver inteligentemente problemas reais usando o conhecimento disponível. Se qualifica com heurístico um procedimento em que se tem um alto grau de confiança para encontrar soluções de alta qualidade com um custo computacional razoável, mesmo que não se garanta sua otimalidade (MELIÁN; MORENO PEREZ; MARCOS MORENO-VEGA, 2003).

Os algoritmos Heurísticos e os Meta-Heurísticos são alternativas em relação aos métodos exatos devido ao alto custo computacional dos modelos matemáticos. Os métodos Heurísticos procuram alcançar os resultados para os problemas rapidamente, mas não garantem que a solução obtida seja a solução ótima; mas apresentam resultados satisfatórios em um tempo computacional aceitável. Por outro lado os métodos e algoritmos Meta-Heurísticos são de uso e aplicação geral, normalmente eles não se “prendem” a ótimos locais e buscam o ótimo global (FERREIRA et al., 2015).

Os Algoritmos Genéticos foram primeiramente propostos por John Holland nos anos 60 e desenvolvidos por ele e seus estudantes durante os anos 60 e 70 na Universidade de Michigan (HOLLAND, 1975).

Algoritmos Genéticos constituem-se numa técnica heurística de busca de soluções que pode ser aplicada em uma variedade de problemas na área de gestão da manufatura e estoques (MEDEIROS, 2015). Este depende de operadores genéticos como seleção, cruzamento e mutação para procurar o espaço de solução para soluções ótimas. O algoritmo genético é uma poderosa técnica de busca, que tem sido aplicada com sucesso para resolver problemas combinatórios em diferentes disciplinas (HUANG; WU; CHENG, 2013).

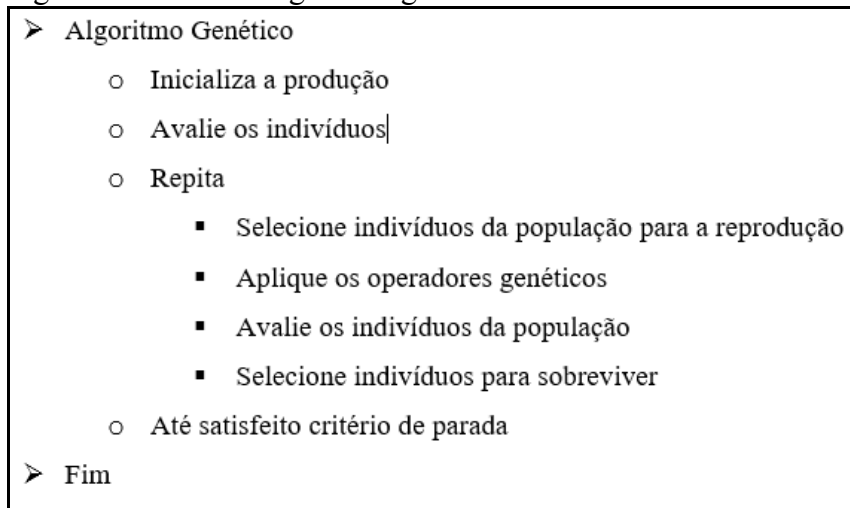
Teles e Gomes (2010), descrevem o funcionamento dos algoritmos genéticos básicos da seguinte forma:

1. Geração da população inicial que consiste de um conjunto de possíveis soluções para o problema a ser resolvido. Essa população é geralmente gerada de forma aleatória;

2. A população é avaliada (de acordo com uma função chamada função de custo) e cada cromossomo recebe um valor que reflete sua qualidade para resolução do problema;
3. Depois de avaliados, os indivíduos passam por um processo de seleção onde os indivíduos mais aptos são selecionados e os menos aptos são descartados;
4. São aplicados os operadores genéticos nos cromossomos selecionados. Os operadores genéticos mais conhecidos são o de cruzamento e o de mutação;
5. Uma nova geração de soluções é obtida contendo os descendentes gerados pelas modificações realizadas na etapa 4;
6. As etapas de 2 a 5 são repetidas até que seja encontrada uma solução satisfatória.

As etapas mencionadas podem ser melhor compreendidas através de um pseudocódigo, ilustrado na Figura 4.

Figura 4 - Pseudocódigo do Algoritmo Genético



Fonte: (TELES; GOMES, 2010)

2.6 Otimização via simulação a eventos discretos

A simulação e a otimização foram tradicionalmente consideradas abordagens separadas (ou alternativas) no campo da pesquisa operacional. No entanto, tremendo saltos no poder computacional promoveu o aparecimento de métodos que combinaram ambos (FIGUEIRA; ALMADA-LOBO, 2014).

O termo otimização via simulação é um termo genérico para técnicas utilizadas para otimizar simulações estocásticas. A otimização via simulação envolve a busca por configurações específicas dos parâmetros de entrada para uma simulação estocástica de modo

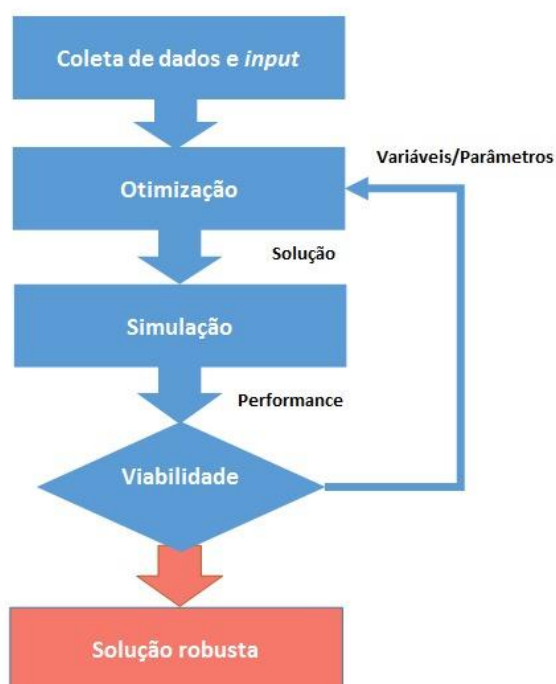
que um objetivo, que é uma função de saída da simulação, seja melhorada, sem perda de generalidade (AMARAN et al., 2016).

A integração da simulação com técnicas de otimização vem sendo fortemente estudada em diversos campos de atuação. No estudo de Granja et al. (2014), a simulação integrada com meta-heurística do algoritmo de recozimento simulado foi utilizado para otimizar a sequência de admissão de pacientes buscando minimizar a conclusão total e a espera total dos pacientes.

Al-Dhaheiri, Jebali e Diabat (2016) utilizaram a otimização via simulação para programação da utilização de guias de cais. Ao executarem testes utilizando parâmetros estocásticos e determinísticos, obtiveram melhores resultados na versão estocástica. No entanto, o tempo computacional requerido mostrou-se muito maior para esta.

Caggiano, Bruno e Teti (2015) usaram a integração de ferramentas de otimização e simulação para resolver problemas de programação da produção e constataram que a simulação a eventos discretos pode produzir indicações úteis sobre a robustez das soluções encontradas além de sugerir estratégias de melhoria potencial. Frantzén, Ng e Moore (2011) também estudaram a otimização via simulação do scheduling de um flow shop híbrido utilizando Algoritmo Genético. Destaca-se a implementação desta otimização de sistemas feita de forma online e em tempo real, possibilitando a criação de um novo programa de produção com dados atualizados caso necessário. No geral, a estrutura de um processo de otimização via simulação a eventos discretos segue o fluxo representado na Figura 5.

Figura 5 - Abordagem integrada de otimização via simulação



A otimização via simulação é uma ferramenta de tomada de decisão muito utilizada, sendo capaz de capturar as intrincadas relações e interações entre diversas entidades em um sistema complexo do mundo real e, posteriormente, identificar o melhor projeto ou solução (LIN; CHEN, 2015). Apesar de ser uma caixa preta opaca na perspectiva de um profissional, a otimização via simulação permite tratar problemas de natureza estocástica e restrições complexas, cuja modelagem matemática e implementação de solução exata são difíceis do ponto de vista acadêmico (KORYTKOWSKI; WIŚNIEWSKI; RYMASZEWSKI, 2013; LIN; CHEN, 2015).

Ainda assim, combinar simulação e otimização normalmente resulta em métodos altamente exigentes em termos de esforço computacional, mesmo para padrões atuais (AL-DHAHERI; JEBALI; DIABAT, 2016). Desta forma, o tempo computacional caracteriza uma das possíveis desvantagens desta abordagem.

3 MODELAGEM, SIMULAÇÃO E OTIMIZAÇÃO

3.1 Considerações iniciais

A empresa onde se desenvolveu este estudo integra um grupo multinacional, presente em 14 países que atua majoritariamente no setor de peças automotivas. A unidade de produção componentes de aço localiza-se na região do Vale do Paraíba. Seus produtos são fornecidos para as principais montadoras do país, compondo grande parte dos veículos comerciais e agrícolas produzidos no Brasil.

O sistema de programação de produção atual da empresa leva em consideração apenas a data de entrega e um fator de criticidade estabelecido de acordo com o pedido. Desta forma, prioriza-se primeiro pela regra *Earliest Due Date* ou data mais cedo de entrega e em seguida pelo fator descrito. Por fim, itens semelhantes são agrupados, buscando evitar *setups*.

A linha em estudo consiste em um *flow shop* híbrido, de dois estágios. No primeiro, dois componentes são produzidos separadamente na laminação e prensaria, para no segundo estágio serem montados e formarem o produto final. O segundo estágio consiste em quatro estações não-relacionadas. Sendo assim, os produtos são direcionados para sua respectiva estação de montagem de acordo com suas características, não podendo este ser montado em qualquer outra estação deste.

A linha trabalha em três turnos, totalizando 21 horas programáveis por dia. Outra restrição a ser considerada é a presença de *setups* dependentes da sequência de produção.

Algumas condições são consideradas para viabilizar o desenvolvimento deste trabalho: Assume-se que não há falta de matéria-prima e nem bloqueios na saída do sistema; Quebras de máquina e manutenção são desconsideradas; Tempos de *setup* são determinísticos; Tempos de transporte entre estágios e limites de estoque também são desconsiderados; Os pedidos devem ser processados em sua totalidade uma vez que entrem em produção, não havendo possibilidade de divisão de lotes; O sistema considera apenas os 15 produtos de maior volume de vendas.

Para meios de avaliação do desempenho do sistema, é usado o parâmetro de atraso ponderado ($\sum_{j=1}^n w_j C_j$), onde C é a diferença entre o tempo de entrega do pedido j e seu prazo estipulado para trabalhos atrasados e w é um fator de peso. Neste trabalho, adota-se w em função da criticidade do pedido.

3.2 Modelagem conceitual

Nesta etapa, objetiva-se representar graficamente o sistema a ser modelado. Desta forma é possível visualizar todos seus componentes, ajudando a estruturar o estudo de simulação.

O produto final é formado por dois componentes, os quais são produzidos em linha exclusiva e, devido à grande variedade de produtos, montados em quatro estações. As quatro estações são dedicadas, o que significa que um produto montado na estação A não pode ser montado na B.

Para a modelagem conceitual deste problema, utiliza-se a representação IDEF-SIM, proposta por Leal, Almeida e Montevechi (2008), devido a sua fácil interface com elementos comuns na modelagem a eventos discretos. Os elementos básicos desta representação podem ser observados no Quadro 2.

Quadro 2 - Simbologia utilizada na representação IDEF-SIM.

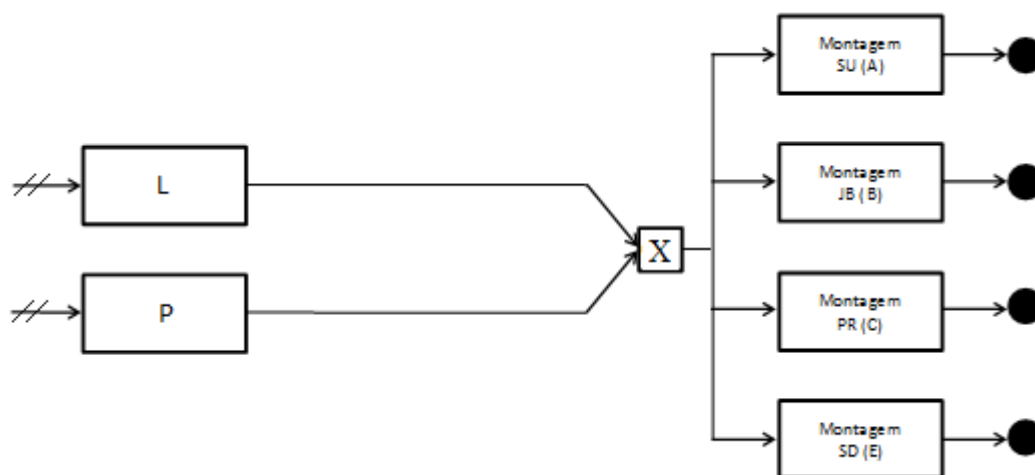
Elementos	Simbologia	Técnica de origem
Entidade		IDEF3 (modo descrição das transições)
Funções		IDEF0
Fluxo da entidade		IDEF0 e IDEF3
Recursos		IDEF0
Controles		IDEF0
Regras para fluxos paralelos e/ou alternativos	 Regra E	IDEF3
	 Regra OU	
	 Regra E/OU	
Movimentação		Fluxograma
Informação explicativa		IDEF0 e IDEF3
Fluxo de entrada no sistema modelado		
Ponto final do sistema		
Conexão com outra figura		

Fonte: (LEAL; ALMEIDA; MONTEVECHI, 2008).

Assim, a

Figura 6 contém o modelo conceitual do sistema estudado, onde L é a estação de laminação e P a de prensaria.

Figura 6 - Modelagem conceitual do sistema.



Fonte: (O AUTOR, 2016).

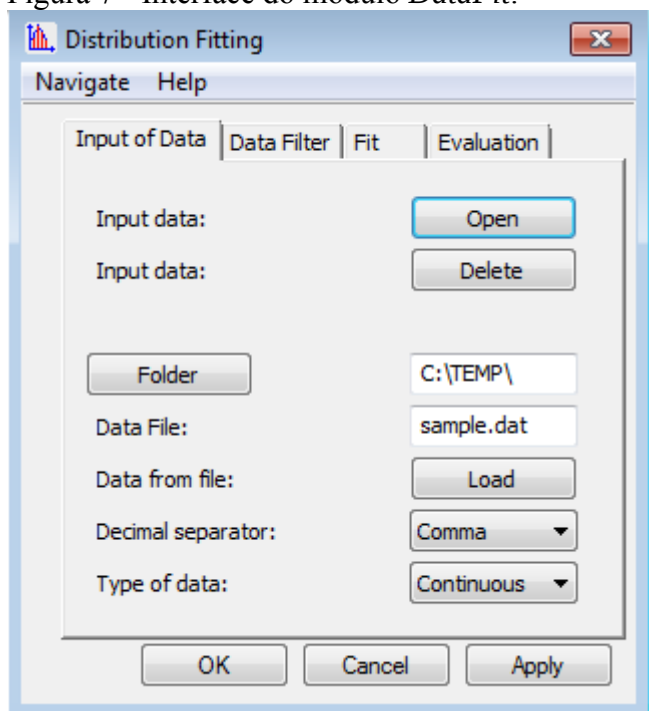
3.3 Coleta de dados

Para viabilizar o desenvolvimento do trabalho e facilitar a coleta de dados, o modelo considera apenas os 15 produtos com maior volume de vendas. Feita a seleção, a coleta de dados foi feita via documentação.

Os tempos de processamento foram coletados de cronoanálises desenvolvidas na empresa pelo setor de engenharia de manufatura. O tamanho de amostra considerado foi de 30 observações, sendo assim suficiente para a realização de testes estatísticos paramétricos (GHASEMI; ZAHEDIASL, 2012). Os valores então foram tratados com auxílio do módulo *DataFit*, presente no software *Plant Simulation*. Este módulo realiza uma análise com os dados inseridos, ranqueando distribuições conforme sua adequação a estes. A Figura 7 mostra a interface do módulo e na Figura 8 é exibido um exemplo de resposta deste.

4 \h * M
 ERGEFORMAT Figura 7 mostra a interface do módulo e na
 Figura 8 é exibido um exemplo de resposta deste.

33122 \h * M
 ERGEFORMAT Figura 8 é exibido um exemplo de resposta deste.

Figura 7 - Interface do módulo *DataFit*.

Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

Figura 8 - Exemplo de resposta do módulo *DataFit*.

