

Melhoria do Planeamento das Atividades no Setor da Colisão

MARIA JORGE FERREIRA LUCAS DE SOUSA

Outubro de 2018

MELHORIA DO PLANEAMENTO DAS ATIVIDADES NO SETOR DA COLISÃO

Maria Jorge Ferreira Lucas de Sousa

2 ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

MELHORIA DA PROGRAMAÇÃO DAS ATIVIDADES NO SETOR DA COLISÃO

Maria Jorge Ferreira Lucas de Sousa
1130559

Dissertação apresentada ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia
e Gestão Industrial, realizada sob a orientação do Professor António Galvão Ramos

2 ANO

Instituto Superior de Engenharia do Porto
Departamento de Engenharia Mecânica

JÚRI

Presidente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Co-orientador

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

Arguente

<Grau Académico e Nome>

<Categoria, Instituição>

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, em primeiro lugar, aos meus pais e irmã, pelo amor, apoio incondicional e incentivo em cada momento da minha vida. Por acreditarem no meu sucesso académico.

A toda a equipa do departamento Após-Venda, ao meu chefe Engenheiro Paulo Vilas Boas, ao Engenheiro Arménio Oliveira e ao Engenheiro Rui Brito, pela transmissão de conhecimentos e compreensão, incentivo e ajuda constante. Pela empatia, amizade e integração no local de trabalho.

Aos meus colegas de trabalho, que vivem esta experiência comigo, pelo companheirismo, apoio e incentivo ao longo do tempo.

Agradeço ao Professor António Galvão, o meu orientador no ISEP, pelos seus conselhos e conhecimentos, disponibilidade, apoio e confiança transmitidos na realização deste projeto.

A todos os colaboradores da Caetano Baviera de Vila Nova de Gaia que me ajudaram a desenvolver este trabalho.

Por fim, aos meus amigos que sempre me acompanharam, pela força e amizade.

PALAVRAS CHAVE

Gestão Oficinal Automóvel; *Job Shop Scheduling Problem*.

RESUMO

Hoje em dia, garantir a satisfação do cliente é a preocupação de todas as organizações. Os clientes são cada vez mais exigentes com a qualidade dos serviços e os prazos de entrega, portanto, é necessário sustentar e implementar uma programação na oficina de forma a cumprir estes prazos e ganhar vantagem no mercado automóvel, que é um mercado competitivo e em constante evolução nos produtos e serviços a oferecer.

Uma vez que o planeamento oficinal é realizado manualmente no centro de colisão da Caetano Baviera, localizada em Vila Nova de Gaia, o presente trabalho tem como objetivo automatizar a ferramenta de programação de trabalhos e melhorar o acompanhamento das reparações. Este automatismo vai controlar as entradas de trabalho na empresa e melhorar os tempos de reparação, permitindo terminar o serviço o mais próximo possível da data de entrega planeada com o cliente, minimizando os atrasos.

Para isso, foram realizados o levantamento e a análise do processo de planeamento de sinistros automóveis no departamento de colisão e posteriormente criado um sistema de apoio à decisão a partir de um modelo de programação inteira desenvolvido por Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y. (2010). O sistema inclui uma interface gráfica que permite ao utilizador gerar soluções de programação da oficina de forma a alocar as diversas tarefas de cada trabalho a um técnico, cumprindo os prazos de entrega.

Neste estudo foi possível verificar que o modelo cumpriu o objetivo de minimizar os tempos das viaturas dentro da oficina, ficando assim a oficina com disponibilidade para a entrada de mais viaturas semanalmente.

KEYWORDS

Automotive Repair Shop; Job Shop Scheduling Problem.

ABSTRACT

Nowadays, ensure the customer satisfaction is the main concern of all organizations. Customers are increasingly more demanding with services' quality and the delivery time, therefore, it's imperative to sustain and implement an office planning that ensures that the deadlines are accomplished and gain advantage in the automotive sector, which is an extremely competitive market and home of a never ending evolutive process in products and services offered.

Since the garage planning it's manually made in the collision center of the company Caetano Baviera, in Vila Nova de Gaia, this paper has as an objective to autotomize a work programming tool and improve the repairing follow-up. This automatism will monitor the work entries in the workshop and get better results on the repair times, allowing to terminate the job the closest possible to the deadline agreed with the client, diminishing delays.

For that, a data collection and a detailed analysis of the planning process of the vehicles claims was carried out at the collision department and posteriorly a decision support was created from an entire programming model developed by Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y. (2010). This system includes a graphical interface that allows the user to create planning solutions for the workshop to allocate the various tasks of each job to a technician, fulfilling the delivery scheduled time.

In this study it was possible to verify that the created template fulfilled the goal of minimizing the time of each vehicle inside the workshop, making possible more vehicles entries weekly.

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

Lista de Abreviaturas

ANN	<i>Artificial Neural Network</i>
CPM	<i>Critical Path Method</i>
CR	Caetano Retail
CSOA	<i>Car Sequencing and Operator Allocation</i>
DMS	<i>Dealership Management System</i>
ERP	Planeamento de Recursos Empresariais
FCFS	<i>First Come First Served</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
FJSP	<i>Flexible Job Shop Problem</i>
GEP	Gestão de Peritagens
GSC	Grupo Salvador Caetano
HC	<i>Hill Climbing</i>
IBM	<i>International Business Machines</i>
ISEP	Instituto Superior de Engenharia do Porto
JSP	<i>Job Shop Problem</i>
LAPT	<i>Longest Alternate Processing Time</i>
MEGI	Mestrado em Engenharia e Gestão Industrial
MILP	<i>Mixed-Integer Linear Programming</i>
PCOSS	<i>Partially-Concurrent Open Shop Scheduling</i>
PERT	<i>Project Evaluation and Review Technique</i>
PGP	Planeamento e Gestão da Produção
PPF	<i>Process Plan Flexibility</i>
PSIDE	Projeto/ Dissertação/ Estágio
SAT	<i>Simulated Annealing Technique</i>
TSP	<i>Travelling Salesman Problem</i>
UT	Unidades de Tempo
WIP	<i>Work In Process</i> (Ordem de Reparação)

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - IBM COGNOS ANALYSIS STUDIO	32
FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DE TODO O PROCESSO DE UM SINISTRO	34
FIGURA 3 - RECOLHA DE FOTOGRAFIAS DO SINISTRO PELO PERITO DA CS	36
FIGURA 4 - AVALIAÇÃO DOS DANOS DO SINISTRO PELO PERITO DA CS E PELO ORÇAMENTISTA	36
FIGURA 5 - SOFTWARE AUDAPAD	36
FIGURA 6 - PEDIDO DE PEÇAS DA RECEÇÃO PARA O BALCÃO DE PEÇAS	37
FIGURA 7 - FOLHA DE AGENDAMENTO DE REPARAÇÕES AUTOMÓVEIS	39
FIGURA 8 - CRONOGRAMA DO PLANEAMENTO OFICINAL POR ORDEM DE CHEGADA DA VIATURA	47
FIGURA 9 –CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA POR TÉCNICO	48
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DA PROGRAMAÇÃO OFICINAL NA COLISÃO	49
FIGURA 11 - CRONOGRAMA DE 2ª FEIRA	52
FIGURA 12 - CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA DE 2ª FEIRA	53
FIGURA 13 - CRONOGRAMA DE 3ª FEIRA	55
FIGURA 14 - CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA DE 3ª FEIRA	56
FIGURA 15 - CRONOGRAMA DE 4ª FEIRA	58
FIGURA 16 - CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA DE 4ª FEIRA	59
FIGURA 17 - CRONOGRAMA DE 5ª FEIRA	61
FIGURA 18 - CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA DE 5ª FEIRA	62
FIGURA 19 - FOLHA DE IMPORTAÇÃO DE DADOS	63
FIGURA 20- JANELA DE INTRODUÇÃO DE DADOS NA IMPORTAÇÃO	63
FIGURA 21 - EXEMPLO DO CRONOGRAMA COM DADOS EXPORTADOS	64
FIGURA 22 - EXEMPLOS DOS GRÁFICOS COM A CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA DOS TÉCNICOS	65

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 1 - INFORMAÇÃO DAS VIATURAS DO DEPARTAMENTO DE COLISÃO DA CAETANO BAVIERA DE GAIA EM 2017	33
TABELA 2 - INFORMAÇÃO DOS TEMPOS DO DEPARTAMENTO DE COLISÃO DA CAETANO BAVIERA DE GAIA DE 2017	38
TABELA 3 - PRECEDÊNCIAS DE TAREFAS DAS VIATURAS	46
TABELA 4 - TEMPOS DE REPARAÇÃO DAS TAREFAS POR TÉCNICO	46
TABELA 5 - TEMPO DE CHEGADA E TIPOS DE OPERAÇÕES DE CADA VIATURA.....	46
TABELA 6 - RESULTADO DA MELHOR SEQUÊNCIA DO PROBLEMA	47
TABELA 7 - CAPACIDADE ATUAL VS CAPACIDADE MÁXIMA POR TÉCNICO	47
TABELA 8 - CAPACIDADE DIÁRIA DISPONÍVEL DA EQUIPA PRODUTIVA	48
TABELA 9 - VIATURAS A PLANEAR NA 2ª FEIRA.....	50
TABELA 10 - RESULTADO DO PLANEAMENTO DE 2ª FEIRA	51
TABELA 11 - CAPACIDADE OFICIAL DE 2ª FEIRA.....	52
TABELA 12 - VIATURAS PARA PLANEAR NA 3ª FEIRA	53
TABELA 13 - RESULTADO DO PLANEAMENTO DE 3ª FEIRA	54
TABELA 14 - CAPACIDADE OFICIAL DE 3ª FEIRA.....	55
TABELA 15 - VIATURAS PARA PLANEAR NA 4ª FEIRA	56
TABELA 16 - RESULTADO DO PLANEAMENTO DE 4ª FEIRA	57
TABELA 17 - CAPACIDADE OFICIAL DE 4ª FEIRA.....	58
TABELA 18 - VIATURAS PARA PLANEAR NA 5ª FEIRA	59
TABELA 19 - RESULTADO DO PLANEAMENTO DE 5ª FEIRA	60
TABELA 20 - CAPACIDADE OFICIAL DE 5ª FEIRA.....	61
TABELA 21 - RESULTADOS DO CPLEX.....	62
TABELA 22 - TABELA COM RESULTADOS DA EXPORTAÇÃO	64
TABELA 23 – EXEMPLO DA TABELA COM AS CAPACIDADES DOS TÉCNICOS.....	65

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivo do Trabalho	2
1.3	Organização do Relatório	3
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
2.1	Planeamento e Gestão da Produção	7
2.2	Problemas de programação	8
2.2.1	Notação	9
2.2.2	Modelos <i>Single Machine</i>	15
2.2.3	Modelos <i>Parallel Machine</i>	15
2.3	Programação de atividades no setor automóvel	16
2.3.1	Programação <i>Job Shop</i> com <i>Simulated Annealing</i>	17
2.3.2	Programação de trabalhos de mecânica automóvel utilizando ANN	20
2.3.3	Programação <i>Job Shop</i> com meta-heurísticas	21
2.4	Programação <i>Job Shop</i> com roteamento e flexibilidade no processo	23
2.5	Resumo da revisão bibliográfica	26
3	APRESENTAÇÃO DA EMPRESA	31
3.1	Centro de colisão	31
3.1.1	Colisão na Caetano Baviera	32
3.2	Processo de regularização de um sinistro automóvel	35
3.3	Oportunidades de melhorias	38
4	DESENVOLVIMENTO	43
4.1	Formulação matemática do modelo	43
4.1.1	Testes ao modelo	45
4.2	Processo de programação	48
4.2.1	Planeamento de 2ª feira	50
4.2.2	Planeamento de 3ª feira	53

4.2.3	Planeamento de 4ª feira	56
4.2.4	Planeamento de 5ª feira	59
4.2.5	Resultados da programação	62
4.3	Sistema de apoio à decisão	62
5	CONCLUSÕES	69
5.1	Análise dos resultados obtidos	69
5.2	Limitações, melhorias e propostas de trabalhos futuros.....	69
6	BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO	73
7	ANEXOS	77
7.1	ANEXO 1	77
7.2	ANEXO 2	78

INTRODUÇÃO

- 1.1 Enquadramento
- 1.2 Objetivo do Trabalho
- 1.3 Organização do Relatório

1 INTRODUÇÃO

No presente capítulo é feita a primeira abordagem ao tema da dissertação do Mestrado de Engenharia e Gestão Industrial (MEGI) que aborda a temática da “Melhoria da Programação de Atividades no Setor da Colisão”, aplicada na empresa Caetano Baviera do Grupo Salvador Caetano (GSC). A oficina da empresa vai ser a oficina piloto de modo a contribuir para a investigação, desenvolvimento, demonstração e formação de um novo sistema para aplicar às restantes oficinas do grupo a nível nacional.

É também apresentado o enquadramento do tema, os objetivos, bem como a organização do trabalho.

1.1 Enquadramento

A constante evolução do mercado e a exigência dos clientes são cada vez mais um assunto de preocupação para as empresas, e faz com que se tenham de adaptar a estes requisitos. Estas têm de prestar o melhor serviço possível, de modo a atingir ou superar a qualidade esperada por parte dos clientes.

O sistema de programação da produção é adotado de forma a dar estabilidade às empresas e de as manter competitivas no mercado com base no que é realmente relevante para o cliente, ajudando no ajustamento dos seus processos para melhorar a qualidade e eficiência dos serviços. A utilização de um sistema de programação da produção permite planear e gerir os recursos disponíveis com o objetivo de melhorar o serviço ao cliente e cumprir o prazo estabelecido, melhorar os tempos de produção, reduzir os tempos de espera e/ou mortos durante o processo e, o mais importante, rentabilizar o tempo produtivo.

O Grupo Salvador Caetano, em particular o setor da colisão, é um grupo de prestação de serviços que está inserido num mercado muito competitivo e com o número de concorrentes a crescer. Para evitar a ida das companhias de seguros à concorrência, existe um protocolo com o grupo Gestão de Peritagens (GEP) e um desconto percentual com qualquer seguradora. O grupo GEP é uma empresa que fornece serviços de peritagens a processos de sinistros automóveis e trabalha com algumas empresas, entre elas, a Fidelidade, a Via Directa e Seguros Continente.

Outros custos para a empresa, são os gastos associados às viaturas de cortesia que a oficina tem ao dispor dos clientes de sinistros protocolados. Para diminuir estes custos, é necessário diminuir o tempo de ciclo da viatura dentro da oficina e assim, o tempo a pagar pela viatura de substituição a estes clientes.

O termo *Job Shop Scheduling* (JSS) é utilizado para designar o tipo de processo operacional caracterizado pela produção de uma diversidade de serviços de acordo com especificações que podem variar de cliente para cliente, como é o caso do processo de uma reparação automóvel. Em JSS, as máquinas podem ser máquinas operacionais, sistemas computacionais ou entidades que se aliam ao processo, desenvolvendo uma tarefa específica. Neste projeto, os recursos são entidades e as operações desenvolvidas

por eles podem ser estimadas como variáveis para o sistema. É também normal que os tempos de processamento de cada reparação seja diferente em cada situação.

A responsabilidade de efetuar a programação oficial recai apenas numa pessoa, o chefe de oficina. Com as suas competências e experiência, dedica diariamente parte do seu tempo à programação de todas as tarefas previstas, de modo a cumprir os prazos estabelecidos com os clientes. Mesmo conhecendo com exatidão o percurso que as ordens de reparação, WIPs (*Work In Process*), seguem e os tempos de processamento de cada serviço, é difícil prever qual o estado de ocupação de cada setor e da oficina em geral, sendo uma das maiores dificuldades do problema de programação e controlo das operações em *Job Shop*. É importante referir que este tipo de problemas tem uma estrutura básica para alocar os trabalhos aos recursos, de forma a reduzir o tempo parado dos colaboradores.

Para aumentar a performance das *Job Shops* é necessário ter como objetivo o desenvolvimento de metodologias que permitam à empresa cumprir os prazos de entrega assumidos com os clientes, evitando a conclusão tardia dos trabalhos e aspetos importantes tais como a quantidade de reparações mal efetuadas e os trabalhos em curso. Para resolver estas questões, é necessário estabelecer alguns critérios e restrições para avaliar adequadamente o problema da melhor estratégia. Isto acontece nos planeamentos, *scheduling*, que é a programação das operações no tempo planeado, tendo como objetivo principal, o aumento da produtividade. Neste caso, cada técnico executa uma operação de cada vez.

A presente dissertação explora as decisões a tomar nas fases de programação e controlo das operações de reparações automóveis. Apresenta uma síntese dos conceitos gerais do PGP e do problema JSS, descreve a situação atual da empresa, e analisa a mesma para a escolha da solução e implementação do sistema na oficina piloto.

1.2 Objetivo do Trabalho

A gestão das operações em *Job Shop* trata-se de uma área que tem vindo a assumir cada vez mais importância nas empresas. É fundamental desenvolver uma ferramenta de apoio à decisão que otimize o trabalho na oficina de modo a diminuir o tempo de permanência da viatura na oficina e a cumprir a data de entrega combinada com o cliente.

Tendo isto em atenção, esta dissertação possui os seguintes objetivos:

- Definir um modelo para a programação do trabalho oficial;
- Automatizar o processo de planeamento no setor da colisão.

1.3 Organização do Relatório

A dissertação está dividida em cinco capítulos. No presente capítulo é feita uma introdução ao trabalho e enquadramento do tema selecionado, os objetivos pretendidos, assim como a organização da dissertação.

No segundo capítulo é elaborada a revisão bibliográfica para um melhor conhecimento de noções que irão ser desenvolvidas, o conceito geral na área do PGP, os tipos de *Scheduling Problems* existentes e as variantes do problema JSS. São também apresentados alguns trabalhos e artigos que desenvolveram programas semelhantes para resolver o mesmo tipo de problema da tese.

O terceiro capítulo é inteiramente dedicado à apresentação e caracterização da Caetano Baviera localizada em Vila Nova de Gaia. No final é descrita e analisada a situação atual da empresa, começando por explicar o processo do serviço na oficina e por selecionar e caracterizar o setor a estudar, setor da colisão, para o qual se identificam posteriormente alguns problemas gerais. Após esta definição, é elaborada uma análise dos processos, descrevendo o processo de produção e determinando as atividades de uma reparação. No capítulo em questão são ainda abordados problemas relacionados com a qualidade e gestão do planeamento.

No quarto capítulo é apresentado um algoritmo adaptado à oficina de colisão, criado com o *solver IBM (International Business Machines) CPLEX*, de forma a planear o trabalho. O desenvolvimento e formulação do modelo utilizado é resultante da procura de soluções para os problemas encontrados, onde foram fundamentadas em práticas a partir da teoria estudada no capítulo anterior. No mesmo capítulo é realizada uma análise dos resultados.

