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

MARIA RIBEIRO DAIBERT

APLICAÇÃO DE METAHEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING EM PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO PARA CONDUTORES EM EMPRESAS DE TRANSPORTE

JUIZ DE FORA
2018

MARIA RIBEIRO DAIBERT

APLICAÇÃO DE METAHEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING EM PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO PARA CONDUTORES EM EMPRESAS DE TRANSPORTE

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

Orientador: D. Sc., Fernando Marques de Almeida Nogueira

JUIZ DE FORA

2018

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

Daibert, Maria Ribeiro.
APLICAÇÃO DE METAHEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING EM PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO PARA CONDUTORES EM EMPRESAS DE TRANSPORTE / Maria Ribeiro Daibert. -- 2018.
113 p.

Orientador: Fernando Marques de Almeida Nogueira
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2018.

1. Simulated Annealing. 2. Planejamento de escalas de trabalho. 3. Crew Rostering. 4. Otimização combinatória. I. Nogueira, Fernando Marques de Almeida, orient. II. Título.

MARIA RIBEIRO DAIBERT

APLICAÇÃO DE METAHEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING EM PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO PARA CONDUTORES EM EMPRESAS DE TRANSPORTE

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

Aprovada em 28 de junho de 18.

BANCA EXAMINADORA

Fernando M A Nogueira

D. Sc., Fernando Marques de Almeida Nogueira

Universidade Federal de Juiz de Fora

D. Sc., Eduardo Pestana de Aguiar

Universidade Federal de Juiz de Fora

D.Sc., Roberto Malheiros Moreira Filho

Universidade Federal de Juiz de Fora

AGRADECIMENTOS

À minha família, Geraldo, Rita e Matheus, pelos ensinamentos diários e por sempre acreditarem em mim e me apoiarem em todas as minhas decisões.

Aos meus professores, que contribuíram nesta jornada, compartilhando seu conhecimento e experiência e me ensinando sobre a arte de resolver problemas que é a Engenharia. Em especial ao meu orientador Fernando Nogueira, por toda paciência e incentivo na busca pelo saber.

Aos meus amigos da faculdade, pelo companheirismo e todos os momentos vividos. Sem vocês, esta não teria sido uma das melhores fases da minha vida.

A todos amigos e familiares que sempre torceram por mim e contribuíram de alguma forma para que eu concluísse mais esta etapa.

RESUMO

A mão-de-obra é um dos recursos mais críticos em diversas indústrias, e por isso, sua gestão e o planejamento de escalas de trabalho são assuntos onde as organizações empregam seu tempo e investimentos. Ao definir escalas de trabalho, diversos requisitos devem ser observados como, demanda, custos de funcionários fixos e temporários, leis trabalhistas, acordos coletivos, entre outros. Por possuírem diversas restrições, o planejamento de escalas de trabalho pode ser resolvido a partir de técnicas de otimização, que buscam encontrar a melhor forma de organizar as atividades de funcionários das empresas. Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica acerca do problema de planejamento de escalas de trabalho e suas subcategorizações, como tem sido abordado e resolvido por pesquisadores, sua complexidade e principais áreas de aplicação. Além disso, o trabalho apresenta uma abordagem de resolução para o subproblema de sequenciamento de tarefas, numa escala cíclica, dentro do contexto de empresas de transporte, onde as tarefas compreendem viagens a serem realizadas, e os funcionários são os condutores dos veículos. Esta etapa é conhecida como *Crew Rostering*. A técnica utilizada na busca de soluções é a metaheurística *Simulated Annealing*, um algoritmo de aproximação de busca local, usado na busca de soluções aproximadas da ótima, em problemas de otimização combinatória, em tempos computacionalmente viáveis.

Palavras-chave: Planejamento de escalas de trabalho, *Crew Rostering*, *Simulated Annealing*, otimização combinatória.

ABSTRACT

Manpower is one of the most critical resources in many industries. Therefore, its management and the manpower rostering planning are matters the companies spend their time and money with. Many requirements must be attended in creating manpower rosters, like meeting the demand, weighing the cost of fix and temporary labour force, attending labour laws and collective agreements. Due to the big number of different requirements, manpower rostering problems can be solved using optimization techniques, which seek for the best ways to organize activities and labour in companies. This work presents a literature review for the manpower rostering problems and its subproblems, which comprehends how the problem has been approached and solved among researchers, its complexity and application areas. This work also presents a solving approach for the Crew Rostering phase, in which activities are scheduled in a cyclic roster, within the context of transportation companies. The activities are roundtrips and the employees are vehicle conductors. The method used is the metaheuristic Simulated Annealing, which is an approximation local search algorithm, commonly used in combinatorial optimization in the search for viable and good solutions, in a viable amount of time.

Keywords: Manpower Rostering, Crew Rostering, Simulated Annealing, Combinatorial Optimization.

LISTA DE FIGURAS

Fluxograma 1: Inputs e outputs do modelo 33
Fluxograma 2: Algoritmo com aplicação do Simulated Annealing 40
Fluxograma 3: Algoritmo guloso 44

Gráfico 1: Tempo de processamento x Nº de viagens 49
Gráfico 2: Melhoria da solução x Nº de viagens 50
Gráfico 3: Custo final x Nº de iterações para T2 51
Gráfico 4: Custo final x Nº de iterações para T3 51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Cronograma de desenvolvimento 15
Tabela 2: Exemplo de timetable fixa 33
Tabela 3: Parâmetros de timetable dinâmica 34
Tabela 4: Cálculos dos parâmetros da timetable dinâmica 34
Tabela 5: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica 34
Tabela 6: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica 35
Tabela 7: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica 35
Tabela 8: Resultados dos testes em Custo final e Tempo de processamento 45
Tabela 9: Timetable final para T1 46
Tabela 10: Escala final para T1 47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 11

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS 11
1.2 JUSTIFICATIVA 12
1.3 ESCOPO DO TRABALHO 13
1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS 13
1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA 14
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO 14
1.7 CRONOGRAMA 15

2. O PLANEJAMENTO DE ESCALAS DE TRABALHO 16

2.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO 16
2.1.1 CLASSIFICAÇÃO 16
2.1.2 ESCALAS CÍCLICAS *VERSUS* ESCALAS INDIVIDUALIZADAS 18
2.2 ÁREAS DE APLICAÇÃO E RELEVÂNCIA 19
2.3 COMPLEXIDADE DO PROBLEMA 21
2.4 MÉTODOS EMPREGADOS NA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA 22
2.5 O PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO EM EMPRESAS DE TRANSPORTE 25

3. META-HEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING 28

3.1 ANALOGIA AO PROCESSO DE RECOZIMENTO DE MATERIAIS 29

4. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA 31

5. ELABORAÇÃO DO MODELO 33

5.1 PARÂMETROS: TIMETABLE FIXA E DINÂMICA 33
5.2 RESTRIÇÕES: FOLGA SEMANAL 35
5.3 CUSTO: HORA PARADA 36
5.4 SIMULATED ANNEALING APLICADO AO MODELO 37
5.4.1 DEFINIÇÃO DA TEMPERATURA INICIAL 40

5.4.2 GERAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES VIZINHAS 41
5.5 OUTPUTS DO MODELO 42

6. ANÁLISE: SIMULATED ANNEALING E ALGORITMO GULOSO 42

6.1 ELABORAÇÃO DO ALGORITMO GULOSO 43
6.2 DADOS PARA TESTES 44

7. RESULTADOS 45

7.1 TEMPO DE PROCESSAMENTO X NÚMERO DE VIAGENS 48
7.2 MELHORIA DA SOLUÇÃO X NÚMERO DE VIAGENS 49
7.3 NÚMERO DE ITERAÇÕES X MELHORIA DA SOLUÇÃO 50

8. CONCLUSÃO 52

A - DADOS DOS TESTES 57
B – TIMETABLES E ESCALAS FINAIS 61
C – GRÁFICOS 108

1. INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A mão-de-obra é um dos recursos mais críticos em diversas indústrias, e por isso, sua gestão e formas de empregar, alocar e sequenciar atividades de trabalho são assuntos onde as organizações empregam seu tempo e investimentos. Estas atividades fazem parte do processo de planejamento de escalas de trabalho, cuja relevância é diretamente relacionada ao dia-a-dia das operações das empresas, uma vez que envolvem o cumprimento de todos os requisitos legais e de pessoal para atendimento de todas as suas demandas internas e externas. (KHOONG; LAU; CHEW, 1994)

Alguns dos requisitos que as empresas devem considerar ao criar escalas de trabalho são: quantidade de demanda, quantidade de pessoas necessárias para atender às demandas, possibilidade de contratação de trabalhadores temporários e casuais e seus custos, competências e habilidades específicas para realização de tarefas, períodos de descanso, folgas, finais de semana e férias, leis trabalhistas sobre as condições de trabalho, acordos entre as empresas, seus funcionários e sindicatos, distribuição equitativa de trabalho entre funcionários, preferências pessoais dos trabalhadores e níveis de satisfação, recursos complementares como máquinas e ferramentas, consecutividade de tarefas, entre outros. (VAN DEN BERGH *et al*., 2013)

Os problemas de geração de escalas de trabalho são geralmente modelados como problemas de otimização, e por possuírem diversas restrições e fatores a serem obedecidos, se tornam problemas complexos e com grande volume de variáveis. Por este motivo, eles têm sido abordados em muitas pesquisas dentro da área da Pesquisa Operacional, que buscam encontrar métodos e formas de solucionar o problema de forma eficiente, rápida e com qualidade. (LAU, 1996)

Segundo a Associação Brasileira de Engenharia de Produção, a Pesquisa Operacional é a área que se dedica à resolução de problemas reais que envolvem tomadas de decisão e são geralmente resolvidos através de modelos matemáticos processados computacionalmente. Seus modelos buscam introduzir elementos objetivos no processo de tomada de decisão, sem descuidar dos elementos subjetivos e contexto organizacional dos problemas. (ABEPRO, 2017) Este é o caso do problema de geração de escalas de trabalho.

Este trabalho apresenta uma revisão bibliográfica acerca dos subproblemas que existem dentro da área de geração de escalas de trabalho, a forma como eles são abordados e resolvidos, a complexidade do problema e suas principais áreas de aplicação.

Além disso, este trabalho apresenta a implementação do algoritmo metaheurístico *Simulated Annealing* para a resolução da etapa de construção de escala cíclica de viagens, dentro do processo de construção de escalas de trabalho para condutores em empresas de transporte, de forma a minimizar o número de horas paradas entre o término de um turno de trabalho e início de outro, já que os turnos são condicionados pelas durações das viagens ou grupamentos de pernas de viagens.

1.2 JUSTIFICATIVA

O planejamento de mão-de-obra é uma atividade inerente a qualquer empresa. No contexto atual, as empresas buscam serem eficientes em custos e atenderem às suas demandas, de forma a satisfazer todas as partes envolvidas, que incluem seus clientes, a sociedade em que estão inseridas e seus funcionários. O presente trabalho é uma contribuição para os estudos de gestão de recursos humanos, na medida em que trata de um assunto comum, através de abordagens matemáticas, a fim de buscar as melhores soluções que possam trazer esta satisfação.

Este trabalho também contribui ao trazer mais luz ao problema de planejamento de escala de serviços, à sua relevância dentro do contexto organizacional e às suas formas de abordagem, dada sua natureza de difícil resolução. Seu teor também permite estimular mais estudos sobre o tema, principalmente para profissionais nas áreas de atuação da Engenharia de Produção, já que o desenvolvimento de softwares de otimização para problemas como este é um serviço encontrado nos escopos de atividades de grandes corporações, como a IBM. (“IBM ILOG CPLEX Optimization Studio”, 2018)

Além disso, este trabalho permite a ampliação do conhecimento na área da Pesquisa Operacional, já que seu desenvolvimento implica na implementação de algoritmo que traga soluções boas e viáveis na criação das escalas de trabalho, podendo contribuir como base para protótipos de ferramentas de suporte na gestão de mão-de-obra.

1.3 ESCOPO DO TRABALHO

O escopo deste trabalho subdivide-se em duas grandes etapas:

1. Pesquisa acerca do planejamento de escalas de trabalho, encontrado na literatura sob o nome de *Personnel Scheduling and Rostering*, identificando suas classificações, tipos de problemas estudados, áreas mais relevantes de aplicação e métodos matemáticos computacionais mais utilizados na resolução de seus problemas.
2. Apresentação de modelo computacional para resolução de problema hipotético da etapa de *Crew Scheduling*, que compreende o sequenciamento de viagens, criando assim uma escala cíclica para condutores de veículos, dentro do contexto de empresas de transporte. O modelo computacional utiliza o método metaheurístico *Simulated Annealing* para busca de solução viável de boa qualidade dentro de tempo computacional viável e a comparação com um método alternativo que não busca por soluções otimizadas. Os dados utlizados nas análises de ambos os modelos buscam simular o contexto de uma empresa que realiza viagens longas, porém são hipotéticos devido à dificuldade de encontrar dados de *benchmark* para as condições utilizadas neste trabalho.

1.4 ELABORAÇÃO DOS OBJETIVOS

O trabalho possui o objetivo principal de apresentar um algoritmo para o planejamento de escala de trabalho para condutores em empresas de transportes genéricas, de forma a encontrar soluções viáveis operacionalmente e legalmente, e otimizadas para a redução de custos.

Os objetivos secundários deste trabalho consistem em:

- Ampliar o conhecimento a respeito de técnicas de algoritmos empregadas na resolução de problemas de planejamento de escala de trabalho;
- Contextualizar o problema e a relevância do planejamento de escala de trabalho para a área de Pesquisa Operacional dentro da Engenharia de Produção.

1.5 DEFINIÇÃO DA METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho é de natureza aplicada, pois apresenta uma proposta de solução de um problema prático a partir da investigação de conceitos teóricos sobre o assunto.

Os objetivos da pesquisa são exploratórios e descritivos, pois partem da investigação de conceitos já estudados em problemas similares para identificar possíveis abordagens de resolução do problema. O trabalho é desenvolvido a partir de uma revisão bibliográfica sobre o planejamento de escalas de trabalho, como o problema é classificado e categorizado, quais são seus subproblemas associados, qual é seu contexto de utilização dentro das empresas e sua relevância para elas, quais são suas dificuldades e como o problema tem sido abordado e resolvido, através de investigação em pesquisas realizadas nos últimos anos.

A abordagem do trabalho é quantitativa, pois é elaborado um modelo computacional para a resolução do problema cujos resultados são analisados em termos de sua performance.

O modelo computacional desenvolvido utiliza a metaheurística *Simulated Annealing* como método de busca por soluções viáveis de boa qualidade, dentro de tempo computacional viável e aceitável. Além disso, para fins de comparação, desenvolveu-se um modelo alternativo, denominado guloso, que busca simular o comportamento intuivo ao criar-se uma escala de trabalho manualmente, sem recursos computacionais.