2.3333																
	string 0	real 1	real 2	boolean 3	real 4	real 5	boolean 6	real 7	real 8	boolean 9	real 10	real 11	real 12	string 13	string 14	string 15
string	Distribution	Chi statistic	Chi value	Result Chi	KS statistic	KS value	Result KS	AD statistic	AD value	Result AD	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
1	Triangle	2.0000	3.8091	true	0.7180	1.3580	true	4.5987	2.4920	false	21.1	19.8	23.7	c = 21	a = 20	b = 24
2	Laplace	2.3333	5.9752	true	0.5500	1.3580	true	0.5704	2.4920	true	21.3	1.121942759		Mu = 21	Sigma = 1.1	
3	Lognorm	2.6089	5.9752	true	0.8401	1.3580	true	0.6886	2.4920	true	21.50640964	1.027444381		Mu = 22	Sigma = 1	
4	Cauchy	2.8443	5.9752	true	0.8998	1.3580	true	1.5359	2.4920	true	21.1	0.475		Mu = 21	Theta = 0.47	
5	Logistic	3.0000	5.9752	true	0.8508	1.3580	true	0.7618	2.4920	true	21.50666666	1.061207293		Mu = 22	Sigma = 1.1	
6	Loglogistic	3.0000	5.9752	true	0.7913	1.3580	true	0.6302	2.4920	true	21.48057077	36.81252897		Alpha = 21	Beta = 37	
7	Normal	3.0078	5.9752	true	0.8978	1.3580	true	0.8135	2.4920	true	21.50666666	1.043370606		Mu = 22	Sigma = 1	
8	Paralogistic	3.3333	5.9752	true	1.2004	1.3580	true	2.3070	2.4920	true	25.62160513	24.91461864		Alpha = 26	Theta = 25	
9	Pareto	3.3333	5.9752	true	0.7297	1.3580	true	4.8793	2.4920	false	18.79944581	20.38155108		Alpha = 19	Theta = 20	
10	Weibull	8.0000	5.9752	false	1.1716	1.3580	true	1.5650	2.4920	true	19.47380702	22.03211831		Alpha = 19	Beta = 22	
11	Uniform	8.3333	5.9752	false	1.3827	1.3580	false	4.8433	2.4920	false	19.8	23.7		Start = 20	Stop = 24	
12	Negexp	120.0000	7.8041	false	3.3801	1.3580	false	12.5345	2.4920	false	21.50666666			Beta = 22		
13	Frechet	1000.0000			0.4590	1.3580	true	0.2168	2.4920	true	26.75261852	21.02298316		Alpha = 27	Theta = 21	
14	Gumbel	1000.0000			0.5177	1.3580	true	0.2167	2.4920	true	21.50666666	1.061207293		Mu = 22	Sigma = 1.1	

Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

Assim, foram obtidas distribuições estatísticas capazes de representar o conjunto de tempos de processamento para cada um dos produtos e seus componentes. As distribuições e parâmetros considerados são exibidas nos quadros que seguem: O Quadro 3 contém as informações da Laminação, o Quadro 4 da Prensaria e o Quadro 5 da Montagem. Os dados completos de tempos e distribuições estão disponíveis no Apêndice A. Há de se observar que alguns dos modelos estudados compartilham componentes. No estágio de montagem, alguns dos modelos estudados se encaixam em uma mesma família de produtos, tendo tempos de processamento virtualmente iguais.

Quadro 3 - Distribuições e parâmetros para Laminação.

MODELO	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETRO 1	PARÂMETRO 2	PARÂMETRO 3
R_1	Normal	Mu = 24	Sigma = 0.93	
R_2	Weibull	Alpha = 26	Beta = 43	
R_3	Triangle	c = 21	a = 20	b = 24
R_4	Normal	Mu = 52	Sigma = 1.3	
R_5	Weibull	Alpha = 26	Beta = 43	
R_6	Triangle	c = 48	a = 41	b = 53
R_7	Normal	Mu = 23	Sigma = 0.94	
R_8	Lognorm	Mu = 36	Sigma = 1.7	
R_9	Normal	Mu = 43	Sigma = 1.6	
R_10	Lognorm	Mu = 40	Sigma = 1.4	
R_11	Normal	Mu = 24	Sigma = 1.1	
R_12	Normal	Mu = 45	Sigma = 2.7	
R_13	Lognorm	Mu = 36	Sigma = 2.1	
R_14	Normal	Mu = 23	Sigma = 0.94	
R_15	Uniform	Start = 46	Stop = 49	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 4 - Distribuições e parâmetros para Prensaria.

MODELO	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETRO 1	PARÂMETRO 2	PARÂMETRO 3
R_1	Lognorm	Mu = 48	Sigma = 2.2	
R_2	Lognorm	Mu = 40	Sigma = 1.9	
R_3	Weibull	Alpha = 17	Beta = 19	
R_4	Normal	Mu = 59	Sigma = 3.3	
R_5	Lognorm	Mu = 61	Sigma = 2.9	
R_6	Triangle	c = 1.2e+002	a = 1.1e+002	b = 1.3e+002
R_7	Weibull	Alpha = 52	Beta = 42	
R_8	Lognorm	Mu = 48	Sigma = 2.2	
R_9	Uniform	Start = 54	Stop = 70	
R_10	Normal	Mu = 58	Sigma = 4	
R_11	Triangle	c = 47	a = 47	b = 50
R_12	Triangle	c = 61	a = 59	b = 67
R_13	Weibull	Alpha = 52	Beta = 42	
R_14	Triangle	c = 24	a = 23	b = 27
R_15	Lognorm	Mu = 1.4e+002	Sigma = 6.7	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 5 - Distribuições e parâmetros para Montagem.

MODELO	DISTRIBUIÇÃO	PARÂMETRO 1	PARÂMETRO 2	PARÂMETRO 3
R_1	Erlang	Mu = 46	Sigma = 5.8	
R_2	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_3	Lognorm	Mu = 46	Sigma = 1.9	
R_4	Weibull	Alpha = 30	Beta = 1.2e+002	
R_5	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_6	Normal	Mu = 3e+002	Sigma = 11	
R_7	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_8	Erlang	Mu = 46	Sigma = 5.8	
R_9	Triangle	c = 65	a = 60	b = 81
R_10	Lognorm	Mu = 46	Sigma = 1.8	
R_11	Triangle	c = 74	a = 66	b = 80
R_12	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_13	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_14	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_15	Lognorm	Mu = 4.5e+002	Sigma = 35	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Os tempos de *setup* foram considerados determinísticos. Inicialmente foi realizada uma caracterização dos tipos de *setup* para cada troca possível. Então os valores comuns para estes foram considerados. A estrutura de tempos de *setup* pode ser observada na Figura 9 para laminação e Figura 10 para prensaria.

Figura 9 – Estrutura de tempos de setup para laminação.

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_10	R_11	R_12	R_13	R_14	R_15
R_1	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:10:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:10:00	00:10:00	00:45:00
R_2	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_3	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_4	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:10:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_5	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:00:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_6	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:00:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00
R_7	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:00:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:00:00	00:10:00	00:45:00
R_8	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:10:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:10:00	00:10:00	00:45:00
R_9	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_10	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_11	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:10:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:10:00	00:10:00	00:45:00
R_12	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00
R_13	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:00:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:00:00	00:10:00	00:45:00
R_14	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:45:00	00:10:00	00:10:00	00:25:00	00:25:00	00:10:00	00:25:00	00:10:00	00:00:00	00:45:00
R_15	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:45:00	00:00:00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Figura 10 – Estrutura de tempos de setup para prensaria.

	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	R_6	R_7	R_8	R_9	R_10	R_11	R_12	R_13	R_14	R_15
R_1	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:35:00
R_2	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_3	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_4	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_5	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_6	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:15:00
R_7	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:35:00
R_8	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:35:00
R_9	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_10	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:35:00
R_11	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:35:00
R_12	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00
R_13	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:25:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:25:00	00:35:00
R_14	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:25:00	00:35:00	00:00:00	00:25:00	00:25:00	00:15:00	00:15:00	00:25:00	00:25:00	00:00:00	00:35:00
R_15	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:15:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:35:00	00:00:00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

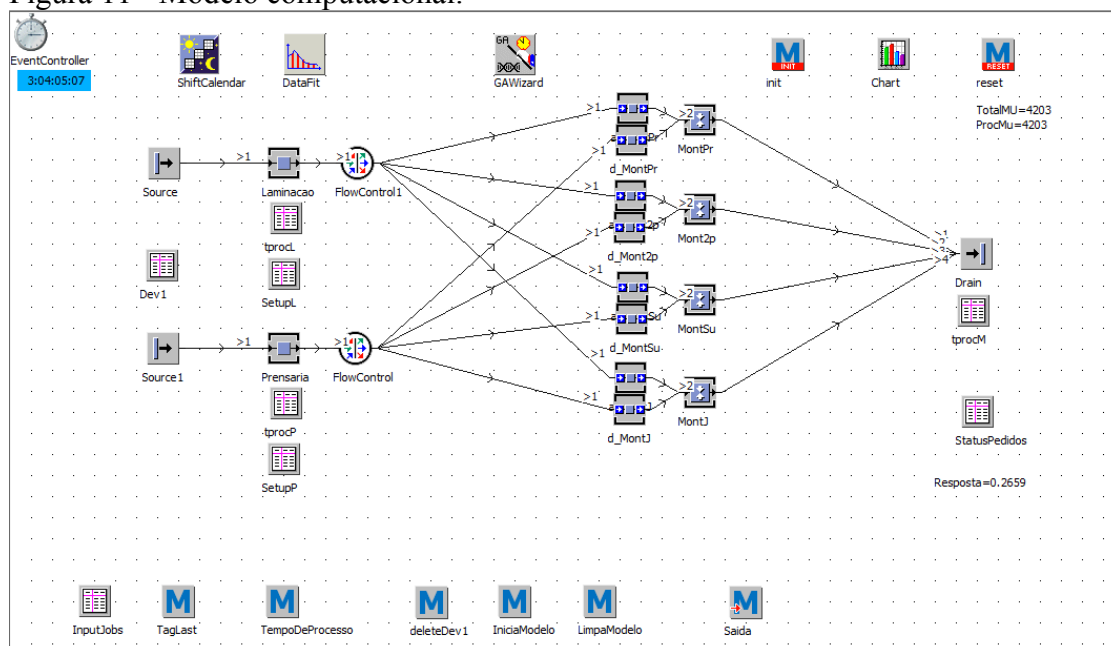
Já na montagem, onde os tempos de *setup* tendem a ser mais estáveis devido a maior similaridade entre modelos processados, foi utilizada uma média simples dos dados coletados pelas equipes operacionais, disponibilizado via relatório de produção.

3.4 Modelagem computacional

A modelagem computacional foi realizada no *software Plant Simulation*. Sua estrutura de desenvolvimento orientada a objeto é um grande destaque pois facilita a modularidade dos modelos desenvolvidos. Assim, em caso de uma análise futura, é possível reutilizar partes de um modelo computacional já existente ou até mesmo a incorporação deste em um sistema maior e mais abrangente.

O modelo completo pode ser visto na Figura 11.

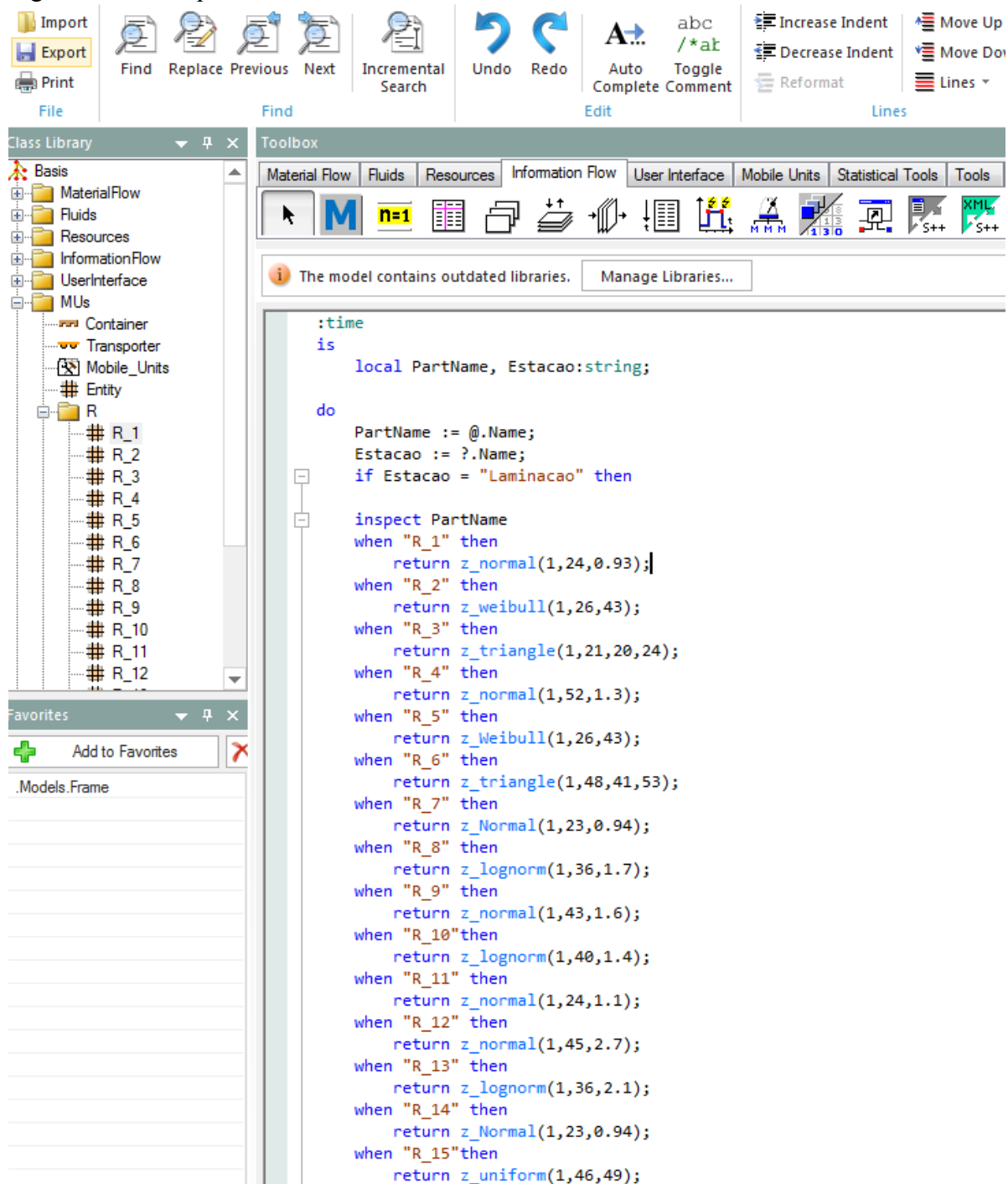
Figura 11 - Modelo computacional.



Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

A implementação de unidades de programação chamadas métodos, que utilizam a linguagem *SimTalk*, proporciona grande liberdade ao modelador. A Figura 12 ilustra um exemplo simples de utilização desta unidade ao retornar diferentes tipos de distribuições estocásticas de acordo com o tipo de unidade processada.

Figura 12 - Exemplo de método no Plant Simulation.



Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

3.5 Verificação e validação

A verificação do modelo foi realizada em duas etapas. Inicialmente com a observação do sistema simulado e sua animação. Em seguida com o auxílio de ferramentas de verificação de erros disponíveis no *Plant Simulation*. Além da possibilidade de se criar métodos específicos para verificar erros de roteamento ou processamento, destacam-se também o módulo de *Debug*, que permite fácil tratamento de inconsistências e a possibilidade de se acrescentar pontos de quebra ou *breakpoints*, que permitem a interrupção da simulação quando determinada linha de código é executada, facilitando assim a análise de variáveis e métodos executados em momentos chave do sistema. A Figura 13 mostra a barra de ferramentas que auxiliam no desenvolvimento e verificação de métodos no *software*.

Figura 13 - Barra de ferramentas de auxílio à verificação e desenvolvimento de métodos.



Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

Após esta etapa foi realizada a validação do modelo. O método utilizado foi a comparação com dados reais. Devido a presença de restrições adicionais no sistema real, como falta de matéria-prima, quebras e manutenção de máquinas, foram selecionados cinco dias de produção em que não se apresentavam estes eventos e em que fossem produzidos itens presentes no estudo.

A programação destes dias foi simulada e os resultados comparados com os tempos totais de produção apontados em relatório. Os resultados da comparação podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparação entre a resposta da simulação e os resultados reais do sistema.

TEMPO REAL	TEMPO REAL [min]	TEMPO SIMULADO	TEMPO SIMULADO [min]
16:47:00	1007	14:23:36	863
17:13:00	1033	15:52:44	952
20:49:00	1249	19:03:35	1143
17:15:00	1035	16:09:35	969
19:56:00	1196	17:38:06	1058

Fonte: (O AUTOR, 2016).