O último capítulo é composto pela conclusão do projeto desenvolvido e discussão dos resultados obtidos.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Planeamento e Gestão da Produção

2.2 Problemas de programação

2.2.1 Notação15

2.2.2 Modelos *Single Machine*15

2.2.3 Modelos *Parallel Machine*15

2.3 Programação de atividades no setor automóvel16

2.3.1 Programação *Job Shop* com *Simulated Annealing*17

2.3.2 Programação de trabalhos de mecânica automóvel utilizando ANN20

2.3.3 Programação *Job Shop* com meta-heurísticas21

2.4 Programação *Job Shop* com roteamento e flexibilidade no processo23

2.5 Resumo da revisão bibliográfica26

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica tem como propósito a apresentação da pesquisa e revisão bibliográfica realizada sobre o problema de programação da produção que serve assim de base para a apresentação e desenvolvimento dos fundamentos que sustentam este trabalho. Para isso, serão adotadas como base de pesquisa livros, artigos e teses com o intuito de dar suporte à dissertação.

2.1 Planeamento e Gestão da Produção

O Planeamento e Gestão da Produção (PGP) é determinante para o desempenho de um sistema produtivo. As necessidades dos clientes mudam rapidamente e a empresa tem de estar preparada para responder a novas soluções. Neste contexto, em que os clientes pretendem prazos de entrega mais curtos e requisitos de qualidade elevados, as empresas tendem a utilizar técnicas que tragam vantagens na sua produção (Kerzner, 2009).

A gestão define-se como o processo da tomada de decisões e desenvolvimento de ações para corrigir desvios no planeamento, durante a fase de execução. Programar é prever os meios necessários para uma determinada atividade, que calendarizam as diferentes tarefas da empresa e a utilização dos recursos disponíveis no momento. É uma atividade importante de gestão onde é necessário estabelecer objetivos, antecipar ações para os resolver e determinar o período para que sejam cumpridos no prazo instituído (Kerzner, 2009).

A gestão da produção gere os recursos diretos da empresa, enquanto que o planeamento da produção se foca na programação dos serviços que a empresa fornece e no planeamento dos recursos disponíveis, ou seja, dá atenção às atividades de produção (Baker & Trietsch, 2009).

O sistema PGP faz parte do sistema produtivo e fornece informação de forma a gerir eficientemente recursos e a coordenar as atividades internas com as necessidades dos clientes. O modelo não toma decisões ou gere as operações, quem o faz é o chefe responsável pelo departamento, este apenas fornece o suporte para que eles o façam corretamente. Este sistema pode ter as seguintes atividades de gestão:

- Programar a necessidade de recursos, capacidade e disponibilidade;
- Programar a chegada de materiais para o dia da produção;
- Agendar e programar as tarefas de produção para as equipas corretas;
- Garantir o cumprimento das datas de entrega com os clientes;
- Ter capacidade de resposta a problemas inesperados.

A programação é um processo da tomada de decisão que é usado regularmente em muitas indústrias de produção e serviços. Trata da alocação de recursos para tarefas em determinados períodos de tempo e pretende otimizar um ou mais objetivos (Man, 2004).

A programação tem como vantagens refletir no modelo antes de tomar uma decisão, prever a evolução do serviço, gerar alterações no modelo e ter uma visão global de todos os agendamentos. No entanto, existem limitações como a incapacidade de as previsões serem corretas devido aos dados fornecidos não serem os reais. Assim, não seria possível uma gestão sem programação pois é preciso conhecer os objetivos e uma base de referência para controlar a evolução dos trabalhos (Kerzner, 2009).

A programação e o controlo da produção envolvem decisões relacionadas com a aquisição, utilização e afetação de recursos produtivos de forma a satisfazer os pedidos dos clientes da forma mais eficiente e económica. O problema da programação existe porque os recursos de produção são limitados, daí ser necessário efetuar escolhas sobre que recursos incluir, como os afetar aos diferentes serviços, quando e como os ajustar (Man, 2004). As atividades de produção têm de ser programadas a vários níveis e de forma integrada.

2.2 Problemas de programação

Segundo Morton e Pentico (1993) a programação da produção, ou *scheduling*, envolve a consideração de uma série de elementos que disputam vários recursos por um período de tempo, sendo que os mesmos possuem capacidade limitada.

Os componentes de um sistema de sequenciamento são as tarefas, os recursos, a função objetivo e as restrições de potencialidade. As tarefas são o elemento principal do sequenciamento e devem ser ordenadas de modo a cumprir as atividades, otimizando a função objetivo sem deixar extrapolar a utilização dos recursos (Vaessens, 1995).

Segundo Jain e Meeran (1999), as restrições de potencialidade são divididas em restrições de precedência e restrições de localização no tempo. As restrições de precedência não permitem que uma tarefa seja inicializada antes da conclusão da sua antecessora. E as restrições de localização no tempo estabelecem que uma tarefa não pode ser inicializada antes de um determinado instante (*Release Date*).

O principal objetivo do *scheduling* é otimizar a função objetivo que pode assumir diversas formas, dependendo da área onde está a ser aplicado, como por exemplo, a duração total do sequenciamento (*makespan*), o ciclo de produção, o ciclo de produção ponderado, o atraso máximo, o atraso total e o número de trabalhos em atraso (Baker & Trietsch, 2009).

Os casos em que o sequenciamento é aplicado a um conjunto de máquinas utilizadas para a confeção de produtos é conhecido como problemas de fábrica. Os três tipos clássicos de problemas de programação são *Flow Shop*, *Job Shop* e *Open Shop*. A classificação deste problema será classificada a partir dos *Jobs Scheduling* que ocorre a partir da forma como será tratado o problema, ou seja, onde se adequa o serviço da empresa:

- *Flow Shop*, onde todas as tarefas têm a mesma sequência;
- *Job Shop*, onde cada tarefa tem a sua sequência;

- *Open Shop*, onde a sequência não é especificada.

Nesses casos, os produtos representam as atividades (*jobs*), as operações realizadas em cada serviço são as tarefas e as máquinas são os recursos (Brucker, 2007).

O tipo de problema da oficina de colisão da Caetano Baviera é *Job Shop*, uma vez que o processo de uma reparação tem uma ordem de precedência dos serviços de acordo com especificações que podem variar de cliente para cliente.

A programação *Job Shop* aborda modelos de operação múltipla que são diferentes dos modelos *Flow Shop*. Em *Flow Shop*, todos os trabalhos possuem a mesma rota. Quando as rotas dos trabalhos são fixas, mas não são necessariamente as mesmas rotas para cada trabalho, o modelo é referido como *Job Shop* (Jain & Meeran, 1999).

2.2.1 Notação

Ao longo dos últimos cinquenta anos, uma quantidade considerável de esforços de pesquisa tem sido focada na programação determinística. Durante este tempo, uma notação evoluiu e capta sucintamente a estrutura de muitos modelos determinísticos que foram considerados na literatura (Pinedo, 2012). De seguida é apresentada uma versão desta notação.

Segundo Pinedo (2012), a notação usual representativa do número de trabalhos é n e para o número de máquinas é m . O índice j refere-se a um trabalho e o índice i a uma máquina. Em todos os problemas de programação, o número de trabalhos e o número de máquinas são considerados finitos. Se um trabalho requer uma série de etapas ou operações de processamento, o par (i, j) refere-se ao passo de processamento ou operação do trabalho j na máquina i . Convencionalmente, os problemas são expressos pela forma $\alpha | \beta | \gamma$ em que:

α : descreve a configuração das máquinas e possui apenas uma entrada;

β : fornece detalhes das características de processamento e restrições;

γ : representa a função objetivo.

Pinedo (2012) associa os seguintes parâmetros ao trabalho j :

Processing Time (p_{ij}): o p_{ij} representa o tempo de processamento do trabalho j na máquina i . O índice i é omitido se o tempo de processamento do trabalho j não depender da máquina ou se o trabalho j só for processado numa determinada máquina.

Release Date (r_j): a data de lançamento r_j do trabalho j é o momento em que o trabalho chega ao sistema, ou seja, o primeiro momento em que o trabalho j pode começar o seu processamento.

Due Date (d_j): a data de entrega d_j do trabalho j representa a data de envio ou a conclusão (ou seja, a data de entrega ao cliente). A conclusão de um trabalho após a data de entrega é permitida, mas existe uma penalização. Quando uma data de entrega deve ser cumprida, é referido por \bar{d}_j .

Weight (w_j): o peso w_j do trabalho j é um fator de prioridade, indicando a importância do trabalho j em relação aos outros trabalhos no sistema. Por exemplo, esse peso pode representar o custo real de manter o trabalho no sistema. Também pode representar a quantidade de valor já adicionada ao trabalho.

Completion Time (C_j): tempo de conclusão do trabalho j .

Tardiness Time (T_j): tempo de atraso do trabalho j .

Velocity (v_i): velocidade que a máquina i processa o trabalho j .

Pinedo (2012) associa as seguintes restrições ao trabalho j :

Single Machine (l): o caso de uma máquina única é o mais simples de todos os ambientes de máquinas possíveis e é um caso especial de todos os outros ambientes de máquinas.

Identical Machines in Parallel (Pm): existe m máquinas idênticas em paralelo. O trabalho j requer uma única operação e pode ser processado em qualquer uma das m máquinas ou em qualquer um que pertença a um determinado subconjunto. Se o trabalho j não puder ser processado em qualquer máquina, mas apenas a um subconjunto específico M_j , então a entrada M_j aparece no campo β .

Machines in Parallel with Different Speeds (Qm): existe m máquinas em paralelo com diferentes velocidades. A velocidade da máquina i é apresentada por v_j . O tempo que o trabalho j gasta na máquina i é igual a p_j/v_i (supondo que o trabalho j recebe todo o seu processamento a partir da máquina i). Este ambiente é referido como máquinas uniformes. Se todas as máquinas tiverem a mesma velocidade, por exemplo, $v_j = 1$ para todos i e $p_{ij} = p_j$, então o ambiente é idêntico ao anterior.

Unrelated Machines in Parallel (Rm): este ambiente é uma generalização mais distante da anterior. Existe m máquinas diferentes em paralelo. A máquina i pode processar o trabalho j a uma velocidade v_{ij} . O tempo p_{ij} que o trabalho j gasta na máquina i é igual a p_j/v_{ij} (assumindo novamente que o trabalho j recebe todo o seu processamento da máquina i). Se as velocidades das máquinas forem independentes dos trabalhos, por exemplo, $v_{ij} = v_i$ para todos i e j , então o ambiente é idêntico ao anterior.

Flow Shop (Fm): existe m máquinas em série. Cada trabalho deve ser processado em cada uma das m máquinas. Todos os trabalhos devem seguir a mesma rota, por exemplo, devem ser processados primeiro na máquina 1, depois na máquina 2

e assim adiante. Depois da conclusão na primeira máquina, o trabalho junta-se à fila na próxima máquina. Normalmente, todas as filas são assumidas para operar sob o método *First In First Out* (FIFO), ou seja, um trabalho não pode ultrapassar outro enquanto espera na fila. Se o método FIFO estiver em vigor, a *Flow shop* é referida como uma loja de fluxo de permutação e o campo β inclui a entrada *prmu*.

Flexible Flow Shop (FFc): uma loja de fluxo flexível é uma generalização da *Flow Shop* e dos ambientes de máquinas paralelas. Em vez de m máquinas em série, há c etapas em série e em cada etapa um número de máquinas idênticas em paralelo. Cada trabalho deve ser processado primeiro na etapa 1, depois na etapa 2, e assim sucessivamente. Uma etapa funciona como um banco de máquinas paralelas. Em cada etapa, o trabalho j requer processamento em apenas uma máquina e qualquer máquina o pode fazer. As filas entre as várias etapas podem ou não funcionar de acordo com o método *First Come First Served* (FCFS).

Job Shop (Jm): uma *Job Shop* com m máquinas, onde cada trabalho tem a sua própria rota pré-determinada a seguir, é feita uma distinção entre *Job Shops* onde cada trabalho visita cada máquina no máximo uma vez e *Job Shops* em que um trabalho pode visitar cada máquina mais de uma vez. No último caso, o campo β contém a entrada *rcrc* para recirculação.

Flexible Job Shop (FJc): uma loja de trabalho flexível é uma generalização da *Job Shop* e dos ambientes de máquinas paralelas. Em vez de m máquinas em série, há c centros de trabalho onde cada centro de trabalho tem um número de máquinas idênticas em paralelo. Cada trabalho tem a sua própria rota a seguir pela loja. O trabalho j requer processamento em cada centro de trabalho em apenas uma máquina e qualquer máquina o pode fazer. Se um trabalho na sua rota através da loja pode visitar um centro de trabalho mais do que uma vez, então o campo β contém a entrada *rcrc* para recirculação.

Open Shop (Om): existem m máquinas. Cada trabalho deve ser processado novamente em cada uma das m máquinas. No entanto, alguns desses tempos de processamento podem ser zero. Não há restrições quanto ao roteamento de cada trabalho através do ambiente da máquina. O programador pode determinar uma rota para cada trabalho e diferentes trabalhos podem ter rotas diferentes.

O processo de restrições comuns e de restrições especificadas no campo β podem incluir múltiplas entradas. As possíveis entradas no campo β são:

Release Dates (r_j): se este símbolo aparecer no campo β , o trabalho j não pode iniciar o processo antes da data de lançamento r_j . Se r_j não aparecer no campo β , o processamento do trabalho j pode começar a qualquer momento. Em contraste com as

datas de lançamento, as datas de entrega não são especificadas neste campo. O tipo de função objetiva dá indicação suficiente, quer existam datas de entrega ou não.

Preemptions (*prmp*): preempções implicam que, uma vez iniciado, não é necessário manter um trabalho numa máquina até à sua conclusão. O programador pode interromper o processamento de um trabalho em qualquer momento e colocar um trabalho diferente na máquina. A quantidade de processamento que um trabalho já recebeu não é perdido. Quando um trabalho antecipado é posto de volta na máquina (ou outra máquina, no caso de máquinas paralelas), ele só precisa da máquina para o tempo de processamento restante. Quando são permitidas preempções, o *prmp* está incluído no campo β . Quando o *prmp* não está incluído, os pré-reembolsos não são permitidos.

Precedence Constraints (*prec*): as restrições de precedência podem aparecer em ambientes de uma única máquina ou de máquinas paralelas, exigindo que um ou mais trabalhos possam ter que ser concluídos antes de outro trabalho poder iniciar o seu processo. Existem várias formas especiais de restrições de precedência: se cada trabalho tem no máximo um antecessor e, no máximo, um sucessor, as restrições são referidas como *chains* (cadeias). Se cada trabalho tem no máximo um sucessor, as restrições são referidas como *intree*. Se cada trabalho tem no máximo um antecessor, as restrições são referidas como um *outtree*. Se nenhum *prec* aparecer no campo β , os trabalhos não estão sujeitos a restrições de precedência.

Sequence Dependent Setup Times (*s_{jk}*): o s_{jk} representa o tempo de configuração dependente da sequência que ocorre entre o processamento de trabalhos j e k . s_{0k} indica o tempo de configuração para o trabalho k , se o trabalho k for o primeiro na sequência, e s_{j0} o tempo de limpeza após o trabalho j , se o trabalho j for o último na sequência (s_{0k} e s_{j0} podem ser zero). Se o tempo de configuração entre os trabalhos j e k dependerem da máquina, então o índice i está incluído, isto é, s_{ijk} . Se nenhum s_{jk} aparecer no campo β , todos os tempos de configuração são assumidos como 0 ou independentes da sequência, há casos em que são simplesmente incluídos nos tempos de processamento.

Job Families (*fmls*): os n trabalhos pertencem, neste caso, a F diferentes famílias de trabalhos. Os trabalhos da mesma família podem ter tempos de processamento diferentes mas podem ser processados na mesma máquina, um após o outro, sem precisar de qualquer configuração a meio. No entanto, se a máquina muda de uma família para outra, por exemplo da família g para a família h , então é necessária uma configuração. Se o tempo de configuração depender de ambas as famílias, g e h , e da sequência, então é indicado por s_{gh} . Se este tempo de configuração depender apenas da família prestes a começar, ou seja, família h , então é indicado por s_h . Se não depender de nenhuma das duas famílias, é indicado por s .

Batch Processing (*batch(b)*): a máquina pode processar uma série de trabalhos, digamos b , simultaneamente, ou seja, pode processar um lote de tarefas até b ao mesmo tempo. Os tempos de processamento dos trabalhos de um lote podem não ser todos iguais e todo o lote é concluído apenas quando o último trabalho for concluído, o que implica que o tempo de conclusão do lote inteiro é determinado pelo trabalho com o maior tempo de processamento. Se $b = 1$, então o problema reduz-se a um ambiente de agendamento convencional. Outro caso especial é o $b = \infty$, isto é, não há limite no número de trabalhos que a máquina pode manipular a qualquer momento.

Breakdowns (*brkdn*): as quebras da máquina implicam que uma máquina pode não estar disponível continuamente. Os períodos em que uma máquina não está disponível são assumidas como corrigidas, por exemplo, devido a mudanças ou manutenção programada. Se houver uma série de máquinas idênticas em paralelo, o número de máquinas disponíveis em qualquer ponto no tempo é uma função do tempo, $m(t)$. As quebras de máquinas, às vezes, também são chamadas de restrições de disponibilidade da máquina.

Machine Eligibility Restrictions (M_j): o símbolo M_j pode aparecer no campo β quando o ambiente são m máquinas em paralelo (Pm). Quando o M_j está presente, nem todas as m máquinas são capazes de processar o trabalho j . M_j indica o conjunto de máquinas que podem processar o trabalho j . Se o campo β não contém M_j , o trabalho pode ser processado em qualquer uma das m máquinas.

Permutation (*prmu*): uma restrição que pode aparecer no ambiente *Flow Shop* é a das filas na frente de cada máquina que funcionam de acordo com o *First In First Out* (FIFO). Isso implica que a ordem em que os trabalhos passam pela primeira máquina é mantida em todo o sistema.

Blocking (*block*): o bloqueio é um fenómeno que pode ocorrer nas *Flow Shops*. Se uma *Flow Shop* tiver um *buffer* limitado entre duas máquinas sucessivas, pode acontecer que, quando o *buffer* estiver cheio, a máquina não consegue desobstruir um trabalho concluído. O bloqueio implica que o trabalho completo deve permanecer na máquina impedindo, ou seja, bloqueando a máquina de trabalhar no próximo trabalho. A ocorrência mais comum de bloqueio é o caso com zero *buffers* entre duas máquinas sucessivas. Nesse caso, um trabalho que conclui o seu processamento numa determinada máquina não pode deixar a máquina se o trabalho anterior ainda não tiver concluído o seu processamento na próxima máquina. Assim, o trabalho bloqueado também impede, ou bloqueia, o próximo trabalho de iniciar o seu processamento na máquina fornecida. Nos modelos com bloqueio que são considerados nos capítulos seguintes, assume-se que as máquinas operam de acordo com FIFO. Ou seja, o bloco implica *prmu*.

No-wait (nwt): o requisito de não esperar é outro fenómeno que pode ocorrer em *Flow Jobs*. Os trabalhos não podem esperar entre duas máquinas sucessivas, isso implica que o tempo de início de um trabalho na primeira máquina deve ser adiado para garantir o início do trabalho proposto por qualquer máquina. É claro que, sem esperar, as máquinas também operam de acordo com a disciplina FIFO.

Recirculation (rcrc): a recirculação pode ocorrer numa *Job Shop* ou numa loja de trabalho flexível quando um trabalho passa por uma máquina ou um centro de trabalho mais do que uma vez.