Os dados utilizados nas análises comparativas de ambos os modelos tentam representar a realidade de empresas de transporte que trabalham com viagens longas. No entanto, todos os dados são hipotéticos devido à dificuldade de encontrar na literatura dados para *benchmark* com as mesmas condições utilizadas neste trabalho. Como o problema do planejamento de escalas de trabalho é muito amplo e pode variar bastante em termos de restrições e requisitos, diversas abordagens podem ser feitas. Não foi encontrado na literatura trabalho que utilizasse a mesma etapa de *Crew Rostering* com a mesma restrição, que são referentes às horas de trabalho, para que fosse feita uma comparação de resultados.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

Capítulo 1: Introdução ao tema a ser pesquisado e desenvolvido, bem como suas principais delimitações, objetivos, justificativas, metodologias e cronograma.

Capítulo 2: Revisão bibliográfica acerca do problema de planejamento de escalas de trabalho, sua contextualização na indústria, sua relevância, suas dificuldades, métodos

encontrados na literatura para a resolução do problema e características do problema para o contexto de empresas de transporte.

Capítulo 3: Revisão bibliográfica sobre o método utilizado para a construção do modelo neste trabalho, a metaheurística *Simulated Annealing*.

Capítulo 4: Delimitação do problema abordado neste trabalho, dentro do contexto do planejamento de escalas de trabalho para empresas de transporte, bem como seus inputs e outputs.

Capítulo 5: Definição dos parâmetros, restrições e custos utilizados como inputs do modelo, passo-a-passo do modelo construído bem como suas respectivas definições e explicações e apresentação dos outputs do modelo.

Capítulo 6: Apresentação do algoritmo guloso, usado na comparação de performance com o modelo com aplicação do *Simulated Annealing* e estruturação dos testes realizados com ambos os algoritmos.

Capítulo 7: Apresentação, comparação e análise dos resultados obtidos com os testes para ambos os algoritmos.

Capítulo 8: Considerações finais sobre os resultados obtidos, conclusão do trabalho e elaboração de sugestões de desenvolvimento de trabalhos futuros neste tema.

1.7 CRONOGRAMA

Tabela 1: Cronograma de desenvolvimento

Etapa	Mês	Março		Abril		Maio		Junho	
	Quinzena	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª	1ª	2ª
1	Escolha do tema da pesquisa	x							
2	Revisão da literatura	x	x						
3	Desenvolvimento do Memorial de Qualificação			x	x				
5	Desenvolvimento do algoritmo					x	x		
6	Simulações do algoritmo						x		
7	Consolidação e análise dos resultados							x	
8	Apresentação do Memorial de Qualificação								x
9	Apresentação do Trabalho de Conclusão de Curso								x

2. O PLANEJAMENTO DE ESCALAS DE TRABALHO

2.1 CONCEITOS E CLASSIFICAÇÃO

Na literatura pesquisada, o planejamento de escalas de trabalho é encontrado sob a nomenclatura de *Personnel Scheduling and Rostering,* que pode ser livremente traduzida por Agendamento e Escalação de Mão-de-Obra. Segundo Ernst et al. (2004), o *Personnel Scheduling and Rostering* é definido como o processo de construção de horários de trabalho para funcionários, para que a organização possa atender às demandas de seus bens e serviços. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

Dentro das empresas, o resultado do processo de construção destes horários é a alocação de tarefas a pessoas, de forma que todos os fatores operacionais, legais e organizacionais sejam atendidos. Alguns destes fatores são: demandas diferentes ao longo do tempo, qualificação e competências dos funcionários para as tarefas a serem executadas e acordos entre a empresa e seus funcionários. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004) Outro fator que também tem sido considerado relevante nas organizações nas últimas décadas, diferentemente de quando o problema de planejamento de escalas de trabalho foi primeiramente apresentado por Edie e Dantzig, em 1954, apud (VAN DEN BERGH *et al*., 2013) é a importância da satisfação de preferências individuais do trabalhador. Portanto, esta é também uma consideração que busca ser atendida durante o planejamento de escalas de trabalho. (VAN DEN BERGH *et al*., 2013)

2.1.1 Classificação

Algumas classificações do problema de planejamento de escalas de trabalho podem ser encontradas na literatura, conforme indicado por Ernst et al. (2004), no mesmo trabalho em que apresenta sua proposta de classificação, o artigo *Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models*. O presente trabalho usará a classificação proposta por Ernst et al. (2004). (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

Segundo a proposta de Ernst et al. (2004), o problema de planejamento de escalas de trabalho pode ser dividido em seis módulos gerais, que estão associados ao processo sequencial de construção das escalas. Eles ainda ressaltam que, apesar do formato sugerir o desenvolvimento de todos os módulos, isto não é necessário. É possível desenvolver módulos

individuais do planejamento de escalas, quando as outras etapas são pré-definidas e consideradas como inputs dos dados do modelo, ou desenvolver mais de um módulo de forma combinada.

Os seis módulos são:

- Modelagem da demanda: compreende a identificação do número de funcionários necessários ao longo do tempo, através do levantamento da demanda de bens e serviços, tradução desta demanda em atividades a serem realizadas e quais são os requisitos de mão-de-obra necessários para a realização destas atividades. Ernst et al. (2004) também subclassifica este módulo em três possíveis cenários para a modelagem da demanda: baseada em tarefas, baseadas em turnos e flexível. A primeira consiste em demandas que vêm de listas de tarefas pré-definidas a serem realizadas, como em empresas de transporte, onde existe uma agenda de viagens já pré-determinadas. A segunda consiste em demandas de acordo com a necessidade de pessoas já identificada para determinado turno de trabalho, como equipes multifuncionais que devem estar de plantão em uma ambulância. E a última compreende situações onde a demanda é dinâmica ao longo do horizonte de planejamento, como a quantidade de solicitações que chegam em um *call center*.
- Agendamento de dias de folga: compreende a determinação de como os dias de folga serão intercalados entre os períodos de trabalho, de acordo com as leis, políticas e acordos vigentes no país e na empresa.
- Agendamento de turnos: compreende a determinação de quais serão os turnos de trabalho e a quantidade de funcionários em cada turno, de forma a atender a demanda já identificada, respeitando a distribuição das folgas. Para demandas baseadas em tarefas, o objetivo é criar turnos que agrupem atividades ou que sejam formados por segmentos de uma atividade, de forma que todas as atividades sejam cobertas.
- Construção de linhas de trabalho: compreende o sequenciamento de blocos de trabalho e dias de folga ao longo do horizonte de planejamento para cada funcionário. Um bloco de trabalho pode ser um turno ou uma sequência já definida de períodos de trabalho e descanso. Uma das escolhas ao construir

linhas de trabalho consiste em definir se esta será cíclica ou individual. Esta diferenciação será abordada no próximo subitem deste trabalho.

- Atribuição de tarefas: Envolve a especificação das tarefas a serem realizadas em cada turno, de acordo com as habilidades necessárias em cada uma ou outras particularidades. Em casos de demanda baseada em tarefas, como é o caso das empresas de transporte, a atribuição de tarefas deixa de fazer sentido, pois os turnos de trabalho já foram gerados de acordo com as tarefas pré-determinadas.
- Atribuição de mão-de-obra: Envolve a atribuição de linhas de trabalho para cada funcionário, de acordo com todas as especificidades que já foram definidas e que ainda podem ser incorporadas, como a preferência pessoal dos funcionários.

2.1.2 Escalas cíclicas *versus* escalas individualizadas

Segundo Khoong et al. (1994), ao sequenciar turnos ou outros blocos de trabalho na construção de linhas de trabalho, os modelos caem em dois tipos de desenho destas linhas, que são chamadas de escalas cíclicas e escalas individualizadas. (KHOONG; LAU; CHEW, 1994)

Em uma escala cíclica, todos os funcionários de uma determinada classe executam a mesma linha de trabalho, porém com datas de início diferentes para cada primeiro turno. É uma prática comum para situações onde a demanda se repete ao longo do tempo, como em empresas de transporte, onde geralmente há um quadro de viagens que se repetem diária, semanal ou mensalmente. O uso de escalas cíclicas também faz parte da estratégia de balancear a carga de trabalho entre o pessoal. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004) Como observado por Constantino, após um período de tempo igual ao número de funcionários, todos terão cumprido a mesma sequência de trabalho e de folgas. A única diferença consiste no momento de execução destas atividades. Portanto, a carga de trabalho será uniformemente distribuída entre os funcionários. (CONSTANTINO, 1997)

Em escalas individualizadas, cada funcionário possui uma linha de trabalho única. Em cada novo planejamento, uma nova linha de trabalho é gerada e depende da linha de trabalho atual e da anterior atribuída a esse funcionário. (KHOONG; LAU; CHEW, 1994) O uso de escalas individualizadas é comum em casos onde a demanda flutua ao longo do tempo

e quando os turnos possuem horários de início e durações diferentes. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

2.2 ÁREAS DE APLICAÇÃO E RELEVÂNCIA

Desde que o problema de alocação de tarefas a pessoas foi apresentado por Edie, em 1954, apud (VAN DEN BERGH *et al*., 2013) a fim de identificar a necessidade de operadores para cabines de pedágio e a solução foi proposta por Dantzig, também em 1954, apud (VAN DEN BERGH *et al*., 2013) muitos trabalhos sobre o assunto foram desenvolvidos. (EDIE, 1954) (DANTZIG, 1954). Em 2004, Ernst et al. compilaram, em seu trabalho intitulado *An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering*, cerca de 700 artigos sobre o tema. Nesta revisão, eles propuseram três classificações diferentes sobre os trabalhos realizados: acerca do tipo do problema estudado, de sua área de aplicação, e do método implementado em sua solução. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004) Este artigo é fonte primária de informações gerais para este trabalho e será referenciado nesta e nas próximas seções desta revisão bibliográfica. Um segundo trabalho de mesmo cunho foi apresentado em 2013, por Van den Bergh et al., com a compilação e classificação de cerca de 290 artigos publicados de 2004 a 2013 sobre o tema. Este também será referenciado nesta revisão bibliográfica. (VAN DEN BERGH *et al*., 2013) É importante ressaltar que as classificações de ambas as publicações possuem elementos semelhantes e por isso serão abordadas conjuntamente neste trabalho.

Uma das classificações usadas por ambos os autores citados acima é a área de aplicação do estudo, isto é, em que tipo de indústria e empresas os artigos se dedicaram na resolução de problemas de planejamento de escalas de trabalho. Van den Bergh et al. (2013) chegaram em seis grandes grupos de aplicações do planejamento de escala de trabalho: serviços, transportes, manufaturas, varejo, atividades militares e gerais. O último agrupa todos os trabalhos que não foram alocados dentro dos outros grupos.

A parte mais significativa dos artigos relacionados por Van den Bergh et al. (2013) estão dentro da categoria de *Nurse Rostering*, que é o estudo do agendamento da atividade de enfermeiros em hospitais. Este também é um grupo muito relevante encontrado no trabalho de Ernst et al. (2004). Segundo este, *Nurse Rostering* é um tópico amplamente estudado devido à

importância do sistema de saúde, à dificuldade das atividades envolvidas e à necessidade de considerar as preferências individuais dos trabalhadores para obter escalas de boa qualidade.

Das diferenças encontradas ao comparar ambos os estudos, Van den Bergh et al. (2013) cita a discrepância entre o número de trabalhos sobre empresas de transporte, que em seu estudo apareceram com menor frequência. Em 2004, cerca de metade dos artigos estudados por Ernst et al. (2004) eram de aplicação em empresas de transporte, sendo as de ônibus as mais estudadas, seguidas pelas companhias aéreas, companhias ferroviárias e transporte de massa, que são associados aos transportes urbanos, como o metrô. Segundo Ernst et al. (2004), este resultado se deve ao impacto da mão-de-obra nos custos destas empresas e nas economias de escala, dados que geralmente são empresas de grandes números. Mais informações acerca das empresas de transporte serão apresentadas em subitem à frente neste trabalho.

Outra área de relevância também bastante encontrada e citada em ambos os estudos é a dos *call centers*. Devido à grande flutuação de demanda natural da atividade, os estágios iniciais de previsão de demanda e modelagem dos requisitos de pessoal são essenciais no planejamento de mão-de-obra destas empresas. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Além da grande variedade de estudos na área de planejamento de escalas de trabalho e das aplicações em diferentes áreas e tipos de empresa, que demonstram sua relevância para as empresas, é importante ressaltar o fator econômico como o direcional para o desenvolvimento de toda esta pesquisa. Para muitas empresas, despesas com mão-de-obra representam o maior percentual dentro de suas estruturas de custos. Uma redução neste custo, através de gestão mais eficiente dos recursos humanos, mesmo que em poucos pontos percentuais, é de grande valor para a contabilidade das empresas. (VAN DEN BERGH *et al*., 2013)

O planejamento de escalas de trabalho também é relevante no sentido de que muitas restrições devem ser atendidas e o planejamento manual (sem uso de técnicas de otimização) não somente traz resultados pouco satisfatórios, como também é pouco eficiente. Portanto, o uso de modelos matemáticos computacionais para geração destas escalas traz benefícios como cargas de trabalho mais equitativas, evitando possíveis incidentes decorrentes de trabalhadores sobrecarregados e cansados, maior nível de satisfação dos funcionários que pode ser refletido em aumento de produtividade, além de mais eficiência no uso do recurso tempo da empresa. (CONSTANTINO, 1997)

Outro elemento também relevante é a grande competitividade entre as empresas. Portanto, atender à demanda de seus clientes, de forma rápida, eficiente e com qualidade é considerado um fator importante. A boa gestão de recursos humanos não somente permite eficiências em custos, como também representa melhorias na prestação de seus serviços ou vendas de produtos, o que consequentemente eleva a percepção de seu valor por parte de seus consumidores. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

2.3 COMPLEXIDADE DO PROBLEMA

Segundo Lau (1996), os problemas de criação de escalas de trabalho são usualmente modelados computacionalmente como problemas de otimização, onde o objetivo é encontrar a escala de funcionários com menor custo, e que atenda a todas as restrições desejadas. (LAU, 1996)

Problemas de otimização são aqueles onde há a busca por um grupo de variáveis que configurem a melhor solução para determinados objetivos. Dentro dos problemas de otimização, encontram-se aqueles denominados de problemas de Otimização Combinatória. Eles compreendem a busca por uma solução que atinja um objetivo dentro de um conjunto de soluções viáveis, que são todas aquelas que respeitam as restrições do problema. (BLUM; ROLI, 2003)

Para resolver problemas de otimização combinatória, muitos algoritmos foram desenvolvidos. Eles podem ser classificados em NP-completo ou de aproximação. Algoritmos NP-completo garantem a descoberta de uma solução ótima para um domínio finito de soluções viáveis. Porém, dentre os NP-completo, existem os problemas chamados de NP-hard, que apesar de garantirem a descoberta da solução ótima, não conseguem realizá-la em tempo polinomial, o que implica em tempos exponenciais de resolução que são impossíveis de serem resolvidos computacionalmente na prática. Por isso, os algoritmos de aproximação ficaram famosos entre pesquisadores. Esses implicam em sacrificar a busca pela solução ótima para buscar soluções consideradas de boa qualidade, em tempos significativamente menores. (BLUM; ROLI, 2003)

Como já mostradas no subitem 2.1.1 deste trabalho, a quantidade de restrições possíveis de serem consideradas na criação das escalas de trabalho pode ser grande e complexa. Logo, esses são considerados problemas complexos, onde muitos de seus

subproblemas caem no espectro dos problemas de Otimização Combinatória. Por isso, pesquisadores na área da Pesquisa Operacional têm investigado abordagens tanto sequenciais quanto combinadas. Uma das abordagens é através da modelagem do problema de *Personnel Scheduling and Rostering* como um problema de programação linear inteira. Porém, dados o tamanho e complexidade da formulação resultante, tornam-se inviáveis de serem resolvidos desta forma. (LAU, 1996)

Trabalhos que buscam analisar tanto a complexidade dos problemas de *Personnel Scheduling and Rostering*, quanto de alguns de seus casos específicos, podem ser encontrados em Lau, 1996 e Peter Brucker et al., 2011. Ambos buscam provar matematicamente a intratabilidade de problemas de geração de escalas de trabalho com técnicas de enumeração (análise exaustiva de todas as soluções possíveis do domínio) e sugerem combinações de tipos de algoritmos para a resolução dos problemas. (LAU, 1996) (BRUCKER; QU; BURKE, 2011) O próximo item desta revisão bibliográfica trata sobre alguns métodos e abordagens utilizados na literatura.