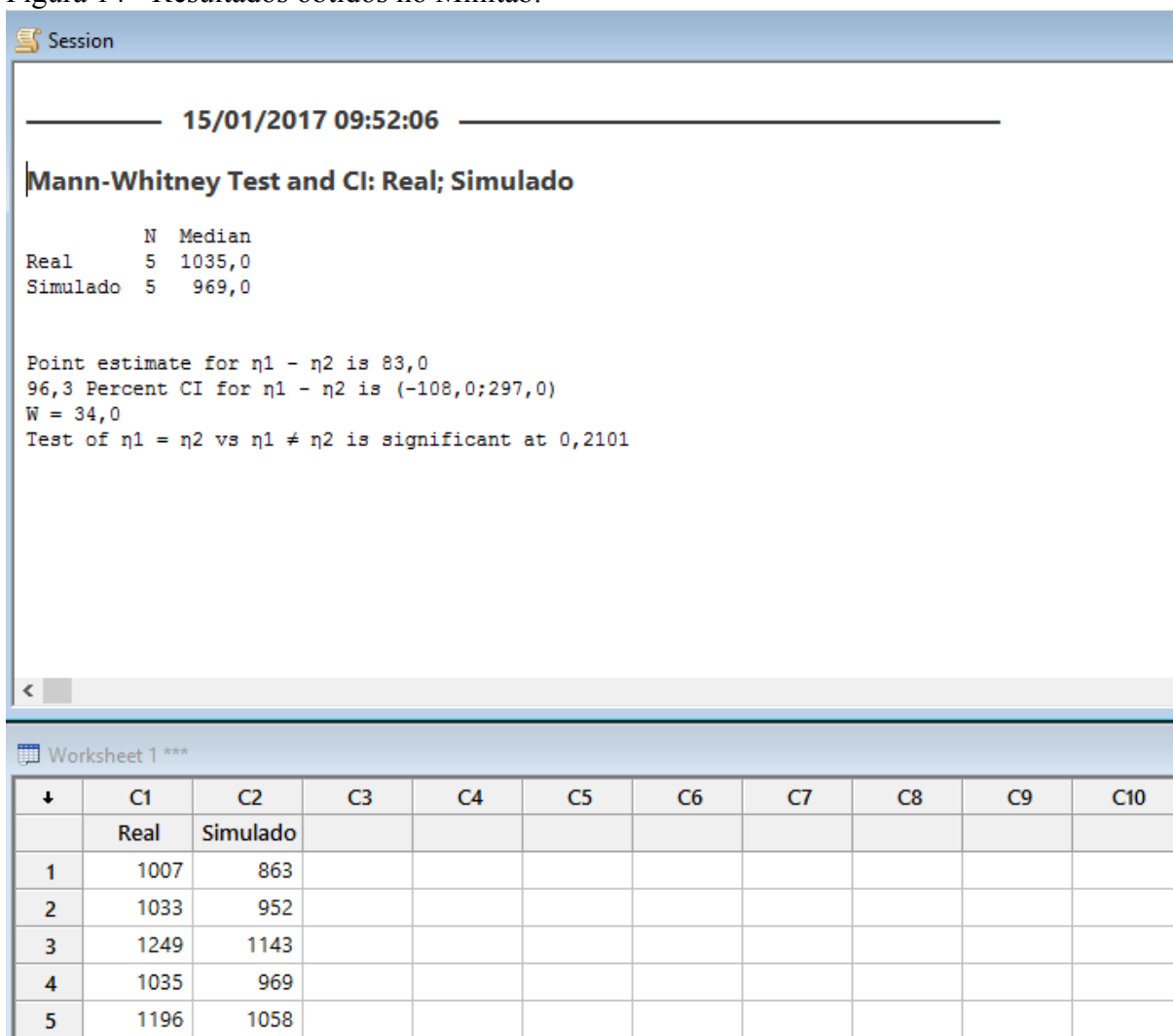
Em seguida, utilizou-se o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney. Este é capaz de verificar se um grupo de dados é estocásticamente diferente do outro, dado um determinado intervalo de confiança (MANN; WHITNEY, 1947).

Assim, com o auxílio do software Minitab®, obtivemos a confirmação de que, para o intervalo de segurança de 0.05, as distribuições são estocásticamente iguais. Os resultados do software podem ser vistos na Figura 14.

9 \h * M

ERGEFORMAT Figura 14.

Figura 14 - Resultados obtidos no Minitab.



Fonte: (MINITAB, 2017).

Pode-se observar que o valor-p obtido de 0,2101 é maior que o 0,05 proposto. Assim, aceita-se a hipótese de igualdade e considera-se o modelo validado.

3.6 Simulação e otimização

Após a verificação e validação do modelo de simulação, inicia-se o processo de testes. Foram elaborados seis cenários com lista de pedidos distintas e aleatórias e prazos de entrega distribuídos entre quatro dias.

Todos estes cenários podem ser considerados de difícil programação, já que são compostos por pedidos com elevada concorrência em prazo e prioridade. No entanto, os cenários 1 e 2 se destacam pela maior quantidade de pedidos que os demais para um mesmo horizonte de planejamento, sendo assim considerados cenários de controle de danos. Os detalhes de cada cenário estão disponíveis no Apêndice B.

Inseridos os dados no modelo, foi realizada a primeira execução com o intuito de avaliar a solução proposta pelo modelo atual de otimização utilizado na empresa para utilizar como base de comparação.

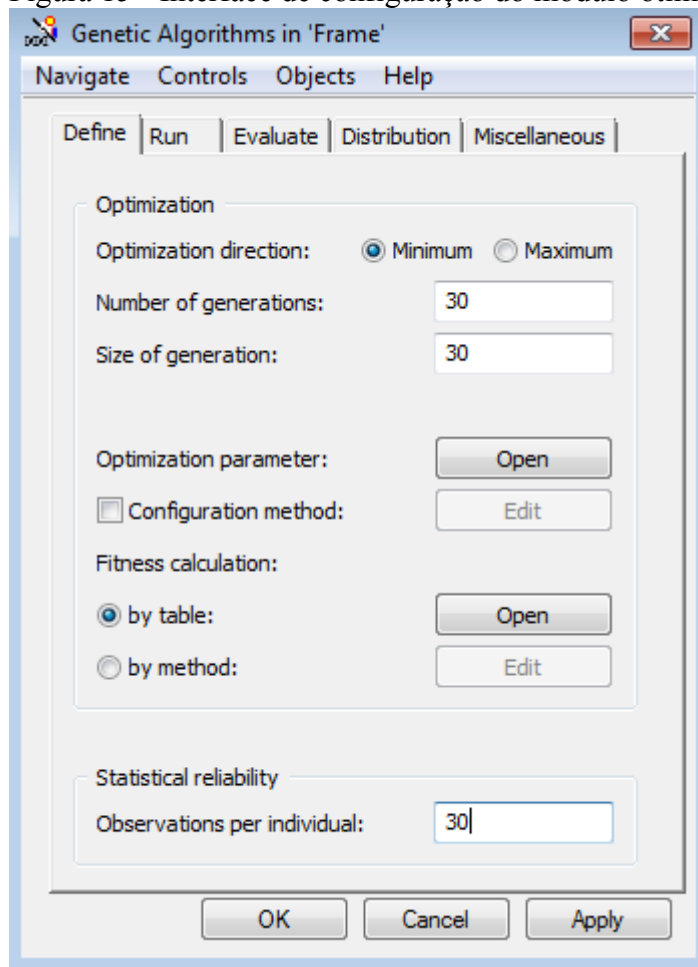
Terminadas as rodadas, deu-se início ao processo de otimização. O *Plant Simulation* dispõe de um módulo otimizador integrado que utiliza o algoritmo genético. Desta forma, a simulação provém uma avaliação do desempenho de cada um dos indivíduos gerados pelo algoritmo, fornecendo assim o *feedback* necessário para o algoritmo identificar, a cada iteração, os mais aptos a continuar no espaço de soluções.

O Algoritmo genético depende da seleção de seus parâmetros de controle e a determinação dos mesmo é uma tarefa difícil (ENGIN; CERAN; YILMAZ, 2011). Para número de indivíduos por geração, número de gerações e número de observação por indivíduos foram adotados os mesmos parâmetros utilizados por Lin e Chen (2015) em sua análise de um *flow shop* híbrido.

Vale ressaltar, no entanto, que os autores usam uma técnica conhecida como *optimal computing budget allocation* para otimizar o tempo computacional necessário na obtenção de seus resultados.

ERGEFORMAT Figura 15 apresenta o configurador do módulo do algoritmo já com estes parâmetros inseridos.

Figura 15 - Interface de configuração do módulo otimizador.



Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

Em seguida, resta configurar os parâmetros de cruzamento e mutação.

Para cruzamento, o software oferece opções de adotar o cruzamento parcialmente mapeado (PMX) ou o cruzamento de ordem (OX). Ruiz e Maroto (2006), realizaram testes com nove diferentes operadores de cruzamento para a minimização do tempo de produção em um ambiente *flow shop* híbrido com máquinas não-relacionadas e tempos de setup dependentes de sequência. O método PMX obteve o terceiro melhor resultado, apresentando um desempenho muito superior ao OX para este tipo de problema. Os dois primeiros colocados foram operadores propostos pelo autor. Estudos também mostram que para problemas desta natureza, taxas de cruzamento abaixo dos 30% costumam obter melhores resultados (KAHRAMAN et al., 2008; RUIZ; MAROTO, 2006).

Para a mutação Kahraman et al. (2008) conduziram testes também em ambientes de *flow shop* híbrido com seis diferentes operadores, sendo o operador de inversão o melhor aplicável. Suas regulagens encontravam-se entre 10% e 20%. Desta forma, os parâmetros do Algoritmo para este modelo se resumem na Figura 16.

Figura 16 - Parâmetros de cruzamento e mutação.

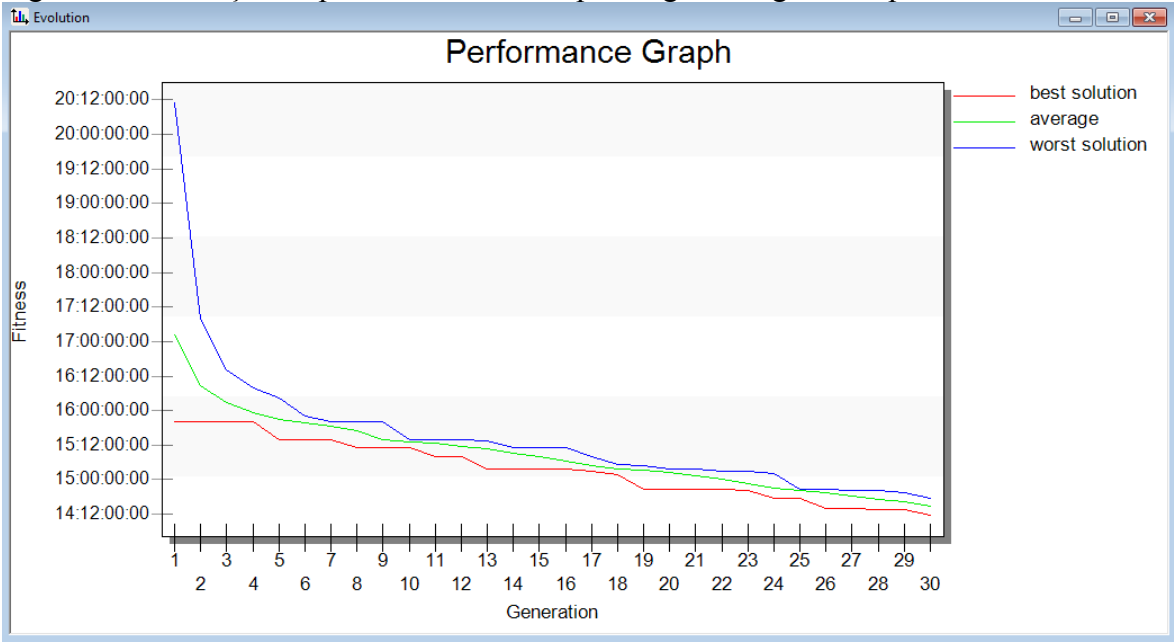
Operator	Start probability	Delta per generation
Cross over: PMX	0.3	0
Inversion	0.2	0

Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

A avaliação dos resultados, como mencionado anteriormente, será em relação à soma ponderada de atrasos. O peso considerado é o nível de criticidade do pedido. Este pode assumir os valores 1 para prioridade normal, 2 para prioridade elevada e 3 para alta prioridade.

A evolução do desempenho por geração do módulo otimizador para o cenário 1 pode ser observada na

Figura 17 - Evolução da performance obtida pelo algoritmo genético para o cenário 1.



Fonte: (PLANT SIMULATION, 2016).

3.7 Comparação de resultados

Após a execução da otimização, foi feita a comparação entre o desempenho apresentado pela técnica atualmente utilizada pela empresa e os resultados da otimização via simulação. Os principais dados de saída podem ser verificados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados dos métodos atuais e obtidos na otimização.

	ATRASSO PONDERADO		MAKESPAN	
	ATUAL	OTIMIZADO	ATUAL	OTIMIZADO
CENÁRIO 1	15:20:08:31.399007	14:11:35:19.391012	4:14:50:08	4:12:36:40
CENÁRIO 2	17:20:27:39.380665	14:13:07:53.375127	4:09:44:26	4:08:12:08
CENÁRIO 3	7:16:23:30.371809	7:05:11:54.357856	4:07:16:50	4:03:24:17
CENÁRIO 4	7:10:38:27.346057	6:19:47:12.339757	4:00:07:38	3:22:22:38
CENÁRIO 5	4:20:37:44.332292	4:14:54:47.327624	3:20:18:13	3:19:00:25
CENÁRIO 6	8:06:27:01.337706	7:10:36:26.331246	3:21:48:27	3:20:00:47

Fonte: (O AUTOR, 2016).

As sequências de programação obtidas para ambas abordagens em cada cenário encontram-se no Apêndice C. A comparação de desempenho detalhada pedido a pedido para cada cenário pode ser observada no Apêndice D.

Podemos observar que para todos os cenários propostos a otimização via simulação foi capaz de melhorar os valores de atraso ponderado, caracterizando uma programação de produção mais eficiente neste quesito.

No entanto, ao observar os valores de *makespan* (tempo necessário para a produção de todos os pedidos) constata-se que, com exceção do cenário 3, não há redução maior que duas horas e meia entre o desempenho da programação atual da empresa e o otimizado via simulação. Para um tempo de produção de quatro dias, este ganho é de aproximadamente 2,5%.

Isto pode ser considerado um indicativo de que apesar de ser desejável a possibilidade de reduzir seu *makespan*, aumentando o número de peças produzidas por dia, ao se considerar penalidades para atraso, a otimização deste nem sempre está alinhada com os objetivos da empresa. A desvantagem do método, no entanto, fica clara ao se analisar os dados da Tabela 4 que relaciona os tempos de execução necessários para obtenção dos resultados em cada cenário. Os tempos foram obtidos em uma máquina com processador Intel® Core™ i5 3470 de 3.2 GHz e 4 GB de memória RAM.

Tabela 4 - Tempos de execução da otimização por cenários.

Problema	Tempo de execução
Cenário 1	02:20:13
Cenário 2	02:27:22

Cenário 3	02:02:47
Cenário 4	02:11:40
Cenário 5	02:11:35
Cenário 6	02:09:30

Fonte: (O AUTOR, 2016).

4 CONCLUSÃO

4.1 Verificação dos Objetivos

O presente trabalho visou utilizar a simulação a eventos discretos em conjunto com o algoritmo genético para otimização do planejamento de produção de uma linha de produção de componentes automotivos, caracterizada como um ambiente *flow shop* híbrido.

Verificou-se que o método proposto de otimização via simulação eventos discretos é superior ao método de entrega de priorização por data de entrega mais cedo e criticidade utilizado pela empresa.

De fato pode-se confirmar o bom desempenho dessa técnica em problemas de scheduling como constatado por outros autores (CAGGIANO; BRUNO; TETI, 2015; FRANTZÉN; NG; MOORE, 2011; LIN; CHEN, 2015). No entanto, pode-se constatar que o tempo computacional exigido para aplicação desta técnica de otimização é elevado.

4.2 Recomendações para Futuras Pesquisas

Em face desta desvantagem, o desenvolvimento de métodos para utilização em conjunto com a otimização via simulação configura um bom campo para desenvolvimento de novas pesquisas, como por exemplo os trabalhos de Lin e Chen (2015) e Miranda et al. (2016).