Exemplos de possíveis funções objetivas a serem minimizadas são:

Makespan (C_{max}): o *makespan*, definido como $\max(C_1, \dots, C_n)$, é equivalente ao tempo de conclusão do último trabalho para sair do sistema. Um mínimo de facilidade geralmente implica uma boa utilização da(s) máquina(s).

Maximum Lateness (L_{max}): o atraso máximo, L_{max} , é definido como $\max(L_1, \dots, L_n)$. Ele mede a pior violação das datas de entrega:

$$L_j = \max(C_j - d_j, 0)$$

Equação 1 - Atraso máximo

Total Weighted Completion Time ($\sum w_j C_j$): A soma dos tempos de conclusão ponderados dos n postos de trabalho dá uma indicação dos custos totais de manutenção ou de inventário atingidos pelo cronograma. A soma dos tempos de conclusão está na literatura geralmente referida como o tempo de fluxo. O tempo total de conclusão ponderada é referido como o tempo de fluxo ponderado.

Discounted Total Weighted Completion Time ($\sum w_j (1 - e^{-rC_j})$): é uma função de custo mais geral do que a anterior, onde os custos são descontados a uma taxa r , $0 < r < 1$, por unidade de tempo. Ou seja, se o trabalho j não for completado pelo tempo t , um custo adicional será corrigido durante o período $[t, t + dt]$. Se o trabalho j estiver concluído no tempo t , o custo total atingido durante o período $[0, t]$ é $w_j(1 - e^{-rC_j})$. O valor de r é geralmente próximo de 0 (0,1 ou 10%).

Total Weighted Tardiness ($\sum w_j T_j$): esta é também uma função de custo mais geral do que o tempo total de execução ponderada.

Weighted Number of Tardy Jobs ($\sum w_j U_j$): o número ponderado de trabalhos atrasados não é apenas uma medida de interesse académico, muitas vezes é um objetivo na prática, pois é uma medida que pode ser registada com muita facilidade.

Todas as funções objetivas acima são chamadas medidas de desempenho regulares. Uma medida de desempenho regular é uma função que não é decrescente em C_1, \dots, C_n .

2.2.2 Modelos *Single Machine*

Os modelos *Single Machine* são importantes, o ambiente *Single Machine* é simples e é comparado com os outros ambientes. Estes modelos possuem propriedades que não se aplicam nas *Parallel Machines*. Os resultados obtidos para estes modelos de máquinas fornecem informações sobre o ambiente *Single Machine* e uma base para as heurísticas aplicáveis em ambientes de máquinas mais complicadas. Na prática, problemas de programação em ambientes de máquinas mais complicadas são frequentemente decompostos em subproblemas que lidam com *Single Machines* (Aarts & Lenstra, 1997).

Na maioria dos modelos não há vantagem em ter preempções, ou seja, o horário otimizado na classe de cronogramas de preferência não é preemptivo. No entanto, se os trabalhos forem lançados em diferentes momentos, pode ser vantajoso antecipar. Se os trabalhos forem lançados em diferentes tempos num ambiente não preemptivo, então pode ser vantajoso o repouso (Pinedo, 2012).

2.2.3 Modelos *Parallel Machine*

Um conjunto de máquinas em paralelo é uma configuração importante tanto do ponto de vista teórico como do ponto de vista prático. Do ponto de vista teórico, é uma generalização da *Single Machine* e um caso especial do *Flow Shop*. Do ponto de vista prático, é importante porque a ocorrência de recursos em paralelo é comum no mundo real. Além disso, as técnicas para *Parallel Machines* são frequentemente usadas em procedimentos de decomposição para sistemas de vários estágios (Aarts & Lenstra, 1997).

Pode-se considerar a programação de *Parallel Machines* como um processo em dois passos. Primeiro, é preciso determinar quais trabalhos devem ser alocados a cada máquina e em segundo lugar, é preciso determinar a sequência dos trabalhos alocados para cada máquina. Com *Parallel Machines*, as preempções desempenham um papel mais importante do que com *Single Machines*. Com *Single Machines*, as preempções geralmente só desempenham um papel quando os trabalhos são lançados em diferentes momentos. O oposto acontece com *Parallel Machines*, onde as preempções são importantes mesmo quando todos os trabalhos são lançados ao mesmo tempo (Pinedo, 2012).

A maioria dos modelos enquadram-se nos problemas de agendamento *offline*. Nestes problemas, todos os dados (por exemplo, tempos de processamento, datas de lançamento, datas de entrega) são conhecidos antecipadamente e podem ser levados em consideração no processo de otimização. Ao contrário dos problemas de agendamento *online*, onde os dados do problema não são conhecidos à priori. Só se

torna conhecido o tempo de processamento de um trabalho no momento em que é concluído, e uma data de lançamento no momento em que um trabalho é lançado. Claramente, os algoritmos para problemas de agendamento *online* tendem a ser bastante diferentes dos algoritmos para problemas de agendamento *offline* (Pinedo, 2012).

2.3 Programação de atividades no setor automóvel

Numa indústria automóvel, é realizada diariamente manutenções a veículos. A programação prévia destas manutenções pode influenciar a eficiência das operações diárias. Esta programação é definida como a alocação de recursos para um tempo de trabalho livre e é uma ferramenta importante nas indústrias de fabricação e engenharia. A finalidade da programação é minimizar o tempo de conclusão dos trabalhos, o tempo médio de fluxo, o atraso nos trabalhos e os custos de processamento (Shivasankaran, Kumar, Nallakumarasamy, & Raja, 2013).

Devido às diferentes funções e horários de trabalho, é necessário um modelo que atribua cada tarefa a um técnico específico. Esta atribuição depende de vários fatores como a competência da tarefa, os tempos de entrega das peças, a disponibilidade da agenda e do cliente, entre outros. Uma vez que existe um número relativamente grande de entradas, se estas não forem bem programadas, a oficina pode acabar por ter um grande atraso na conclusão dos trabalhos.

Esta programação exige algum tempo para tentar planejar a agenda o melhor possível e, havendo um número elevado de reprogramação de trabalhos, é necessário criar uma solução. Uma das soluções pode passar por deixar pequenos intervalos diários para ser possível alterar tarefas para um tempo diferente quando surge algum problema, no entanto, isso reduziria consideravelmente a eficiência dos técnicos e seria difícil estimar o período necessário para esses intervalos (Shivasankaran et al., 2013).

Neste estudo, existem diferentes tipos de problemas que podem ocorrer em tempo real. Uma marcação de última hora que pode ter uma prioridade mais alta, o cancelamento de uma marcação ou um reagendamento. O objetivo é conseguir programar rapidamente a agenda quando existe uma falha no serviço, para manter a oficina o mais eficiente possível e entregar os veículos na data combinada. A solução principal passa por um sistema informático que consiga programar e reprogramar de forma automática um conjunto de tarefas, ultrapassando todos os problemas que possam existir.

Vários autores desenvolveram modelos na análise de operações de manutenção preventiva. Este capítulo contém uma abordagem específica à programação de atividades de manutenção e reparação no setor automóvel, onde foram usados diferentes algoritmos para resolver problemas com uma série de restrições. Nos seguintes subcapítulos são apresentados alguns desses algoritmos.

2.3.1 Programação *Job Shop* com *Simulated Annealing*

Na programação do artigo “*Repair Shop Job Scheduling With Parallel Operators and Multiple Constraints Using Simulated Annealing*”, tentaram resolver o problema *Car Sequencing and Operator Allocation* (CSOA) usando a técnica *Simulated Annealing Technique* (SAT). O problema é o agendamento diário de operadores para uma oficina de reparação de automóveis, onde o principal objetivo é atribuir m trabalhos a n operadores, sujeitos a um conjunto de recursos e restrições. Os autores apresentaram a técnica SAT para resolver este problema (Shivasankaran et al., 2013).

Apresentaram um modelo de programação linear para formular o CSOA com operadores paralelos em cada período de tempo de trabalho. O problema considerado neste estudo tem as seguintes premissas e características:

- As operações devem ser executadas dentro de um período de tempo consecutivo sem quebras;
- A operação sucessiva de cada trabalho depende da conclusão da operação anterior do mesmo trabalho;
- Uma operação deve ser executada apenas por um operador de cada vez;
- Não há dois trabalhos que tenham operações semelhantes durante todo o tempo de reparação;
- Todos os operadores devem ser programados com base na sua disponibilidade;
- Cada operador deve receber um horário programado;
- Cada operador tem de iniciar o seu trabalho somente após a chegada do trabalho à oficina;
- As tarefas devem ser concluídas com o intervalo de tempo disponível.

Este modelo deve satisfazer os objetivos, como minimizar o custo total e fazer a extensão de todas as operações em todos os trabalhos. De seguida, são apresentadas as notações usadas para representar a função objetiva e as restrições:

Índices:

- i trabalho, $1 \leq i \leq n$;
- j operador, $1 \leq j \leq m$;
- k operação, $1 \leq k \leq y_i$.

Parâmetros:

- P_j , número de operações assignadas ao operador j ;
- y_i , número de operações do trabalho i ;
- C_i , custo do operador j por hora por processar a operação k ;
- T_j , período de tempo disponível do operador j ;
- a_i , tempo de chegada do trabalho i ;

Variáveis de Decisão:

X_{ikj} , 1 se a operação k do trabalho i estiver assignado ao operador j , 0 caso contrário;

V_j , 1 se o operador j estiver livre e disponível consecutivamente para um período t_l , 0 caso contrário;

S_{ijk} , tempo necessário para realizar a tarefa k do trabalho i pelo operador j ;

ST_{ijk} , tempo de início da operação k do trabalho i pelo operador j ;

ST_{ijk+1} , tempo de início da operação $k + 1$ do trabalho i pelo operador j ;

FT_{ijk} , tempo de fim necessário da operação k do trabalho i pelo operador j ;

F_{ijk} , tempo total de todos os trabalhos;

t_l , período de tempo necessário para terminar a operação k do trabalho i pelo operador j .

Formulação:

$$\text{Min} \left[\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{y^i} \sum_{j=1}^{p_k} X_{ijk} S_{ijk} C_i \right] \quad (1)$$

$$\text{Min} \left[\sum_{i=1}^n X_{ikj} F_{ikj} \right] \quad (2)$$

Sujeito a:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{y^i} X_{ikj} S_{ijk} \leq T_j \quad \forall k \in i \quad (3)$$

$$ST_{ijk} \geq a_i \quad (4)$$

$$ST_{ijk+1} \geq ST_{ijk} + X_{ikj} S_{ijk} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{y^i} X_{ikj} S_{ijk} - \sum_{j=1}^{y^i} \sum_{l=1}^{p_k} V_j t_l = 0 \quad (6)$$

$$FT_{ijk} = ST_{ijk} + X_{ikj} S_{ijk} \quad (7)$$

$$S_{ijk} > 0; F_{ijk} > 0; ST_{ijk} \geq 0; T_j \geq 0; t_l \geq 0$$

A equação (1) é a função que minimiza o custo total de manutenção. A equação (2) define a variável de decisão. As restrições (3) garantem que todos os operadores devem ser distribuídos apenas pelo tempo disponível. A restrição (4) mostra que a operação deve ser feita somente após a chegada do trabalho e a restrição (5) define a dependência da operação anterior no mesmo trabalho. As restrições (6) representam a operação a ser executada consecutivamente sem paragens. E, por fim, a restrição (7) calcula o tempo de término de cada trabalho.

Embora os trabalhos de reparação para os carros possam ser distintos, cada um tem características de tempo e custo de serviço diferentes. Nos casos de estudo a realizar, presume-se que os operadores sejam pagos de hora em hora e não há dias anteriores a aguardar obras a serem realizadas (Shivasankaran et al., 2013).

O caso de estudo 1 discute as operações a serem executadas com a disponibilidade do operador, a minimização do alcance e as restrições de balanceamento da carga de trabalho. O estudo de caso 2 trata das operações executadas na disponibilidade de todos os operadores e o estudo de caso 3 lida com a carga de trabalho desequilibrada e a minimização do custo total (Shivasankaran et al., 2013).

O algoritmo CSOA desenvolvido é capaz de fornecer soluções ótimas para as variedades de requisitos de operação, para a disponibilidade do operador e para as alocações. O algoritmo SA é codificado em C++ (Shivasankaran et al., 2013).

A melhor sequência e alocação do operador é obtida usando o modelo de programação de múltiplos inteiros multi-intencional desenvolvido usando o SAT. Assim, no primeiro caso de estudo, a função objetivo considerada é o balanceamento da carga de trabalho, minimizando o tempo de fluxo e o custo total. As restrições são a disponibilidade do operador, o tempo de chegada do trabalho e a restrição da ordem de precedência do trabalho. O custo ótimo e a atribuição viável foram reduzidos quatro unidades, melhor do que a alocação realizada por Srinivasan V.. O número de iterações para convergência é muito menor e, portanto, o tempo de computação é reduzido drasticamente. Este estudo de caso resultou na minimização do custo total e da duração de cada tarefa com várias restrições (Shivasankaran et al., 2013).

No segundo caso de estudo, a função objetivo considerada é o custo total e as restrições são o balanceamento da carga de trabalho e o tempo de chegada do trabalho. Presumiram que os operadores tinham disponibilidade entre 0 e 16 horas.

No caso de estudo 3, a função objetivo considerada é apenas o custo total e a restrição é o tempo de chegada do trabalho. Presumiram que os operadores estão disponíveis no mesmo período do caso anterior e eliminaram a restrição do balanceamento de carga de trabalho.

Este artigo propõe o algoritmo SA, uma meta-heurística para resolver o problema CSOA em oficinas de reparação de automóveis, investigada para otimizar o valor do custo total. A metodologia proposta demonstrou um alto índice de sucesso, sendo capaz de resolver problemas para os quais outras rotinas de otimização heurística falham.

Num sistema de programação, é necessária uma pesquisa heurística eficiente para explorar o grande espaço de soluções de alocação de recursos válida sob várias

restrições. O algoritmo proposto pode ser tratado como eficaz, pois na maioria dos casos encontra uma solução que representa uma boa aproximação à solução ótima e à rápida resolução (Shivasankaran et al., 2013).

2.3.2 Programação de trabalhos de mecânica automóvel utilizando ANN

O problema abordado em “*Scheduling of Mechanics in Automobile Repair Shops Using*” é o agendamento diário de um serviço mecânico de uma oficina utilizando *Artificial Neural Network* (ANN). O objetivo é atribuir m tarefas a n técnicos, sujeitos a um conjunto de recursos e restrições regulamentares. As restrições passam, por exemplo, por algumas tarefas específicas não poderem ser seguidas por outras, por iniciar a reparação somente após a chegada do carro à oficina, entre outras. Os rececionistas realizam as atividades como o recebimento e entrega das viaturas, enquanto que os mecânicos realizam atividades de reparação (Shivasankaran & Senthilkumar, 2014).

Neste artigo é considerado o problema ilustrado por Shivasankaran & Senthilkumar (2014), onde as reparações automóveis podem ser distintas e agrupadas em pequenas classes, cada uma com tempos e custos de serviço idênticos. A geração automática de planos de programação para *job shops* é tradicionalmente abordada usando otimização e aproximação (Shivasankaran & Senthilkumar, 2014).

O método ANN tem como vantagens a rapidez no tempo de resposta de *Neural Net* e as previsões, que são confiáveis e retiradas de experiências anteriores. Por outro lado, as desvantagens são a necessidade de preparação com conjuntos de treino para as previsões e de conhecimento extenso de consultoria básica e especializada. É mais aplicável em *Job Shops* com um fluxo contínuo e repetitividade no tipo de perturbações e usa como medida de atuação o tempo de CPU (execução da capacidade de resposta) (Shivasankaran & Senthilkumar, 2014).

O problema de escalonamento descrito anteriormente pode ser caracterizado da seguinte forma:

- O total dos trabalhos de mecânica em tempo integral deve ser programado;
- O serviço do técnico não pode ser guardado, se não houver serviço, o técnico fica parado;
- Cada técnico é flexível e pode lidar com qualquer tipo de reparação;
- Cada técnico deve ter folga suficiente de um dia. Esses dias de folga não são necessariamente consecutivos e os técnicos não devem ser sobrecarregados;
- Cada técnico tem de começar o seu trabalho somente após a chegada do carro à oficina;
- O técnico é selecionado com base na carga de trabalho mínima;
- As tarefas são atribuídas de forma ideal ao técnico, com base no custo mínimo e no prazo de execução.

De acordo com a saída simulada, chegaram cinco carros com vários problemas e para esses problemas, os operadores são atribuídos a cada viatura. Usando o ANN os trabalhos podem ser atribuídos aos mecânicos e a data de conclusão do trabalho pode ser citada com um tempo mínimo (Shivasankaran & Senthilkumar, 2014).

O processo de programação na oficina de automóveis foi executado com sucesso usando *Artificial Neural Network* em *MATLab*. Consideraram trinta dias no processo de entrada e saída na oficina, com dados de entrada desconhecidos, a saída é simulada. Com base nesses dados, foi criada uma rede neural e ensaiada com sucesso. Os dados de saída foram decodificados e verificados o que foi satisfatório, assim como as restrições do horário de trabalho alocadas.

No resultado final, o processo é confiável numa oficina, onde trabalhos frequentes e repetidos são realizados. A programação manual pode ser evitada com a implementação desta técnica que oferece maior precisão. No geral, esta técnica mostra maior aplicação e superioridade do que outro processo (Shivasankaran & Senthilkumar, 2014).

2.3.3 Programação Job Shop com meta-heurísticas

No artigo “*Job Shop Scheduling with Metaheuristics for Car Workshops*” são comparados diferentes algoritmos meta-heurísticos para a programação *Job Shop*: *Random Scheduler*, *Hill Climbing* (HC), *Genetic Algorithm*, *Genetic Algorithm* com HC, *Particle Swarm Optimization 1*, *Particle Swarm Optimization 1* com HC, *Particle Swarm Optimization 2*, *Particle Swarm Optimization 2* com HC, *Max-Min Ant System*, *Max-Min Ant System* com HC e *Tabu Search*.

Estes algoritmos são usados para programar as atividades de uma oficina automóvel e devem atribuir todas as tarefas planeadas para um dia e para um mecânico específico, considerando o uso limitado de recursos como consumíveis e diferentes níveis de mecânica. Os recursos são entidades que podem ser usadas várias vezes, mas só podem trabalhar num carro de cada vez. Esta pesquisa pretende descobrir qual o algoritmo que funciona melhor num problema de programação, em termos de velocidade e desempenho (Haan, 2016).

Criaram um gerador de problemas, um script que cria uma série de tarefas, uma matriz de técnicos, uma variedade de carros, de peças e de elevadores.

Uma tarefa tem uma série de parâmetros: uma hora mínima de início, um tempo de acabamento máximo, uma variável booleana que indica se é necessário um elevador para executar a tarefa e uma variável que indica se outra tarefa deve ser realizada antes dessa tarefa. Um agente também tem parâmetros, tem uma matriz com valores de duração onde indica quanto tempo leva o técnico a executar cada tarefa. Um carro possui apenas um parâmetro, o peso, que é importante para saber se ele precisa de ser levantado por um elevador. Em relação a isso, um elevador tem como único parâmetro o peso máximo que pode levantar. Uma peça tem três parâmetros, um que especifica a quantidade inicial de stock no início do dia, uma lista de tempos de entrega e uma lista de valores indicando quantas peças cumprem os horários de entrega (Haan, 2016).