2.4 MÉTODOS EMPREGADOS NA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA

Como já evidenciado neste trabalho, existem diversas classificações e categorizações dos subproblemas existentes dentro do universo do planejamento de escalas de trabalho. Esta é uma estratégia que permite dividir um grande problema em problemas menores, que resultam em mais possibilidades de abordagens. Em seu estudo, Lau (1996) cita algumas formas de abordagens destes subproblemas, como buscas heurísticas de soluções de alocação de turnos de viagens para condutores de ônibus e técnicas de otimização de redes para encontrar o número ideal de funcionários para cada turno. (LAU, 1996) Ernst et al. (2004) e Van den Bergh et al. (2013) também categorizam os artigos estudados em seus trabalhos de acordo com os métodos de solução empregados nos subproblemas *de Personnel Scheduling and Rostering* pelos autores. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Alguns métodos e agrupamentos de métodos encontrados tanto no trabalho de Ernst et al. (2004) quanto no de Van den Bergh et al. (2013) serão evidenciados nos próximos parágrafos. É importante ressaltar que as abordagens são muitas vezes usadas em conjunto na solução de um problema maior ou dentro de problemas específicos de geração de escalas de

trabalho. Algumas destas especificidades serão relacionadas aqui, porém elas não são restritivas, de forma que outros trabalhos não analisados podem ter desenvolvido diferentes abordagens para o mesmo problema e que não foram considerados.

Um método de abordagem do problema de *Personnel Scheduling and Rostering* é a programação matemática, que é um método exato. Ela envolve a formulação como um problema de programação linear, programação linear inteira ou uma combinação de ambos.

Uma das formulações que utiliza programação linear inteira em sua resolução é a formulação através do *set cover*. Apresentada por Dantzig, em 1954, apud (VAN DEN BERGH *et al*., 2013) e cujo objetivo é cobrir toda a demanda por mão-de-obra, ela é amplamente usada pelos pesquisadores. No entanto, devido ao grande número de variáveis e restrições que podem ser consideradas, acabam tornando-se problemas muito grandes para serem resolvidos somente com os métodos de programação linear inteira. Então, métodos de decomposição são usados para decompor o problema em dois subproblemas: um a ser resolvido por um método exato e outro a ser resolvido por um método heurístico. (VAN DEN BERGH *et al*., 2013)

Dentre os métodos de decomposição que são usados na resolução do *set cover*, Ernst et al. (2004) destacam o *column generation*, que é uma técnica de relaxamento do problema, isto é, a transformação de um problema maior em problemas menores que podem ser resolvidos de forma mais rápida separadamente. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Um outro método exato é chamado de *set partioning*. Ele deriva do *set cover*, porém se diferencia na medida em que seu objetivo passa a ser cobrir toda a demanda por mão-de-obra, porém permitindo que na solução existam demandas descobertas ou funcionários ociosos. Para permitir esta formulação, são incluídas penalidades à função objetivo para estas variáveis. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Ainda dentro dos métodos de programação matemática, é citado o relaxamento de Lagrange. Esta é uma forma de simplificar o problema ao transformar algumas restrições em penalidades da função objetivo, fazendo assim com que o problema seja resolvível pelas técnicas usadas em programação inteira. Algumas destas técnicas são os algoritmos *Branch and Bound*, *Branch and Price* e *Branch and Cut*. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Outra forma de abordagem do problema de geração de escalas de trabalho é através da implementação de algoritmos de aproximação com heurísticas construtivas e de busca local.

Heurísticas construtivas são aquelas que criam soluções inteiras a partir da adição de elementos à uma solução parcial. Já as heurísticas de busca local funcionam partindo de alguma solução inicial do problema e buscando iterativamente no espaço de soluções vizinhas a esta uma solução melhor que possa substituir a atual. Por serem algoritmos de aproximação, eles não garantem encontrar a solução ótima do problema, porém chegam em soluções boas em espaços de tempo relativamente curtos. (BLUM; ROLI, 2003)

Uma variação dos algoritmos de heurísticas são aqueles denominados metaheurísticas, e são encontradas em métodos de resolução do problema de escalas de trabalho. Eles também são algoritmos de busca local, porém possuem estratégias mais complexas de movimentos dentro do espaço de soluções, a fim de explorar esse domínio de forma mais efetiva e eficiente. (BLUM; ROLI, 2003) São geralmente inspiradas em fenômenos que ocorrem na natureza. Algumas metaheurísticas encontradas na resolução de problemas de geração de escalas de trabalho são *Simulated Annealing*, *Tabu Search*, *Ant Colony*, *Genetic Algorithms*, *Iterated Local Search*, *Neural Networks* e *Greedy Random Adaptive Search Procedure*. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004) A próxima seção do presente trabalho apresenta mais detalhes a respeito do método *Simulated Annealing*, a técnica utilizada na construção do modelo de resolução do problema aqui abordado.

Uma tendência que também foi percebida nos trabalhos foi a de uso da CLP, ou *Constraint Logic Programming*. Segundo Ernst et al. (2004), esta é uma tecnologia usada para resolver problemas complexos de combinatória, que delimita o problema a partir de regras associadas a cada variável, criando assim um domínio de valores possíveis para cada uma. É usada quando o número de variáveis é tão grande que é difícil escrever o problema em equações matemáticas que satisfaçam a todas as restrições desejadas. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Em artigos que envolvem estudos da modelagem da demanda, foi identificado o uso de técnicas de Simulação e Teoria das Filas. Ambas utilizam representações do comportamento real do sistema a fim de usar a modelagem computacional para prever o comportamento da demanda, e assim criar a demanda de pessoal associada. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

Outras abordagens também foram identificadas, como o uso de Inteligência Artificial e *Expert Systems*, que é quando algoritmos tentam imitar o processo de tomada de decisão dos humanos: aprender, analisar, corrigir. Uma das técnicas de Inteligência Artificial que é usada é a *Fuzzy Logic*. Por fim, também foi citado o método de Enumeração, que é usado em

problemas mais simples. Ele consiste na exploração exaustiva de todo o espaço de soluções a fim de encontrar a melhor solução. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

É importante ressaltar que muitos destes métodos citados são usados de forma combinada para os diferentes tipos de problemas dentro da grande categoria de geração de escalas de trabalho, e ainda que diferentes métodos podem ser usados em diferentes fases do processo. É comum também, ao usar um determinado método num problema, criar-se problemas derivados que são mais bem resolvidos com o uso de outros métodos.

O próximo capítulo desta revisão bibliográfica compreende algumas especificidades encontradas em empresas de transporte, que são o foco do presente trabalho, tanto em termos de quais métodos de resolução são mais utilizados em empresas deste tipo, quanto quais e como diferentes fases do problema são abordadas.

2.5 O PROBLEMA DE GERAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO EM EMPRESAS DE TRANSPORTE

Conforme apresentado no subitem 2.2 deste trabalho, cerca de metade dos 700 artigos analisados por Ernst et al. (2004) em sua Revisão Bibliográfica são aplicações do problema de geração de escalas de trabalho em empresas de transporte. Portanto, algumas tendências foram identificadas na abordagem do problema para empresas deste tipo. Os próximos parágrafos trazem algumas destas especificidades evidenciadas por estes e outros autores.

Segundo Constantino (1997), uma característica básica que difere o problema de geração de escalas em empresas de transporte para outras empresas é a consideração da localização espacial dos funcionários, neste caso chamados de condutores, durante a execução de seu trabalho. O fato de que condutores só conseguem iniciar ou terminar tarefas em determinados pontos, como garagens e terminais e a necessidade de retornar para a cidade de origem em casos de viagens mais longas são restrições básicas do problema nestas empresas. (CONSTANTINO, 1997)

Em termos de modelagem de demanda, é comum o uso de *Task Based Demand* para a determinação da necessidade de mão-de-obra. Isto porque os problemas de geração de escalas de trabalho em empresas de transporte partem de tabelas de horários, já prontas, que contém todas as viagens a serem realizadas. Portanto, o processo de geração da demanda de pessoal

parte de atividades bem definidas, com datas, locais, horários e durações já determinados. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

A etapa de agendamento de turnos, em empresas de transporte, é conhecida como *Crew Scheduling*. O objetivo desta etapa é criar turnos de trabalho, que neste caso são chamados de *Duties*, que consistem em agrupamentos de viagens ou "pernas de viagens" que respeitem os limites de trabalho, folgas e descansos, de forma a minimizar a movimentação entre diferentes localidades, tempo do condutor fora de casa, custos relacionados a hotéis e alimentação, entre outros. Vale ressaltar que, nestes casos, a etapa de agendamento de dias de folga também é feita em conjunto, uma vez que as viagens já são pré-definidas. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

A construção de linhas de trabalho para empresas de transporte corresponde à etapa de *Crew Rostering* e consiste em sequenciar os *duties* gerados na etapa de *Crew Scheduling* em sequências viáveis para os empregados durante todo o horizonte de planejamento. É nesta fase que a decisão entre escalas cíclicas ou escalas individualizadas é tomada, dependendo da demanda observada. Em casos onde a demanda se repete após determinado intervalo de tempo, é comum o uso de escalas cíclicas. Ou seja, apenas uma linha de trabalho é gerada para todos os funcionários, porém cada um a inicia em tempos diferentes. É importante notar que, em algumas situações, uma linha de trabalho igual para todos os condutores da empresa não é viável, porém é possível criar linhas de trabalho para subgrupos de condutores. As principais restrições do modelo ao criar linhas de trabalho são a permissão ou proibição de determinadas sequências, como por exemplo, os intervalos obrigatórios entre os *duties*, a impossibilidade de sequenciar um *duty* noturno com um diurno, a necessidade de retorno ao local de origem após certo período de tempo, entre outros. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

A última etapa da construção de escalas é a atribuição das linhas de trabalho a cada condutor. Nos casos onde as escalas usadas são individualizadas, essa etapa pode ser realizada em conjunto com as construções das linhas de trabalho, e assim incorporar nas restrições as preferências individuais dos trabalhadores. Para os casos das escalas cíclicas, esta fase consiste na distribuição dos dias de início dos *duties* entre os condutores de forma a tentar atender suas preferências e fazendo ajustes individuais quando necessários. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; SIER, 2004)

Sobre os métodos abordados na resolução dos problemas em empresas de transporte, Ernst et al. (2004) destaca o *set cover* e *set partioning* como amplamente usado pelos

pesquisadores. Observa-se que, em sua maioria, eles são associados a técnicas de decomposição e relaxamento do problema, como o uso de *column generation* e *Lagrange relaxation*. É bastante mencionado também o uso das técnicas de *branch and bound* e *branch and price* para resolver os problemas de programação linear inteira. Alguns métodos heurísticos e metaheurísticos, como *tabu search* e algoritmos genéticos também foram citados como forma de abordagem de resolução dos problemas de geração de escalas de trabalhos para condutores em empresas de transporte. (ERNST; JIANG; KRISHNAMOORTHY; OWENS; *et al*., 2004)

É importante ressaltar que muitos trabalhos foram desenvolvidos após a compilação de Van den Berg et al. em 2013. Portanto, outras abordagens e outros métodos também foram desenvolvidos, ainda que não compilados e organizados de forma sistemática. Em se tratando de trabalhos a partir de 2013, pôde-se observar grande número de artigos usando abordagens heurísticas, ao invés de métodos exatos. Para fins de aprofundamento, podemos citar três referências acerca da etapa de *Crew Rostering*, a etapa abordada neste trabalho, onde métodos heurísticos foram empregados. O primeiro apresenta uma abordagem utilizando uma metaheurística do tipo algoritmos genéticos para o contexto de uma empresa de ônibus, cujo objetivo é criar uma escala onde toda a força de trabalho esteja uniformemente distribuída. O trabalho indica que neste problema o algoritmo genético apresenta performance computacional melhor que outros algoritmos usados em comparação, além de resultados melhores em termos de objetivo e quantidade de escala. (MA; LIU; ZHANG, 2014) O segundo apresenta o uso de dois métodos heurísticos de forma híbrida para o problema de *Crew Rostering* em uma companhia aérea: *Particle Swarm Optimization*, que também é uma metaheurística, e *Improved Heuristic Algorithm*. Seu objetivo, assim como no primeiro trabalho, é gerar escalas entre diferentes equipes de forma igualmente distribuída. (LIMLAWAN; KASEMSONTITUM; JEENANUNTA, 2014) E o terceiro faz uma investigação comparativa entre dois tipos de algoritmos evolucionários, que são aqueles que se inspiram em processos evolutivos observados na natureza. Um deles é uma variação de um algoritmo genético e o segundo um tipo de algoritmo de memético, sendo o segundo o que apresentou melhores resultados. (DEVECI; DEMIREL, 2018)

3. META-HEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING

Esta seção apresenta o método metaheurístico *Simulated Annealing* e sua formulação. Sua aplicação no modelo desenvolvido neste trabalho é apresentada na seção 5.4, intitulada *Simulated Annealing* aplicado ao modelo.