Segue também como recomendação, a utilização da otimização via simulação a eventos discretos para casos de programação de produção com quebras e paradas de máquinas, além de atrasos na chegada de matéria-prima. Desta forma intensifica-se o uso da capacidade da simulação de lidar com incertezas, explorando cenários onde uma determinada programação da produção seria mais confiável de se adotar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-DHAHERI, N.; JEBALI, A.; DIABAT, A. A simulation-based Genetic Algorithm approach for the quay crane scheduling under uncertainty. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 66, p. 122–138, 2016.
- ALLAOUI, H.; ARTIBA, A. Integrating simulation and optimization to schedule a hybrid flow shop with maintenance constraints. **Computers & Industrial Engineering**, v. 47, n. 4, p. 431–450, 2004.
- ALRABGHI, A.; TIWARI, A. A novel approach for modelling complex maintenance systems using discrete event simulation. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 154, p. 160–170, 2016.
- AMARAN, S. et al. Simulation optimization: a review of algorithms and applications. **Annals of Operations Research**, v. 240, n. 1, p. 351–380, 2016.
- ANDRADE, J. H. DE; FERNANDES, F. C. F. Barreiras e desafios para melhoria da integração interfuncional entre Desenvolvimento de Produto e Planejamento e Controle da Produção em ambiente Engineering-to-Order. **Gestão & Produção**, n. ahead, p. 0–0, 2015.
- ANFAVEA. Anuário da indústria automobilística brasileira. p. 154, 2016.
- BAKO, B.; BOŽEK, P. Trends in Simulation and Planning of Manufacturing Companies. **Procedia Engineering**, v. 149, p. 571–575, 2016.
- BITTENCOURT, E.; LANDMANN, R. **Uma Abordagem Híbrida Genético-Nebulosa para a Programação da Produção em Empresas Metalúrgicas** Rio de Janeiro ABEPRO, , 2007.
- CAGGIANO, A.; BRUNO, G.; TETI, R. Integrating Optimisation and Simulation to Solve Manufacturing Scheduling Problems. **Procedia CIRP**, v. 28, p. 131–136, 2015.
- CASOTTI, B. P.; GOLDENSTEIN, M. Panorama do Setor Automotivo: As Mudanças Estruturais da Indústria e as Perspectivas para o Brasil. **BNDES Setorial**, n. 28, p. 147–188, set. 2008.
- CHIAVENATO, I. **Planejamento e controle de produção**. 2. ed. [s.l.] Ed. Manoele, 2008.
- DA SILVA, E. B. et al. Avaliação de regras de sequenciamento da produção em ambientes Job shop e Flow shop por meio de simulação computacional. **Exacta**, v. 10, n. 1, 9 abr. 2012.
- DE FREITAS, F. F. T.; VIEIRA, G. E. Tendências de aplicações da otimização por colônia de formigas na programação de JOB-SHOPS. **Revista Produção Online**, v. 10, n. 1, p. 95–123, 4 nov. 2010.
- ENDLER, K. D. et al. Operations Scheduling in Permutation Flow Shop Systems : a Bibliometric Contribution. **Ieee Latin America Transactions**, v. 13, n. 12, p. 3966–3973, 2015.
- ENGİN, O.; CERAN, G.; YILMAZ, M. K. An efficient genetic algorithm for hybrid flow shop scheduling with multiprocessor task problems. **Applied Soft Computing**, v. 11, n. 3, p. 3056–3065, 2011.

FERREIRA, J. CESAR et al. **Abordagem heurística e metaheurística na otimização do processo operacional de uma empresa de transportes rápidos**Fortaleza - CEABEPRO, , 2015.

FIGUEIRA, G.; ALMADA-LOBO, B. Hybrid simulation–optimization methods: A taxonomy and discussion. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 46, p. 118–134, 2014.

FRANTZÉN, M.; NG, A. H. C.; MOORE, P. A simulation-based scheduling system for real-time optimization and decision making support. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 27, n. 4, p. 696–705, 2011.

FUCHIGAMI, H. Y.; MOCCELLIN, J. V. Desempenho relativo de regras de prioridade para programação de flow shop híbrido com tempos de setup. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 4, p. 1174, 15 dez. 2015.

FURIAN, N. et al. A conceptual modeling framework for discrete event simulation using hierarchical control structures. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 56, p. 82–96, 2015.

GHASEMI, A.; ZAHEDIASL, S. Normality Tests for Statistical Analysis: A Guide for Non-Statisticians. **International Journal of Endocrinology and Metabolism**, v. 10, n. 2, p. 486–489, 20 abr. 2012.

GODINHO FILHO, M.; FERNANDES, F. C. F.; LIMA, A. D. DE. Pesquisa em gestão da produção na indústria de calçados: revisão, classificação e análise. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 2, p. 163–186, jun. 2009.

GRANJA, C. et al. An optimization based on simulation approach to the patient admission scheduling problem using a linear programming algorithm. **Journal of Biomedical Informatics**, v. 52, p. 427–437, 2014.

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. Ann Arbor: The University of Michigan Press, 1975.

HUANG, W.-H.; WU, J.-L.; CHENG, T. C. E. A block mining and re-combination enhanced genetic algorithm for the permutation flowshop scheduling problem. **International Journal of Production Economics**, v. 141, n. 1, p. 45–55, 2013.

IBGE. **Em 2015, PIB cai 3,8% e totaliza R\$ 5,9 trilhões**. Disponível em: <<http://censo2010.ibge.gov.br/noticias-censo.html?view=noticia&id=1&idnoticia=3111&busca=1&t=2015-pib-cai-3-8-totaliza-r-5-9-trilhoes>>. Acesso em: 30 out. 2016.

JIMÉNEZ-GARCÍA, J. A. et al. Materials Supply System Analysis Under Simulation Scenarios in a Lean Manufacturing Environment. **Journal of Applied Research and Technology**, v. 12, n. 5, p. 829–838, 2014.

JUNGWATTANAKIT, J.; REODECHA, M.; CHAOVALITWONGSE, P. A comparison of scheduling algorithms for flexible flow shop problems with unrelated parallel machines, setup times, and dual criteria. **Computers & Operations Research**, v. 36, n. 2, p. 358–378, 2009.

KAHRAMAN, C. et al. An Application Of Effective Genetic Algorithms For Solving Hybrid Flow Shop Scheduling Problems. **International Journal of Computational Intelligence Systems**, v. 1, n. 2, p. 134–147, 2008.

KAYLANI, H.; ATIEH, A. M. Simulation Approach to Enhance Production Scheduling

Procedures at a Pharmaceutical Company with Large Product Mix. **Procedia CIRP**, v. 41, p. 411–416, 2016.

KLOUD, T.; KOBLASA, F. Solving Job Shop Scheduling With The Computer Simulation. **The International Journal of TRANSPORT & LOGISTICS**, v. 11, n. 20, p. 7–17, 2011.

KORYTKOWSKI, P.; WIŚNIEWSKI, T.; RYMASZEWSKI, S. An evolutionary simulation-based optimization approach for dispatching scheduling. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 35, p. 69–85, 2013.

LEAL, F.; ALMEIDA, D. A. DE; MONTEVECHI, J. A. B. **Uma Proposta de Técnica de Modelagem Conceitual para a Simulação através de elementos do IDEF**. Anais do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional. **Anais...** João Pessoa, PB: 2008

LIN, J. T.; CHEN, C.-M. Simulation optimization approach for hybrid flow shop scheduling problem in semiconductor back-end manufacturing. **Simulation Modelling Practice and Theory**, v. 51, p. 100–114, 2015.

MANN, H. B.; WHITNEY, D. R. On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. **The Annals of Mathematical Statistics**, v. 18, n. 1, p. 50–60, mar. 1947.

MÁRQUEZ DELGADO, J. E. et al. Algoritmo Genético aplicado al problema de programación en procesos tecnológicos de maquinado con ambiente Flow Shop. **Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias**, v. 21, n. 2, p. 70–75, 2012.

MARTINS, R. A.; MELLO, C. H. P.; TURRIONI, J. B. **Guia Para Elaboração de Monografia e Tcc Em Engenharia de Produção**. 1. ed. São Paulo: Atlas, 2014.

MEDEIROS, L. F. DE. Uso de algoritmos genéticos para definição de mix de produção em simulador de plano de negócios. **Gestão & Produção**, v. 22, n. 3, p. 624–635, set. 2015.

MELIÁN, B.; MORENO PEREZ, J. A.; MARCOS MORENO-VEGA, J. Metaheuristics: A global view. **Inteligencia Artificial**, v. 7, n. 19, p. 7–28, 2003.

MIGUEL, P. A. C. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Campus-Elsevier, 2012.

MINITAB. **Minitab**. Disponível em: <<http://www.minitab.com/>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

MIRANDA, R. DE C. et al. Otimização via simulação por metamodelagem: um estudo em casos da área médica. **Revista Produção Online**; v. 16, n. 3 (2016), 2016.

MORAIS, M. DE F.; MOCCELLIN, J. V. Métodos heurísticos construtivos para redução do estoque em processo em ambientes de produção flow shop híbridos com tempos de setup dependentes da sequência. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 2, p. 367–375, 2010.

NÚÑEZ SEGOVIA, J.; GODOY GARVS, J.; PÉREZ POZO, L. Determinación de restricciones de capacidad de producción en proceso de obtención de cobre. **Ingeniare. Revista chilena de ingeniería**, v. 24, n. Especial, p. 49–59, ago. 2016.

OLIVEIRA, G. SILVEIRA DE; TURRIONI, J. BATISTA. **O problema de flow shop híbrido: revisão e classificação** Bento Gonçalves - RSABEPRO, , 2012.

PENG, Y.; QU, X.; SHI, J. A hybrid simulation and genetic algorithm approach to determine the optimal scheduling templates for open access clinics admitting walk-in patients. **Computers & Industrial Engineering**, v. 72, p. 282–296, 2014.

PEREIRA, V. DE O.; LIBRANTZ, A. F. H. Framework Computacional para a programação da produção de gabaritos de montagem com restrição de adjacência. **Espacios**, v. 30, p. 21, 2015.

PHANDEN, R. K.; JAIN, A.; VERMA, R. A genetic algorithm-based approach for job shop scheduling. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 23, n. 7, p. 937–946, 7 set. 2012.

PINEDO, M. L. **Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems**. Cham: Springer International Publishing, 2016.

PLANT SIMULATION. **Siemens Plant Simulation**. Disponível em: <https://www.plm.automation.siemens.com/en_us/products/tecnomatix/manufacturing-simulation/material-flow/plant-simulation.shtml>. Acesso em: 1 jan. 2016.

RODRIGUEZ, D. S. S.; COSTA, H. G.; CARMO, L. F. R. R. S. Métodos de auxílio multicritério à decisão aplicados a problemas de PCP: mapeamento da produção em periódicos publicados no Brasil. **Gestão & Produção**, v. 20, n. 1, p. 134–146, mar. 2013.

ROUBELLAT, F.; LOPEZ, P. Statement of Production Scheduling. In: **Production Scheduling**. London, UK: ISTE, 2010. p. 1–4.

RUIZ, R.; MAROTO, C. A genetic algorithm for hybrid flowshops with sequence dependent setup times and machine eligibility. **European Journal of Operational Research**, v. 169, n. 3, p. 781–800, 2006.

RUIZ, R.; VÁZQUEZ-RODRÍGUEZ, J. A. The hybrid flow shop scheduling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 205, n. 1, p. 1–18, ago. 2010.

SAKURADA, N.; MIYAKE, D. I. Aplicação de simuladores de eventos discretos no processo de modelagem de sistemas de operações de serviços. **Gestão & Produção**, v. 16, n. 1, p. 25–43, mar. 2009.

SILVA, I. B. DA et al. Integrando a promoção das metodologias Lean Manufacturing e Six Sigma na busca de produtividade e qualidade numa empresa fabricante de autopeças. **Gestão & Produção**, v. 18, n. 4, p. 687–704, 2011.

SLACK, N.; BRANDON-JONES, A.; JOHNSTON, R. **Operations Management**. 7. ed. Harlow, Inglaterra: Pearson, 2013.

TELES, M. L.; GOMES, H. M. Comparação de algoritmos genéticos e programação quadrática sequencial para otimização de problemas em engenharia. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, v. 15, 2010.

TIAN, X. K.; WANG, J. The Simulation Optimization for Job-Shop Scheduling Based on Plant Simulation Using Genetic Algorithm. **Applied Mechanics and Materials**, v. 217–219, p. 1444–1448, nov. 2012.

VIGNIER, A.; BILLAUT, J.-C.; PROUST, C. Les problèmes d'ordonnancement de type flow-shop hybride : état de l'art. **RAIRO - Operations Research**, v. 33, n. 2, p. 117–183, 15 abr. 1999.

ZHANG, B. et al. An effective modified migrating birds optimization for hybrid flowshop scheduling problem with lot streaming. **Applied Soft Computing**, v. 52, p. 14–27, 2017.

APÊNDICE A – TEMPOS E DISTRIBUIÇÕES

Quadro 6 - Tempos e distribuições utilizadas para laminação.

Laminação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Distribuição	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3
R_1	24,83	24,10	25,36	23,83	24,43	21,45	23,90	24,34	23,49	24,75	23,33	23,75	23,67	23,96	23,54	24,82	24,85	22,00	24,01	22,80	22,70	23,20	23,88	23,39	24,60	24,56	24,23	26,17	24,27	23,81	Normal	Mu = 24	Sigma = 0.93	
R_2	41,20	41,05	43,22	37,94	38,86	43,16	44,13	45,53	42,88	40,46	44,62	43,90	43,31	42,77	43,64	41,48	42,06	41,79	39,89	44,52	40,60	42,57	41,32	39,02	43,18	42,67	43,60	42,81	45,37	39,49	Weibull	Alpha = 26	Beta = 43	
R_3	22,11	21,60	20,30	20,78	21,09	21,65	20,42	23,62	20,63	19,80	21,69	21,24	20,97	22,11	22,76	21,67	20,96	21,39	21,51	20,66	23,66	20,54	21,26	22,23	21,10	23,35	21,27	20,75	23,68	20,12	Triangle	c = 21	a = 20	b = 24
R_4	55,56	54,86	52,41	50,64	51,24	52,22	50,71	52,23	53,46	50,08	51,77	51,35	52,19	50,02	51,10	52,79	51,00	51,77	49,86	50,36	51,80	51,46	51,28	51,36	52,90	50,05	51,29	52,73	50,16	50,25	Normal	Mu = 52	Sigma = 1.3	
R_5	41,20	41,05	43,22	37,94	38,86	43,16	44,13	45,53	42,88	40,46	44,62	43,90	43,31	42,77	43,64	41,48	42,06	41,79	39,89	44,52	40,60	42,57	41,32	39,02	43,18	42,67	43,60	42,81	45,37	39,49	Weibull	Alpha = 26	Beta = 43	
R_6	47,63	49,41	50,55	48,70	47,46	45,81	48,48	47,52	48,23	48,23	47,25	46,63	45,86	48,90	41,34	49,65	47,95	49,92	45,64	46,81	46,32	44,07	52,24	43,34	50,67	49,41	52,92	47,59	50,81	44,62	Triangle	c = 48	a = 41	b = 53
R_7	22,80	22,87	24,13	23,40	23,01	22,67	21,04	23,45	24,12	24,26	22,18	23,84	22,92	23,80	21,64	24,01	22,17	25,00	22,51	24,15	24,13	22,98	21,55	22,96	23,61	23,83	23,45	23,09	24,77	22,34	Normal	Mu = 23	Sigma = 0.94	
R_8	36,78	36,49	35,45	33,25	33,61	35,17	34,65	38,73	35,02	36,31	32,76	38,33	35,53	36,23	35,63	37,43	37,36	36,25	38,16	33,02	36,48	37,36	35,55	36,24	38,57	36,58	35,54	37,58	37,26	39,95	Lognorm	Mu = 36	Sigma = 1.7	
R_9	42,83	42,07	42,25	46,05	43,79	43,52	42,13	40,86	43,42	40,97	40,56	41,37	44,16	41,33	41,11	40,33	40,34	42,82	44,13	43,79	45,58	40,58	41,91	43,12	42,53	45,12	42,59	41,38	43,76	40,80	Normal	Mu = 43	Sigma = 1.6	
R_10	40,53	41,20	39,11	41,74	38,35	39,95	38,98	40,90	41,97	39,16	41,53	39,31	39,01	41,07	40,59	38,62	45,14	39,12	41,82	38,68	39,28	40,23	38,50	39,46	39,12	40,48	39,29	39,98	40,62	39,24	Lognorm	Mu = 40	Sigma = 1.4	
R_11	25,81	23,96	24,74	24,67	24,33	23,43	25,00	22,77	24,45	24,70	23,81	22,24	23,50	23,21	26,90	23,76	22,67	25,11	24,12	23,52	23,74	24,68	24,83	25,22	25,38	26,26	26,85	25,50	24,08	24,88	Normal	Mu = 24	Sigma = 1.1	
R_12	43,76	45,80	45,91	44,52	43,99	43,45	42,71	42,67	53,28	44,65	47,87	43,50	42,87	44,79	47,63	47,13	42,93	43,09	45,07	50,79	44,06	45,50	43,35	43,71	42,72	51,00	42,48	42,31	44,14	44,05	Normal	Mu = 45	Sigma = 2.7	
R_13	40,38	37,40	37,28	34,84	40,56	37,77	35,67	35,51	32,11	34,54	36,53	33,27	35,80	37,48	37,01	37,45	35,84	38,55	34,39	35,87	37,39	37,85	35,27	39,06	34,57	34,67	35,43	34,73	31,65	33,91	Lognorm	Mu = 36	Sigma = 2.1	
R_14	22,80	22,87	24,13	23,40	23,01	22,67	21,04	23,45	24,12	24,26	22,18	23,84	22,92	23,80	21,64	24,01	22,17	25,00	22,51	24,15	24,13	22,98	21,55	22,96	23,61	23,83	23,45	23,09	24,77	22,34	Normal	Mu = 23	Sigma = 0.94	
R_15	48,36	47,24	45,76	47,37	46,82	46,13	45,70	46,99	46,59	46,69	48,32	47,50	46,72	46,00	45,92	45,47	47,71	46,52	46,80	46,06	45,70	48,60	47,83	47,90	48,57	46,48	46,89	47,35	48,68	47,47	Uniform	Start = 46	Stop = 49	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 7 - Tempos e distribuições utilizadas para prensaria.