O objetivo é atribuir cada tarefa a um técnico e, se necessário, a um elevador sem violar as restrições (os tempos em que os técnicos terminam o turno, o stock de peças, etc). Os diferentes algoritmos são utilizados como estudo para descobrir qual o melhor para o problema de programação da oficina, tanto no tempo que leva a fazer um bom cronograma como na qualidade do mesmo (Haan, 2016).

Na primeira experiência foram criados pelo gerador quatro conjuntos de 50 problemas, para um total de 200 problemas para cada algoritmo:

- 1 conjunto com problemas de 25 tarefas;
- 1 conjunto com problemas de 50 tarefas;
- 1 conjunto com problemas de 75 tarefas;
- 1 conjunto com problemas de 100 tarefas.

Os algoritmos têm no máximo dois minutos para criar uma solução razoável para cada problema. Nos resultados são comparados a média e o desvio padrão da duração em todos os 50 problemas, bem como a diferença de pontuação entre algoritmos para diferentes tamanhos de problemas. Com um algoritmo base, foi criado um gerador de agendamento aleatório que cria milhares de agendamentos aleatórios e retorna o que tiver maior capacidade (Haan, 2016).

A segunda experiência foca-se mais no desempenho do que na velocidade, e cria dez problemas para cada algoritmo, onde os algoritmos têm dez minutos para resolver cada um. O objetivo é procurar a programação mais eficiente, sem erros, e não a mais rápida (Haan, 2016).

Ambas as experiências, em cada problema, contém um número de elevadores que depende do número de tarefas nesse problema. O número de elevadores é igual a um sexto do número de tarefas, e apenas metade das tarefas realmente precisa de um. Todas as tarefas precisam de uma peça, cujo stock é preenchido a meio do dia. E, finalmente, cada técnico tem o seu próprio tempo para cada tarefa e cada uma das tarefas tem 80% de probabilidade de ter outra que tem de ser concluída antes de poder iniciar (Haan, 2016).

A primeira experiência foi realizada para ver a rapidez com que os diferentes algoritmos podem produzir um cronograma razoável. Primeiro conclui-se que o algoritmo *Random Scheduler* não tem um bom desempenho. Para os problemas de 25 tarefas é melhor que o algoritmo *Hill Climbing*, mas nas outras três categorias é pior do que o HB, por isso não funciona corretamente. Os resultados indicam também que os algoritmos mais sofisticados são necessários para lidar com o problema de programação (Haan, 2016).

O *Genetic Algorithm* com HC é claramente o melhor nesta experiência. Para além de produzir programações razoáveis em quase todos os casos (faltando apenas 4% nas duas maiores classes de problemas), também é um dos algoritmos mais rápidos em todos os tamanhos de problemas. Este algoritmo tem um melhor desempenho quando é adicionado *Hill Climber*. Nos problemas de 100 tarefas, o *Genetic Algorithm* produz apenas um cronograma razoável em 20% do tempo, um número que aumenta para 96% se o HC for adicionado (Haan, 2016).

O aumento de desempenho devido ao componente *Hill Climbing* adicionado acontece em todos os algoritmos com essa opção, exceto no *Particle Swarm Optimization 2*, nos problemas de 50 tarefas, e no *Max-Min Ant System*, nas classes de problemas maiores. Outra conclusão que se retira é que o *Particle Swarm Optimization 2* tem um desempenho muito melhor do que o *Particle Swarm Optimization 1*, embora a diferença seja menos clara quando ambos os algoritmos adicionam um *Hill Climber*. Em último, o *Tabu Search* funciona surpreendentemente bem para um algoritmo tão simples, no entanto, o desempenho cai nos problemas que se tornam maiores (Haan, 2016).

Nos resultados da experiência 2 são destacados três algoritmos: *Genetic Algorithm*, com e sem *Hill Climbing*, e o *Tabu Search*. Embora o *Particle Swarm Optimization 2* tenha um desempenho melhor do que o *Particle Swarm Optimization 1*, esse efeito é revertido quando o componente *Hill Climbing* é adicionado a esses algoritmos (Haan, 2016).

O *Max-Min Ant System* e os *Particle Swarm Optimizers* não são adequados para o problema de escalonamento apresentado, pelo menos para os maiores problemas. O mau desempenho do *Max-Min Ant System* pode ser devido à heurística que ele usa, o tempo que um mecânico leva para executar uma tarefa. Como existem muitas restrições no problema de programação, a heurística pode ser demasiado simples (Haan, 2016).

Com o objetivo de encontrar um algoritmo capaz de resolver um problema de programação *Job Shop* com múltiplas restrições, mais especificamente a configuração de uma oficina automóvel, os resultados da experiência 1 e 2 indicam que, de todos os algoritmos, o *Genetic Algorithm* com *Hill Climbing* é o mais adequado para o problema de escalonamento apresentado (Haan, 2016).

Em termos de desempenho, apenas o *Tabu Search* vence este algoritmo. Em termos de velocidade, apenas alguns algoritmos superam nos problemas de 25, 50 e 75 tarefas, mas ainda ganha nos problemas de 100 tarefas (Haan, 2016).

Alguns algoritmos simplesmente não são adequados para este tipo de problema. O *Max-Min Ant System* é o exemplo mais óbvio, mas os *Particle Swarm Optimizers* também apresentam um mau desempenho. A razão pode ser devido ao número de restrições presentes nos cronogramas. Conclui-se também que, para todos os algoritmos testados, ajuda na maioria das vezes a incorporação de um componente *Hill Climbing* (Haan, 2016).

2.4 Programação *Job Shop* com roteamento e flexibilidade no processo

No artigo “*Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems*”, quatro das formulações mais utilizadas da programação *Job Shop* flexíveis (FJSP) são estudadas a partir da literatura. As formulações são avaliadas em três variáveis binárias diferentes, desenvolvidas por Wagner, Manne e Bowman (Demir & Kürşat Işleyen, 2013).

Foram realizadas cinco formulações matemáticas diferentes para o FJSP, comparando o *makespan*. Os modelos foram aplicados em problemas de teste de

tamanhos diferentes onde, com o aumento do número de operações e de máquinas, o tempo de computação aumenta exponencialmente. O menor tempo de computação é obtido pela formulação baseada na variável de precedência de Manne para quase todos os problemas de teste resolvidos (Demir & Kürşat İşleyen, 2013).

Com base nos resultados obtidos, utiliza-se o modelo *Mixed Integer Linear Programming* (MILP) para o FJSP do artigo “*Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility*”.

O FJSP consiste num conjunto de n trabalhos independentes, cada um com sua própria ordem de processamento através de um conjunto de m máquinas. Um número de operações ordenadas deve ser executado para concluir o trabalho i . A operação j do trabalho i (O_{ij}), em vez de ser processada numa máquina pré-definida m_j no JSP, pode ser processada por qualquer máquina de um determinado conjunto M_j por um tempo de processamento t_{ijk} . O FJSP pode ser considerado consistente em muitas JSPs exclusivas devido ao roteamento flexível. Embora o JSP consiste apenas em problemas de sequenciamento, pois a atribuição de operações às máquinas é fornecida antecipadamente, o FJSP transforma-se num problema de roteamento e sequenciamento, atribuindo cada operação O_{ij} a uma máquina do conjunto M_j e ordenando as operações nas máquinas para que o C_{max} seja minimizado (Özgüven et al., 2010).

São feitas as seguintes premissas para os FJSPs: os tempos de processamento são conhecidos e fixos; os tempos de configuração são insignificantes ou incluídos nos tempos de processamento; os tempos de transporte são ignorados; todos os trabalhos estão disponíveis no horário zero; nenhuma antecipação é permitida; uma máquina pode processar apenas uma operação de cada vez; e existe apenas um plano de processo viável para cada trabalho (Özgüven et al., 2010).

O problema consiste num conjunto de n trabalhos, cada um com um conjunto de $\tau_{(i)}$ planos de processos. O plano de processo $p_{(i)}$ do trabalho i é uma lista ordenada de operações. Supõe-se que os planos de processo sejam conhecidos antecipadamente e representados por relações de predição linear, a operação j no plano de processo $p_{(i)}$ do trabalho i pode ser processada por qualquer máquina de um determinado conjunto M_j para um dado tempo de processamento. Como apenas um dos planos alternativos deve ser adotado para cada trabalho, o FJSP não lida apenas com os sub problemas de roteamento e sequenciamento, como também com o sub problema de seleção do plano de processo: escolha de um plano de processo para cada dado do conjunto $P_{(i)}$, atribuindo cada operação a uma máquina selecionada a partir do conjunto M_j e ordenando as operações nas máquinas para que o C_{max} seja minimizado (Özgüven et al., 2010).

A seguinte notação é usada para a formulação de MILP.

Índices e conjuntos:

i trabalhos ($i, i' \in J$)

j operadores ($j, j' \in O$)

k máquinas ($k \in M$)

J conjunto de trabalhos

M conjunto de máquinas

O conjunto de operadores

O_i conjunto de operações do trabalho i ($O_i \subseteq O$), onde O_{if} é o primeiro e O_{il} é o último elemento de O_i

M_j conjunto de máquinas alternativas em que a operação j pode ser processada, ($M_j \subseteq M$)

$M_j \cap M_{j'}$ conjunto de máquinas onde as operações j e j' podem ser processadas

Parâmetros:

t_{ijk} tempo de processamento da operação O_{ij} na máquina k

L um número grande

Variáveis de Decisão:

X_{ijk} 1, se a máquina k for escolhida para a operação O_{ij} ; 0, caso contrário

S_{ijk} tempo de início da operação O_{ij} na máquina k

C_{ijk} tempo de conclusão da operação O_{ij} na máquina k

$Y_{ijij',k}$ 1, se a operação O_{ij} preceder a operação $O_{ij'}$ na máquina k ; 0, caso contrário

C_i tempo de conclusão do trabalho i

C_{max} tempo máximo de conclusão de todos os trabalhos (*makespan*)

O modelo matemático proposto é definido por:

Função Objetivo:

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

Restrições:

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

$$S_{ijk} + C_{ijk} \leq (X_{ijk}) \cdot L \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (2)$$

$$C_{ijk} \geq S_{ijk} + t_{ijk} - (1 - X_{ijk}) \cdot L \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3)$$

$$S_{ijk} \geq C_{i'j'k} - (Y_{iji'j'k}) \cdot L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (4)$$

$$S_{ij'jk} \geq C_{ijk} - (1 - Y_{iji'j'k}) \cdot L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (5)$$

$$\sum_{k \in M_j} S_{ijk} \geq \sum_{k \in M_j} C_{i,j-1,k} \quad \forall i \in J, \forall j \in O_i - \{O_{if(i)}\} \quad (6)$$

$$C_i \geq \sum_{k \in M_j} C_{i,O_{il(i)},k} \quad \forall i \in J \quad (7)$$

$$C_{max} \geq C_i \quad \forall i \in J \quad (8)$$

e

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

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

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

$$Y_{iji'j'm} \in \{0,1\} \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'},$$

$$C_i \geq 0 \quad \forall i \in j$$

As restrições (1) garantem que a operação O_{ij} seja atribuída apenas a uma máquina. Se a operação O_{ij} não for atribuída à máquina k , as restrições (2) definem que os tempos de início e fim da máquina k seja igual a zero. Caso contrário, as restrições (3) garantem que a diferença entre o tempo inicial e o tempo final seja no mínimo igual ao tempo de processamento na máquina k . As restrições (4) e (5) garantem que a operação O_{ij} e a operação $O_{ij'}$ não podem ser feitas ao mesmo tempo em qualquer máquina do conjunto $M_j \cap M_{j'}$. As restrições (6) garantem que as relações de precedência entre as operações de um trabalho não sejam violadas, ou seja, a operação O_{ij} não é iniciada antes de a operação O_{ij-1} ser concluída. As restrições (7) determinam os tempos de conclusão (das operações finais) dos trabalhos e as restrições (8) determinam o *makespan*.

2.5 Resumo da revisão bibliográfica

A revisão bibliográfica começa com uma breve introdução, seguida por um subcapítulo que descreve as notações apresentadas por Pinedo (2012) que passam por problemas expressos em parâmetros, restrições e funções objetivo. O terceiro subcapítulo descreve o PGP e os problemas que podem existir numa programação.

Começando com a revisão da literatura são apresentados dois artigos com programação em oficinas do setor automóvel, a mesma temática da tese, um artigo sobre a programação com diferentes meta-heurísticas a fim de encontrar o melhor algoritmo capaz de resolver o JSP com múltiplas restrições.

E, por fim, um artigo complementado com a confirmação de outro, realizado por Manne, sobre programação *Job Shop* com roteamento e flexibilidade no processo. Este estudo focou-se nos modelos que conseguiam resolver os problemas dos testes em menos tempo. A formulação do modelo com os melhores testes foi utilizado nesta dissertação.

APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

3.1 Centro de colisão

3.1.1 Colisão na Caetano Baviera

3.2 Processo de regularização de um sinistro automóvel

3.3 Oportunidades de melhorias

3 Apresentação da Empresa

O Grupo Salvador Caetano (GSC) é um grupo de referência no setor automóvel em Portugal. Teve origem na “Martins, Caetano e Irmão, Lda”, fundada em 1946 pelo fundador Salvador Fernandes Caetano, cuja atividade era o fabrico de carroçarias para autocarros (“Grupo Salvador Caetano,” 2017).

Em 1968, o negócio teve um grande impulso ao tornar-se o representante exclusivo da Toyota em Portugal, tendo a organização sido redenominada para “Toyota Caetano Portugal, SA”. A partir de 1971, o GSC iniciou a sua expansão territorial, tanto interna como internacionalmente, e a diversificação de produtos e atividades.

Atualmente, a Caetano Retail (CR) é a organização que agrega as empresas do GSC que desenvolvem a atividade de distribuição e reparação automóvel de diversas marcas em Portugal. A CR representa atualmente uma marca de viaturas usadas, a Carplus e 17 marcas automóveis: Audi, BMW, Mini, Opel, Chevrolet, Renault, Dacia, Lexus, Toyota, Mercedes-Benz, Smart, Peugeot, Nissan, Seat, Skoda, Volkswagen e Hyundai (“Grupo Salvador Caetano,” 2017).

No total conta com mais de 100 pontos de venda e assistência. Da carteira de negócios fazem ainda parte 25 centros de colisão, 28 centros de reparação de vidros e 2 centrais de peças multimarca.

Foram efetuados o levantamento e a análise pormenorizada do processo de gestão de reparações no departamento de colisão na Caetano Baviera de Gaia, que serviu de elemento principal de estudo como oficina piloto para a implementação nas restantes empresas do grupo.

3.1 Centro de colisão

O centro de colisão é constituído por três equipas produtivas: a equipa da mecânica, da chaparia e da pintura. O objetivo destes trabalhadores é reparar os danos identificados pelos peritos nas viaturas que dão entrada na oficina, garantindo a qualidade esperada pelo cliente e a sua satisfação.

Para cada viatura, é criada uma ordem de reparação ou *WIP (Work In Process)* no *Dealership Management System (DMS) Autoline*. Este sistema permite ter acesso aos dados da seguradora, do cliente e da viatura.

A criação da *WIP* começa no rececionista que, junto do orçamentista, cria as linhas de trabalho necessárias para as picagens dos técnicos com os tempos previstos da peritagem. Os caixeiros de peças criam as linhas dos componentes necessários na intervenção para, caso não haja em stock, fazer o pedido aos fornecedores. Os técnicos fazem as picagens no relógio de ponto do *Autoline*, o relógio permite picar em tempo produtivo e em tempo improdutivo, ou seja, as 8 horas totais do turno de um técnico têm de estar registadas para controlo de tempos.

Os rececionistas, para além de criarem a WIP e lançarem as linhas de mão de obra também dão a entrada da viatura, com o registo dos quilómetros atuais, e geram a fatura do serviço à entidade a pagar o serviço.

O processo de uma reparação automóvel passa pela reparação mecânica, desmontagem, reparação carroçaria, preparação de pintura, pintura, montagem, acabamento, lavagem e controlo de qualidade. A lavagem é realizada por uma empresa externa, *Norwash*, e o controlo de qualidade pelo chefe da colisão ou experimentador.

3.1.1 Colisão na Caetano Baviera

Na ferramenta *IBM Cognos Analysis Studio*, encontra-se toda a informação das empresas do GSC. O *Cognos* faz toda a análise a partir da comunicação com o DMS (*Dealership Management System*) *Autoline*.

The screenshot shows the IBM Cognos Analysis Studio interface. On the left is a tree view of objects. The main area displays a table with the following data:

	2017/Jan	2017/Feb	2017/Mar	2017/Apr	2017/May	2017/Jun	2017/Jul	2017/Aug	2017/Sep	2017/Oct	2017/Nov	2017/Dec	2017
N. Agendamentos Efetivos/ Futuros	69	45	54	29	89	33	67	54	79	61	71	61	712
N. de ORs / WIPs Criadas	221	208	246	231	285	280	265	260	229	236	236	243	2,940
N. de ORs / WIPs Totalmente Faturadas	186	237	215	323	291	243	273	246	240	235	256	218	2,963
N. de Entradas	216	202	239	183	279	277	262	256	223	233	233	240	2,843
% de Entradas com Agendamentos	31,9%	22,3%	22,6%	15,8%	31,9%	11,9%	25,6%	21,1%	35,4%	26,2%	30,5%	25,4%	25,0%
N. de Entradas / Dia	9,8	10,6	10,4	10,2	12,7	13,2	12,5	11,6	10,6	11,1	11,1	13,3	11,4
N. de Viaturas	211	188	219	174	255	267	245	241	210	217	214	221	2,662
Tempo de Permanência na Oficina	21,2	23,2	34,7	20,9	23,4	22,4	18,3	20,0	24,1	19,4	22,8	23,4	22,6
Kms Médios	51.561	44.577	49.975	49.341	57.818	47.449	52.416	45.088	44.194	52.791	54.098	46.607	49.892
N. de Dias Úteis Decorridos	22,0	19,0	23,0	18,0	22,0	21,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	18,0	249,0
N. de Dias Úteis Total	22,0	19,0	23,0	18,0	22,0	21,0	22,0	21,0	21,0	21,0	21,0	18,0	249,0

Figura 1 - IBM Cognos Analysis Studio

A Figura 1 ilustra os dados relativos à Caetano Baviera de Gaia no ano 2017, no departamento de Colisão. A partir da informação retirada, é importante realçar as seguintes medidas:

Nº de Entradas - Número de entradas de viaturas na oficina até ao momento.

% de Entradas com Agendamento – Número de agendamentos efetivos correspondente ao número de WIPs com data de entrada da viatura preenchida, onde o dia da data de agendamento é posterior ao dia da criação da WIP.

$$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de agendamentos efetivos}}{\text{N}^{\circ} \text{ de entradas}}$$

Nº de Entradas por Dia – Número de entradas de viaturas na oficina por dia.

$$\frac{\text{N}^{\circ} \text{ de entradas de viaturas}}{\text{N}^{\circ} \text{ de dias úteis decorridos}}$$

Tempo de Permanência na Oficina - Este cálculo é efetuado apenas para as WIPs totalmente faturadas e é indicado em dias. Caso a data de saída da viatura seja igual à data da entrada, conta como um dia.

$$\frac{\text{Data de Saída da Viatura}}{\text{Data de Entrada da Viatura}}$$

Nº de Dias Úteis Total - Número de dias úteis total para todos os meses.