O método *Simulated Annealing* foi apresentado pela primeira vez por Kirkpatrick et al., em 1983, como uma abordagem de resolução de problemas de otimização combinatória análoga ao comportamento da temperatura em recozimento de materiais sólidos, numa área denominada mecânica estatística. (KIRKPATRICK; GELATT; VECCHI, 1983)

Como já abordado na seção 2.4 deste trabalho, o método metaheurístico *Simulated Annealing* é um algoritmo de aproximação de busca local, usado na busca de soluções aproximadas da ótima, em problemas de otimização combinatória, em tempos computacionais viáveis. Ele também é considerado um algoritmo geral, pois pode ser aplicado a uma grande variedade de problemas de otimização combinatória. (LAARHOVEN; AARTS, 2010)

Este método utiliza a técnica de melhoramento iterativo da solução. Ela pressupõe a definição de diferentes configurações, uma função de custo e um mecanismo de geração de configurações. O mecanismo de geração cria um espaço de configurações que podem ser geradas a partir de uma determinada configuração, em um movimento de transição. É por isso que este método também é conhecido como algoritmo de busca local. A partir de uma configuração (ou solução) inicial, em cada iteração é gerado um vizinho desta solução, que pode substituir a configuração prévia, dependendo de seu custo. Se o custo do vizinho é menor, ele substitui a solução atual. Caso contrário, permanece-se com a mesma configuração e realiza-se uma nova iteração em busca de outras possibilidades de vizinhos. A busca termina quando não é possível, em determinado tempo, encontrar um vizinho com custo melhor que o já encontrado. (LAARHOVEN; AARTS, 2010)

Na metaheurística do *Simulated Annealing*, uma variação desta técnica de melhoramento iterativo é apresentada. Sua principal diferença é que no processo de decisão de substituição da configuração atual por um vizinho, é permitido o movimento de piora. Ou seja, em determinadas iterações, o algoritmo aceita o armazenamento de um vizinho cujo custo seja pior, em uma tentativa de sair da solução de mínimo local que já não encontra melhorias, para buscar uma configuração melhor em outra vizinhança. (LAARHOVEN; AARTS, 2010)

Na próxima seção, detalhes de como o algoritmo *Simulated Annealing* emprega a técnica de melhoramento iterativo com possibilidade de piora em conjunto com a analogia ao processo de recozimento dos sólidos.

3.1 ANALOGIA AO PROCESSO DE RECOZIMENTO DE MATERIAIS

Como explicado por Laarhoven e Aarts (2010), em Física, o processo chamado de *annealing*, ou recozimento, corresponde ao processo onde um material sólido é aquecido através do aumento gradativo de temperatura até alcançar uma temperatura máxima onde todas as partículas do material se arranjem na fase líquida, seguido de um resfriamento também gradativo que irá solidificá-lo novamente. O processo é descrito por uma distribuição de probabilidade do material atingir um determinado estado de energia E, em equilíbrio térmico, para cada temperatura T no resfriamento. Ou seja, quando o material arranja suas partículas de forma homogênea para aquela temperatura. Essa distribuição é conhecida como *Boltzmann distribution* e é dada a seguir:

$$Pr\{E = E\} = 1 / Z(T) \,.\, \exp (- E / kB.T), \qquad (1)$$

Onde Z(T) é uma função que depende da temperatura T e kB é a constante de Boltzmann. O fator exp (- E / kB.T) é conhecido como *Boltzmann factor*.

Conforme a temperatura cai, a distribuição tende a estados de menor energia, e quando a temperatura tende a zero, os estados de menores energias possuem uma probabilidade de ocorrência diferente de zero. Porém, quando o resfriamento é muito rápido, impedindo que o sólido atinja o equilíbrio térmico em cada temperatura T, defeitos no sólido podem acontecer, criando estruturas amorfas, ao invés da estrutura cristalina homogênea do material. (LAARHOVEN; AARTS, 2010)

Metropolis et al. (1953) apud (LAARHOVEN; AARTS, 2010), propôs um método para simular o processo gradual de resfriamento de materiais em uma dada temperatura T, criando uma sequência de estados. (METROPOLIS *et al*., 1953). Cada estado corresponde à forma como as partículas deste material estão organizadas. Dado o estado atual de um material, é feita uma pequena perturbação em suas partículas e a variação na energia do sistema é medida. Se for negativa, ou seja, se a energia diminuiu, aceita-se o novo estado e parte-se dele na busca de um estado energético mais baixo. Caso contrário, ou seja, quando a

energia do estado perturbado é superior ao atual, se aceita o novo estado dada a probabilidade do fator de *Boltzmann* exp (- E / kB.T). Essa regra é conhecida como critério de Metropolis. Após um número grande de perturbações, o sistema eventualmente atinge seu equilíbrio térmico, ou seja, um estado do material, para aquela dada temperatura T, onde a perturbação do sistema não resulta em mais decaimentos energéticos. (LAARHOVEN; AARTS, 2010)

O algoritmo *Simulated Annealing* para aplicações em otimização combinatória é análogo ao processo descrito por Metropolis (1953). A configuração corresponde ao estado do sólido, a função de custo corresponde à energia do sistema e o mecanismo de geração de configurações vizinhas corresponde às perturbações ao sistema. A seguir, os passos seguidos pelo algoritmo:

- Ele começa com um valor alto para a temperatura do sistema e uma configuração inicial para a solução;
- Então, uma configuração vizinha é gerada através de um mecanismo de geração, que corresponde à perturbação no sistema no método de Metropolis (1953)*;*
- É medida a diferença de custo entre a configuração atual (i) e a configuração vizinha (j): $\Delta Cij = C(j) – C(i)$
- A probabilidade de substituir a configuração i pela configuração j é igual a 1 se ΔCij é menor ou igual a 0 e igual a exp (- E / kB.T) se ΔCij é maior que 0, o que permite aceitar configurações mesmo que seu custo seja maior que o atual;
- O processo é repetido até que se tenha encontrado o equilíbrio para aquela temperatura, ou seja, uma configuração, que após um número determinado de iterações, não encontra vizinhos de menor custo, para a temperatura do sistema naquele instante;
- Então a temperatura é reduzida iterativamente, sempre permitindo que o sistema encontre o equilíbrio em cada iteração. De acordo com a função de probabilidade, quanto menor a temperatura, menores as possibilidades de aceitar uma configuração de maior custo;
- O algoritmo é então interrompido para um determinado número de reduções de temperatura sem que haja melhorias na melhor configuração encontrada. Então, a solução atual é dada como a solução final do problema.

4. DELIMITAÇÃO DO PROBLEMA

O escopo principal deste trabalho é abordar o problema de geração de escalas de trabalho para condutores em empresas de transporte. Conforme apresentado no subitem 2.5, na literatura, as etapas de construção e sequenciamento de escalas para estes tipos de empresas ganham denominações diferentes. As fases macro deste processo são chamadas de *Crew Scheduling*, *Crew Rostering* e Atribuição de escala.

A fase de *Crew Scheduling*, que compreende o agrupamento de pernas de viagens a serem realizadas em turnos viáveis, respeitando às condições trabalhistas e acordos coletivos de localidade e horário, não será abordada neste trabalho. O que seria o resultado desta fase será dado no início do problema, como dados de inputs de viagens. A etapa de atribuição de escala, que compreende a alocação das escalas geradas a cada um dos condutores, respeitando suas disponibilidades e preferências individuais, também não será abordada neste trabalho.

Já a fase de *Crew Rostering*, que compreende o sequenciamento das viagens, respeitando a restrição de folgas extensas semanais (referentes aos finais de semana) é abordada neste trabalho. O objetivo desta fase é sequenciar as viagens de forma a minimizar o número de horas paradas entre o término da última viagem e início da próxima, dada uma tabela de viagens, provindas da etapa de *Crew Scheduling*.

O modelo desenvolvido parte de uma tabela de viagens pré-determinada, com horários de saída e duração, dentro do período de 24 horas, para quadros de viagens que se repetem todos os dias. Foi escolhido, nesta fase, o uso de escalas cíclicas, pois se considera que o planejamento do período é repetido todos os dias. O modelo pode ser também adaptado para períodos de planejamento diferentes das 24 horas diárias, porém sempre terá como resultado uma escala cíclica.

Cada viagem é completa, ou seja, começa e termina no mesmo local, já respeitando intervalos de folgas diárias e condições trabalhistas de trabalho fora do local de origem. É, portanto, uma construção de escalas do tipo *Task Based Demand*, ou seja, as tarefas de demanda já são predefinidas. Porém, além desta tabela, também foi incorporado ao modelo a possibilidade de criação de tabela dinâmica de viagens. Dada a necessidade de número determinado de viagens iguais no mesmo dia, espaçados pelo mesmo intervalo de tempo, o modelo também busca otimizar os melhores horários de alocação das viagens dinâmicas.

De forma geral, os inputs utilizados pelo modelo podem ser divididos em quatro categorias: parâmetros, restrições, custo e velocidade, conforme itens abaixo:

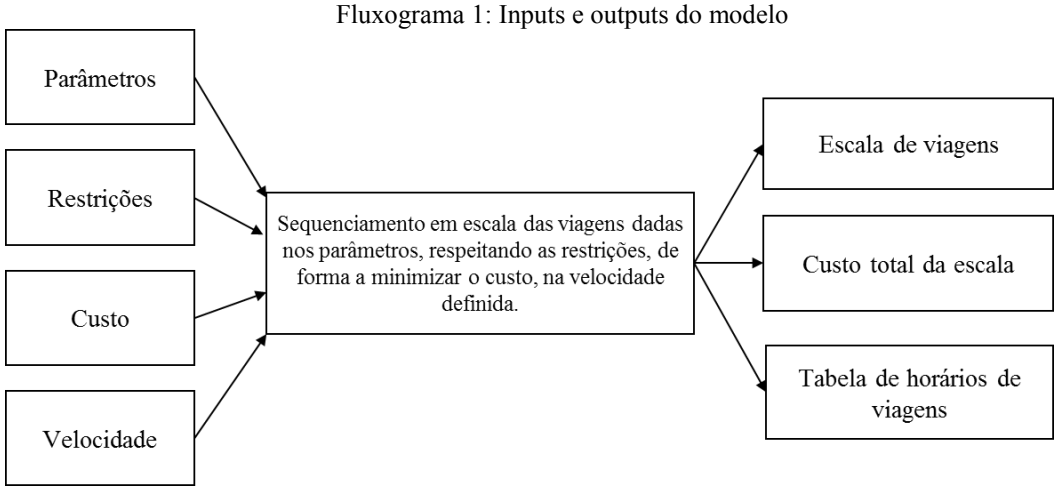
- Parâmetros:
    - Tabela de viagens, com seus respectivos horários de saída e duração das viagens;
    - Quantidade de viagens dinâmicas a serem uniformemente distribuídas dentro do período de planejamento;
    - Intervalo de possibilidades de alocação de viagens (Exemplo: Se o intervalo é de 30 minutos, as viagens dinâmicas serão alocadas e testadas a cada 30 minutos dentro do espaço entre uma viagem e a outra.);
    - Duração da viagem dinâmica.
- Restrições:
    - Limite de horas de trabalho antes da folga semanal;
    - Duração da folga semanal.
- Custo:
    - Custo da hora parada entre viagens.
- Velocidade:
    - Parâmetro de velocidade do algoritmo, que pode ser devagar, médio, rápido e muito rápido.

Já os outputs do modelo, na etapa de *Crew Rostering* são:

- Escala de sequenciamento viagens;
- Custo total da escala, que compreende as horas paradas totais multiplicadas pelo custo de uma hora parada;
- Tabela de horários das viagens dinâmicas ideal.

Abaixo, esquema geral do modelo:

Fluxograma 1: Inputs e outputs do modelo



5. ELABORAÇÃO DO MODELO

As próximas subseções abordam o modelo construído para a resolução da etapa de *Crew Rostering* no problema de geração de escalas de trabalho, bem como seus inputs e outputs.

5.1 PARÂMETROS: TIMETABLE FIXA E DINÂMICA

A categoria "parâmetros" de input do modelo compreendem as tabelas de horários de viagens, ou *timetables*, que podem ser fixas ou dinâmicas.

Timetable fixa: É dada no início do problema. Contém o horário de saída de cada viagem e sua duração. Terminado o período de duração da viagem, o condutor está apto a iniciar a próxima viagem, tendo já cumprido todas as folgas e obrigações daquele turno ou agrupamento de turnos. Na tabela a seguir, um exemplo de *timetable* fixa:

Tabela 2: Exemplo de timetable fixa

Hora de saída (hh:mm)	**Duração (h)**
01:30	26
04:45	32

05:15	52
08:30	32
11:00	45
15:30	60
18:45	42

Timetable dinâmica: É calculada a partir de parâmetros dados no início do problema. Os parâmetros são: quantidade de viagens no dia, duração da viagem e intervalo de alocação de viagens. Por não possuírem horários definidos, as viagens são espaçadas uniformemente dentro do período de 24 horas. O tamanho do intervalo de alocação define o número de possibilidades de *timetables* dinâmicas a serem construídas e testadas no algoritmo. A seguir, um exemplo dos parâmetros e das possibilidades de *timetables* dinâmicas.

Tabela 3: Parâmetros de timetable dinâmica

Parâmetros:
nº de viagens: 4
intervalo de alocação: 2h
duração da viagem: 36h

Tabela 4: Cálculos dos parâmetros da timetable dinâmica

Cálculos:
espaço entre viagens = 24h / 4 = 6h
Nº de possíveis timetables = 6h / 2h = 3

Tabela 5: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica

Hora de saída (hh:mm)	**Duração (h)**
00:00	36
06:00	36
12:00	36
18:00	36

Tabela 6: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica

Hora de saída (hh:mm)	**Duração (h)**
02:00	36
08:00	36
14:00	36
20:00	36

Tabela 7: Exemplo de possibilidade de timetable dinâmica

Hora de saída (hh:mm)	**Duração (h)**
04:00	36
10:00	36
16:00	36
22:00	36

5.2 RESTRIÇÕES: FOLGA SEMANAL

As restrições da etapa de *Crew Rostering* consideradas neste modelo compreendem dois parâmetros: limite mínimo de horas a serem concedidas na folga semanal e limite máximo de horas de viagens dentro da semana, já considerando somadas as horas de trabalho e de folgas diárias.

As restrições delimitam as possibilidades de sequenciamento das viagens, pois impedem que determinadas atividades sejam sequenciadas caso seja necessária a concessão de folgas semanais naquele instante. Assim, para cada sequência de viagens, são calculados os momentos de folgas e os períodos onde o condutor está fora de serviço entre uma viagem e outra. Por não serem contínuos, estes períodos não são dados como folgas. São computados como horas de trabalho e por isso pagas aos condutores, mesmo que não estejam sendo utilizadas pela empresa. O objetivo então é reduzir ao máximo a somatória destes períodos, chamados aqui de hora parada, através do sequenciamento adequado das viagens.