Prensaria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Distribuição	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3
R_1	47,95	48,44	45,69	46,56	47,31	51,41	45,02	47,97	49,18	45,60	50,09	49,23	45,86	48,72	49,43	44,86	49,30	49,15	47,88	48,81	47,71	42,75	44,02	47,82	48,42	50,38	48,89	42,90	51,24	48,15	Lognorm	Mu = 48	Sigma = 2.2	
R_2	38,29	42,16	40,86	38,86	43,08	40,13	41,33	40,30	39,95	41,45	39,96	39,23	37,62	37,64	41,43	41,79	34,30	39,82	38,24	40,22	38,68	40,49	41,36	42,05	38,99	40,56	41,48	38,27	42,53	41,16	Lognorm	Mu = 40	Sigma = 1.9	
R_3	16,92	18,95	18,76	17,84	17,84	16,96	17,51	19,06	17,11	17,88	18,80	20,12	18,14	20,61	15,91	16,55	18,46	17,67	17,63	17,14	18,61	17,83	17,86	18,23	18,78	19,21	15,19	18,01	19,38	17,96	Weibull	Alpha = 17	Beta = 19	
R_4	55,02	58,84	62,65	64,56	61,48	63,42	60,22	58,57	63,19	57,56	52,64	51,02	58,74	61,87	59,95	59,63	59,18	63,83	58,31	60,29	61,91	57,79	57,83	57,59	60,13	61,63	54,74	62,72	61,02	54,48	Normal	Mu = 59	Sigma = 3.3	
R_5	59,32	58,47	65,27	57,80	58,80	58,94	58,64	70,59	62,07	58,63	60,02	60,24	62,64	58,26	57,75	58,62	58,73	63,13	58,59	61,43	59,12	61,51	63,15	58,75	57,36	59,58	68,25	61,87	58,19	60,46	Lognorm	Mu = 61	Sigma = 2.9	
R_6	119,80	122,77	110,11	127,59	111,24	117,03	116,94	120,92	114,79	124,81	120,99	122,09	124,39	124,54	122,23	117,95	124,85	113,48	122,76	120,24	123,91	120,85	124,37	130,85	123,09	127,23	118,05	119,85	121,31	123,73	Triangle	c = 1.2e+002	a = 1.1e+002	b = 1.3e+002
R_7	41,91	41,84	41,76	41,82	40,91	40,97	40,78	39,74	40,63	41,32	40,74	40,64	40,53	41,26	40,16	42,19	41,02	39,05	42,15	40,78	42,72	42,73	41,60	40,73	39,32	41,16	41,06	40,67	40,68	41,73	Weibull	Alpha = 52	Beta = 42	
R_8	47,95	48,44	45,69	46,56	47,31	51,41	45,02	47,97	49,18	45,60	50,09	49,23	45,86	48,72	49,43	44,86	49,30	49,15	47,88	48,81	47,71	42,75	44,02	47,82	48,42	50,38	48,89	42,90	51,24	48,15	Lognorm	Mu = 48	Sigma = 2.2	
R_9	66,50	61,67	60,21	59,16	62,73	60,94	58,17	66,82	57,99	61,39	54,20	68,77	59,65	65,19	66,82	61,00	62,00	61,52	56,98	56,88	60,47	70,33	62,88	68,02	56,91	65,58	68,63	63,10	66,70	66,74	Uniform	Start = 54	Stop = 70	
R_10	56,49	58,98	59,44	59,64	62,20	56,54	64,04	53,99	61,57	53,78	61,29	64,99	55,70	58,16	55,70	49,91	62,30	52,45	52,43	58,88	54,60	62,04	53,77	55,83	59,60	58,51	65,49	63,60	61,58	60,85	Normal	Mu = 58	Sigma = 4	
R_11	48,02	48,88	49,24	48,92	47,71	47,80	46,74	47,72	47,37	47,91	46,92	46,75	49,98	47,44	47,03	47,75	47,56	47,14	46,92	46,94	47,51	46,87	47,89	48,76	47,07	47,54	49,77	47,32	49,29	47,13	Triangle	c = 47	a = 47	b = 50
R_12	61,36	62,33	66,87	60,24	59,93	67,09	62,58	62,06	61,48	61,90	61,41	60,58	62,11	60,72	61,12	60,67	61,80	61,54	63,26	60,60	62,51	64,55	61,01	61,21	60,74	61,01	66,84	66,61	59,39	62,28	Triangle	c = 61	a = 59	b = 67
R_13	41,91	41,84	41,76	41,82	40,91	40,97	40,78	39,74	40,63	41,32	40,74	40,64	40,53	41,26	40,16	42,19	41,02	39,05	42,15	40,78	42,72	42,73	41,60	40,73	39,32	41,16	41,06	40,67	40,68	41,73	Weibull	Alpha = 52	Beta = 42	
R_14	26,88	24,89	23,87	26,27	23,52	22,92	24,14	24,86	25,87	23,92	22,52	22,83	25,81	24,96	27,06	23,51	23,39	24,89	23,63	24,32	23,96	24,99	23,74	23,72	24,42	23,60	24,52	23,85	24,16	25,22	Triangle	c = 24	a = 23	b = 27
R_15	140,18	147,84	137,65	140,75	142,88	144,90	155,96	135,34	144,25	140,67	142,79	141,64	137,43	143,01	136,65	148,96	150,67	132,88	147,40	145,05	151,27	138,77	140,56	162,66	140,12	151,84	132,33	145,47	153,14	147,79	Lognorm	Mu = 1.4e+002	Sigma = 6.7	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 8 - Tempos e distribuições utilizadas para montagem.

Montagem	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	Distribuição	Parâmetro 1	Parâmetro 2	Parâmetro 3
R_1	40,19	61,25	52,23	42,34	47,92	48,06	40,05	43,27	40,07	54,14	40,81	46,53	36,49	49,77	47,8	45,75	46,8	47,16	54	53,15	47,76	43,49	34,49	44,21	45,84	40,75	45,69	39,52	42,23	54,76	Erlang	Mu = 46	Sigma = 5.8	
R_2	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_3	47,1	47,43	44,38	44,36	45,56	44,68	43,65	44,66	45,81	45,02	45,54	44,66	48,1	45,39	43,93	44,33	52,56	44,35	45,91	43,69	43,05	46,72	44,13	47,74	45,36	46,36	43,58	44,08	49,64	44,18	Lognorm	Mu = 46	Sigma = 1.9	
R_4	123,21	124,89	124,58	119,56	126,01	122,55	120,06	110,94	120,52	120,51	116,16	113,45	125,63	124,63	119,39	114,88	128,62	119,21	117,05	121,84	122,03	124,76	120,19	127,25	115,6	125,01	128,32	115,84	116,9	112,76	Weibull	Alpha = 30	Beta = 1.2e+002	
R_5	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_6	290,26	290,8	290,17	326,23	290,54	290,86	291,31	294,23	315,06	292,37	290,6	290,68	290,61	291,45	295,62	291,96	296,74	296,87	292,62	294,67	294,1	291,91	292,17	333,21	292,38	292,64	292,79	294,91	323,02	290,32	Normal	Mu = 3e+002	Sigma = 11	
R_7	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_8	40,19	61,25	52,23	42,34	47,92	48,06	40,05	43,27	40,07	54,14	40,81	46,53	36,49	49,77	47,8	45,75	46,8	47,16	54	53,15	47,76	43,49	34,49	44,21	45,84	40,75	45,69	39,52	42,23	54,76	Erlang	Mu = 46	Sigma = 5.8	
R_9	68,94	60,12	68,19	66,37	67,39	65,97	66,12	72,57	64,12	69,78	67,56	70,42	70,35	65,63	67,53	70,56	74,8	67,1	65,8	71,31	65,46	73,98	76,46	65,78	70,73	66,38	61,74	81,13	61,45	65,62	Triangle	c = 65	a = 60	b = 81
R_10	42,86	44,18	44,82	44,05	47,85	47,31	46,07	45,58	44,72	49,56	47,77	43,5	46,36	43,12	43,06	49,94	45,81	44,31	44,89	45,23	49,62	45,42	45,39	46,94	46,5	45,89	44,77	45,5	46,79	44,09	Lognorm	Mu = 46	Sigma = 1.8	
R_11	74,08	77,68	72,14	72,44	71,56	69,54	74,67	74,6	77,09	70	67,79	71,73	74,04	72,97	65,78	74,42	75,21	74,39	71,04	73,47	68,46	70,25	75,86	77,98	80,48	75,71	77,58	71,9	70,14	78,96	Triangle	c = 74	a = 66	b = 80
R_12	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_13	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_14	70,77	70,93	65,32	67,76	51,13	60,83	74,37	76,43	84,75	70,06	61,59	60,93	72,93	57,53	70,88	79,51	75,08	65,44	67,91	71,66	69,64	51,21	61,85	87,59	62,66	58,3	78,4	74,63	62,26	71,95	Weibull	Alpha = 8.6	Beta = 72	
R_15	425,94	425,92	459,25	435,48	525,07	504,41	528,50	427,02	424,80	425,92	426,31	424,95	426,80	425,22	472,09	426,78	534,40	425,47	425,99	425,71	424,95	442,40	490,41	530,31	441,02	425,13	425,10	429,88	425,16	431,39	Lognorm	Mu = 4.5e+002	Sigma = 35	

Fonte: (O AUTOR, 2016).

APÊNDICE B – CENÁRIOS UTILIZADOS

Quadro 9 - Tarefas do Cenário 1.

CENÁRIO 1				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_13	100	1	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_5	248	1	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_4	82	1	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_11	70	1	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_7	154	3	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_14	83	1	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_8	108	3	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_13	166	1	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_14	94	3	1:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_6	22	1	1:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_11	78	2	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_13	45	2	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_9	184	1	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_3	129	1	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_1	182	1	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_1	124	1	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_12	89	1	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_15	32	2	2:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_2	159	1	2:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_13	87	1	2:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_8	64	1	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_2	108	2	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_6	46	3	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_15	8	1	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_11	137	2	3:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_4	50	2	3:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_12	72	1	3:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_5	167	2	3:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_1	143	3	3:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_12	124	1	3:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_6	36	1	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_14	47	3	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_3	174	1	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_2	73	1	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_10	175	2	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_15	15	1	4:00:00:00.00
J_37	.MUs.R.R_1	59	3	4:00:00:00.00
J_38	.MUs.R.R_10	144	1	4:00:00:00.00
J_39	.MUs.R.R_8	114	3	4:00:00:00.00
J_40	.MUs.R.R_5	211	2	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 10 - Tarefas do Cenário 2.

CENÁRIO 2				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_10	144	3	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_10	111	1	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_10	118	1	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_14	165	1	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_9	141	2	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_11	138	1	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_2	67	1	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_13	158	1	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_5	98	3	1:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_14	66	1	1:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_6	33	1	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_11	95	3	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_4	139	3	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_14	74	1	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_4	141	1	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_8	148	2	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_3	91	2	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_13	159	1	2:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_3	197	1	2:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_8	120	3	2:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_15	43	2	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_9	81	1	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_15	16	1	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_6	21	1	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_15	21	2	3:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_13	127	2	3:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_8	69	2	3:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_15	13	3	3:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_11	111	2	3:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_3	176	3	3:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_2	117	3	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_10	143	1	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_11	117	2	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_2	205	1	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_13	113	1	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_7	66	3	4:00:00:00.00
J_37	.MUs.R.R_2	84	3	4:00:00:00.00
J_38	.MUs.R.R_15	28	1	4:00:00:00.00
J_39	.MUs.R.R_3	159	1	4:00:00:00.00
J_40	.MUs.R.R_15	22	3	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 11 - Tarefas do Cenário 3.

CENÁRIO 3				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_8	77	3	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_13	53	3	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_9	108	3	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_6	19	2	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_8	189	3	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_1	58	1	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_1	104	1	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_3	180	1	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_12	56	1	1:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_13	67	1	2:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_6	26	1	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_7	103	3	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_9	72	1	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_15	29	1	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_12	102	2	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_1	53	2	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_15	22	1	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_15	34	1	2:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_15	35	1	3:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_14	134	1	3:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_6	50	1	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_5	145	1	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_15	30	2	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_2	173	3	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_12	143	1	3:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_8	199	1	3:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_4	65	2	3:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_11	115	3	4:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_15	39	1	4:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_2	229	2	4:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_1	161	1	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_3	50	2	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_10	140	1	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_15	29	2	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_10	173	3	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_6	9	1	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 12 - Tarefas do Cenário 4.

CENÁRIO 4				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_11	66	2	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_8	95	3	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_5	54	1	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_6	20	1	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_10	140	3	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_12	92	1	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_9	51	1	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_15	11	2	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_2	107	2	1:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_1	127	1	2:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_10	112	3	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_14	77	1	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_4	85	1	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_7	93	3	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_1	56	1	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_6	20	2	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_5	113	2	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_1	145	1	2:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_3	91	1	3:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_15	25	1	3:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_5	75	2	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_9	149	2	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_6	32	1	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_7	116	1	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_10	134	1	3:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_13	40	1	3:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_2	105	3	3:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_9	137	3	4:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_13	49	3	4:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_6	29	3	4:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_3	94	1	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_5	169	1	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_7	124	2	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_12	55	1	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_10	62	1	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_10	139	1	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 13 - Tarefas do Cenário 5.

CENÁRIO 5				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_7	134	1	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_14	76	3	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_13	71	1	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_10	129	1	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_15	12	1	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_15	34	3	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_8	114	1	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_7	85	1	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_3	82	1	2:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_1	88	3	2:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_1	178	3	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_2	92	1	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_10	91	3	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_10	66	2	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_9	81	3	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_5	89	1	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_13	115	1	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_15	16	1	3:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_4	71	3	3:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_4	54	1	3:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_5	195	2	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_4	88	1	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_5	95	3	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_11	56	3	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_8	57	3	4:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_3	90	1	4:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_2	189	2	4:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_13	52	1	4:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_8	112	3	4:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_6	31	1	4:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_5	159	1	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_8	97	1	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_5	64	2	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_8	135	3	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_1	109	3	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_6	32	1	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 14 - Tarefas do Cenário 6.

CENÁRIO 6				
TAREFA	PRODUTO	QTD	CRIT	PRAZO ENTREGA
J_1	.MUs.R.R_14	89	1	1:00:00:00.00
J_2	.MUs.R.R_1	161	1	1:00:00:00.00
J_3	.MUs.R.R_15	34	1	1:00:00:00.00
J_4	.MUs.R.R_4	70	1	1:00:00:00.00
J_5	.MUs.R.R_5	142	1	1:00:00:00.00
J_6	.MUs.R.R_2	106	1	1:00:00:00.00
J_7	.MUs.R.R_10	142	2	1:00:00:00.00
J_8	.MUs.R.R_8	118	2	1:00:00:00.00
J_9	.MUs.R.R_11	97	1	1:00:00:00.00
J_10	.MUs.R.R_1	64	3	2:00:00:00.00
J_11	.MUs.R.R_11	70	1	2:00:00:00.00
J_12	.MUs.R.R_4	81	1	2:00:00:00.00
J_13	.MUs.R.R_1	130	1	2:00:00:00.00
J_14	.MUs.R.R_7	138	2	2:00:00:00.00
J_15	.MUs.R.R_14	144	2	2:00:00:00.00
J_16	.MUs.R.R_4	76	3	2:00:00:00.00
J_17	.MUs.R.R_9	126	2	2:00:00:00.00
J_18	.MUs.R.R_1	95	1	2:00:00:00.00
J_19	.MUs.R.R_9	111	1	3:00:00:00.00
J_20	.MUs.R.R_7	119	1	3:00:00:00.00
J_21	.MUs.R.R_6	32	2	3:00:00:00.00
J_22	.MUs.R.R_3	67	1	3:00:00:00.00
J_23	.MUs.R.R_4	61	3	3:00:00:00.00
J_24	.MUs.R.R_3	82	3	3:00:00:00.00
J_25	.MUs.R.R_7	105	1	3:00:00:00.00
J_26	.MUs.R.R_3	75	3	3:00:00:00.00
J_27	.MUs.R.R_15	28	1	3:00:00:00.00
J_28	.MUs.R.R_3	133	1	4:00:00:00.00
J_29	.MUs.R.R_9	135	3	4:00:00:00.00
J_30	.MUs.R.R_6	30	1	4:00:00:00.00
J_31	.MUs.R.R_13	118	1	4:00:00:00.00
J_32	.MUs.R.R_8	50	1	4:00:00:00.00
J_33	.MUs.R.R_9	73	1	4:00:00:00.00
J_34	.MUs.R.R_6	30	2	4:00:00:00.00
J_35	.MUs.R.R_14	138	2	4:00:00:00.00
J_36	.MUs.R.R_10	137	1	4:00:00:00.00

Fonte: (O AUTOR, 2016).