A Tabela 1 contém toda a informação do departamento de colisão no ano 2017 mensal, das medidas mencionadas anteriormente.

Tabela 1 - Informação das viaturas do departamento de colisão da Caetano Baviera de Gaia em 2017

Meses	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	2017
Nr. de Entradas	112	114	140	86	153	129	125	114	109	122	117	113	1 434
% de Entradas com Agendamentos	54	37	36	33	48	22	47	42	67	44	48	42	43
Nr. de Entradas / Dia	5	6	6	5	7	6	6	5	5	6	6	6	6
Nr. de Dias Úteis Total	22	19	23	18	22	21	21	22	21	21	21	18	249

Com esta informação conclui-se que o número de entradas de viaturas é superior nos meses de março, maio e junho. No entanto, os restantes meses encontram-se constantes relativos à média de entradas mensal de 120 viaturas.

A partir do número total de entradas, verifica-se que praticamente todos os meses estão nos 50% de entradas com agendamentos, ou seja, metade das viaturas entram na oficina de reboque ou sem marcação.

O número médio de entradas por dia no ano de 2017 foi de, aproximadamente, 6 viaturas por dia.

O processo de um sinistro na Caetano Baviera de Gaia é representado pelo fluxograma da Figura 2 e descrito no subcapítulo 3.2.

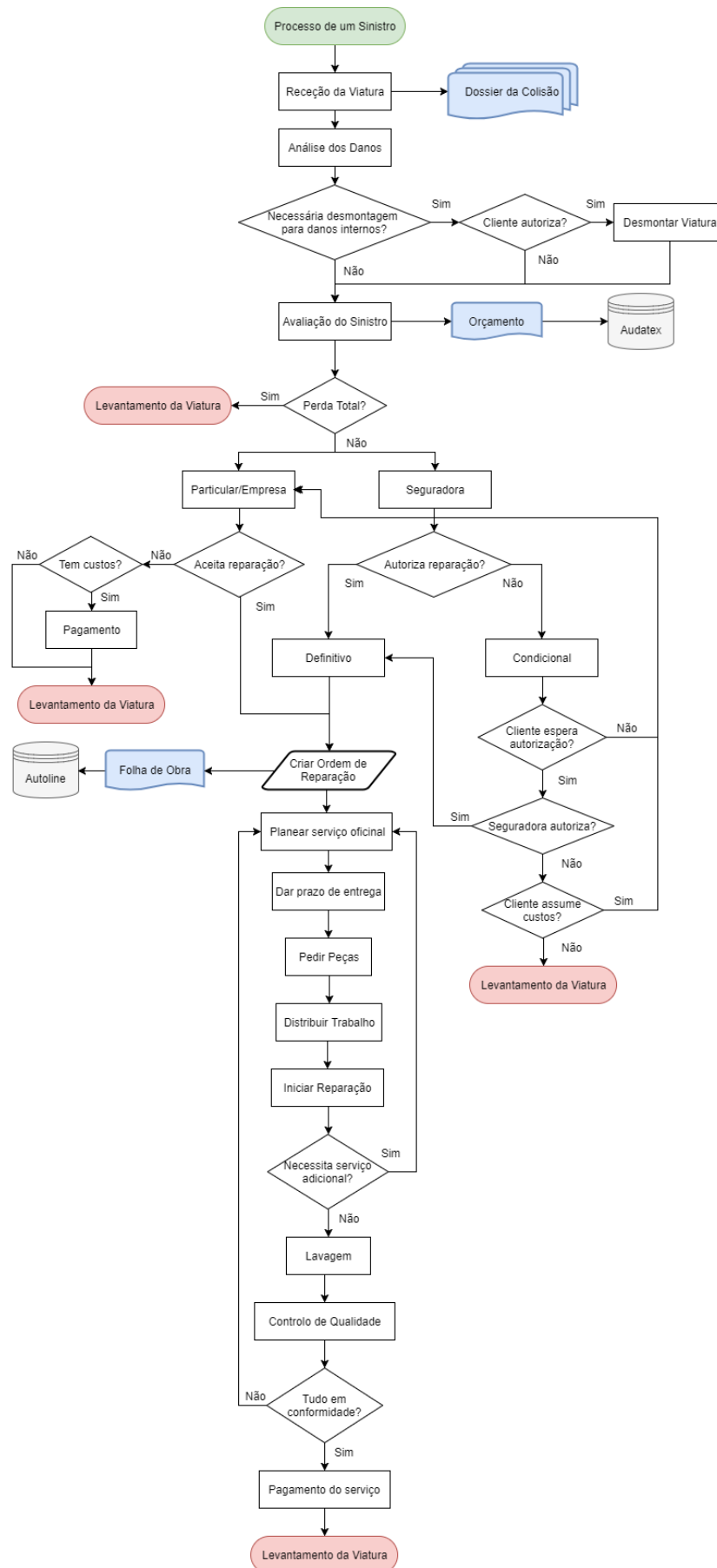


Figura 2 - Fluxograma de todo o processo de um sinistro

3.2 Processo de regularização de um sinistro automóvel

A maioria dos trabalhos a realizar na oficina de colisão são processos de sinistros automóveis, os restantes são reparações de danos particulares e preparações de viaturas novas e usadas. Como existe um número elevado de sinistros automóveis, é descrito o sequenciamento de um processo para melhor entendimento.

Um sinistro automóvel, antes de entrar em reparação, deve ser peritado de forma a identificar os danos da viatura. Caso o sinistro seja de grande dimensão e não seja possível observar todos estes danos, é necessário a desmontagem da viatura. Em casos particulares, o rececionista precisa da confirmação do cliente para o fazer.

Na colisão existem dois processos distintos, o processo da peritagem e o processo da reparação, em que o segundo se sucede ao primeiro. No entanto, existem algumas situações onde o cliente paga a reparação da viatura, orçamento particular. No caso de ser um orçamento particular, o processo é mais simples, o cliente desloca-se à oficina e informa que pretende um orçamento para a reparação da sua viatura. Sendo uma reparação que não envolva a substituição de peças, o próprio rececionista pode fazer o orçamento. Se o cliente aceitar o orçamento proposto, o processo da viatura segue para o agendamento da reparação. Por outro lado, se for uma reparação que envolva a substituição de peças, terá de ser o orçamentista a criar o orçamento.

Todas as viaturas em produção foram orçamentadas, no entanto, nem todas as viaturas entram em produção. Isto pode acontecer devido ao estado da viatura, por ser uma perda total ou porque o cliente não aceita o orçamento. Se não aceitar o orçamento, é necessário ver se existe algo a pagar por parte do cliente, por exemplo a desmontagem da viatura. Se for um cliente ao abrigo da companhia de seguros, o processo entra em reparação.

A peritagem é uma análise de diagnóstico para avaliar os danos causados pelo sinistro. Envolve o orçamentista da empresa e o perito enviado pela seguradora que validam, em conjunto, o custo e a duração das intervenções necessárias à reparação da viatura.

O orçamento de peritagem pode passar por dois estados: estado definitivo, quando a companhia de seguros dá ordem para a reparação, ou estado condicional, quando a companhia de seguros ainda não deu autorização. O direito do cliente a ter viatura de cortesia é responsabilidade da seguradora.

Se uma viatura for considerada imobilizada, fica a aguardar reparação dentro da oficina. Se puder circular, o cliente agenda data de entrega para reparação e leva a viatura.

O perito da companhia de seguros do cliente e o orçamentista da empresa reúnem-se para avaliar os danos causados pelo sinistro, Figura 3 e 4.



Figura 3 - Recolha de fotografias do sinistro pelo perito da CS



Figura 4 - Avaliação dos danos do sinistro pelo perito da CS e pelo orçamentista

Depois da avaliação e da recolha de fotografias, é criado o orçamento da reparação utilizando o software *Audapad*, Figura 5. Este software gera o orçamento com os tempos de mão de obra de fábrica, as peças da marca, o custo e o tempo total de reparação.

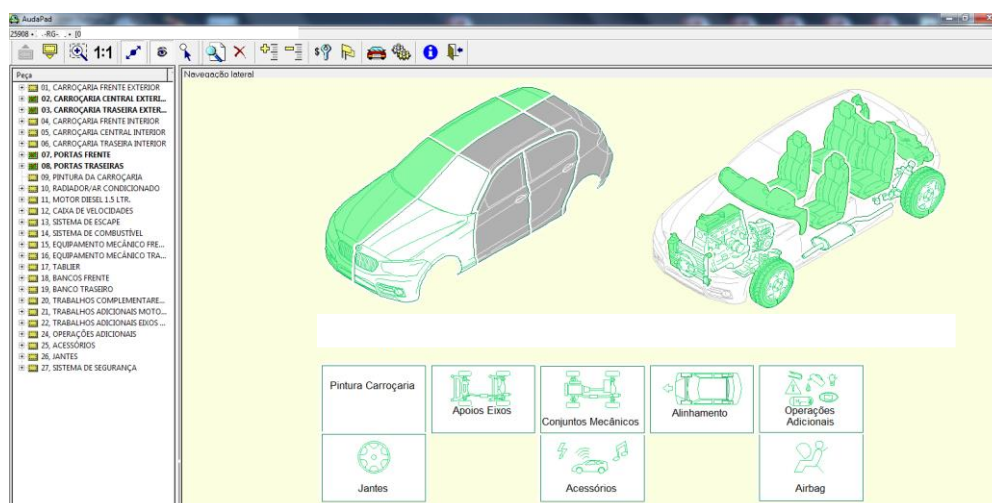
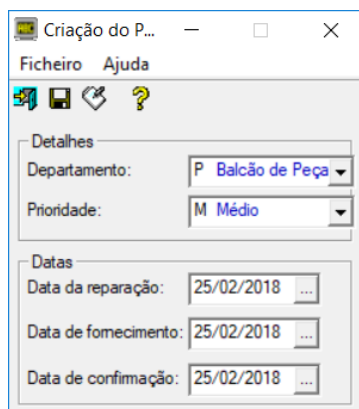


Figura 5 - Software Audapad

Com o consentimento da companhia de seguros, o processo da viatura está em condições de ser entregue ao rececionista que irá criar uma ordem de reparação no *Autoline*, onde insere toda a informação resultante do processo.

No planeamento do serviço, o rececionista envia o pedido de peças, Figura 6, a partir do *Autoline*. Na chegada das mesmas, o caixeiro de peças confere a encomenda garantindo que todas as peças se encontram em condições. Caso alguma peça se encontre deformada, partida ou não corresponda ao pedido, terá de ser devolvida.



The image shows a screenshot of a software window titled "Criação do P...". The window has a menu bar with "Ficheiro" and "Ajuda". Below the menu bar is a toolbar with icons for file operations. The main area contains two sections: "Detalhes" and "Datas". In the "Detalhes" section, there are two dropdown menus: "Departamento:" with the value "P Balcão de Peça" and "Prioridade:" with the value "M Médio". In the "Datas" section, there are three text boxes: "Data da reparação:", "Data de fornecimento:", and "Data de confirmação:", all containing the date "25/02/2018".

Figura 6 - Pedido de peças da receção para o balcão de peças

Em cada pedido podem existir peças que têm uma previsão de entrega diferente. Portanto, após a chegada de todas as peças de uma obra, o caixeiro informa o rececionista que pode avançar com a marcação. Após esta informação, o rececionista contacta o cliente de modo a agendar o início da reparação da viatura.

No agendamento dos trabalhos é necessário ter em consideração se a viatura está imobilizada ou não. Se estiver imobilizada, a viatura pode entrar para produção mal tenha peças para começar reparação. Se não tiver imobilizada, é preciso agendar com o cliente a data de entrada em oficina.

Os trabalhos com maior tempo de reparação devem ser agendados para segunda-feira de forma a serem concluídos até ao final da semana. No ato da marcação, o rececionista deve considerar uma percentagem de ocupação máxima da oficina de forma a não exceder a capacidade máxima.

No dia do agendamento, o cliente entrega a viatura para produção na receção. O rececionista averigua a viatura de modo a indicar no dossier de colisão outros danos que a viaturas tenha e que não esteja relacionado com o sinistro. De seguida, e caso o cliente tenha direito a viatura de cortesia, o rececionista deverá acompanhá-lo até à viatura. Por último prepara a viatura com todas as proteções e posteriormente o movimentador de carros transporta-a até dentro da oficina.

Durante a reparação de chaparia, em alguns casos, poderá ser necessário pedir mais peças do que as inicialmente pedidas na orçamentação. Nesta situação, a companhia de seguros deverá ser informada e o perito deverá deslocar-se à oficina para averiguar a situação. No caso dos orçamentos particulares é necessário informar o cliente e pedir autorização. Só após a autorização do perito ou do cliente é que se pode avançar com o pedido de peças.

Após o término da reparação da viatura, a oficina oferece a lavagem e, por fim, o controlo de qualidade é realizado pelo responsável do setor. A entrega da viatura vai depender da disponibilidade dos clientes para proceder ao levantamento da viatura.

3.3 Oportunidades de melhorias

A melhor oportunidade de melhoria no processo de uma reparação é o tempo da viatura em produção. Os atrasos são fatores importantes para a empresa pois interferem na satisfação do cliente. Sendo assim, o processo produtivo tem de ser estudado de forma a torná-lo mais eficaz e, consequentemente, mais eficiente. Existem possíveis erros para o atraso na entrega das viaturas aos clientes como, orçamentos incorretos, incumprimento dos tempos planeados, má atribuição de trabalhos ou má gestão da agenda de marcações.

A informação da Tabela 2 retirada do *Cognos* (programa de gestão que retira toda a informação do DMS da empresa) contém o número de horas orçamentadas e o número de horas reais, horas em que o técnico trabalhou na viatura.

Tabela 2 - Informação dos tempos do departamento de colisão da Caetano Baviera de Gaia de 2017

Meses	Nr. de Horas Orçamentadas	Nr. de Horas Reais	Diferença HO vs HR
Jan	1 086	1 128	-41
Feb	1 494	1 571	-77
Mar	1 213	1 234	-20
Apr	1 884	1 732	152
May	1 617	1 401	215
Jun	1 658	1 535	123
Jul	1 233	1 088	145
Aug	1 078	929	148
Sep	1 020	948	72
Oct	1 186	1 053	133
Nov	1 512	1 464	48
Dec	1 057	1 043	14
2017	16 038	15 126	912

Nos três primeiros meses do ano 2017, havia uma diferença negativa entre as horas orçamentadas e as horas reais. Estas diferenças podem corresponder a erros de orçamentação ou falta de produtividade por parte dos técnicos.

A partir do mês de abril essas diferenças passaram a ser positivas cerca de 15% do tempo, ou seja, a oficina começou a ganhar mais em produtividade cumprindo as horas previstas e a rentabilizar, assim, o trabalho orçamentado.

Atualmente o responsável pelo setor planeia cada trabalho com o seu conhecimento e agenda-o numa folha, ver na Figura 7 e Anexo 1, sem ter a perceção da ocupação real. Assim, depara-se que o problema possa estar na programação dos trabalhos.

Folha de agendamento de sinistros BMW												
De: 02/01/2017				A: 05/01/2017								
Observações	Desmontar/ Orçamentar	Matrícula	WIP	Técnico	Modelo	Chapa	Pintura	Mecânica	Dias Imo- b	Início rep	Fim Rep	GEP Leasoplan
Lateral esquerda + P/Choques frt					x1	x	x		3	02-01-2018	04-01-2018	
G/lamas frt esq + Porta f esq + embaladeira esq					430d	x	x		2	02-01-2018	03-01-2018	
P/Choques trás					535d	x	x		1	02-01-2018	02-01-2018	
P/Choques trás					216d	x	x		1	02-01-2018	02-01-2018	
P/Choques frt + capo + friso do g/lamas					mini	x	x		2	03-01-2018	04-01-2018	
P/Choques trás					116d	x	x		1	03-01-2018	03-01-2018	
P/Choques trás					mini	x	x		1	03-01-2018	03-01-2018	

Figura 7 - Folha de agendamento de reparações automóveis

Como objetivo inicial, é necessário desenvolver um modelo de programação *Job Shop* que programe as tarefas de cada viatura e que controle as entradas de trabalho na oficina. Isto vai permitir ao utilizador a revisão de soluções e geradores de planos para cumprir a data de entrega planeada com o cliente, minimizando os atrasos e resolvendo os problemas no sequenciamento de serviços.

DESENVOLVIMENTO

4.1 Formulação matemática do modelo

4.1.1 Testes ao modelo

4.2 Processo de programação

4.2.1 Planeamento de 2ª feira

4.2.2 Planeamento de 3ª feira

4.2.3 Planeamento de 4ª feira

4.2.4 Planeamento de 5ª feira

4.2.5 Resultados da programação

4.3 Sistema de apoio à decisão

4 DESENVOLVIMENTO

Considerando os problemas que a oficina enfrenta, é criado um sistema de apoio à decisão suportado no modelo de programação inteira mista desenvolvido por Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y. (2010). Este sistema inclui uma interface gráfica que gera soluções de programação da oficina de forma a alocar as diversas tarefas de cada trabalho a um técnico, cumprindo os prazos de entrega.

4.1 Formulação matemática do modelo

Utilizando como base o artigo “*Mathematical models for Job-Shop scheduling problems with routing and process plan flexibility*” de Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y., apresenta-se um modelo de programação linear para formular a programação dos trabalhos na oficina de colisão.

Adaptando os problemas da oficina encontraram-se as seguintes premissas:

- Os tempos de movimentação de viaturas, pausas para lanche/almoço e limpezas da oficina são ignorados;
- A tarefa sucessiva de cada trabalho depende da conclusão da tarefa anterior do mesmo trabalho;
- Uma tarefa deve ser executada apenas por um técnico de cada vez;
- Os trabalhos só podem começar após a chegada da viatura à oficina;
- As datas de entrada e saída têm de ser cumpridas.

De seguida, são apresentadas as notações usadas para representar a função objetivo e as restrições derivadas das premissas anteriores.