5.3 CUSTO: HORA PARADA

No presente trabalho, o único custo considerado é o correspondente à hora parada. Portanto, o objetivo final do sequenciamento é reduzir o custo total de hora parada, que são as horas pagas aos condutores sem estarem associadas a nenhuma atividade específica. O custo total é igual ao custo de uma hora parada, multiplicado pelo somatório de horas paradas no problema. Abaixo, a representação matemática do objetivo do problema.

Dado i = nº de viagens no planejamento – 1, o objetivo do problema é:

$$\text{Min } C_t = c * \sum H_i, \qquad (2)$$

Onde:

C_t = custo total

c = custo de 1(uma) hora parada

H = hora parada

A hora parada é igual à diferença entre o início de uma viagem e o término da viagem anterior:

$$H_i = I_{i+1} - T_i, \qquad (3)$$

Onde:

I = hora de início da viagem

T = hora de término da viagem

A hora de término da viagem é igual à hora de início somada à sua duração.

$$T_i = I_i + d_i \qquad (4)$$

Onde:

d = duração da viagem.

5.4 SIMULATED ANNEALING APLICADO AO MODELO

O método utilizado na construção do modelo foi a metaheurística *Simulated Annealing*, explicada na seção 3. Por ser um algoritmo de busca local, ele parte de uma solução inicial dada e faz modificações nesta solução a fim de criar uma solução vizinha viável. Então, os vizinhos são explorados na busca de soluções melhores, que substituem ou não a solução atual, de acordo com a chamada regra de Metropolis. O processo é repetido para as chamadas diversas temperaturas do sistema, que decaem em cada iteração, até que se atinja uma condição de parada, onde após número definido de reduções de temperatura não há mais melhorias na solução, gerando assim a solução final do problema.

No presente estudo, o modelo com aplicação do *Simulated Annealing* desenvolvido para o sequenciamento de escalas de trabalho, na etapa de *Crew Rostering* em empresas de transporte, segue o processo descrito a seguir. Em seguida, uma visão esquemática do algoritmo.

1. Geração da *timetable*: dados os parâmetros da *timetable* dinâmica em conjunto com a *timetable* fixa, o problema começa gerando uma *timetable* dentre as possibilidades, conforme descrito na seção 5.1, que será o input do problema. Posteriormente, ele repetirá o mesmo processo para todas as possibilidades de *timetable*.

2. Definição da temperatura inicial: é feito um cálculo para definir a temperatura inicial do sistema. A regra de definição da temperatura inicial é explicada em seção subsequente.

3. Definição da configuração inicial e seu custo total: uma sequência inicial aleatória de viagens é formada, através de função de organizar aleatoriamente o conjunto de viagens em uma lista. Para calcular seu custo, a sequência é duplicada, para assim considerar as horas paradas de dois ciclos seguidos da escala. A sequência de viagens é então percorrida, e são inseridas as folgas semanais, respeitando as horas limites de restrições, para criar uma configuração viável da solução. Então, são calculados os períodos de horas paradas nesta sequência que são multiplicadas pelo custo. A sua somatória

forma o custo total desta escala de viagens. Esta configuração inicial é atribuída como a configuração ótima do modelo e também como o estado atual do sistema neste instante.

4. Geração de configuração vizinha e seu custo total: uma configuração vizinha é gerada a partir do estado atual do sistema e seu custo é calculado. É incrementado também o número de reconfigurações, que indica quantos vizinhos já foram gerados no processo iterativo. A regra de geração de configurações vizinha é explicada em seção subsequente.

5. Análise do custo da configuração vizinha: neste momento, são feitas duas análises comparativas.
    a. Custo do vizinho é menor que custo da configuração ótima? Em caso positivo, a configuração ótima assume a configuração vizinha.
    b. Custo do vizinho é menor que custo do estado atual do sistema? Em caso positivo, estado atual assume a configuração vizinha e é contabilizada uma transição de melhora. Em caso negativo, calcula-se a probabilidade de aceitação do vizinho cujo custo é pior e calcula-se número pseudoaleatório, uniformemente distribuído entre 0 e 1. Caso o número pseudoaleatório seja menor que a probabilidade, o estado atual do sistema assume a configuração vizinha, porém não é contabilizada uma transição de melhora.

6. Análise do número de reconfigurações e transições: se o número de transições ou de reconfigurações atingiu um valor máximo pré-determinado pelo parâmetro de velocidade do algoritmo, a temperatura do sistema é reduzida. Neste trabalho, cada redução de temperatura é de 10%. É importante ressaltar que quanto maior o valor do parâmetro de velocidade, mais lento o algoritmo, pois mais iterações são realizadas. Na próxima iteração, uma temperatura menor significa uma redução da probabilidade de aceitação da transição de piora, ou seja, a chance de o estado atual assumir a configuração vizinha de maior custo diminui. Além disso, nesta análise, se o número de reconfigurações atingiu seu valor máximo pré-definido, porém naquela

temperatura não ocorreu nenhuma transição de melhora, é incrementada a variável de parada.

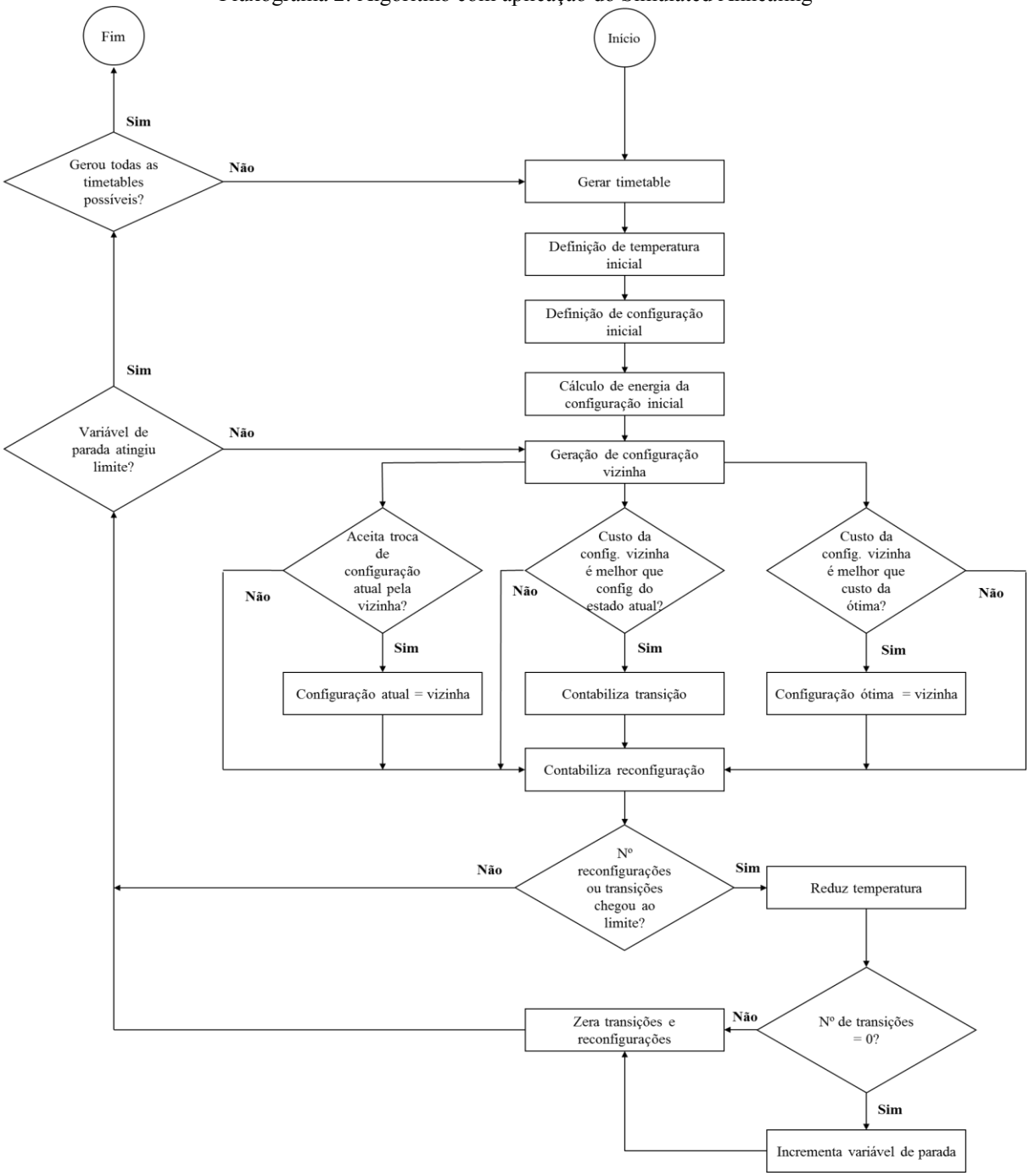
7. Análise da variável de parada: O processo se repete a partir do passo 4, caso a variável de parada continue sendo satisfeita. Ela pode ser incrementada no passo 6, quando naquela temperatura não houveram transições de melhora do estado atual do sistema. Ou seja, o limite dado para a variável de parada é a quantidade de vezes que o modelo aceita reduções de temperatura sem melhorias no custo de sua configuração ótima. Neste trabalho, o limite utilizado foi 3. Ao chegar neste limite, o algoritmo é interrompido e obtém-se a solução do problema para os dados fornecidos.

8. Análise da solução encontrada: Caso a solução encontrada para a *timetable* gerada nesta iteração seja melhor que a armazenada até o momento, substitui-se a *timetable* ideal pela atual, e armazena-se a solução encontrada.

9. Repetição do processo para todas as possibilidades de *timetable*: o processo é repetido a partir do passo 1 até que todas as possibilidades de timetable sejam analisadas e a melhor solução é dada como a solução final do problema.

O código do modelo foi desenvolvido no software MATLAB® exclusivamente para fins acadêmicos deste trabalho. A seguir, fluxograma geral do algoritmo desenvolvido:

Fluxograma 2: Algoritmo com aplicação do Simulated Annealing



5.4.1 DEFINIÇÃO DA TEMPERATURA INICIAL

A temperatura inicial do sistema corresponde ao valor inicial que o sistema irá começar seu resfriamento e influencia na probabilidade de aceitação de transições de piora ao buscar melhorar o estado do sistema, para aquela temperatura.

Para estimar a temperatura inicial do sistema, usou-se a regra que utiliza uma amostragem de 1000 pares de configurações e a diferença de energia entre as configurações do par. A temperatura inicial é então a maior diferença de temperatura encontrada nesta amostra de 1000 pares, conforme mostrado a seguir:

$$T0 = \text{maior}(dE_1, dE_2,...,dE_{1000}), \quad (5)$$

Onde:

dE = diferença de energia entre Seq_1 e Seq_2

Seq = sequência aleatória gerada para as viagens dadas como parâmetros

5.4.2 GERAÇÃO DE CONFIGURAÇÕES VIZINHAS

O mecanismo de geração de configurações vizinhas corresponde à regra utilizada para criar configurações diferentes a partir da configuração atual dada do sistema, ou seja, uma configuração vizinha. A regra corresponde à forma como a sequência é embaralhada para gerar outra sequência.

No presente trabalho, o mecanismo de geração possui duas formas diferentes de gerar uma sequência a partir de outra, com probabilidade de ocorrência de 50% cada.

1. Com probabilidade de ocorrência de 50%, sorteiam-se duas posições da sequência original e inverte-se o trecho entre as duas posições.

   Exemplo:
   Sequência original = [4 1 6 3 5 2]
   Posição sorteada 1 = 3
   Posição sorteada 2 = 4
   Sequência gerada = [4 1 3 6 5 2]

2. Com probabilidade de ocorrência de 50%, sorteiam-se duas posições da sequência original, retira-se o trecho entre as duas posições e sorteia-se nova posição para inserção do trecho retirado.

Exemplo:

Sequência original = [4 1 6 3 5 2]

Posição sorteada 1 = 3

Posição sorteada 2 = 4

Trecho retirado = [6 3]

Sequência com exclusão do trecho = [4 1 5 2]

Posição sorteada para reinserção = 4

Sequência gerada = [4 1 5 2 6 3]

5.5 OUTPUTS DO MODELO

O modelo de geração de escalas de trabalho, na etapa de *Crew Rostering*, tem como output principal a sequência de viagens a ser seguida pelos condutores, em sua escala cíclica. Ou seja, cada condutor inicia sua escala em uma das viagens. Como os horários se repetem todos os dias, deve-se ter pelo menos um condutor para cada viagem do dia. Ao final do número total de dias de planejamento, todos os condutores terão executado as mesmas viagens, garantindo assim distribuição equitativa da carga de trabalho entre eles.

Associado à sequência final da escala gerada, outro output é o custo total da escala, que corresponde à soma das horas paradas multiplicada pelo valor do custo por hora parada. O custo é a principal referência para tomada de decisão de como escalar os condutores.

No modelo desenvolvido no presente trabalho, outro output importante é a *timetable final*, ou seja, o melhor horário para alocação das viagens dinâmicas, de forma, que combinada com a *timetable* fixa fornecida como parâmetro, o custo total de hora parada seja reduzido.

Desta forma, a escala a ser operacionalizada com os condutores teve obedecer a *timetable* final e a sequência de viagens fornecidas pelo modelo.

6. ANÁLISE: SIMULATED ANNEALING E ALGORITMO GULOSO

A fim de realizar uma análise da performance do modelo com aplicação do *Simulated Annealing*, foi desenvolvida outra heurística para comparar os resultados. A

heurística desenvolvida para comparação é do tipo construtiva, ou seja, cria soluções a partir da adição de elementos viáveis e será apresentada na próxima subseção.

A comparação entre ambos os algoritmos ocorre em função de duas variáveis: número de viagens da escala e velocidade do algoritmo com aplicação do *Simulated Annealing*. Foram realizados 18 testes, para uma combinação de 6 grupos de viagens diferentes e 2 velocidades do modelo com *Simulated Annealing*. Os resultados comparados em cada teste são o custo total obtido em cada escala gerada e o tempo de execução do algoritmo. Em seção subsequente, são apresentados os dados utilizados como inputs de ambos algoritmos para comparação, bem como suas variações.