APÊNDICE C – SEQUÊNCIAS OBTIDAS

Quadro 15 - Sequências obtidas para os cenários (Continua).

SEQUENCIA DE PRODUÇÃO:			1°	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°	9°	10°	11°	12°	13°	14°	15°	16°	17°	18°	19°	20°
Cenário 1	ATUAL	JOB	J_9	J_5	J_7	J_4	J_1	J_8	J_6	J_3	J_2	J_10	J_11	J_12	J_18	J_16	J_15	J_17	J_20	J_19	J_14	J_13
		PRODUTO	R_14	R_7	R_8	R_11	R_13	R_13	R_14	R_4	R_5	R_6	R_11	R_13	R_15	R_1	R_1	R_12	R_13	R_2	R_3	R_9
	OTIMIZADO	JOB	J_9	J_5	J_7	J_4	J_1	J_8	J_6	J_3	J_2	J_10	J_11	J_12	J_18	J_16	J_15	J_17	J_20	J_26	J_14	J_19
		PRODUTO	R_14	R_7	R_8	R_11	R_13	R_13	R_14	R_4	R_5	R_6	R_11	R_13	R_15	R_1	R_1	R_12	R_13	R_4	R_3	R_2
Cenário 2	ATUAL	JOB	J_1	J_9	J_5	J_2	J_3	J_6	J_8	J_4	J_10	J_7	J_12	J_13	J_20	J_17	J_16	J_18	J_14	J_19	J_15	J_11
		PRODUTO	R_10	R_5	R_9	R_10	R_10	R_11	R_13	R_14	R_14	R_2	R_11	R_4	R_8	R_3	R_8	R_13	R_14	R_3	R_4	R_6
	OTIMIZADO	JOB	J_1	J_9	J_5	J_10	J_4	J_8	J_6	J_12	J_7	J_2	J_3	J_13	J_17	J_20	J_16	J_18	J_14	J_19	J_30	J_28
		PRODUTO	R_10	R_5	R_9	R_14	R_14	R_13	R_11	R_11	R_2	R_10	R_10	R_4	R_3	R_8	R_8	R_13	R_14	R_3	R_3	R_15
Cenário 3	ATUAL	JOB	J_2	J_1	J_5	J_3	J_4	J_6	J_7	J_9	J_8	J_12	J_16	J_15	J_10	J_14	J_17	J_18	J_11	J_13	J_24	J_23
		PRODUTO	R_13	R_8	R_8	R_9	R_6	R_1	R_1	R_12	R_3	R_7	R_1	R_12	R_13	R_15	R_15	R_15	R_6	R_9	R_2	R_15
	OTIMIZADO	JOB	J_2	J_1	J_5	J_3	J_4	J_6	J_7	J_9	J_8	J_12	J_16	J_10	J_15	J_14	J_17	J_18	J_11	J_13	J_24	J_23
		PRODUTO	R_13	R_8	R_8	R_9	R_6	R_1	R_1	R_12	R_3	R_7	R_1	R_13	R_12	R_15	R_15	R_15	R_6	R_9	R_2	R_15
Cenário 4	ATUAL	JOB	J_5	J_2	J_1	J_8	J_9	J_6	J_3	J_4	J_7	J_11	J_14	J_17	J_16	J_10	J_15	J_18	J_12	J_13	J_27	J_21
		PRODUTO	R_10	R_8	R_11	R_15	R_2	R_12	R_5	R_6	R_9	R_10	R_7	R_5	R_6	R_1	R_1	R_1	R_14	R_4	R_2	R_5
	OTIMIZADO	JOB	J_9	J_8	J_1	J_2	J_5	J_6	J_3	J_4	J_16	J_14	J_11	J_7	J_17	J_10	J_15	J_18	J_12	J_13	J_27	J_22
		PRODUTO	R_2	R_15	R_11	R_8	R_10	R_12	R_5	R_6	R_6	R_7	R_10	R_9	R_5	R_1	R_1	R_1	R_14	R_4	R_2	R_9
Cenário 5	ATUAL	JOB	J_2	J_6	J_4	J_3	J_5	J_1	J_8	J_7	J_10	J_11	J_13	J_15	J_14	J_17	J_12	J_9	J_16	J_24	J_19	J_23
		PRODUTO	R_14	R_15	R_10	R_13	R_15	R_7	R_7	R_8	R_1	R_1	R_10	R_9	R_10	R_13	R_2	R_3	R_5	R_11	R_4	R_5
	OTIMIZADO	JOB	J_2	J_6	J_7	J_8	J_3	J_5	J_1	J_4	J_10	J_11	J_13	J_15	J_14	J_17	J_12	J_9	J_24	J_16	J_19	J_23
		PRODUTO	R_14	R_15	R_8	R_7	R_13	R_15	R_7	R_10	R_1	R_1	R_10	R_9	R_10	R_13	R_2	R_3	R_11	R_5	R_4	R_5
Cenário 6	ATUAL	JOB	J_7	J_8	J_2	J_9	J_1	J_3	J_6	J_4	J_5	J_10	J_16	J_15	J_14	J_17	J_13	J_18	J_11	J_12	J_24	J_26
		PRODUTO	R_10	R_8	R_1	R_11	R_14	R_15	R_2	R_4	R_5	R_1	R_4	R_14	R_7	R_9	R_1	R_1	R_11	R_4	R_3	R_3
	OTIMIZADO	JOB	J_7	J_8	J_2	J_9	J_1	J_3	J_6	J_4	J_5	J_16	J_10	J_14	J_15	J_11	J_12	J_17	J_18	J_13	J_24	J_26
		PRODUTO	R_10	R_8	R_1	R_11	R_14	R_15	R_2	R_4	R_5	R_4	R_1	R_7	R_14	R_11	R_4	R_9	R_1	R_1	R_3	R_3

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Quadro 15 – Sequencias obtidas para os cenários (Continuação).

SEQUENCIA DE PRODUÇÃO:			21°	22°	23°	24°	25°	26°	27°	28°	29°	30°	31°	32°	33°	34°	35°	36°	37°	38°	39°	40°
Cenário 1	ATUAL	JOB	J_29	J_23	J_25	J_22	J_26	J_28	J_27	J_30	J_24	J_21	J_37	J_32	J_39	J_35	J_40	J_38	J_36	J_34	J_33	J_31
		PRODUTO	R_1	R_6	R_11	R_2	R_4	R_5	R_12	R_12	R_15	R_8	R_1	R_14	R_8	R_10	R_5	R_10	R_15	R_2	R_3	R_6
	OTIMIZADO	JOB	J_22	J_25	J_23	J_29	J_30	J_27	J_28	J_13	J_24	J_21	J_37	J_32	J_39	J_34	J_33	J_35	J_40	J_36	J_31	J_38
		PRODUTO	R_2	R_11	R_6	R_1	R_12	R_12	R_5	R_9	R_15	R_8	R_1	R_14	R_8	R_2	R_3	R_10	R_5	R_15	R_6	R_10
Cenário 2	ATUAL	JOB	J_28	J_30	J_29	J_26	J_21	J_25	J_27	J_23	J_24	J_22	J_40	J_31	J_37	J_36	J_33	J_32	J_35	J_38	J_34	J_39
		PRODUTO	R_15	R_3	R_11	R_13	R_15	R_15	R_8	R_15	R_6	R_9	R_15	R_2	R_2	R_7	R_11	R_10	R_13	R_15	R_2	R_3
	OTIMIZADO	JOB	J_21	J_25	J_29	J_26	J_23	J_27	J_15	J_11	J_24	J_22	J_40	J_31	J_37	J_36	J_33	J_32	J_35	J_38	J_39	J_34
		PRODUTO	R_15	R_15	R_11	R_13	R_15	R_8	R_4	R_6	R_6	R_9	R_15	R_2	R_2	R_7	R_11	R_10	R_13	R_15	R_3	R_2
Cenário 3	ATUAL	JOB	J_27	J_25	J_20	J_19	J_22	J_21	J_26	J_35	J_28	J_34	J_30	J_32	J_31	J_33	J_29	J_36				
		PRODUTO	R_4	R_12	R_14	R_15	R_5	R_6	R_8	R_10	R_11	R_15	R_2	R_3	R_1	R_10	R_15	R_6				
	OTIMIZADO	JOB	J_27	J_25	J_20	J_19	J_21	J_22	J_26	J_31	J_28	J_34	J_30	J_32	J_29	J_36	J_35	J_33				
		PRODUTO	R_4	R_12	R_14	R_15	R_6	R_5	R_8	R_1	R_11	R_15	R_2	R_3	R_15	R_6	R_10	R_10				
Cenário 4	ATUAL	JOB	J_22	J_25	J_26	J_20	J_19	J_23	J_24	J_29	J_30	J_28	J_33	J_35	J_36	J_34	J_31	J_32				
		PRODUTO	R_9	R_10	R_13	R_15	R_3	R_6	R_7	R_13	R_6	R_9	R_7	R_10	R_10	R_12	R_3	R_5				
	OTIMIZADO	JOB	J_21	J_24	J_26	J_20	J_19	J_23	J_25	J_28	J_30	J_29	J_33	J_35	J_36	J_34	J_31	J_32				
		PRODUTO	R_5	R_7	R_13	R_15	R_3	R_6	R_10	R_9	R_6	R_13	R_7	R_10	R_10	R_12	R_3	R_5				
Cenário 5	ATUAL	JOB	J_21	J_18	J_20	J_22	J_35	J_25	J_29	J_34	J_27	J_33	J_28	J_26	J_31	J_30	J_36	J_32				
		PRODUTO	R_5	R_15	R_4	R_4	R_1	R_8	R_8	R_8	R_2	R_5	R_13	R_3	R_5	R_6	R_6	R_8				
	OTIMIZADO	JOB	J_21	J_22	J_20	J_18	J_35	J_25	J_29	J_34	J_27	J_28	J_32	J_36	J_30	J_31	J_26	J_33				
		PRODUTO	R_5	R_4	R_4	R_15	R_1	R_8	R_8	R_8	R_2	R_13	R_8	R_6	R_6	R_5	R_3	R_5				
Cenário 6	ATUAL	JOB	J_23	J_21	J_27	J_22	J_20	J_25	J_19	J_29	J_35	J_34	J_36	J_31	J_28	J_30	J_32	J_33				
		PRODUTO	R_4	R_6	R_15	R_3	R_7	R_7	R_9	R_9	R_14	R_6	R_10	R_13	R_3	R_6	R_8	R_9				
	OTIMIZADO	JOB	J_23	J_21	J_27	J_22	J_25	J_20	J_19	J_29	J_35	J_34	J_36	J_31	J_28	J_30	J_33	J_32				
		PRODUTO	R_4	R_6	R_15	R_3	R_7	R_7	R_9	R_9	R_14	R_6	R_10	R_13	R_3	R_6	R_9	R_8				

Fonte: (O AUTOR, 2016).

APÊNDICE D – RESULTADOS

Tabela 5 - Resultados detalhados para o Cenário 1.

CENÁRIO 1 - ATUAL							CENÁRIO 1 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_13	1	1:00:00:00	1:09:54:24	9:54:24	9:54:24	J_1	R_13	1	1:00:00:00	1:09:54:24	9:54:24	9:54:24
J_2	R_5	1	1:00:00:00	1:22:58:57	22:58:57	22:58:57	J_2	R_5	1	1:00:00:00	1:22:58:57	22:58:57	22:58:57
J_3	R_4	1	1:00:00:00	1:13:54:42	13:54:42	13:54:42	J_3	R_4	1	1:00:00:00	1:13:54:42	13:54:42	13:54:42
J_4	R_11	1	1:00:00:00	1:06:11:25	6:11:25	6:11:25	J_4	R_11	1	1:00:00:00	1:06:11:25	6:11:25	6:11:25
J_5	R_7	3	1:00:00:00	1:05:48:36	5:48:36	17:25:48	J_5	R_7	3	1:00:00:00	1:05:48:36	5:48:36	17:25:48
J_6	R_14	1	1:00:00:00	1:16:34:45	16:34:45	16:34:45	J_6	R_14	1	1:00:00:00	1:16:34:45	16:34:45	16:34:45
J_7	R_8	3	1:00:00:00	1:07:35:24	7:35:24	22:46:12	J_7	R_8	3	1:00:00:00	1:07:35:24	7:35:24	22:46:12
J_8	R_13	1	1:00:00:00	1:14:20:18	14:20:18	14:20:18	J_8	R_13	1	1:00:00:00	1:14:20:18	14:20:18	14:20:18
J_9	R_14	3	1:00:00:00	1:02:12:30	2:12:30	6:37:30	J_9	R_14	3	1:00:00:00	1:02:12:30	2:12:30	6:37:30
J_10	R_6	1	1:00:00:00	1:19:26:42	19:26:42	19:26:42	J_10	R_6	1	1:00:00:00	1:19:26:42	19:26:42	19:26:42
J_11	R_11	2	2:00:00:00	1:22:08:03	0	0	J_11	R_11	2	2:00:00:00	1:22:08:03	0	0
J_12	R_13	2	2:00:00:00	2:00:14:42	14:42	29:24	J_12	R_13	2	2:00:00:00	2:00:14:42	14:42	29:24
J_13	R_9	1	2:00:00:00	2:19:24:40	19:24:40	19:24:40	J_13	R_9	1	2:00:00:00	3:13:40:58	1:13:40:58	1:13:40:58
J_14	R_3	1	2:00:00:00	2:14:03:51	14:03:51	14:03:51	J_14	R_3	1	2:00:00:00	2:13:48:33	13:48:33	13:48:33
J_15	R_1	1	2:00:00:00	2:05:18:24	5:18:24	5:18:24	J_15	R_1	1	2:00:00:00	2:05:18:24	5:18:24	5:18:24
J_16	R_1	1	2:00:00:00	2:02:43:52	2:43:52	2:43:52	J_16	R_1	1	2:00:00:00	2:02:43:52	2:43:52	2:43:52
J_17	R_12	1	2:00:00:00	2:07:36:09	7:36:09	7:36:09	J_17	R_12	1	2:00:00:00	2:07:36:09	7:36:09	7:36:09
J_18	R_15	2	2:00:00:00	2:02:44:36	2:44:36	5:29:12	J_18	R_15	2	2:00:00:00	2:02:44:36	2:44:36	5:29:12
J_19	R_2	1	2:00:00:00	2:15:16:48	15:16:48	15:16:48	J_19	R_2	1	2:00:00:00	2:16:41:46	16:41:46	16:41:46
J_20	R_13	1	2:00:00:00	2:09:40:12	9:40:12	9:40:12	J_20	R_13	1	2:00:00:00	2:09:40:12	9:40:12	9:40:12
J_21	R_8	1	3:00:00:00	3:15:11:43	15:11:43	15:11:43	J_21	R_8	1	3:00:00:00	3:15:09:02	15:09:02	15:09:02
J_22	R_2	2	3:00:00:00	3:04:14:31	4:14:31	8:29:02	J_22	R_2	2	3:00:00:00	2:19:12:58	0	0
J_23	R_6	3	3:00:00:00	3:00:45:54	45:54	2:17:42	J_23	R_6	3	3:00:00:00	2:23:32:15	0	0
J_24	R_15	1	3:00:00:00	3:13:41:03	13:41:03	13:41:03	J_24	R_15	1	3:00:00:00	3:13:31:03	13:31:03	13:31:03
J_25	R_11	2	3:00:00:00	3:02:11:03	2:11:03	4:22:06	J_25	R_11	2	3:00:00:00	2:18:57:39	0	0
J_26	R_4	2	3:00:00:00	3:04:51:39	4:51:39	9:43:18	J_26	R_4	2	3:00:00:00	2:11:56:48	0	0
J_27	R_12	1	3:00:00:00	3:09:52:22	9:52:22	9:52:22	J_27	R_12	1	3:00:00:00	3:04:27:03	4:27:03	4:27:03
J_28	R_5	2	3:00:00:00	3:08:05:34	8:05:34	16:11:08	J_28	R_5	2	3:00:00:00	3:08:18:06	8:18:06	16:36:12
J_29	R_1	3	3:00:00:00	2:22:53:18	0	0	J_29	R_1	3	3:00:00:00	3:00:11:41	11:41	35:03
J_30	R_12	1	3:00:00:00	3:13:29:58	13:29:58	13:29:58	J_30	R_12	1	3:00:00:00	3:03:04:15	3:04:15	3:04:15
J_31	R_6	1	4:00:00:00	4:14:50:07	14:50:07	14:50:07	J_31	R_6	1	4:00:00:00	4:10:01:07	10:01:07	10:01:07
J_32	R_14	3	4:00:00:00	3:17:39:00	0	0	J_32	R_14	3	4:00:00:00	3:17:36:19	0	0
J_33	R_3	1	4:00:00:00	4:12:21:43	12:21:43	12:21:43	J_33	R_3	1	4:00:00:00	3:22:55:43	0	0
J_34	R_2	1	4:00:00:00	4:09:34:07	9:34:07	9:34:07	J_34	R_2	1	4:00:00:00	3:22:48:55	0	0
J_35	R_10	2	4:00:00:00	3:22:22:00	0	0	J_35	R_10	2	4:00:00:00	4:01:21:58	1:21:58	2:43:56
J_36	R_15	1	4:00:00:00	4:08:01:09	8:01:09	8:01:09	J_36	R_15	1	4:00:00:00	4:07:33:01	7:33:01	7:33:01
J_37	R_1	3	4:00:00:00	3:16:20:57	0	0	J_37	R_1	3	4:00:00:00	3:16:18:16	0	0
J_38	R_10	1	4:00:00:00	4:05:22:00	5:22:00	5:22:00	J_38	R_10	1	4:00:00:00	4:12:35:52	12:35:52	12:35:52
J_39	R_8	3	4:00:00:00	3:19:30:24	0	0	J_39	R_8	3	4:00:00:00	3:19:27:43	0	0
J_40	R_5	2	4:00:00:00	4:03:13:54	3:13:54	6:27:48	J_40	R_5	2	4:00:00:00	4:05:49:46	5:49:46	11:39:32

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Tabela 6 - Resultados detalhados para o Cenário 2.