Índices e conjuntos:

i viaturas ($i, i' \in I$)

j operações ($j, j' \in O$)

k operadores ($k \in M$)

J conjunto de viaturas

M conjunto de operadores

O conjunto de operações

O_i conjunto de operações da viatura i ($O_i \subseteq O$), onde O_{if} é o primeiro e O_{il} é o último elemento de O_i

M_j conjunto de operadores alternativos em que a operação j pode ser processada, ($M_j \subseteq M$)

$M_j \cap M_{j'}$, conjunto de operadores onde as operações j e j' podem ser processadas

Parâmetros:

t_{ijk} tempo de processamento da operação O_{ij} no operador k

L um número grande

a_i data de entrada da viatura i

d_i data de saída da viatura i

Variáveis de Decisão:

X_{ijk} 1, se o operador k for escolhida para a operação O_{ij} ; 0, caso contrário

S_{ijk} tempo de início da operação O_{ij} no operador k

C_{ijk} tempo de conclusão da operação O_{ij} no operador k

$Y_{iji'j'k}$ 1, se a operação O_{ij} preceder a operação $O_{i'j'}$ na máquina k ; 0, caso contrário

C_i tempo de conclusão da viatura i

C_{max} tempo máximo de conclusão de todas as viaturas (*makespan*)

Função Objetivo:

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

Restrições:

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

$$S_{ijk} + C_{ijk} \leq (X_{ijk}) \cdot L \quad \forall i \in i, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (2)$$

$$C_{ijk} \geq S_{ijk} + t_{ijk} - (1 - X_{ijk}) \cdot L \quad \forall i \in i, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (3)$$

$$S_{ijk} \geq C_{i'j'k} - (Y_{iji'j'k}) \cdot L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (4)$$

$$S_{i'j'k} \geq C_{ijk} - (1 - Y_{iji'j'k}) \cdot L \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'}, \quad (5)$$

$$\sum_{k \in M_j} S_{ijk} \geq \sum_{k \in M_j} C_{i,j-1,k} \quad \forall i \in i, \forall j \in O_i - \{O_{if(i)}\} \quad (6)$$

$$S_{ijk} \geq a_i \quad \forall i \in i, \forall j \in O_i, \forall k \in M_j \quad (7)$$

$$C_i \leq d_i \quad \forall i \in i \quad (8)$$

$$C_i \geq \sum_{k \in M_j} C_{i,O_{il(i)},k} \quad \forall i \in i \quad (9)$$

$$C_{max} \geq C_i \quad \forall i \in i \quad (10)$$

e

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

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

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

$$Y_{ijj',m} \in \{0,1\} \quad \forall i < i', \forall j \in O_i, \forall j' \in O_{i'}, \forall k \in M_j \cap M_{j'}$$

$$C_i \geq 0 \quad \forall i \in i$$

Para obter este resultado, é necessário garantir as premissas necessárias ao bom funcionamento do planeamento oficial através das seguintes restrições.

As restrições (1) garantem que a operação O_{ij} é atribuída apenas a um operador; as restrições (2) definem que os tempos de início e fim do operador k sejam iguais a zero, se a operação O_{ij} não for atribuída ao operador k . As restrições (3) garantem que a diferença entre o tempo inicial e o tempo final seja no mínimo igual ao tempo de processamento no operador k . As restrições (4) e (5) garantem que a operação O_{ij} e a operação $O_{ij'}$ não podem ser feitas ao mesmo tempo em qualquer operador do conjunto $M_j \cap M_{j'}$. As restrições (6) garantem que as relações de precedência entre as operações de uma viatura não sejam violadas, ou seja, a operação O_{ij} não é iniciada antes de a operação O_{ij-1} ser concluída. As restrições (7) garantem que o início de reparação começa depois de a viatura entrar na oficina. As restrições (8) garantem que a data de conclusão não excede a data de entrega da viatura. As restrições (9) determinam os tempos de conclusão das viaturas e as restrições (10) determinam o *makespan*.

4.1.1 Testes ao modelo

Para o desenvolvimento de alguns testes ao modelo, foram retirados dados do artigo “*Repair Shop Job Scheduling with parallel operators and multiple constraints using simulated annealing*” de Shivasankaran, Kumar, Nallakumarasamy, & Raja.

O problema consiste num conjunto de i viaturas, cada uma com uma ordem de processamento através de um conjunto de técnicos e um número de k operações ordenadas executadas para concluir o trabalho da viatura i . A operação j da viatura i (O_{ij}), pode ser processada por qualquer técnico de um determinado conjunto M_j por um tempo de processamento t_{ijk} .

O objetivo passa por alocar as operações a um técnico, segundo a sua disponibilidade, de forma a que o tempo total (C_{max}) seja mínimo.

As tarefas e as precedências de cada viatura são apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Precedências de tarefas das viaturas

Viatura	Ordem de Tarefas
A	5, 7
B	1, 2, 5
C	1, 3, 8
D	9, 10
E	11, 12

Os tempos de reparação consumidos por cada técnico são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Tempos de reparação das tarefas por técnico

Técnicos	Durações das Tarefas						
	1	2	3	4	5	6	7
1	1	2	2	1	2	1	3
2	3	3	4	2	5	2	5
3	3	3	4	2	3	2	3
4	1	2	2	1	3	1	3
5	3	3	2	1	3	1	3

Os parâmetros como o tempo de chegada da viatura e as tarefas a serem executadas em cada viatura são fornecidos na Tabela 5.

Tabela 5 - Tempo de chegada e tipos de operações de cada viatura

Viatura	Tempo de Chegada	Tipo de Operações						
		1	2	3	4	5	6	7
A	0	-	-	-	-	1	-	2
B	0	3	4	-	-	5	-	-
C	4	6	-	7	-	-	8	-
D	5	9	10	-	-	-	-	-
E	5	-	-	-	11	12	-	-

As restrições são a disponibilidade do técnico, o tempo de chegada do trabalho e a ordem de precedência do trabalho. A melhor sequência é exposta na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultado da melhor sequência do problema

Viatura	Tarefa	Técnico	Duração	Início	Fim
1	1	1	10	0	10
1	2	1	3	10	13
2	3	4	1	0	1
2	4	2	3	1	5
2	5	3	10	5	15
3	6	4	1	1	2
3	7	4	2	2	4
3	8	5	1	4	5
4	9	2	3	5	8
4	10	3	3	15	18
5	11	4	1	4	5
5	12	5	10	5	15

Os resultados da melhor alocação dos técnicos encontram-se no cronograma da Figura 8, por ordem de início de reparação.

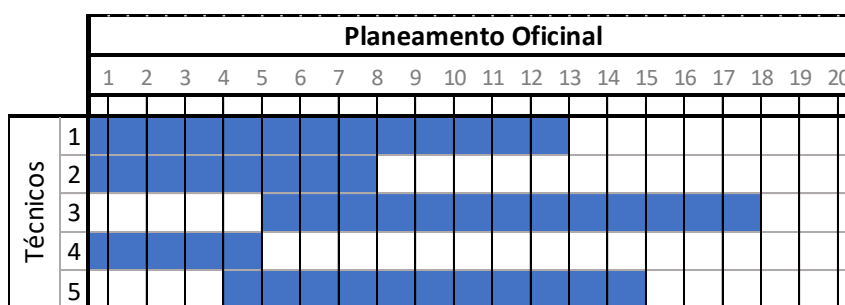


Figura 8 - Cronograma do planeamento oficial por ordem de chegada da viatura

A capacidade atual resultante do modelo é exposta na Tabela 7. Cada técnico tem uma capacidade máxima de 20 unidades de tempo por dia.

Tabela 7 - Capacidade Atual vs Capacidade Máxima por técnico

	Capacidade Atual	Capacidade Máxima
Técnicos		
1	13	20
2	6	20
3	13	20
4	5	20
5	11	20
Equipa	48	100

O gráfico da Figura 9 contém as capacidades do cronograma acima.

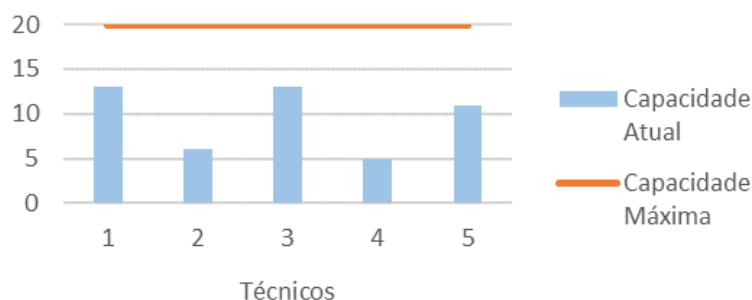


Figura 9 –Capacidade Atual vs Capacidade Máxima por técnico

A resolução demorou 6 segundos e obteve um C_{max} igual a 18 unidades de tempo.

4.2 Processo de programação

Com a verificação do modelo, a heurística passa a ser implementada no planeamento do centro de colisão. O processo do planeamento é gerido pelo responsável do departamento, chefe da colisão, juntamente com os colegas das peças e o rececionista que irão fornecer as datas de chegada das peças e a disponibilidade do cliente, respetivamente.

Embora os trabalhos de reparações automóveis possam ser muito distintos, passam pelo mesmo tipo de competências: mecânica, chaparia e pintura. Por viatura, retira-se a data de chegada e saída da oficina, e as unidades de tempo orçamentadas para os diferentes trabalhos (pintura, mecânica e chaparia).

Atualmente, a equipa da colisão é constituída por três mecânicos, quatro chapeiros e cinco pintores. A Tabela 8 apresenta a capacidade disponível em cada equipa produtiva, calculada pelo produto do número de técnicos em cada equipa e pelo número de horas disponíveis, a empresa trabalha com Unidades de Tempo (1 UT equivale a 5 minutos). A soma das capacidades corresponde à capacidade diária total da oficina.

Tabela 8 - Capacidade diária disponível da equipa produtiva

Equipa	Número de Técnicos	Capacidade	
		Horas	UTs
Mecânica	3	24	288
Chaparia	4	32	384
Pintura	5	40	480
Total	12	96	1152

O processo de reparação de um sinistro nesta heurística vai passar apenas pelas três equipas, ou seja: os mecânicos reparam a mecânica da viatura; os chapeiros desmontam e montam a viatura e reparam algum dano existente na carroçaria; e os pintores fazem a preparação de pintura, a pintura e o acabamento. A lavagem e controlo de qualidade não entram nos tempos contabilizados nos resultados futuros.

O fluxograma da Figura 10 mostra o que fazer para planejar o trabalho diário na oficina, é de realçar que este processo pode ser realizado por qualquer pessoa na ausência do chefe de oficina.

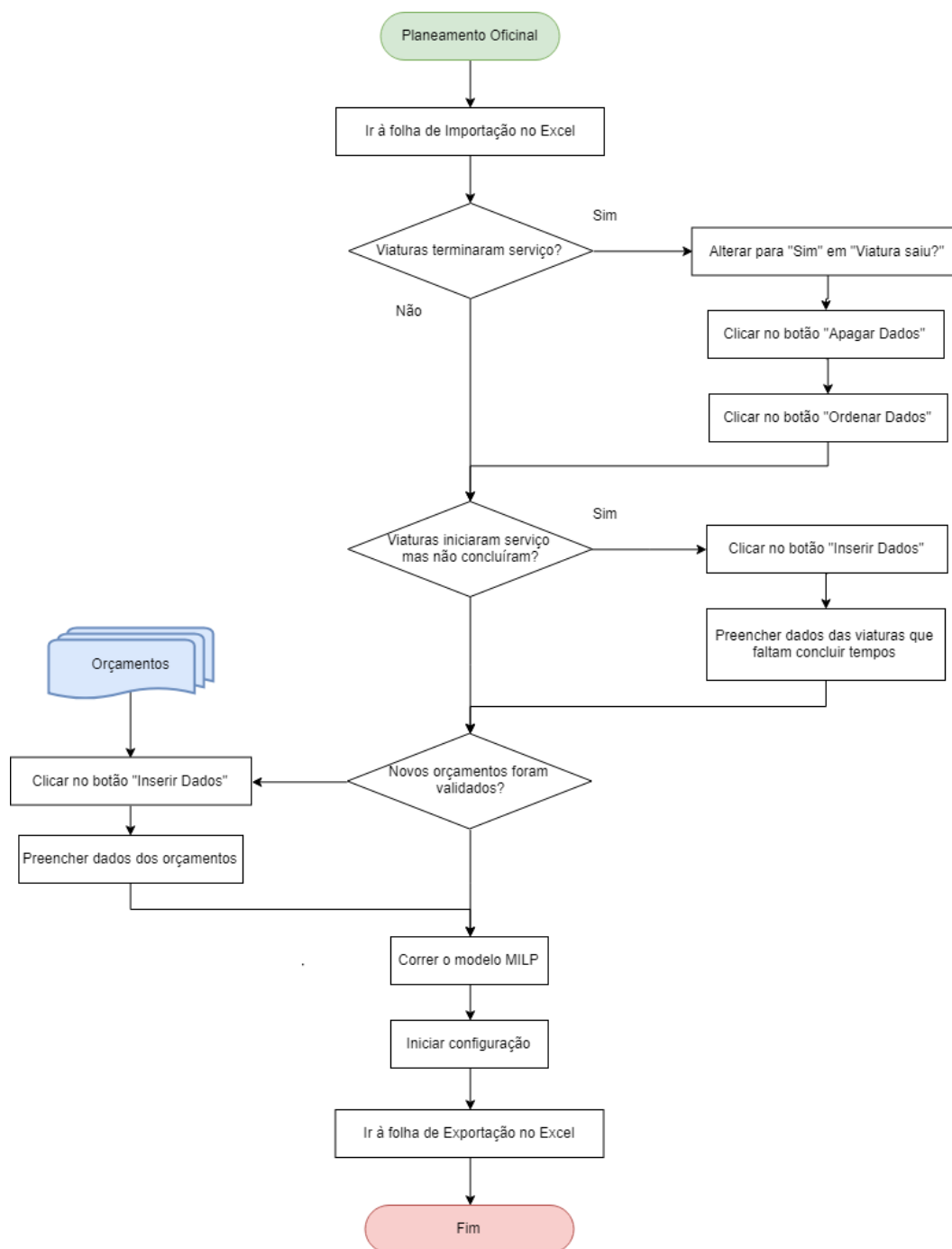


Figura 10 - Fluxograma da programação oficial na colisão

Os dados utilizados nos testes apresentam-se na tabela no Anexo 2, esta informação teve como base as viaturas reparadas na terceira semana do mês de Junho. As horas de reparação foram retiradas de orçamentos criados no programa *Audapad* e são baseadas em tempos padrão fornecidos pela marca.

4.2.1 Planeamento de 2ª feira

A Tabela 9 lista as viaturas a reparar na 2ª feira, as que ficaram pendentes das semanas anteriores e as que já receberam as peças para começar reparação. Uma vez que vai ser o primeiro planeamento, ainda não há data de entrega definida. O modelo vai dar uma solução e, a partir dos resultados, ficam confirmadas as datas a entregar cada viatura ao cliente.

Tabela 9 - Viaturas a planear na 2ª feira

Viatura	Mecânica	Chaparia	Pintura	Data de entrega
1	258	0	0	-
2	20	217	130	-
3	25	0	25	-
4	5	16	0	-
5	30	24	0	-
6	110	52	176	-
7	42	8	0	-
8	8	0	0	-
9	41	0	0	-
10	4	38	63	-
11	0	19	18	-
12	9	14	0	-
13	76	66	61	-
14	5	114	47	-
15	5	10	0	-
16	9	48	57	-
17	0	19	30	-
18	6	42	141	-
19	8	41	190	-
20	8	16	0	-
21	12	0	0	-
22	10	29	22	-
23	12	34	25	-
24	34	51	45	-
25	5	31	82	-
26	3	16	0	-
27	9	164	124	-

Os resultados para o planeamento são apresentados na Tabela 10, alocando os técnicos a cada viatura e obtendo a data fim de cada trabalho. O planeamento demorou 34 minutos e teve como C_{max} o valor de 310 unidades de tempo.

Tabela 10 - Resultado do planeamento de 2ª feira

Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim	Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim
1	1	2	219	29	248	16	33	1	8	9	17
2	2	3	17	0	17	16	34	6	43	43	86
2	3	7	189	17	206	16	35	9	45	128	173
2	4	9	104	206	310	17	36	5	17	0	17
3	5	2	21	4	25	17	37	10	25	17	42
3	6	9	20	25	45	18	38	3	5	17	22
4	7	1	4	240	244	18	39	5	37	78	115
4	8	4	14	244	258	18	40	8	119	115	234
5	9	3	25	264	289	19	41	1	7	0	7
5	10	7	21	289	310	19	42	6	36	7	43
6	11	3	93	22	115	19	43	11	171	43	214
6	12	5	46	115	161	20	44	2	6	268	274
6	13	10	149	161	310	20	45	5	14	274	288
7	14	3	35	150	185	21	46	2	10	258	268
7	15	4	7	185	192	22	47	1	9	77	86
8	16	1	7	233	240	22	48	6	26	86	112
9	17	1	38	191	229	22	49	12	20	112	132
10	18	1	3	25	28	23	50	2	10	248	258
10	19	5	34	44	78	23	51	4	29	258	287
10	20	9	50	78	128	23	52	12	23	287	310
11	21	4	16	0	16	24	53	3	28	115	143
11	22	8	15	16	31	24	54	6	45	143	188
12	23	3	7	143	150	24	55	11	40	214	254
12	24	4	12	168	180	25	56	2	4	0	4
13	25	1	72	119	191	25	57	5	27	17	44
13	26	6	59	191	250	25	58	8	69	44	113
13	27	11	54	256	310	26	59	1	2	7	9
14	28	2	4	25	29	26	60	6	14	112	126
14	29	5	102	169	271	27	61	1	8	17	25
14	30	8	39	271	310	27	62	4	143	25	168
15	31	1	4	229	233	27	63	12	117	168	285
15	32	7	8	281	289						

Para uma melhor visão do planeamento no dia, é criado um cronograma com os resultados da tabela anterior, ver Figura 11.

Planeamento Oficial																
2ª Feira																
Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Mecânica	1															
	2															
	3															
Chaparia	4															
	5															
	6															
	7															
Pintura	8															
	9															
	10															
	11															
	12															

Figura 11 - Cronograma de 2ª feira

A Tabela 11 lê a capacidade atual da oficina para a semana em questão, a partir do cronograma anterior. Sendo 96 UTs a capacidade máxima de cada técnico, verifica-se que os técnicos 2, 3 e 5 atingiram esse valor. O técnico 12 da equipa de pintura, não teve nenhum trabalho alocado.

Tabela 11 - Capacidade oficial de 2ª feira

CAPACIDADE						
		2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira
Mecânica	1	35	73	49	0	0
	2	94	96	79	0	0
	3	95	86	25	1	0
Chaparia	4	89	91	43	0	0
	5	94	88	94	0	0
	6	88	77	58	0	0
	7	80	96	22	21	0
Pintura	8	69	95	60	22	0
	9	40	76	83	22	0
	10	26	32	96	22	0
	11	54	96	94	22	0
	12	0	46	95	22	0
Mecânica		224	255	153	1	0
Chaparia		351	352	217	21	0
Pintura		189	345	428	110	0

A partir da Figura 12, é possível verificar os dados da Tabela 11 relativos a segunda-feira e comparar a capacidade atual com a capacidade máxima oficial individual, através do gráfico.

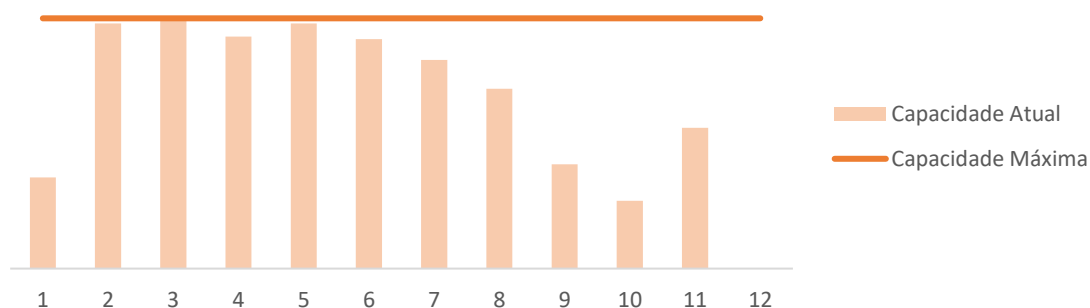


Figura 12 - Capacidade atual vs capacidade máxima de 2ª feira

Não ultrapassar a capacidade máxima da oficina é um bom indicador para o planeador pois pode contar com os trabalhos finalizados na data correta e, se for necessário, avançar trabalhos pendentes.