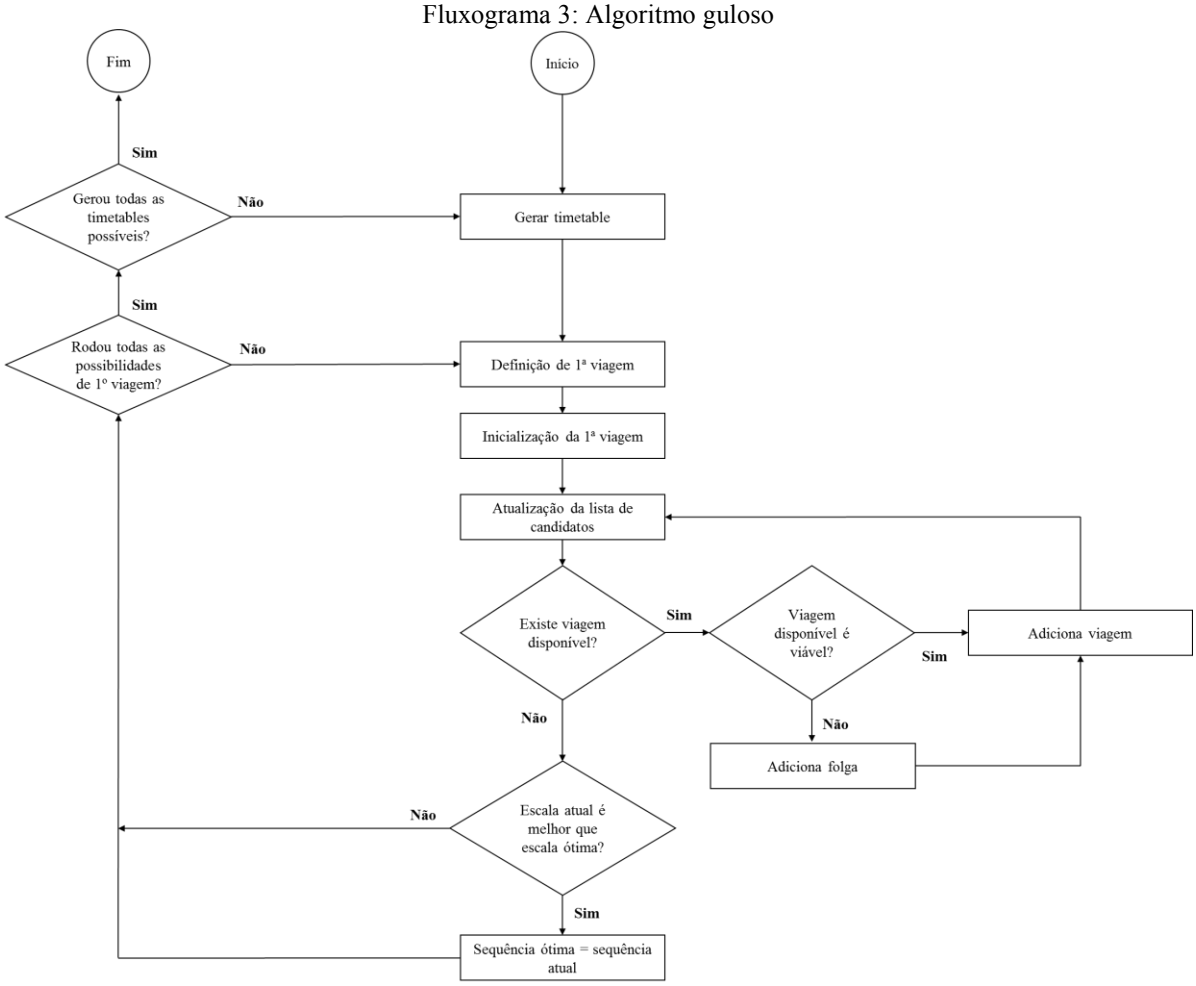
6.1 ELABORAÇÃO DO ALGORITMO GULOSO

No presente trabalho, a regra utilizada para criação da sequência de viagens é a do elemento viável menos custoso. Inicia-se a construção da solução a partir de uma viagem inicial. A próxima viagem a ser adicionada à escala corresponde àquela que dentre as viáveis, possui o custo mais baixo. Esse processo se repete sucessivamente na adição de novas viagens, até que todas as viagens tenham sido encaixadas na escala. Uma viagem torna-se inviável se, quando adicionada, o limite de horas de trabalho semanal é extrapolado. Neste momento, são inseridas as horas de folga na escala e então retoma-se a adição de viagens. Ao terminar a adição de todas as viagens, a escala então é duplicada, inserindo cada viagem novamente, a fim de gerar o custo de dois ciclos seguidos da mesma escala, para comparação com o modelo *Simulated Annealing*. A construção da escala é realizada para todas as possibilidades de viagem inicial. Ou seja, se existem 5 viagens a serem escaladas, serão construídas 5 escalas de acordo com o método, variando qual é a viagem inicial da escala e aquela de melhor custo é dada como solução final.

Esta heurística também é conhecida como algoritmo guloso, uma vez que a cada iteração ela faz o cálculo do melhor elemento naquele momento, sem considerar o custo total obtido na sequência. Portanto, não necessariamente o custo final da escala será o melhor possível.

O código do algoritmo guloso foi desenvolvido no software MATLAB®. A seguir, um fluxograma do algoritmo guloso desenvolvido:

Fluxograma 3: Algoritmo guloso



6.2 DADOS PARA TESTES

Para realizar a comparação entre o modelo com aplicação do *Simulated Annealing* e o modelo com aplicação do algoritmo guloso, foram feitos 18 testes diferentes. Os 18 testes diferentes vieram da combinação de seis grupos de viagens diferentes com três tipos de resolução: através do algoritmo guloso e de duas velocidades diferentes do modelo com aplicação do *Simulated Annealing*. Os dados das viagens e velocidades utilizados no modelo são fictícios e foram criados com objetivo exclusivo de realização da presente análise. Eles não representam a realidade de qualquer empresa ou instituição. Todos os dados utilizados se encontram no anexo A.

Os inputs que permaneceram constantes em ambos os testes são as restrições e o custo, conforme valores apresentado abaixo:

- Limite de horas de trabalho antes da folga semanal = 120 horas;
- Duração da folga semanal = 62 horas;
- Custo da hora parada entre viagens = 1 unidade de custo por hora.

7. RESULTADOS

Os resultados obtidos nos 18 testes realizados em ambos os algoritmos se encontram na tabela a seguir, em termos do custo final encontrado por cada algoritmo e do tempo de processamento demandado:

Tabela 8: Resultados dos testes em Custo final e Tempo de processamento

Teste	Parâmetros do teste	Custo final	Tempo de processamento (s)
T1	Grupo de viagens 01 - Guloso	201.2	1.17
T2	Grupo de viagens 01 - S.A. v=1	92	39.35
T3	Grupo de viagens 01 - S.A. v=10	66.4	468.80
T4	Grupo de viagens 02 - Guloso	196	1.66
T5	Grupo de viagens 02 - S.A. v=1	71	53.95
T6	Grupo de viagens 02 - S.A. v=10	32	630.16
T7	Grupo de viagens 03 - Guloso	247	1.79
T8	Grupo de viagens 03 - S.A. v=1	121	65.08
T9	Grupo de viagens 03 - S.A. v=10	45.2	712.84
T10	Grupo de viagens 04 - Guloso	250.5	2.27
T11	Grupo de viagens 04 - S.A. v=1	103.5	78.49
T12	Grupo de viagens 04 - S.A. v=10	47	982.53
T13	Grupo de viagens 05 - Guloso	316.2	2.08
T14	Grupo de viagens 05 - S.A. v=1	126.7	76.63
T15	Grupo de viagens 05 - S.A. v=10	68.7	953.77
T16	Grupo de viagens 06 - Guloso	346	2.52
T17	Grupo de viagens 06 - S.A. v=1	169.2	92.13
T18	Grupo de viagens 06 - S.A. v=10	74.8	1119.47

Além do custo final, os modelos também fornecem como outputs a escala final de viagens e a *timetable* utilizada, com a alocação das viagens dinâmicas agrupadas em conjunto com as fixas. A seguir os outputs para o teste T1. Os outputs de todos os testes realizados se encontram no anexo B.

Tabela 9: Timetable final para T1

TIMETABLE FINAL		
indice	hora saída	duração
1.00	1.00	56.00
2.00	3.00	24.00
3.00	3.40	56.00
4.00	4.00	36.00
5.00	5.80	56.00
6.00	7.00	52.00
7.00	8.20	56.00
8.00	10.00	48.00
9.00	10.60	56.00
10.00	12.00	36.00
11.00	13.00	40.00
12.00	13.00	56.00
13.00	15.40	56.00
14.00	17.00	48.00
15.00	17.80	56.00
16.00	19.00	52.00
17.00	20.00	36.00
18.00	20.20	56.00
19.00	22.60	56.00
20.00	23.00	40.00

A *timetable* final acima mostra os horários de saída de todas as viagens (segunda coluna), bem como suas durações (terceira coluna). Esta tabela compreende todas as viagens fixas predeterminadas no início do problema e a alocação das viagens dinâmicas, de acordo com a melhor configuração encontrada pelo modelo.

A escala final, a seguir, é o resultado que indica a sequência das viagens a serem realizadas por cada condutor. Cada condutor inicia suas atividades em uma viagem diferente, e segue a ordem definida pela escala até que se finalize o ciclo completo. Desta forma, garante-se que todos os condutores cumpram a mesma carga de trabalho. Na tabela, cada linha indica a viagem a ser realizada pelo condutor com a data e horário de início e fim daquela viagem. A primeira coluna corresponde ao índice da viagem a ser realizada. É possível observar também os momentos onde foram inseridas as folgas semanais (índice igual a 1000), respeitando assim o limite de horas trabalhadas por cada condutor dentro da semana. É importante ressaltar também que o modelo considerado aqui mostra dois ciclos completos de cada escala.

Tabela 10: Escala final para T1

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
11	1	13.00	3	5.00
5	3	5.80	5	13.80
1000	5	13.80	8	3.80
4	8	4.00	9	16.00
14	9	17.00	11	17.00
2	12	3.00	13	3.00
1000	13	3.00	15	17.00
15	15	17.80	18	1.80
3	18	3.40	20	11.40
1000	20	11.40	23	1.40
6	23	7.00	25	11.00
10	25	12.00	26	24.00
1000	26	24.00	29	14.00
13	29	15.40	31	23.40
1	32	1.00	34	9.00
1000	34	9.00	36	23.00
20	36	23.00	38	15.00
16	38	19.00	40	23.00
1000	40	23.00	43	13.00
12	43	13.00	45	21.00
19	45	22.60	48	6.60
1000	48	6.60	50	20.60
7	51	8.20	53	16.20
17	53	20.00	55	8.00
1000	55	8.00	57	22.00
8	58	10.00	60	10.00
9	60	10.60	62	18.60
1000	62	18.60	65	8.60
18	65	20.20	68	4.20
11	68	13.00	70	5.00
1000	70	5.00	72	19.00
5	73	5.80	75	13.80
4	76	4.00	77	16.00
1000	77	16.00	80	6.00
14	80	17.00	82	17.00
2	83	3.00	84	3.00
1000	84	3.00	86	17.00
15	86	17.80	89	1.80
1000	89	1.80	91	15.80
3	92	3.40	94	11.40
1000	94	11.40	97	1.40
6	97	7.00	99	11.00
10	99	12.00	100	24.00
1000	100	24.00	103	14.00
13	103	15.40	105	23.40
1000	105	23.40	108	13.40
1	109	1.00	111	9.00
20	111	23.00	113	15.00
1000	113	15.00	116	5.00
16	116	19.00	118	23.00
1000	118	23.00	121	13.00
12	121	13.00	123	21.00
1000	123	21.00	126	11.00
19	126	22.60	129	6.60
7	129	8.20	131	16.20
1000	131	16.20	134	6.20
17	134	20.00	136	8.00
8	136	10.00	138	10.00
1000	138	10.00	140	24.00
9	141	10.60	143	18.60
18	143	20.20	146	4.20

A partir dos resultados dos testes, é possível realizar três tipos de análise:

- a respeito do tempo de processamento para cada variação do algoritmo em função do número de viagens escaladas;
- a respeito da melhoria obtida na solução para cada variação do algoritmo em função do número de viagens escaladas;
- a respeito do número de iterações realizadas até que o algoritmo *Simulated Annealing* seja interrompido pela sua condição de parada e forneça a melhor solução encontrada.

As subseções a seguir apresentam as análises citadas, bem como as inferências realizadas a partir de suas informações. Entretanto, é importante ressaltar que as análises apresentadas aqui não exploram de forma estatisticamente significativa as possibilidades dos resultados, sendo necessário o uso de mais testes e variações de dados para obtenção de melhores resultados. As inferências apresentadas a seguir podem servir de guia sobre o que pode ser encontrado em análises mais profundas.

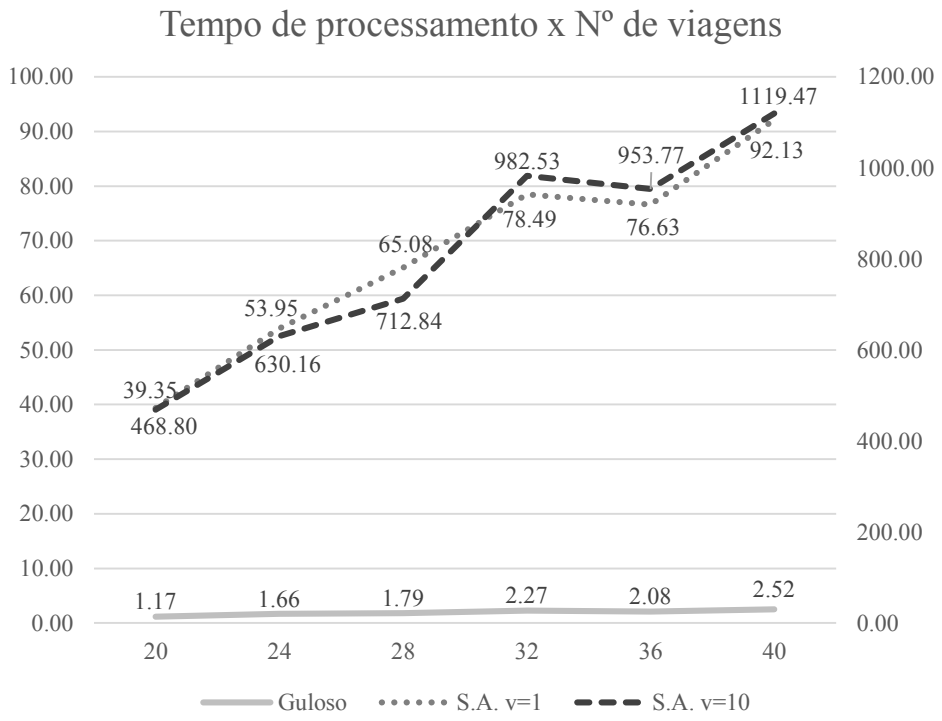
7.1 TEMPO DE PROCESSAMENTO X NÚMERO DE VIAGENS

Para cada variação no número de viagens, foram realizados três testes, conforme apresentado na seção 6.2: algoritmo guloso e modelo *Simulated Annealing* para duas velocidades. A primeira análise é sobre o tempo gasto pelo programa para chegar a uma solução final. Para os três algoritmos, pode-se perceber no gráfico a seguir uma tendência de crescimento do tempo de processamento, conforme o número de viagens aumenta. No entanto, a queda observada para os três algoritmos, para número de viagens igual a 36 pode indicar que os dados utilizados também influenciam na performance dos modelos.