CENÁRIO 2 - ATUAL							CENÁRIO 2 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_10	3	1:00:00:00	1:02:24:45	2:24:45	7:14:15	J_1	R_10	3	1:00:00:00	1:02:24:45	2:24:45	7:14:15
J_2	R_10	1	1:00:00:00	1:09:44:45	9:44:45	9:44:45	J_2	R_10	1	1:00:00:00	1:19:34:20	19:34:20	19:34:20
J_3	R_10	1	1:00:00:00	1:12:57:45	12:57:45	12:57:45	J_3	R_10	1	1:00:00:00	1:22:34:54	22:34:54	22:34:54
J_4	R_14	1	1:00:00:00	1:23:45:37	23:45:37	23:45:37	J_4	R_14	1	1:00:00:00	1:14:56:54	14:56:54	14:56:54
J_5	R_9	2	1:00:00:00	1:08:37:15	8:37:15	17:14:30	J_5	R_9	2	1:00:00:00	1:08:37:15	8:37:15	17:14:30
J_6	R_11	1	1:00:00:00	1:16:38:21	16:38:21	16:38:21	J_6	R_11	1	1:00:00:00	1:16:02:05	16:02:05	16:02:05
J_7	R_2	1	1:00:00:00	2:02:59:19	1:02:59:19	1:02:59:19	J_7	R_2	1	1:00:00:00	1:20:20:24	20:20:24	20:20:24
J_8	R_13	1	1:00:00:00	1:18:56:52	18:56:52	18:56:52	J_8	R_13	1	1:00:00:00	1:18:22:36	18:22:36	18:22:36
J_9	R_5	3	1:00:00:00	1:05:21:42	5:21:42	16:05:06	J_9	R_5	3	1:00:00:00	1:05:21:42	5:21:42	16:05:06
J_10	R_14	1	1:00:00:00	2:01:01:31	1:01:01:31	1:01:01:31	J_10	R_14	1	1:00:00:00	1:10:17:09	10:17:09	10:17:09
J_11	R_6	1	2:00:00:00	2:19:02:33	19:02:33	19:02:33	J_11	R_6	1	2:00:00:00	3:07:11:40	1:07:11:40	1:07:11:40
J_12	R_11	3	2:00:00:00	1:23:42:39	0	0	J_12	R_11	3	2:00:00:00	1:17:56:05	0	0
J_13	R_4	3	2:00:00:00	2:04:35:39	4:35:39	13:46:57	J_13	R_4	3	2:00:00:00	2:03:53:09	3:53:09	11:39:27
J_14	R_14	1	2:00:00:00	2:13:56:28	13:56:28	13:56:28	J_14	R_14	1	2:00:00:00	2:13:11:40	13:11:40	13:11:40
J_15	R_4	1	2:00:00:00	2:19:10:30	19:10:30	19:10:30	J_15	R_4	1	2:00:00:00	3:06:16:40	1:06:16:40	1:06:16:40
J_16	R_8	2	2:00:00:00	2:07:15:37	7:15:37	14:31:14	J_16	R_8	2	2:00:00:00	2:06:40:43	6:40:43	13:21:26
J_17	R_3	2	2:00:00:00	2:06:13:54	6:13:54	12:27:48	J_17	R_3	2	2:00:00:00	2:05:31:24	5:31:24	11:02:48
J_18	R_13	1	2:00:00:00	2:12:07:22	12:07:22	12:07:22	J_18	R_13	1	2:00:00:00	2:10:07:34	10:07:34	10:07:34
J_19	R_3	1	2:00:00:00	2:13:58:30	13:58:30	13:58:30	J_19	R_3	1	2:00:00:00	2:13:08:30	13:08:30	13:08:30
J_20	R_8	3	2:00:00:00	2:04:55:19	4:55:19	14:45:57	J_20	R_8	3	2:00:00:00	2:04:32:15	4:32:15	13:36:45
J_21	R_15	2	3:00:00:00	3:07:18:22	7:18:22	14:36:44	J_21	R_15	2	3:00:00:00	2:21:49:45	0	0
J_22	R_9	1	3:00:00:00	3:13:01:13	13:01:13	13:01:13	J_22	R_9	1	3:00:00:00	3:09:01:13	9:01:13	9:01:13
J_23	R_15	1	3:00:00:00	3:13:10:52	13:10:52	13:10:52	J_23	R_15	1	3:00:00:00	3:02:27:15	2:27:15	2:27:15
J_24	R_6	1	3:00:00:00	3:10:02:40	10:02:40	10:02:40	J_24	R_6	1	3:00:00:00	3:08:56:40	8:56:40	8:56:40
J_25	R_15	2	3:00:00:00	3:09:55:52	9:55:52	19:51:44	J_25	R_15	2	3:00:00:00	3:00:27:15	27:15	54:30
J_26	R_13	2	3:00:00:00	3:02:19:31	2:19:31	4:39:02	J_26	R_13	2	3:00:00:00	2:23:01:07	0	0
J_27	R_8	2	3:00:00:00	3:06:29:46	6:29:46	12:59:32	J_27	R_8	2	3:00:00:00	3:01:01:10	1:01:10	2:02:20
J_28	R_15	3	3:00:00:00	2:19:46:27	0	0	J_28	R_15	3	3:00:00:00	2:15:12:15	0	0
J_29	R_11	2	3:00:00:00	3:01:33:15	1:33:15	3:06:30	J_29	R_11	2	3:00:00:00	2:19:51:06	0	0
J_30	R_3	3	3:00:00:00	2:23:05:03	0	0	J_30	R_3	3	3:00:00:00	2:15:35:30	0	0
J_31	R_2	3	4:00:00:00	3:18:04:56	0	0	J_31	R_2	3	4:00:00:00	3:15:19:56	0	0
J_32	R_10	1	4:00:00:00	4:00:07:52	7:52	7:52	J_32	R_10	1	4:00:00:00	3:20:22:52	0	0
J_33	R_11	2	4:00:00:00	3:22:05:37	0	0	J_33	R_11	2	4:00:00:00	3:18:20:37	0	0
J_34	R_2	1	4:00:00:00	4:09:44:25	9:44:25	9:44:25	J_34	R_2	1	4:00:00:00	4:08:12:07	8:12:07	8:12:07
J_35	R_13	1	4:00:00:00	4:02:59:50	2:59:50	2:59:50	J_35	R_13	1	4:00:00:00	4:00:14:50	14:50	14:50
J_36	R_7	3	4:00:00:00	3:22:57:26	0	0	J_36	R_7	3	4:00:00:00	3:18:57:26	0	0
J_37	R_2	3	4:00:00:00	3:20:02:32	0	0	J_37	R_2	3	4:00:00:00	3:17:17:32	0	0
J_38	R_15	1	4:00:00:00	4:06:12:57	6:12:57	6:12:57	J_38	R_15	1	4:00:00:00	4:03:12:57	3:12:57	3:12:57
J_39	R_3	1	4:00:00:00	4:09:28:58	9:28:58	9:28:58	J_39	R_3	1	4:00:00:00	4:03:47:18	3:47:18	3:47:18
J_40	R_15	3	4:00:00:00	3:16:10:52	0	0	J_40	R_15	3	4:00:00:00	3:13:06:04	0	0

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Tabela 7 - Resultados detalhados para o Cenário 3.

CENÁRIO 3 - ATUAL							CENÁRIO 3 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_8	3	1:00:00:00	1:02:48:39	2:48:39	8:25:57	J_1	R_8	3	1:00:00:00	1:02:48:39	2:48:39	8:25:57
J_2	R_13	3	1:00:00:00	1:01:25:37	1:25:37	4:16:51	J_2	R_13	3	1:00:00:00	1:01:25:37	1:25:37	4:16:51
J_3	R_9	3	1:00:00:00	1:08:03:57	8:03:57	1:00:11:51	J_3	R_9	3	1:00:00:00	1:08:03:57	8:03:57	1:00:11:51
J_4	R_6	2	1:00:00:00	1:09:08:08	9:08:08	18:16:16	J_4	R_6	2	1:00:00:00	1:09:08:08	9:08:08	18:16:16
J_5	R_8	3	1:00:00:00	1:05:28:33	5:28:33	16:25:39	J_5	R_8	3	1:00:00:00	1:05:28:33	5:28:33	16:25:39
J_6	R_1	1	1:00:00:00	1:10:03:24	10:03:24	10:03:24	J_6	R_1	1	1:00:00:00	1:10:03:24	10:03:24	10:03:24
J_7	R_1	1	1:00:00:00	1:12:38:08	12:38:08	12:38:08	J_7	R_1	1	1:00:00:00	1:12:38:08	12:38:08	12:38:08
J_8	R_3	1	1:00:00:00	1:16:50:02	16:50:02	16:50:02	J_8	R_3	1	1:00:00:00	1:16:50:02	16:50:02	16:50:02
J_9	R_12	1	1:00:00:00	1:14:13:08	14:13:08	14:13:08	J_9	R_12	1	1:00:00:00	1:14:13:08	14:13:08	14:13:08
J_10	R_13	1	2:00:00:00	2:00:23:50	23:50	23:50	J_10	R_13	1	2:00:00:00	1:22:02:32	0	0
J_11	R_6	1	2:00:00:00	2:05:32:28	5:32:28	5:32:28	J_11	R_6	1	2:00:00:00	2:05:17:28	5:17:28	5:17:28
J_12	R_7	3	2:00:00:00	1:18:01:51	0	0	J_12	R_7	3	2:00:00:00	1:18:01:51	0	0
J_13	R_9	1	2:00:00:00	2:06:50:04	6:50:04	6:50:04	J_13	R_9	1	2:00:00:00	2:06:35:04	6:35:04	6:35:04
J_14	R_15	1	2:00:00:00	2:02:36:22	2:36:22	2:36:22	J_14	R_15	1	2:00:00:00	2:02:21:22	2:21:22	2:21:22
J_15	R_12	2	2:00:00:00	1:22:42:47	0	0	J_15	R_12	2	2:00:00:00	2:00:23:50	23:50	47:40
J_16	R_1	2	2:00:00:00	1:19:06:29	0	0	J_16	R_1	2	2:00:00:00	1:19:06:29	0	0
J_17	R_15	1	2:00:00:00	2:05:36:22	5:36:22	5:36:22	J_17	R_15	1	2:00:00:00	2:05:21:22	5:21:22	5:21:22
J_18	R_15	1	2:00:00:00	2:09:51:22	9:51:22	9:51:22	J_18	R_15	1	2:00:00:00	2:09:36:22	9:36:22	9:36:22
J_19	R_15	1	3:00:00:00	3:00:03:18	3:18	3:18	J_19	R_15	1	3:00:00:00	2:23:48:18	0	0
J_20	R_14	1	3:00:00:00	2:20:04:21	0	0	J_20	R_14	1	3:00:00:00	2:19:49:21	0	0
J_21	R_6	1	3:00:00:00	3:05:24:24	5:24:24	5:24:24	J_21	R_6	1	3:00:00:00	3:01:44:24	1:44:24	1:44:24
J_22	R_5	1	3:00:00:00	3:00:59:09	59:09	59:09	J_22	R_5	1	3:00:00:00	3:03:09:09	3:09:09	3:09:09
J_23	R_15	2	3:00:00:00	2:15:06:22	0	0	J_23	R_15	2	3:00:00:00	2:14:51:22	0	0
J_24	R_2	3	3:00:00:00	2:12:31:16	0	0	J_24	R_2	3	3:00:00:00	2:12:16:16	0	0
J_25	R_12	1	3:00:00:00	2:17:06:15	0	0	J_25	R_12	1	3:00:00:00	2:16:51:15	0	0
J_26	R_8	1	3:00:00:00	3:06:34:46	6:34:46	6:34:46	J_26	R_8	1	3:00:00:00	3:06:20:43	6:20:43	6:20:43
J_27	R_4	2	3:00:00:00	2:14:52:48	0	0	J_27	R_4	2	3:00:00:00	2:14:22:48	0	0
J_28	R_11	3	4:00:00:00	3:13:48:21	0	0	J_28	R_11	3	4:00:00:00	3:11:49:09	0	0
J_29	R_15	1	4:00:00:00	4:07:16:49	7:16:49	7:16:49	J_29	R_15	1	4:00:00:00	3:23:43:49	0	0
J_30	R_2	2	4:00:00:00	3:22:35:43	0	0	J_30	R_2	2	4:00:00:00	3:19:21:31	0	0
J_31	R_1	1	4:00:00:00	4:01:03:09	1:03:09	1:03:09	J_31	R_1	1	4:00:00:00	3:08:48:09	0	0
J_32	R_3	2	4:00:00:00	3:19:25:55	0	0	J_32	R_3	2	4:00:00:00	3:17:26:43	0	0
J_33	R_10	1	4:00:00:00	4:01:22:40	1:22:40	1:22:40	J_33	R_10	1	4:00:00:00	4:03:24:16	3:24:16	3:24:16
J_34	R_15	2	4:00:00:00	3:17:20:45	0	0	J_34	R_15	2	4:00:00:00	3:15:21:33	0	0
J_35	R_10	3	4:00:00:00	3:09:35:21	0	0	J_35	R_10	3	4:00:00:00	4:01:04:16	1:04:16	3:12:48
J_36	R_6	1	4:00:00:00	4:05:27:31	5:27:31	5:27:31	J_36	R_6	1	4:00:00:00	3:21:54:31	0	0

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Tabela 8 - Resultados detalhados para o Cenário 4.