4.2.2 Planeamento de 3ª feira

A Tabela 12 lista as viaturas que ficaram pendentes no dia anterior e as que receberam todas as peças para início de reparação. Começando o segundo planeamento, já estão disponíveis datas de entrega definidas pelo resultado de 2ª feira, exceto as viaturas que foram adicionadas no novo planeamento.

Tabela 12 - Viaturas para planear na 3ª feira

Viatura	Mecânica	Chaparia	Pintura	Data de entrega
1	191	0	0	4ª feira
2	0	138	130	5ª feira
3	-	-	-	✓
4	5	16	0	5ª feira
5	30	24	0	5ª feira
6	36	52	176	5ª feira
7	42	8	0	4ª feira
8	8	0	0	4ª feira
9	41	0	0	5ª feira
10	0	0	45	3ª feira
11	-	-	-	✓
12	9	14	0	4ª feira
13	76	66	61	5ª feira
14	0	114	47	5ª feira
15	5	10	0	5ª feira
16	0	0	57	3ª feira
17	-	-	-	✓
18	0	24	141	4ª feira
19	0	0	137	4ª feira

20	8	16	0	4ª feira
21	12	0	0	4ª feira
22	0	19	22	3ª feira
23	12	34	25	5ª feira
24	34	51	45	4ª feira
25	0	0	30	3ª feira
26	0	16	0	4ª feira
27	0	93	124	5ª feira
+ 28	7	27	28	-
+ 29	4	21	0	-
+ 30	30	14	0	-
+ 31	9	46	45	-
+ 32	34	75	51	-
+ 33	0	0	32	-

A partir da tabela, verifica-se que três viaturas ficaram concluídas na segunda-feira.

O resultado para o planeamento de 3ª feira é apresentado na Tabela 13. Demorou cerca de 1 hora e 5 minutos e teve como C_{max} o valor de 224 unidades de tempo.

Tabela 13 - Resultado do planeamento de 3ª feira

Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim	Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim
1	1	1	181	0	181	20	30	4	14	172	186
2	2	4	120	0	120	21	31	2	10	122	132
2	3	9	104	120	224	22	32	6	17	0	17
4	4	3	4	34	38	22	33	11	19	44	63
4	5	4	14	210	224	23	34	2	10	35	45
5	6	2	25	178	203	23	35	7	29	172	201
5	7	5	21	203	224	23	36	12	23	201	224
6	8	3	30	0	30	24	37	2	28	7	35
6	9	7	45	30	75	24	38	6	45	58	103
6	10	10	149	75	224	24	39	11	40	103	143
7	11	3	35	100	135	25	40	10	25	0	25
7	12	6	7	184	191	26	41	6	14	170	184
8	13	2	6	109	115	27	42	5	83	0	83
9	14	1	38	186	224	27	43	12	117	83	200
10	15	12	42	0	42	28	44	2	5	117	122
12	16	3	7	93	100	28	45	4	23	122	145
12	17	7	12	140	152	28	46	11	25	145	170
13	18	2	64	45	109	29	47	1	3	183	186
13	19	6	59	111	170	29	48	4	18	186	204
13	20	11	54	170	224	30	49	3	25	135	160
14	21	5	102	83	185	30	50	4	12	160	172
14	22	8	39	185	224	31	51	2	7	0	7

15	23	3	4	30	34	31	52	6	41	17	58
15	24	6	9	215	224	31	53	11	40	63	103
16	25	10	48	25	73	32	54	3	28	47	75
18	26	7	21	0	21	32	55	7	65	75	140
18	27	8	119	21	140	32	56	8	43	140	183
19	28	9	109	11	120	33	57	11	28	16	44
20	29	3	6	166	172						

O cronograma da Figura 13 apresenta os resultados obtidos na tabela anterior.

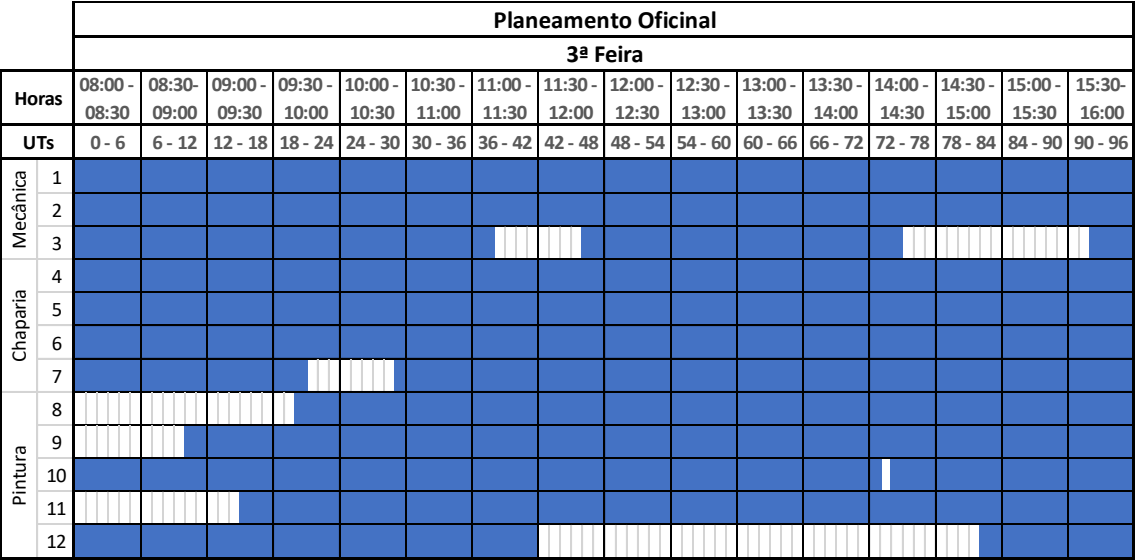


Figura 13 - Cronograma de 3ª feira

A Tabela 14 lê a capacidade atual da oficina para a semana. Verifica-se que todos os técnicos, exceto o mecânico 3 e o pintor 8, atingiram a capacidade máxima.

Tabela 14 - Capacidade oficial de 3ª feira

CAPACIDADE					
		3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira
Mecânica	1	97	94	32	0
	2	94	48	11	0
	3	70	69	0	0
Chaparia	4	97	79	27	0
	5	96	89	22	0
	6	95	86	10	0
	7	88	76	9	0
Pintura	8	76	94	32	0
	9	86	95	32	0
	10	95	96	32	0
	11	79	93	32	0
	12	57	96	32	0
Mecânica		261	211	43	0
Chaparia		376	330	68	0
Pintura		393	474	160	0

Na Figura 14, compara-se a capacidade atual com a capacidade máxima oficial individual de terça-feira.

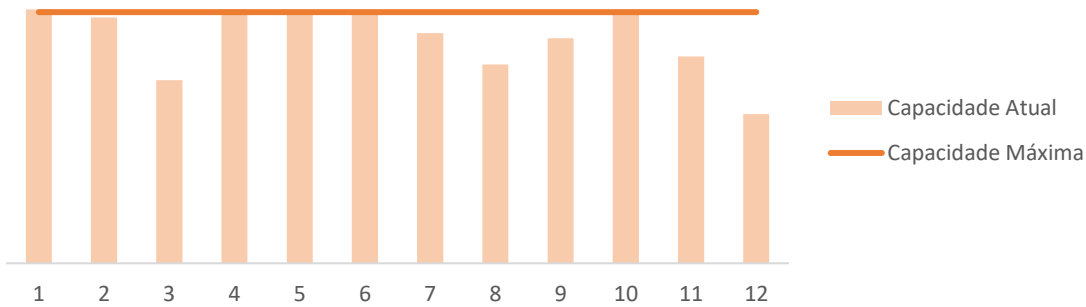








Figura 14 - Capacidade atual vs capacidade máxima de 3ª feira

4.2.3 Planeamento de 4ª feira

A Tabela 15 contém as viaturas pendentes de terça-feira e as que receberam as peças para iniciar os trabalhos.

Tabela 15 - Viaturas para planear na 4ª feira

Viatura	Mecânica	Chaparia	Pintura	Data de entrega	Data Anterior
1	95	0	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
2	0	42	130	<div></div> 5ª feira	5ª feira
4	0	16	0	<div></div> 5ª feira	5ª feira
5	30	24	0	<div></div> 5ª feira	5ª feira
6	0	0	155	<div></div> 5ª feira	5ª feira
7	42	8	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
8	8	0	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
9	41	0	0	<div></div> 5ª feira	5ª feira
10	-	-	-	✓	
12	9	14	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
13	25	66	61	<div></div> 5ª feira	5ª feira
14	0	101	47	<div></div> 5ª feira	5ª feira
15	0	10	0	<div></div> 5ª feira	5ª feira
16	-	-	-	✓	
18	0	0	66	<div></div> 4ª feira	4ª feira
19	0	0	52	<div></div> 4ª feira	4ª feira
20	8	16	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
21	12	0	0	<div></div> 4ª feira	4ª feira
22	-	-	-	✓	

23	0	34	25		5ª feira	5ª feira
24	0	13	45		4ª feira	4ª feira
25	-	-	-			
26	0	16	0		4ª feira	4ª feira
27	0	0	111		5ª feira	5ª feira
28	7	27	28		4ª feira	-
29	4	21	0		5ª feira	-
30	30	14	0		4ª feira	-
31	0	0	12		4ª feira	-
32	0	54	51		4ª feira	-
33	-	-	-			
+ 34	19	13	0		-	
+ 35	8	0	0		-	
+ 36	6	14	17		-	

A partir da tabela anterior verifica-se que ficaram concluídas cinco viaturas. Das novas datas de entregas fornecidas pelo planeamento, nenhuma viatura adiantou a sua data de entrega.

O resultado para o planeamento de quarta-feira é apresentado na Tabela 16. O planeamento demorou 15 minutos e teve como C_{max} o valor de 145 unidades de tempo.

Tabela 16 - Resultado do planeamento de 4ª feira

Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim	Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim
1	1	2	80	65	145	21	24	1	11	54	65
2	2	7	36	0	36	23	25	6	30	0	30
2	3	9	104	41	145	23	26	12	23	73	96
4	4	5	14	90	104	24	27	5	11	0	11
5	5	3	25	91	116	24	28	10	38	11	49
5	6	6	21	116	137	26	29	7	14	98	112
6	7	8	131	0	131	27	30	11	99	0	99
7	8	3	35	56	91	28	31	2	5	13	18
7	9	7	7	91	98	28	32	5	24	18	42
8	10	1	7	65	72	28	33	10	23	49	72
9	11	2	34	31	65	29	34	3	3	53	56
12	12	2	7	24	31	29	35	6	18	98	116
12	13	7	12	36	48	30	36	1	28	20	48
13	14	3	21	9	30	30	37	7	12	48	60
13	15	6	59	30	89	31	38	12	11	0	11
13	16	10	51	89	140	32	39	5	48	42	90
14	17	4	88	13	101	32	40	11	45	99	144
14	18	12	44	101	145	34	41	4	11	2	13
15	19	6	9	89	98	35	42	1	6	48	54
18	20	12	62	11	73	36	43	3	4	49	53

19	21	9	41	0	41	36	44	7	12	112	124
20	22	2	6	18	24	36	45	8	14	131	145
20	23	5	14	104	118						

O cronograma da Figura 15 apresenta os resultados obtidos na tabela anterior.

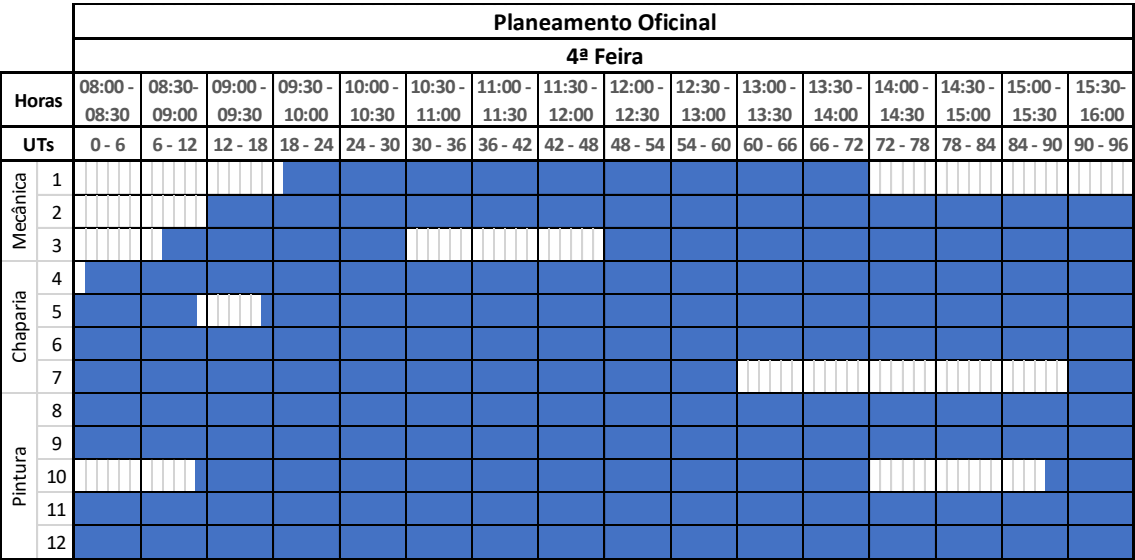


Figura 15 - Cronograma de 4ª feira

A Tabela 17 lê a capacidade atual da oficina para o resto da semana. Verifica-se que a equipa da mecânica não atingiu a capacidade máxima, assim como os chapeiros 5 e 7 e o pintor 10.

Tabela 17 - Capacidade oficial de 4ª feira

CAPACIDADE				
		4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira
Mecânica	1	50	0	0
	2	80	49	0
	3	67	20	0
Chaparia	4	94	5	0
	5	89	21	0
	6	95	39	0
	7	65	26	0
Pintura	8	97	48	0
	9	96	49	0
	10	69	44	0
	11	97	47	0
	12	95	45	0
Mecânica		197	69	0
Chaparia		343	91	0
Pintura		454	233	0

A partir da Figura 16 é possível verificar, através dos gráficos, os dados da tabela acima e comparar a capacidade atual com a capacidade máxima oficial.

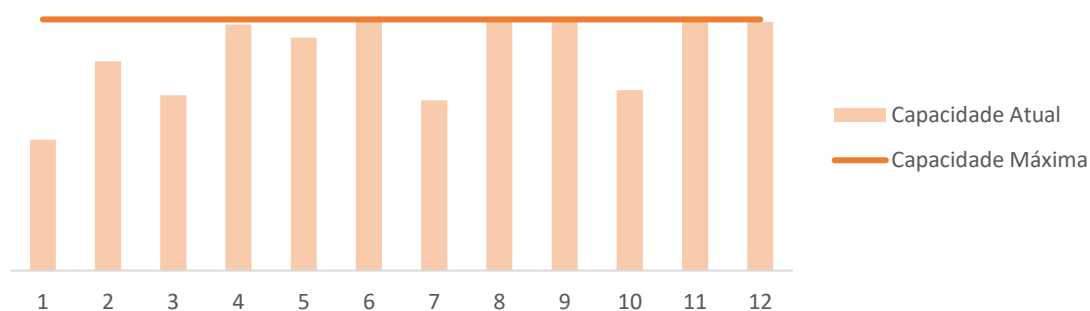





Figura 16 - Capacidade atual vs capacidade máxima de 4ª feira

4.2.4 Planeamento de 5ª feira

Na quinta-feira, há o planeamento dos trabalhos pendentes do dia anterior e as viaturas que já têm todas as peças para começar reparação.

Tabela 18 - Viaturas para planear na 5ª feira

Viatura	Mecânica	Chaparia	Pintura	Data de entrega	Data Anterior
1	64	0	0	↑	5ª feira
2	0	0	75	✓	5ª feira
4	0	10	0	✓	5ª feira
5	25	24	0	✓	5ª feira
6	0	0	59	✓	5ª feira
7	0	3	0	↑	5ª feira
8	-	-	-	✓	
9	-	-	-	✓	
12	-	-	-	✓	
13	0	0	54	✓	5ª feira
14	0	18	47	✓	5ª feira
15	0	3	0	✓	5ª feira
18	-	-	-	✓	
19	-	-	-	✓	
20	0	16	0	↑	5ª feira
21	-	-	-	✓	
23	-	-	-	✓	
24	-	-	-	✓	
26	0	16	0	↑	5ª feira

27	0	0	15		5ª feira	5ª feira
28	-	-	-		✓	
29	0	21	0		5ª feira	5ª feira
30	-	-	-		✓	
31	-	-	-		✓	
32	0	0	51		5ª feira	4ª feira
34	-	-	-		✓	
35	-	-	-		✓	
36	0	14	17		5ª feira	-
+ 37	8	0	0		-	
+ 38	19	0	0		-	
+ 39	8	0	0		-	
+ 40	6	0	0		-	

Na Tabela 18, verifica-se que ficaram concluídas treze viaturas no dia e cinco datas geradas no novo planeamento atrasaram as datas de entrega anteriores. O planeamento demorou 1 minuto e teve como C_{max} o valor de 66 unidades de tempo.

A Tabela 19 apresenta o resultado para o planeamento na quinta-feira.

Tabela 19 - Resultado do planeamento de 5ª feira

Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim	Viatura	Tarefa	Operador	Duração	Início	Fim
1	1	3	54	0	54	20	12	1	15	0	15
2	2	4	65	0	65	26	13	6	14	52	66
4	3	8	8	24	32	27	14	3	12	54	66
5	4	5	22	23	45	29	15	6	18	32	50
5	5	2	20	45	65	32	16	10	43	0	43
6	6	7	51	15	66	36	17	6	12	20	32
7	7	8	2	22	24	36	18	8	14	32	46
13	8	2	45	0	45	37	19	5	7	45	52
14	9	6	16	4	20	38	20	8	16	0	16
14	10	1	44	20	64	39	21	8	6	16	22
15	11	1	2	64	66	40	22	1	5	15	20

A Figura 17 apresenta o cronograma criado a partir dos resultados obtidos na tabela anterior.

Planeamento Oficial																
5ª Feira																
Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Mecânica	1															
	2															
	3															
Chaparia	4															
	5															
	6															
	7															
Pintura	8															
	9															
	10															
	11															
	12															

Figura 17 - Cronograma de 5ª feira

A capacidade da oficina para o dia lê-se na tabela 20.

Tabela 20 - Capacidade oficial de 5ª feira

CAPACIDADE			
		5ª Feira	6ª Feira
Mecânica	1	64	0
	2	65	0
	3	66	0
Chaparia	4	65	0
	5	29	0
	6	60	0
	7	52	0
Pintura	8	43	0
	9	0	0
	10	44	0
	11	0	0
	12	0	0
Mecânica		195	0
Chaparia		206	0
Pintura		87	0

Verifica-se que quase todos os trabalhos planeados foram concluídos no horário da manhã, daí a capacidade máxima não ter sido atingida por nenhum técnico, visível no gráfico da Figura 18.