Este fator influencia principalmente na criação de sequências viáveis, pois, quando os dados estão mais bem distribuídos entre si, menos iterações são necessárias para gerar soluções viáveis, o que possivelmente resulta na melhora do tempo de processamento.

No entanto, é importante ressaltar que os tempos resultantes são praticáveis e não apresentam crescimento exponencial, além de poderem ser melhorados através do uso de máquinas com processadores mais eficazes, que tornam os processos consideravelmente mais rápidos.

Gráfico 1: Tempo de processamento x Nº de viagens



7.2 MELHORIA DA SOLUÇÃO X NÚMERO DE VIAGENS

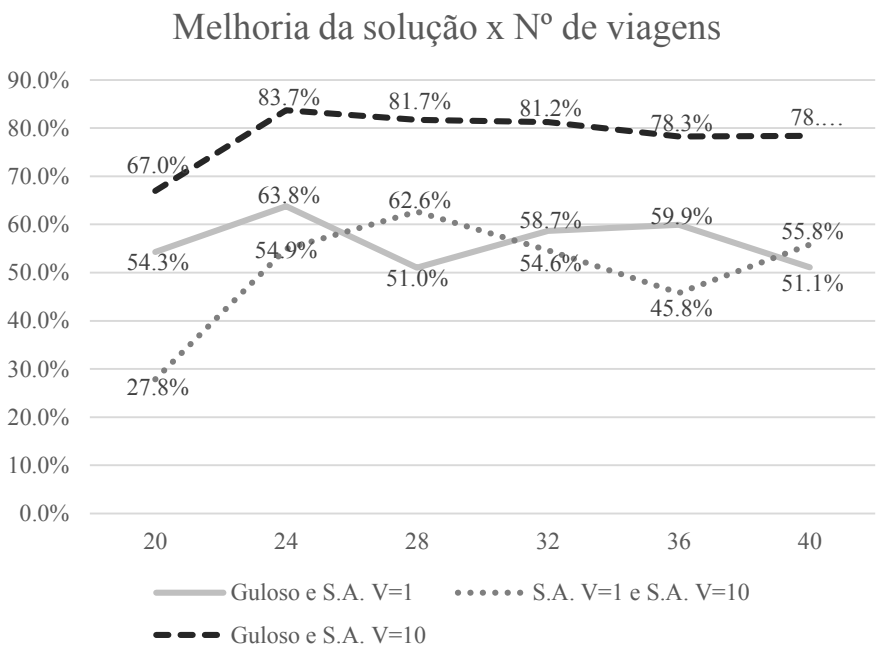
Outra análise importante é em função da qualidade das soluções obtidas por cada modelo para o mesmo número de viagens. Como era esperado, o algoritmo guloso apresentou os piores resultados em todos os casos e o modelo com aplicação do *Simulated Annealing* de velocidade mais lenta apresentou as melhores soluções. No entanto, outra análise importante é a respeita das melhorias obtidas entre os algoritmos para cada grupo de viagens. O gráfico a seguir indica, em porcentagem, o quanto as soluções melhoraram ao comparar os algoritmos entre si.

Pode-se perceber que, aparentemente, o número de viagens não influenciou na capacidade de melhoria da solução, já que os percentuais permaneceram relativamente constantes com o aumento do número de viagens. Porém, os picos e quedas observados na comparação entre as duas velocidades do modelo com *Simulated Annealing* (S.A. v=1 e S.A. v=10) podem indicar que a capacidade de melhoria também é influenciada pelos dados do problema. O encontro de um mínimo local de forma rápida faz com que a melhoria com o algoritmo mais lento seja menos expressiva. Da mesma forma, caso seja mais difícil encontrar

um mínimo local, o algoritmo mais lento, por buscar por mais tempo, apresenta melhorias mais expressivas.

No entanto, a magnitude das melhorias é bastante significativa. Em média, o algoritmo *Simulated Annealing* de rápida velocidade é capaz de melhorar a solução em 56,5% em relação à solução obtida pelo algoritmo guloso e mais 50,3% quando se compara o *Simulated Annealing* de lenta velocidade com o de rápida velocidade. Isto representa uma melhoria total da solução, em média, de 78,4%. Ou seja, a aplicação de uma heurística simplista, quando comparada ao método guloso, pode representar uma economia de 78,4% nos custos de hora parada ao se gerar uma escala cíclica de viagens para condutores de empresas de transporte.

Gráfico 2: Melhoria da solução x Nº de viagens



7.3 NÚMERO DE ITERAÇÕES X MELHORIA DA SOLUÇÃO

A quantidade de iterações até que o algoritmo seja interrompido em relação às melhorias da solução evidencia a capacidade do modelo explorar a vizinhança da melhor configuração encontrada e ainda melhorá-la. Quanto maior o número de iterações sem que haja melhorias significativas da solução, maior o indicativo de que o modelo se aproximou de um mínimo local, do qual ele já não consegue sair. Graficamente, este comportamento pode

ser observado com a formação de uma assíntota, indicando que as quedas no custo passam a serem menos expressivas mesmo que o modelo tolere mais iterações até ser interrompido.

Abaixo, os gráficos mostram este comportamento para o *Simulated Annealing*, nos testes T2 e T3, ou seja, para suas duas velocidades, sendo a primeira tolerante a menos iterações que a segunda.

Gráfico 3: Custo final x Nº de iterações para T2

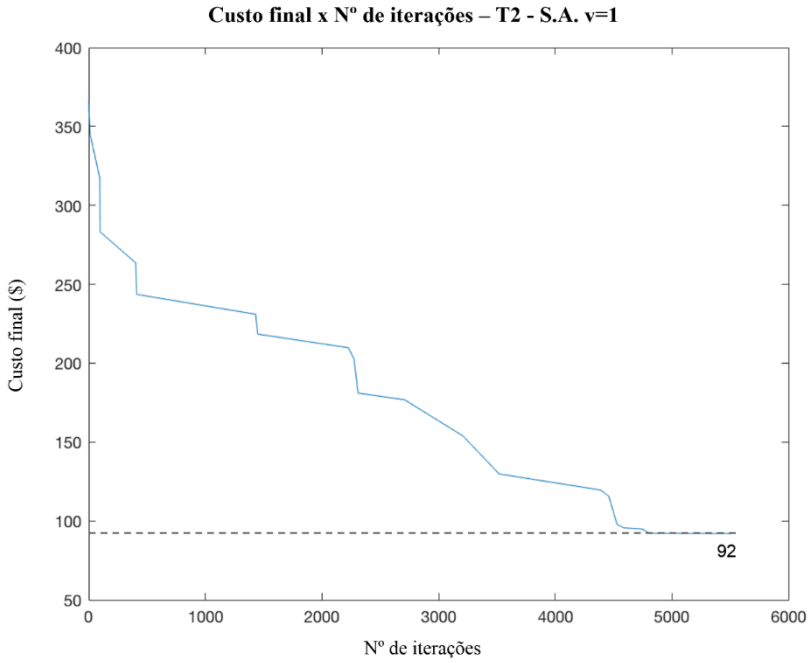
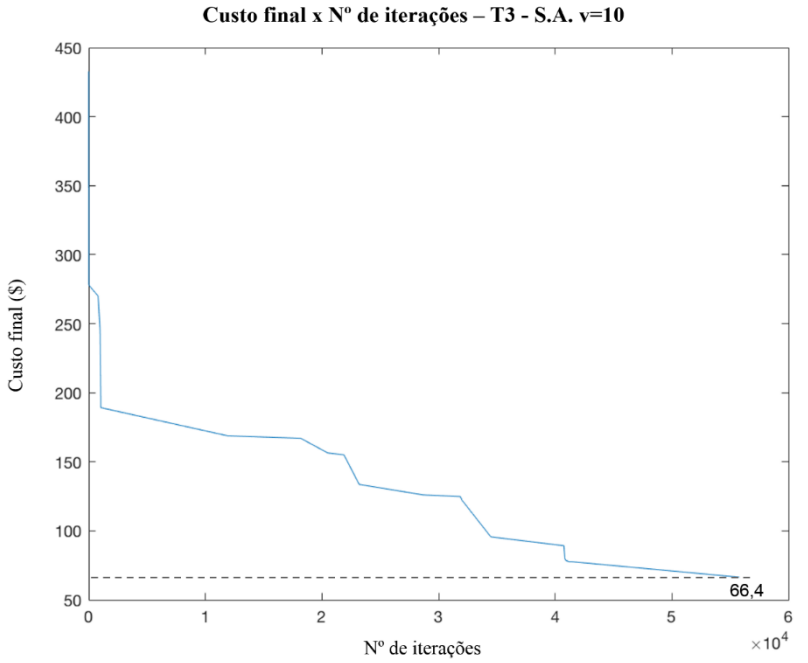


Gráfico 4: Custo final x Nº de iterações para T3



Os gráficos anteriores mostram, em relação ao número de iterações, o custo das soluções encontradas, a cada movimento de melhoria da solução. Ou seja, cada queda indica o momento em que se encontrou uma configuração vizinha melhor que a atual. Pode-se perceber que, no início das iterações, as quedas são mais expressivas, pois o modelo começa de uma sequência aleatória que é melhorada conforme o modelo avança, até que passe por muitas iterações sem que consiga melhorar novamente, que é quando o gráfico vai assumindo a forma de assíntota.

Ao comparar ambos os gráficos, é possível perceber que o segundo, no teste T3, cuja velocidade é mais lenta, tolerando 10 vezes mais iterações que no teste T2, o gráfico assume uma curvatura maior, mais próximo de uma assíntota. Isto indica que possíveis aumentos no número de iterações, ou seja, velocidades ainda mais lentas, podem não representar melhorias significativas no custo final da escala.

Os gráficos de iterações por custo final para todos os testes do *Simulated Annealing* podem ser encontrados no anexo C.

8. CONCLUSÃO

Com a pesquisa realizada acerca do problema de planejamento de escalas de trabalho, pode-se concluir que é um problema de grande importância dentro das empresas e instituições acadêmicas, dada a quantidade de trabalhos e aplicações encontradas. Além disso, é um problema de vasta abrangência, uma vez que pode compreender desde processos de previsão de demanda, até criação de quadros individualizados de tarefas por funcionário. Todas as suas etapas fazem parte do dia-a-dia de muitas empresas e podem causar grande impacto em produtividade, eficiência em custos e nível de satisfação. Portanto, o grande volume de estudos na área é justificado pelas inúmeras melhorias que podem trazer, e que também dão suporte para futuros aprofundamentos de estudos acerca do problema.

A contextualização do problema de planejamento de escalas de trabalho como um problema de otimização combinatória também é muito relevante, uma vez que esta é uma das áreas da Pesquisa Operacional, e consequentemente da Engenharia de Produção, bastante explorada e com grande impacto em diversas outras áreas. No presente trabalho, o uso do método metaheurístico *Simulated Annealing* foi aplicado para a geração de escalas cíclicas de viagens para empresas de transporte, porém seu conceito pode ser usado para diversos outros problemas de otimização combinatória. Portanto, é um aprendizado relevante para possível

aprofundamento posterior de estudos dentro da área da Pesquisa Operacional e aplicação em outros setores, como produção e logística.

A implementação da heurísica *Simulated Annealing* na etapa de *Crew Rostering* para condutores em empresas de transporte se mostrou muito eficaz quando comparado ao método guloso, que é mais fácil de ser implementado manualmente. Nos testes realizados, o algoritmo, em sua velocidade lenta, apresenta melhoria de, em média, aproximadamente 78% em relação aos resultados obtidos pelo método guloso. Apesar do problema apresentado neste trabalho para fins exploratórios ser limitado, é uma média de grande magnitude, que quando levada para a realidade das empresas, pode representar uma grande melhoria na eficiência em custos. O tempo médio demandado para processamento destas soluções também é considerado, para o dia-a-dia das empresas, alto. Porém, é um tempo praticável e que pode ser melhorado com uso de computadores com processadores mais avançados e técnicas de programação mais eficientes.

As limitações do modelo apresentado neste trabalho envolvem as poucas restrições consideradas, os dados fictícios e a falta de benchmark externo para comparações mais refinadas. Isto acontece devido ao problema ser muito abrangente, e por consequência, muito específico para cada tipo de aplicação. Em empresas reais, existem diversas restrições próprias que por si só possibilitam o desenvolvimento de um modelo adequado para cada empresa. Porém, apesar de não muito profundo, o modelo construído neste trabalho pode servir de guia para posterior aprofundamento das características do problema e aplicação em software de gerenciamento de mão-de-obra.

Além disso, o modelo aqui desenvolvido foca em apenas uma etapa do processo de geração de escalas para empresas de transporte: a etapa de *Crew Rostering*. Etapas mais complexas anteriores e posteriores a esta podem ser desenvolvidas a fim de tornar o estudo mais profundo, e gerar resultados mais consistentes para aplicações reais. As etapas diretamente relacionadas ao modelo desenvolvido são:

- Modelo integrado para *Crew Scheduling*: desenvolvimento de grupamentos de viagens em turnos viáveis, respeitando todos os acordos e condições trabalhistas. São inputs da etapa de *Crew Rostering*. A integração de ambos os modelos permite chegar numa distribuição mais eficiente de trabalho entre as viagens e os condutores. É uma etapa mais complexa, pois além das restrições de horários e cargas de trabalho, incorpora-se a questão da localização dos condutores ao realizar viagens.

- Modelo integrado para atribuição de mão-de-obra: o output da etapa de *Crew Rostering* pode ser usado no desenvolvimento de modelo que consiga atribuir as escalas cíclicas aos respectivos condutores, respeitando sua disponibilidade e preferências individuais, quando possível, garantindo assim sua operacionalização na prática e maior nível de satisfação dos funcionários.
- Variação do modelo para geração de escalas individuais: apesar do uso de escalas cíclicas ser mais comum em empresas de transporte, é possível a integração das etapas de *Crew Rostering* e atribuição de mão-de-obra em um único modelo, cujo output é uma escala individual diferente para cada condutor. A vantagem do uso de escalas individuais é a possibilidade de uso de restrições de habilidades específicas, como licenças ou tempo de experiência, que alocam as viagens aos condutores de forma mais personalizada para a empresa.

REFERÊNCIAS

ABEPRO. ÁREAS DA ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. Disponível em: <https://www.abepro.org.br/interna.asp?c=362>. Acesso em: 20 abr. 2018.

BLUM, Christian; ROLI, Andrea. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM computing surveys (CSUR)** v. 35, n. 3, p. 268–308 , 2003.

BRUCKER, Peter; QU, Rong; BURKE, Edmund. Personnel scheduling: Models and complexity. **European Journal of Operational Research** v. 210, n. 3, p. 467–473 , maio 2011.

CONSTANTINO, Ademir Aparecido. **Otimização de escala de trabalho para condutores de trem: sequenciamento de tarefas e alocação baseada em preferencia declarada.** 1997. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Programa de pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

DANTZIG, George B. Letter to the Editor—A Comment on Edie's "Traffic Delays at Toll Booths". **Journal of the Operations Research Society of America** v. 2, n. 3, p. 339–341 , 1 ago. 1954.