CENÁRIO 4 - ATUAL							CENÁRIO 4 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_11	2	1:00:00:00	1:06:00:57	6:00:57	12:01:54	J_1	R_11	2	1:00:00:00	1:04:42:41	4:42:41	9:25:22
J_2	R_8	3	1:00:00:00	1:04:22:38	4:22:38	13:07:54	J_2	R_8	3	1:00:00:00	1:05:59:52	5:59:52	17:59:36
J_3	R_5	1	1:00:00:00	1:15:12:16	15:12:16	15:12:16	J_3	R_5	1	1:00:00:00	1:13:40:08	13:40:08	13:40:08
J_4	R_6	1	1:00:00:00	1:15:36:14	15:36:14	15:36:14	J_4	R_6	1	1:00:00:00	1:15:36:14	15:36:14	15:36:14
J_5	R_10	3	1:00:00:00	1:02:20:45	2:20:45	7:02:15	J_5	R_10	3	1:00:00:00	1:08:23:59	8:23:59	1:01:11:57
J_6	R_12	1	1:00:00:00	1:13:31:10	13:31:10	13:31:10	J_6	R_12	1	1:00:00:00	1:12:14:02	12:14:02	12:14:02
J_7	R_9	1	1:00:00:00	1:16:46:17	16:46:17	16:46:17	J_7	R_9	1	1:00:00:00	1:22:25:17	22:25:17	22:25:17
J_8	R_15	2	1:00:00:00	1:07:25:24	7:25:24	14:50:48	J_8	R_15	2	1:00:00:00	1:03:21:14	3:21:14	6:42:28
J_9	R_2	2	1:00:00:00	1:10:06:22	10:06:22	20:12:44	J_9	R_2	2	1:00:00:00	1:02:54:28	2:54:28	5:48:56
J_10	R_1	1	2:00:00:00	2:03:39:24	3:39:24	3:39:24	J_10	R_1	1	2:00:00:00	2:03:00:36	3:00:36	3:00:36
J_11	R_10	3	2:00:00:00	1:18:27:59	0	0	J_11	R_10	3	2:00:00:00	1:19:18:59	0	0
J_12	R_14	1	2:00:00:00	2:08:21:03	8:21:03	8:21:03	J_12	R_14	1	2:00:00:00	2:07:42:15	7:42:15	7:42:15
J_13	R_4	1	2:00:00:00	2:10:26:26	10:26:26	10:26:26	J_13	R_4	1	2:00:00:00	2:09:21:26	9:21:26	9:21:26
J_14	R_7	3	2:00:00:00	1:22:18:51	0	0	J_14	R_7	3	2:00:00:00	1:18:10:51	0	0
J_15	R_1	1	2:00:00:00	2:04:22:20	4:22:20	4:22:20	J_15	R_1	1	2:00:00:00	2:03:43:32	3:43:32	3:43:32
J_16	R_6	2	2:00:00:00	2:01:54:14	1:54:14	3:48:28	J_16	R_6	2	2:00:00:00	1:17:16:14	0	0
J_17	R_5	2	2:00:00:00	2:00:52:48	52:48	1:45:36	J_17	R_5	2	2:00:00:00	2:00:59:14	59:14	1:58:28
J_18	R_1	1	2:00:00:00	2:06:28:30	6:28:30	6:28:30	J_18	R_1	1	2:00:00:00	2:05:49:42	5:49:42	5:49:42
J_19	R_3	1	3:00:00:00	3:01:03:39	1:03:39	1:03:39	J_19	R_3	1	3:00:00:00	2:22:21:59	0	0
J_20	R_15	1	3:00:00:00	3:01:05:00	1:05:00	1:05:00	J_20	R_15	1	3:00:00:00	2:22:23:20	0	0
J_21	R_5	2	3:00:00:00	2:15:22:21	0	0	J_21	R_5	2	3:00:00:00	2:17:42:38	0	0
J_22	R_9	2	3:00:00:00	2:18:47:38	0	0	J_22	R_9	2	3:00:00:00	2:15:52:23	0	0
J_23	R_6	1	3:00:00:00	3:03:34:24	3:34:24	3:34:24	J_23	R_6	1	3:00:00:00	3:00:52:44	52:44	52:44
J_24	R_7	1	3:00:00:00	3:05:34:28	5:34:28	5:34:28	J_24	R_7	1	3:00:00:00	2:20:20:02	0	0
J_25	R_10	1	3:00:00:00	2:19:04:11	0	0	J_25	R_10	1	3:00:00:00	3:02:14:29	2:14:29	2:14:29
J_26	R_13	1	3:00:00:00	2:21:54:06	0	0	J_26	R_13	1	3:00:00:00	2:22:45:02	0	0
J_27	R_2	3	3:00:00:00	2:13:17:06	0	0	J_27	R_2	3	3:00:00:00	2:12:12:06	0	0
J_28	R_9	3	4:00:00:00	3:10:26:05	0	0	J_28	R_9	3	4:00:00:00	3:06:05:25	0	0
J_29	R_13	3	4:00:00:00	3:06:54:49	0	0	J_29	R_13	3	4:00:00:00	3:08:59:45	0	0
J_30	R_6	3	4:00:00:00	3:07:58:24	0	0	J_30	R_6	3	4:00:00:00	3:08:22:44	0	0
J_31	R_3	1	4:00:00:00	3:19:45:52	0	0	J_31	R_3	1	4:00:00:00	3:18:00:52	0	0
J_32	R_5	1	4:00:00:00	4:00:07:37	7:37	7:37	J_32	R_5	1	4:00:00:00	3:22:22:37	0	0
J_33	R_7	2	4:00:00:00	3:14:27:41	0	0	J_33	R_7	2	4:00:00:00	3:13:01:21	0	0
J_34	R_12	1	4:00:00:00	3:18:28:19	0	0	J_34	R_12	1	4:00:00:00	3:16:43:19	0	0
J_35	R_10	1	4:00:00:00	3:14:01:49	0	0	J_35	R_10	1	4:00:00:00	3:12:16:49	0	0
J_36	R_10	1	4:00:00:00	3:16:35:49	0	0	J_36	R_10	1	4:00:00:00	3:14:50:49	0	0

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Tabela 9 - Resultados detalhados para o Cenário 5.

CENÁRIO 5 - ATUAL							CENÁRIO 5 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_7	1	2:00:00:00	1:13:10:54	13:10:54	13:10:54	J_1	R_7	1	1:00:00:00	1:13:29:42	13:29:42	13:29:42
J_2	R_14	3	2:00:00:00	1:01:51:48	1:51:48	5:35:24	J_2	R_14	3	1:00:00:00	1:01:51:48	1:51:48	5:35:24
J_3	R_13	1	2:00:00:00	1:07:57:19	7:57:19	7:57:19	J_3	R_13	1	1:00:00:00	1:09:16:36	9:16:36	9:16:36
J_4	R_10	1	2:00:00:00	1:05:46:45	5:46:45	5:46:45	J_4	R_10	1	1:00:00:00	1:14:20:05	14:20:05	14:20:05
J_5	R_15	1	2:00:00:00	1:09:15:44	9:15:44	9:15:44	J_5	R_15	1	1:00:00:00	1:09:19:36	9:19:36	9:19:36
J_6	R_15	3	2:00:00:00	1:05:47:48	5:47:48	17:23:24	J_6	R_15	3	1:00:00:00	1:05:47:48	5:47:48	17:23:24
J_7	R_8	1	2:00:00:00	1:16:55:03	16:55:03	16:55:03	J_7	R_8	1	1:00:00:00	1:05:29:12	5:29:12	5:29:12
J_8	R_7	1	2:00:00:00	1:15:03:39	15:03:39	15:03:39	J_8	R_7	1	1:00:00:00	1:07:30:57	7:30:57	7:30:57
J_9	R_3	1	3:00:00:00	2:05:39:56	5:39:56	5:39:56	J_9	R_3	1	2:00:00:00	2:06:04:56	6:04:56	6:04:56
J_10	R_1	3	3:00:00:00	1:18:26:31	0	0	J_10	R_1	3	2:00:00:00	1:16:31:36	0	0
J_11	R_1	3	3:00:00:00	1:21:57:59	0	0	J_11	R_1	3	2:00:00:00	1:18:48:04	0	0
J_12	R_2	1	3:00:00:00	2:06:24:51	6:24:51	6:24:51	J_12	R_2	1	2:00:00:00	2:06:49:51	6:49:51	6:49:51
J_13	R_10	3	3:00:00:00	1:20:03:53	0	0	J_13	R_10	3	2:00:00:00	1:20:28:53	0	0
J_14	R_10	2	3:00:00:00	2:00:35:53	35:53	1:11:46	J_14	R_10	2	2:00:00:00	2:01:00:53	1:00:53	2:01:46
J_15	R_9	3	3:00:00:00	2:00:00:32	3	1:36	J_15	R_9	3	2:00:00:00	2:00:11:41	11:41	35:03
J_16	R_5	1	4:00:00:00	2:08:31:12	8:31:12	8:31:12	J_16	R_5	1	2:00:00:00	2:08:56:12	8:56:12	8:56:12
J_17	R_13	1	4:00:00:00	2:03:37:03	3:37:03	3:37:03	J_17	R_13	1	2:00:00:00	2:04:02:03	4:02:03	4:02:03
J_18	R_15	1	4:00:00:00	2:18:42:08	0	0	J_18	R_15	1	3:00:00:00	2:22:39:08	0	0
J_19	R_4	3	4:00:00:00	2:12:21:41	0	0	J_19	R_4	3	3:00:00:00	2:12:16:44	0	0
J_20	R_4	1	4:00:00:00	2:19:52:08	0	0	J_20	R_4	1	3:00:00:00	2:22:14:44	0	0
J_21	R_5	2	4:00:00:00	2:16:39:14	0	0	J_21	R_5	2	3:00:00:00	2:16:49:14	0	0
J_22	R_4	1	4:00:00:00	3:00:03:08	3:08	3:08	J_22	R_4	1	3:00:00:00	2:19:11:44	0	0
J_23	R_5	3	4:00:00:00	2:12:39:59	0	0	J_23	R_5	3	3:00:00:00	2:12:49:59	0	0
J_24	R_11	3	4:00:00:00	2:08:29:41	0	0	J_24	R_11	3	3:00:00:00	2:07:27:08	0	0
J_25	R_8	3	4:00:00:00	3:01:01:12	0	0	J_25	R_8	3	4:00:00:00	3:00:56:12	0	0
J_26	R_3	1	4:00:00:00	3:11:53:00	0	0	J_26	R_3	1	4:00:00:00	3:18:16:36	0	0
J_27	R_2	2	4:00:00:00	3:09:14:10	0	0	J_27	R_2	2	4:00:00:00	3:09:09:10	0	0
J_28	R_13	1	0	3:13:30:34	0	0	J_28	R_13	1	4:00:00:00	3:11:47:58	0	0
J_29	R_8	3	0	3:02:27:04	0	0	J_29	R_8	3	4:00:00:00	3:02:22:04	0	0
J_30	R_6	1	0	3:17:38:12	0	0	J_30	R_6	1	4:00:00:00	3:16:15:48	0	0
J_31	R_5	1	0	3:17:12:25	0	0	J_31	R_5	1	4:00:00:00	3:17:17:39	0	0
J_32	R_8	1	0	3:19:31:22	0	0	J_32	R_8	1	4:00:00:00	3:13:26:20	0	0
J_33	R_5	2	0	3:12:06:46	0	0	J_33	R_5	2	4:00:00:00	3:19:00:24	0	0
J_34	R_8	3	0	3:04:10:34	0	0	J_34	R_8	3	4:00:00:00	3:04:05:34	0	0
J_35	R_1	3	0	2:23:53:30	0	0	J_35	R_1	3	4:00:00:00	2:23:48:30	0	0
J_36	R_6	1	0	3:20:18:12	0	0	J_36	R_6	1	4:00:00:00	3:13:25:48	0	0

Fonte: (O AUTOR, 2016).

Tabela 10 - Resultados detalhados para o Cenário 6.

CENÁRIO 6 - ATUAL							CENÁRIO 6 - OTIMIZADO						
Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado	Job	Modelo	Crit	Prazo De Entrega	Entregue	Atraso	Atraso Ponderado
J_1	R_14	1	1:00:00:00	1:10:24:42	10:24:42	10:24:42	J_1	R_14	1	1:00:00:00	1:10:24:42	10:24:42	10:24:42
J_2	R_1	1	1:00:00:00	1:07:24:42	7:24:42	7:24:42	J_2	R_1	1	1:00:00:00	1:07:24:42	7:24:42	7:24:42
J_3	R_15	1	1:00:00:00	1:15:25:57	15:25:57	15:25:57	J_3	R_15	1	1:00:00:00	1:15:25:57	15:25:57	15:25:57
J_4	R_4	1	1:00:00:00	1:17:26:49	17:26:49	17:26:49	J_4	R_4	1	1:00:00:00	1:17:26:49	17:26:49	17:26:49
J_5	R_5	1	1:00:00:00	1:19:19:07	19:19:07	19:19:07	J_5	R_5	1	1:00:00:00	1:19:19:07	19:19:07	19:19:07
J_6	R_2	1	1:00:00:00	1:16:08:13	16:08:13	16:08:13	J_6	R_2	1	1:00:00:00	1:16:08:13	16:08:13	16:08:13
J_7	R_10	2	1:00:00:00	1:02:22:45	2:22:45	4:45:30	J_7	R_10	2	1:00:00:00	1:02:22:45	2:22:45	4:45:30
J_8	R_8	2	1:00:00:00	1:04:42:16	4:42:16	9:24:32	J_8	R_8	2	1:00:00:00	1:04:42:16	4:42:16	9:24:32
J_9	R_11	1	1:00:00:00	1:09:07:21	9:07:21	9:07:21	J_9	R_11	1	1:00:00:00	1:09:07:21	9:07:21	9:07:21
J_10	R_1	3	2:00:00:00	1:21:47:11	0	0	J_10	R_1	3	2:00:00:00	1:22:52:41	0	0
J_11	R_11	1	2:00:00:00	2:09:50:22	9:50:22	9:50:22	J_11	R_11	1	2:00:00:00	2:03:09:22	3:09:22	3:09:22
J_12	R_4	1	2:00:00:00	2:14:02:22	14:02:22	14:02:22	J_12	R_4	1	2:00:00:00	2:06:21:22	6:21:22	6:21:22
J_13	R_1	1	2:00:00:00	2:11:53:41	11:53:41	11:53:41	J_13	R_1	1	2:00:00:00	2:12:48:47	12:48:47	12:48:47
J_14	R_7	2	2:00:00:00	2:05:37:43	5:37:43	11:15:26	J_14	R_7	2	2:00:00:00	2:01:55:23	1:55:23	3:50:46
J_15	R_14	2	2:00:00:00	2:02:20:01	2:20:01	4:40:02	J_15	R_14	2	2:00:00:00	2:05:19:59	5:19:59	10:39:58
J_16	R_4	3	2:00:00:00	2:00:02:01	2:01	6:03	J_16	R_4	3	2:00:00:00	1:22:30:49	0	0
J_17	R_9	2	2:00:00:00	2:08:35:01	8:35:01	17:10:02	J_17	R_9	2	2:00:00:00	2:08:17:17	8:17:17	16:34:34
J_18	R_1	1	2:00:00:00	2:13:06:31	13:06:31	13:06:31	J_18	R_1	1	2:00:00:00	2:09:54:07	9:54:07	9:54:07
J_19	R_9	1	3:00:00:00	3:04:44:50	4:44:50	4:44:50	J_19	R_9	1	3:00:00:00	3:04:14:50	4:14:50	4:14:50
J_20	R_7	1	3:00:00:00	3:00:05:02	5:02	5:02	J_20	R_7	1	3:00:00:00	3:01:35:47	1:35:47	1:35:47
J_21	R_6	2	3:00:00:00	2:18:24:13	0	0	J_21	R_6	2	3:00:00:00	2:17:54:13	0	0
J_22	R_3	1	3:00:00:00	2:20:28:58	0	0	J_22	R_3	1	3:00:00:00	2:19:58:58	0	0
J_23	R_4	3	3:00:00:00	2:18:47:07	0	0	J_23	R_4	3	3:00:00:00	2:16:44:10	0	0
J_24	R_3	3	3:00:00:00	2:15:33:52	0	0	J_24	R_3	3	3:00:00:00	2:13:15:55	0	0
J_25	R_7	1	3:00:00:00	3:02:05:47	2:05:47	2:05:47	J_25	R_7	1	3:00:00:00	2:23:18:56	0	0
J_26	R_3	3	3:00:00:00	2:16:30:07	0	0	J_26	R_3	3	3:00:00:00	2:14:12:10	0	0
J_27	R_15	1	3:00:00:00	2:22:18:37	0	0	J_27	R_15	1	3:00:00:00	2:21:48:37	0	0
J_28	R_3	1	4:00:00:00	3:16:19:46	0	0	J_28	R_3	1	4:00:00:00	3:15:49:46	0	0
J_29	R_9	3	4:00:00:00	3:07:44:05	0	0	J_29	R_9	3	4:00:00:00	3:07:14:05	0	0
J_30	R_6	1	4:00:00:00	3:18:21:37	0	0	J_30	R_6	1	4:00:00:00	3:17:51:37	0	0
J_31	R_13	1	4:00:00:00	3:15:21:25	0	0	J_31	R_13	1	4:00:00:00	3:14:51:25	0	0
J_32	R_8	1	4:00:00:00	3:18:37:45	0	0	J_32	R_8	1	4:00:00:00	3:20:00:46	0	0
J_33	R_9	1	4:00:00:00	3:21:48:26	0	0	J_33	R_9	1	4:00:00:00	3:18:58:26	0	0
J_34	R_6	2	4:00:00:00	3:09:16:03	0	0	J_34	R_6	2	4:00:00:00	3:08:46:03	0	0
J_35	R_14	2	4:00:00:00	3:12:01:47	0	0	J_35	R_14	2	4:00:00:00	3:10:16:47	0	0
J_36	R_10	1	4:00:00:00	3:12:01:48	0	0	J_36	R_10	1	4:00:00:00	3:10:16:48	0	0

Fonte: (O AUTOR, 2016).