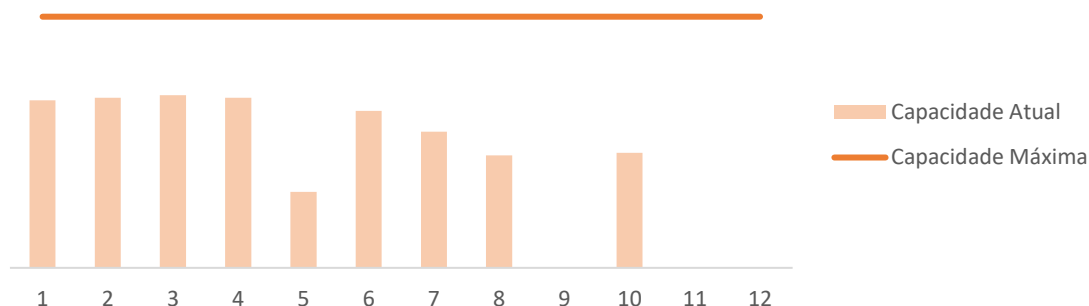


Figura 18 - Capacidade atual vs capacidade máxima de 5ª feira

Por não haver mais viaturas com chegadas de peças passíveis a iniciar reparação, o planeamento para sexta-feira não foi realizado.

4.2.5 Resultados da programação

A Tabela 21 apresenta os resultados do CPLEX para a diferença entre a melhor solução inteira e o *lower bound* do CPLEX, para o tempo de processamento e para o C_{max} .

Tabela 21 - Resultados do CPLEX

Dia	GAP	Tempo	C_{max}
2ª Feira	0%	00:34:27	310
3ª Feira	0%	01:04:43	224
4ª Feira	3,45%	00:15:17	145
5ª Feira	1,52%	00:01:30	66

Verifica-se que as soluções estão muito próximas da solução ótima, em média 1% de diferença entre os resultados obtidos.

Há uma melhoria no em curso de uma viatura em oficina de dois dias.

Com os planeamentos da semana, nenhuma viatura atrasou a data de entrega ao cliente, pelo contrário, houve muitos adiantamentos das datas de conclusão.

A partir dos resultados alcançados foi possível verificar que o modelo cumpriu o objetivo de minimizar o tempo planeado da semana, ficando assim com disponibilidade para a entrada de mais viaturas na oficina.

4.3 Sistema de apoio à decisão

Foi desenvolvida uma ferramenta em Excel, para apoio à decisão, que permite visualizar o planeamento diário da oficina de forma mais perceptível. A ferramenta inclui duas folhas fundamentais para este funcionamento: a de importação de dados e a de exportação com os resultados finais.

Para importar os dados no CPLEX, foi criada uma tabela onde a informação das reparações carregada manualmente é importada de forma automática no modelo para obter os resultados pretendidos para o planeamento do dia/semana. A Figura 19 apresenta a folha de importação que inclui a tabela, apenas de visualização dos dados introduzidos pelo responsável do planeamento, e três botões.

The image shows a web form titled "Dados Processo" with a close button (X) in the top right corner. The form contains six input fields, each with a label above it: "Matrícula", "Data de Entrada", "Data de Saída", "Tempo Mecânica", "Tempo Chaparia", and "Tempo Pintura". At the bottom of the form is a button labeled "Inserir".

Figura 19 - Folha de importação de dados

De forma a editar os campos da tabela, o botão “Inserir Dados” introduz os dados do processo (matrícula, data de entrada, data de saída, tempos de mecânica, chaparia e pintura), o botão “Apagar Dados” elimina a informação das viaturas que já saíram (coluna “Viatura Saiu?” com “Sim”) e o botão “Ordenar Dados” ordena os dados da tabela por data de entrada da viatura, ou seja, os processos mais antigos aparecem em primeiro lugar.

A última opção é utilizada depois de apagar dados, para a tabela não apresentar linhas vazias entre as viaturas e importar informação errada para o CPLEX. Ao carregar no primeiro botão para inserir os dados, aparece a janela da Figura 20.

Matrícula	Data de Entrada	Data de Saída	Mecânica	Chaparia	Pintura	Viatura Saiu?
25-ui-54	26-09-2018	26-09-2018	56	45	78	Sim
23-tt-25	25-09-2018	28-09-2018	23	12	0	Não

Inserir Dados

Apagar Dados

Ordenar Dados

Figura 20- Janela de introdução de dados na importação

No campo da matrícula é inserido o número de serviço atribuído à viatura. Este número é concedido no ato da orçamentação e é disponibilizado no quadro de planeamento Kaizen, no cartão, juntamente com a restante informação do processo da reparação que, por sua vez, vai ser disponibilizada na ferramenta de planeamento.

O quadro Kaizen contém os cartões com as viaturas que vão para orçamentação, as que já estão agendadas, as que já têm o material para a reparação e as que já estão em condições de entrar em produção. A partir do momento em que as viaturas entram para produção é possível priorizá-las e saber quais são as áreas a intervir na viatura. Isto permite ao responsável do planeamento, saber qual a informação a introduzir ou alterar no modelo.

Depois de alocar os trabalhos aos técnicos, a solução é exportada para o Excel, para uma folha com complementos para uma melhor visualização dos resultados. Estes complementos incluem uma tabela com os dados finais, a Tabela 22.

Tabela 22 - Tabela com resultados da exportação

Viatura	Tarefa	Técnico	Duração	Início	Fim

O cronograma da Figura 21 exibe os resultados de uma semana para cada técnico mas devido à extensa dimensão, é apenas mostrado o exemplo para um dia. Os resultados provêm dos dados inseridos na tabela anterior.

Planeamento Oficial																
2ª Feira																
Horas	08:00 - 08:30	08:30 - 09:00	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	10:00 - 10:30	10:30 - 11:00	11:00 - 11:30	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	12:30 - 13:00	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	15:00 - 15:30	15:30 - 16:00
UTs	0 - 6	6 - 12	12 - 18	18 - 24	24 - 30	30 - 36	36 - 42	42 - 48	48 - 54	54 - 60	60 - 66	66 - 72	72 - 78	78 - 84	84 - 90	90 - 96
Mecânica	1															
	2															
	3															
Chaparia	4															
	5															
	6															
Pintura	7															
	8															
	9															
	10															
	11															
	12															

Figura 21 - Exemplo do cronograma com dados exportados

A oficina trabalha cinco dias por semana, oito horas por dia, com o turno da manhã das 8 horas até às 12:30 horas e o turno da tarde das 14 horas até às 17:30 horas. Uma vez que o modelo não contabiliza pausas para lanches e almoços, o horário utilizado foi das 8 horas às 16 horas, um total de 8 horas/96 UTs por dia.

A folha de Excel contempla também uma tabela com a capacidade da oficina para uma semana, por técnico e por equipa, como é possível ver no exemplo da Tabela 23.

Tabela 23 – Exemplo da tabela com as capacidades dos técnicos

		CAPACIDADE				
		2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira
Mecânica	1	35	73	49	0	0
	2	94	96	79	0	0
	3	95	86	25	1	0
Chaparia	4	89	91	43	0	0
	5	94	88	94	0	0
	6	88	77	58	0	0
	7	80	96	22	21	0
Pintura	8	69	95	60	22	0
	9	40	76	83	22	0
	10	26	32	96	22	0
	11	54	96	94	22	0
	12	0	46	95	22	0
Mecânica		224	255	153	1	0
Chaparia		351	352	217	21	0
Pintura		189	345	428	110	0

O gráfico exemplo da Figura 22 é um complemento à informação da tabela anterior para ser mais visível a comparação entre capacidade atual e a capacidade máxima da oficina.

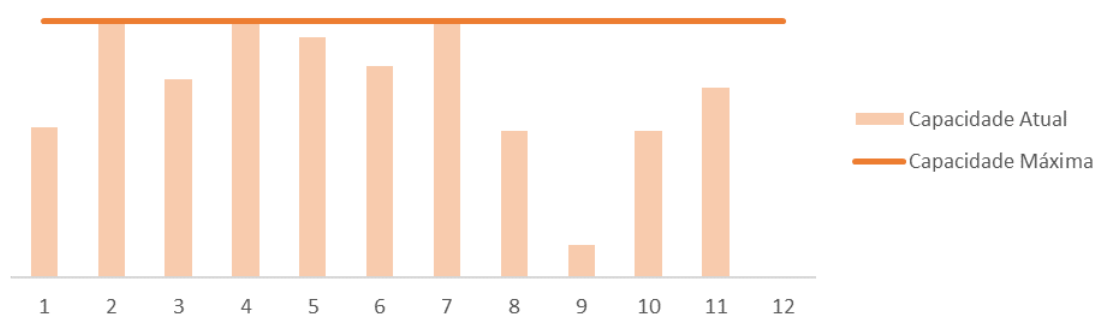


Figura 22 - Exemplos dos gráficos com a capacidade atual vs capacidade máxima dos técnicos

Tendo em conta que todo este processo era realizado a partir de uma tabela numa folha A4, com o conhecimento do responsável pelo setor onde era planeado cada trabalho sem ter a perceção da ocupação real, é possível afirmar que o modelo criado nesta dissertação vai trazer muitas vantagens à empresa. Estas vantagens vão trazer melhorias a nível temporal, tanto no desperdício de tempo por técnico como na espera do cliente pela conclusão da viatura.

CONCLUSÕES

- 5.1 Análise dos resultados obtidos
- 5.2 Limitações, melhorias e propostas de trabalhos futuros

5 CONCLUSÕES

O capítulo final apresenta uma análise geral dos resultados na implementação no CPLEX. São apresentadas também algumas limitações do estudo e sugeridas propostas de melhoria e de trabalhos futuros.

5.1 Análise dos resultados obtidos

A partir da análise da revisão bibliográfica relativamente ao escalonamento de tarefas, foi possível criar um método através de artigos existentes que melhor se enquadravam na realidade oficial.

Com a implementação do algoritmo, verifica-se uma redução no tempo em que a viatura permanece na oficina, bem como a sua eficácia nas tarefas diárias dos técnicos. Esta solução para os agendamentos gera benefícios como redução de custos, ajustamento de carga de trabalho com a capacidade disponível, menor fluxo de clientes no mesmo horário e aumento da produtividade. Qualquer pessoa é capaz de fazer um planeamento semanal das viaturas sinistradas, já orçamentadas, através desta ferramenta.

O algoritmo proposto pode ser considerado eficaz pois na maioria dos casos encontra uma solução que representa uma solução através de uma rápida resolução. Os resultados obtidos foram positivos. O modelo matemático criado com base em dados simples promove a facilidade na gestão do planeamento temporal das viaturas e cumpriu o objetivo principal: automatizar o planeamento no setor da colisão e cumprir os prazos de entrega.

Concluída a análise dos resultados, procede-se com a sugestão de propostas que visem a melhoria do desempenho da oficina.

5.2 Limitações, melhorias e propostas de trabalhos futuros

O modelo não contempla algumas incidências que condicionam a capacidade da oficina como: períodos de férias ou baixas, pausas para lanches e almoços, limpezas de oficina, movimentação de viaturas, ausência e falhas de materiais, reuniões diárias, etc. Para este tipo de ocorrências é necessário diminuir o número de técnicos manualmente no modelo. Também não retrata situações de atraso nos trabalhos devido a algum componente em falta ou falha no orçamento que impossibilite a conclusão do trabalho, o que acontece várias vezes durante a desmontagem de uma viatura. Outra limitação do modelo, é o facto de modelar as equipas como se um técnico se destinasse unicamente a uma função, o que não acontece na realidade.

Contornando estas limitações e procurando ações de melhoria através das mesmas, concluiu-se que a simulação poderia cumprir não só o objetivo delineado como

também quantificar os ganhos em termos de tempo resultantes da implementação destas sugestões. Outro ponto de melhoria a ser ponderado é a escolha da função objetivo, podem ser alterados outros parâmetros como o tempo total, o atraso total, o custo total, que dependendo das restrições delineadas podem ser mais apropriadas do que minimizar o atraso máximo.

Este algoritmo foi implementado numa oficina de colisão mas pode ser testado em todo o grupo. Problemas semelhantes podem ser encontrados no departamento de mecânica, no *Contact Center* ou até mesmo no *BackOffice*, na atribuição de tarefas aos colaboradores de forma a planear a agenda de qualquer área de negócio de forma eficiente. Por fim, pode ainda ser hibridizado com outras técnicas para a possibilidade de alcançar resultados mais otimizados e melhor tempo no futuro.

BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

6 BIBLIOGRAFIA E OUTRAS FONTES DE INFORMAÇÃO

- Aarts, E., & Lenstra, J. K. (1997). Machine Scheduling. *Local Search in Combinatorial Optimization*.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling. Principles of Sequencing and Scheduling*. <https://doi.org/10.1002/9780470451793>
- Brucker, P. (2007). *Scheduling algorithms. Scheduling Algorithms*. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69516-5>
- Demir, Y., & Kürşat İşleyen, S. (2013). Evaluation of mathematical models for flexible job-shop scheduling problems. *Applied Mathematical Modelling*, 37(3), 977–988. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2012.03.020>
- Gonzalez, T., & Sahni, S. (1976). Open Shop Scheduling to Minimize Finish Time. *Journal of the ACM*. <https://doi.org/10.1145/321978.321985>
- Grupo Salvador Caetano. (2017). Retrieved from <http://www.gruposalvadorcaetano.pt>
- Haan, H. De. (2016). Job Shop Scheduling with Metaheuristics for Car Workshops, (July).
- Ilani, H., Shufan, E., & Grinshpoun, T. (2017b). Partially concurrent open shop scheduling with integral preemptions. *Annals of Operations Research*, 259(1), 157–171. <https://doi.org/10.1007/s10479-017-2503-6>
- Jain, A. S., & Meeran, S. (1999). Deterministic job-shop scheduling: Past, present and future. *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00113-1](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00113-1)
- Kerzner, H. (2009). *Project management. a systems approach to planning, scheduling, and controlling*.
- Man, O. (2004). Production and operations management. *Spring*. <https://doi.org/10.3401/poms.1080.0019>
- Mastrolilli, M., Queyranne, M., Schulz, A. S., Svensson, O., & Uhan, N. A. (2010). Minimizing the sum of weighted completion times in a concurrent open shop. *Operations Research Letters*. <https://doi.org/10.1016/j.orl.2010.04.011>
- Ng, C. T., Cheng, T. C. E., & Yuan, J. J. (2003). Concurrent open shop scheduling to minimize the weighted number of tardy jobs. *Journal of Scheduling*. <https://doi.org/10.1023/A:1024284828374>
- Özgüven, C., Özbakır, L., & Yavuz, Y. (2010). Mathematical models for job-shop scheduling problems with routing and process plan flexibility. *Applied Mathematical Modelling*, 34(6), 1539–1548. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2009.09.002>
- Pinedo, M. L. (2012). *Scheduling. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-2361-4>

- Shivasankaran, N., Kumar, P. S., Nallakumarasamy, G., & Raja, K. V. (2013). Repair Shop Job Scheduling With Parallel Operators and Multiple Constraints Using Simulated Annealing. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 6(2), 223–233. <https://doi.org/10.1080/18756891.2013.768434>
- Shivasankaran, N., & Senthilkumar, P. (2014). Scheduling of Mechanics in Automobile Repair Shops Using, 5(2).
- Vaessens, R. (1995). Generalized job shop scheduling: complexity and local search. <https://doi.org/10.6100/IR445114>
- Wagneur, E., & Sriskandarajah, C. (1993). Openshops with jobs overlap. *European Journal of Operational Research*. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(93\)90347-P](https://doi.org/10.1016/0377-2217(93)90347-P)

ANEXOS

7.1 ANEXO 1

7.2 ANEXO 2

7.2 ANEXO 2

Número de entradas de viaturas sinistradas na oficina. Esta informação teve como base as viaturas reparadas apenas no mês de Junho.

Viatura	Data receção das peças	Data de entrada real	Data de conclusão real	Duração real	Tempo mecânica	Tempo chaparia	Tempo pintura
1	2018-04-19	2018-06-01	2018-06-25	17	258	0	0
2	2018-05-14	2018-06-04	2018-06-27	18	20	217	130
3	2018-05-17	2018-06-12	2018-06-18	5	25	0	25
4	2018-05-17	2018-06-21	2018-06-21	1	5	16	0
5	2018-05-23	2018-06-04	2018-06-26	17	30	24	0
6	2018-05-23	2018-06-19	2018-06-29	9	110	52	176
7	2018-05-25	2018-06-01	2018-06-26	18	42	8	0
8	2018-05-29	2018-06-01	2018-06-18	12	8	0	0
9	2018-05-30	2018-06-13	2018-06-19	5	41	0	0
10	2018-06-04	2018-06-18	2018-06-19	2	4	38	63
11	2018-06-04	2018-06-18	2018-06-18	1	0	19	18
12	2018-06-04	2018-06-19	2018-06-20	2	9	14	0
13	2018-06-05	2018-06-12	2018-06-26	11	76	66	61
14	2018-06-05	2018-06-18	2018-06-21	3	5	114	47
15	2018-06-05	2018-06-19	2018-06-19	1	5	10	0
16	2018-06-06	2018-06-18	2018-06-22	5	9	48	57
17	2018-06-07	2018-06-19	2018-06-20	2	0	19	30
18	2018-06-07	2018-06-19	2018-06-22	3	6	42	141
19	2018-06-08	2018-06-14	2018-06-21	6	8	41	190
20	2018-06-11	2018-06-15	2018-06-25	7	8	16	0
21	2018-06-11	2018-06-15	2018-06-18	2	12	0	0
22	2018-06-11	2018-06-20	2018-06-21	2	10	29	22
23	2018-06-11	2018-06-20	2018-06-28	7	12	34	25
24	2018-06-13	2018-06-15	2018-06-28	10	34	51	45
25	2018-06-14	2018-06-18	2018-06-20	3	5	31	82
26	2018-06-14	2018-06-18	2018-06-20	3	3	16	0
27	2018-06-14	2018-06-20	2018-06-27	6	9	164	124
28	2018-06-19	2018-06-20	2018-06-22	3	7	27	28
29	2018-06-19	2018-06-21	2018-06-22	2	4	21	0
30	2018-06-19	2018-06-20	2018-06-21	2	30	14	0
31	2018-06-19	2018-06-20	2018-06-26	5	9	46	45
32	2018-06-19	2018-06-19	2018-06-27	7	34	75	51
33	2018-06-19	2018-06-20	2018-06-20	1	0	0	32
34	2018-06-20	2018-06-21	2018-06-21	1	0	13	0
35	2018-06-20	2018-06-21	2018-06-21	1	7	0	0
36	2018-06-20	2018-06-21	2018-06-21	1	5	14	17
37	2018-06-21	2018-06-21	2018-06-21	1	8	0	0
38	2018-06-21	2018-06-22	2018-06-26	3	19	0	0
39	2018-06-21	2018-06-21	2018-06-21	1	8	0	0
40	2018-06-21	2018-06-22	2018-06-22	1	6	0	0