DEVECI, Muhammet; DEMIREL, Nihan Çetin. Evolutionary algorithms for solving the airline crew pairing problem. **Computers & Industrial Engineering** v. 115, p. 389–406 , 1 jan. 2018.

EDIE, Leslie C. Traffic Delays at Toll Booths. **Journal of the Operations Research Society of America** v. 2, n. 2, p. 1–138 , maio 1954.

ERNST, A.T.; JIANG, H.; KRISHNAMOORTHY, M.; OWENS, B.; *et al*. An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering. **Annals of Operations Research** v. 127, n. 1–4, p. 21–144 , mar. 2004.

ERNST, A.T; JIANG, H; KRISHNAMOORTHY, M; SIER, D. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European Journal of Operational Research** v. 153, n. 1, p. 3–27 , fev. 2004.

IBM ILOG CPLEX Optimization Studio. Disponível em: <https://www.ibm.com/br-pt/marketplace/ibm-ilog-cplex>. Acesso em: 24 jun. 2018.

KHOONG, C.M.; LAU, H.C.; CHEW, L.W. Automated Manpower Rostering: Techniques and Experience. **International Transactions in Operational Research** v. 1, n. 3, p. 353–361 , jul. 1994.

KIRKPATRICK, S.; GELATT, C. D.; VECCHI, M. P. Optimization by Simulated Annealing. **Science** v. 220, n. 4598, p. 671–680 , 1983.

LAARHOVEN, Peter J. M. Van; AARTS, Emile H. L. **Simulated annealing: theory and applications**. Dordrecht [u.a.: Springer, 2010. .978-90-481-8438-5.

LAU, Hoong Chuin. On the complexity of manpower shift scheduling. **Computers & Operations Research** v. 23, n. 1, p. 93–102 , 1996.

LIMLAWAN, Varis; KASEMSONTITUM, Boontariga; JEENANUNTA, Chawalit. A hybrid particle swarm optimization and an improved heuristic algorithm for an airline crew rostering problem. **ScienceAsia** v. 40, n. 6, p. 456 , 2014.

MA, Jihui; LIU, Tao; ZHANG, Wenyi. A Genetic Algorithm Approach to the Balanced Bus Crew Rostering Problem. **Journal of Traffic and Logistics Engineering** v. 2, n. 1, p. 13–20 , 2014.

METROPOLIS, Nicholas *et al*. Equation of State Calculations by Fast Computing Machines. **The Journal of Chemical Physics** v. 21, n. 6, p. 1087–1092 , jun. 1953.

VAN DEN BERGH, Jorne *et al*. Personnel scheduling: A literature review. **European Journal of Operational Research** v. 226, n. 3, p. 367–385 , maio 2013.

ANEXOS

A - DADOS DOS TESTES

Grupo de viagens 1 = 20 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
03:00	24
04:00	36
07:00	52
10:00	48
12:00	36
13:00	40
17:00	48
19:00	52
20:00	36
23:00	40
Timetable dinâmica	
Qtd viagens	10
Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T1	Guloso
T2	Simulated Annealing velocidade = 1
T3	Simulated Annealing velocidade = 10

Grupo de viagens 2 = 24 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
03:00	24
04:00	36
07:00	52
10:00	48
12:00	36
13:00	40
14:30	36
17:00	48
18:30	48
19:00	52
20:00	36
23:00	40
Timetable dinâmica	

Qtd viagens	12
Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T4	Guloso
T5	Simulated Annealing velocidade = 1
T6	Simulated Annealing velocidade = 10

Grupo de viagens 3 = 28 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
01:30	36
03:00	24
04:00	36
07:00	52
10:00	48
11:30	48
12:00	36
13:00	40
14:30	36
17:00	48
18:30	48
19:00	52
20:00	36
23:00	40
Timetable dinâmica	
Qtd viagens	14
Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T7	Guloso
T8	Simulated Annealing velocidade = 1
T9	Simulated Annealing velocidade = 10

Grupo de viagens 4 = 32 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
01:30	36
03:00	24
04:00	36
06:00	24
07:00	52

10:00	48
11:30	48
12:00	36
13:00	40
14:30	36
17:00	48
18:30	48
19:00	52
20:00	36
22:30	52
23:00	40
Timetable dinâmica	
Qtd viagens	16
Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T10	Guloso
T11	Simulated Annealing velocidade = 1
T12	Simulated Annealing velocidade = 10

Grupo de viagens 5 = 36 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
01:30	36
03:00	24
04:00	36
06:00	24
07:00	52
09:00	40
10:00	48
11:30	48
12:00	36
13:00	40
14:30	36
17:00	48
18:30	48
19:00	52
20:00	36
21:30	24
22:30	52
23:00	40
Timetable dinâmica	
Qtd viagens	18

Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T13	Guloso
T14	Simulated Annealing velocidade = 1
T15	Simulated Annealing velocidade = 10

Grupo de viagens 6 = 40 viagens	
Timetable fixa	
Hora saída	Duração (horas)
01:30	36
03:00	24
04:00	36
05:30	48
06:00	24
07:00	52
09:00	40
10:00	48
11:30	48
12:00	36
13:00	40
14:30	36
16:00	40
17:00	48
18:30	48
19:00	52
20:00	36
21:30	24
22:30	52
23:00	40
Timetable dinâmica	
Qtd viagens	20
Duração	56 horas
Intervalo alocação	30 minutos
Testes	
T16	Guloso
T17	Simulated Annealing velocidade = 1
T18	Simulated Annealing velocidade = 10

B – TIMETABLES E ESCALAS FINAIS

```
=====================================
     GRUPO DE VIAGENS 1 - GULOSO - T1
=====================================

        CUSTO FINAL = $201.20

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========
    indice    hora saída    duração
  ---------x--------------x---------
    1.00        1.00        56.00
    2.00        3.00        24.00
    3.00        3.40        56.00
    4.00        4.00        36.00
    5.00        5.80        56.00
    6.00        7.00        52.00
    7.00        8.20        56.00
    8.00       10.00        48.00
    9.00       10.60        56.00
   10.00       12.00        36.00
   11.00       13.00        40.00
   12.00       13.00        56.00
   13.00       15.40        56.00
   14.00       17.00        48.00
   15.00       17.80        56.00
   16.00       19.00        52.00
   17.00       20.00        36.00
   18.00       20.20        56.00
   19.00       22.60        56.00
   20.00       23.00        40.00
=====================================

======================== ESCALA FINAL ========================
   indice    dia início   hora início   dia fim    hora fim
  ---------x------------x-------------x---------x-----------
       11         1          13.00          3        5.00
        5         3           5.80          5       13.80
     1000         5          13.80          8        3.80
        4         8           4.00          9       16.00
       14         9          17.00         11       17.00
        2        12           3.00         13        3.00
     1000        13           3.00         15       17.00
       15        15          17.80         18        1.80
        3        18           3.40         20       11.40
     1000        20          11.40         23        1.40
        6        23           7.00         25       11.00
       10        25          12.00         26       24.00
     1000        26          24.00         29       14.00
       13        29          15.40         31       23.40
        1        32           1.00         34        9.00
     1000        34           9.00         36       23.00
       20        36          23.00         38       15.00
       16        38          19.00         40       23.00
```

1000	40	23.00	43	13.00
12	43	13.00	45	21.00
19	45	22.60	48	6.60
1000	48	6.60	50	20.60
7	51	8.20	53	16.20
17	53	20.00	55	8.00
1000	55	8.00	57	22.00
8	58	10.00	60	10.00
9	60	10.60	62	18.60
1000	62	18.60	65	8.60
18	65	20.20	68	4.20
11	68	13.00	70	5.00
1000	70	5.00	72	19.00
5	73	5.80	75	13.80
4	76	4.00	77	16.00
1000	77	16.00	80	6.00
14	80	17.00	82	17.00
2	83	3.00	84	3.00
1000	84	3.00	86	17.00
15	86	17.80	89	1.80
1000	89	1.80	91	15.80
3	92	3.40	94	11.40
1000	94	11.40	97	1.40
6	97	7.00	99	11.00
10	99	12.00	100	24.00
1000	100	24.00	103	14.00
13	103	15.40	105	23.40
1000	105	23.40	108	13.40
1	109	1.00	111	9.00
20	111	23.00	113	15.00
1000	113	15.00	116	5.00
16	116	19.00	118	23.00
1000	118	23.00	121	13.00
12	121	13.00	123	21.00
1000	123	21.00	126	11.00
19	126	22.60	129	6.60
7	129	8.20	131	16.20
1000	131	16.20	134	6.20
17	134	20.00	136	8.00
8	136	10.00	138	10.00
1000	138	10.00	140	24.00
9	141	10.60	143	18.60
18	143	20.20	146	4.20

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 1 - S.A v=1 - T2
==========

CUSTO FINAL = $92.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.00	56.00

2.00	3.00	24.00
3.00	3.40	56.00
4.00	4.00	36.00
5.00	5.80	56.00
6.00	7.00	52.00
7.00	8.20	56.00
8.00	10.00	48.00
9.00	10.60	56.00
10.00	12.00	36.00
11.00	13.00	40.00
12.00	13.00	56.00
13.00	15.40	56.00
14.00	17.00	48.00
15.00	17.80	56.00
16.00	19.00	52.00
17.00	20.00	36.00
18.00	20.20	56.00
19.00	22.60	56.00
20.00	23.00	40.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
16	1	19.00	3	23.00
1000	3	23.00	6	13.00
12	6	13.00	8	21.00
19	8	22.60	11	6.60
1000	11	6.60	13	20.60
3	14	3.40	16	11.40
11	16	13.00	18	5.00
1000	18	5.00	20	19.00
18	20	20.20	23	4.20
5	23	5.80	25	13.80
1000	25	13.80	28	3.80
7	28	8.20	30	16.20
1000	30	16.20	33	6.20
9	33	10.60	35	18.60
1000	35	18.60	38	8.60
8	38	10.00	40	10.00
10	40	12.00	41	24.00
1000	41	24.00	44	14.00
13	44	15.40	46	23.40
1	47	1.00	49	9.00
1000	49	9.00	51	23.00
20	51	23.00	53	15.00
15	53	17.80	56	1.80
1000	56	1.80	58	15.80
14	58	17.00	60	17.00
17	60	20.00	62	8.00
1000	62	8.00	64	22.00
2	65	3.00	66	3.00
4	66	4.00	67	16.00
1000	67	16.00	70	6.00
6	70	7.00	72	11.00

16	72	19.00	74	23.00
1000	74	23.00	77	13.00
12	77	13.00	79	21.00
19	79	22.60	82	6.60
1000	82	6.60	84	20.60
3	85	3.40	87	11.40
11	87	13.00	89	5.00
1000	89	5.00	91	19.00
18	91	20.20	94	4.20
5	94	5.80	96	13.80
1000	96	13.80	99	3.80
7	99	8.20	101	16.20
1000	101	16.20	104	6.20
9	104	10.60	106	18.60
1000	106	18.60	109	8.60
8	109	10.00	111	10.00
10	111	12.00	112	24.00
1000	112	24.00	115	14.00
13	115	15.40	117	23.40
1	118	1.00	120	9.00
1000	120	9.00	122	23.00
20	122	23.00	124	15.00
15	124	17.80	127	1.80
1000	127	1.80	129	15.80
14	129	17.00	131	17.00
17	131	20.00	133	8.00
1000	133	8.00	135	22.00
2	136	3.00	137	3.00
4	137	4.00	138	16.00
1000	138	16.00	141	6.00
6	141	7.00	143	11.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 1 - S.A v=10 - T3
==========

CUSTO FINAL = $66.40

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.00	56.00
2.00	3.00	24.00
3.00	3.40	56.00
4.00	4.00	36.00
5.00	5.80	56.00
6.00	7.00	52.00
7.00	8.20	56.00
8.00	10.00	48.00
9.00	10.60	56.00
10.00	12.00	36.00
11.00	13.00	40.00

12.00	13.00	56.00
13.00	15.40	56.00
14.00	17.00	48.00
15.00	17.80	56.00
16.00	19.00	52.00
17.00	20.00	36.00
18.00	20.20	56.00
19.00	22.60	56.00
20.00	23.00	40.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
9	1	10.60	3	18.60
17	3	20.00	5	8.00
1000	5	8.00	7	22.00
19	7	22.60	10	6.60
6	10	7.00	12	11.00
1000	12	11.00	15	1.00
3	15	3.40	17	11.40
10	17	12.00	18	24.00
1000	18	24.00	21	14.00
13	21	15.40	23	23.40
2	24	3.00	25	3.00
1000	25	3.00	27	17.00
15	27	17.80	30	1.80
5	30	5.80	32	13.80
1000	32	13.80	35	3.80
4	35	4.00	36	16.00
14	36	17.00	38	17.00
1000	38	17.00	41	7.00
7	41	8.20	43	16.20
1000	43	16.20	46	6.20
8	46	10.00	48	10.00
1000	48	10.00	50	24.00
1	51	1.00	53	9.00
11	53	13.00	55	5.00
1000	55	5.00	57	19.00
18	57	20.20	60	4.20
1000	60	4.20	62	18.20
16	62	19.00	64	23.00
1000	64	23.00	67	13.00
12	67	13.00	69	21.00
20	69	23.00	71	15.00
1000	71	15.00	74	5.00
9	74	10.60	76	18.60
17	76	20.00	78	8.00
1000	78	8.00	80	22.00
19	80	22.60	83	6.60
6	83	7.00	85	11.00
1000	85	11.00	88	1.00
3	88	3.40	90	11.40
10	90	12.00	91	24.00
1000	91	24.00	94	14.00

13	94	15.40	96	23.40
2	97	3.00	98	3.00
1000	98	3.00	100	17.00
15	100	17.80	103	1.80
5	103	5.80	105	13.80
1000	105	13.80	108	3.80
4	108	4.00	109	16.00
14	109	17.00	111	17.00
1000	111	17.00	114	7.00
7	114	8.20	116	16.20
1000	116	16.20	119	6.20
8	119	10.00	121	10.00
1000	121	10.00	123	24.00
1	124	1.00	126	9.00
11	126	13.00	128	5.00
1000	128	5.00	130	19.00
18	130	20.20	133	4.20
1000	133	4.20	135	18.20
16	135	19.00	137	23.00
1000	137	23.00	140	13.00
12	140	13.00	142	21.00
20	142	23.00	144	15.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 2 - GULOSO - T4
==========

CUSTO FINAL = $196.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.50	56.00
2.00	2.50	56.00
3.00	3.00	24.00
4.00	4.00	36.00
5.00	4.50	56.00
6.00	6.50	56.00
7.00	7.00	52.00
8.00	8.50	56.00
9.00	10.00	48.00
10.00	10.50	56.00
11.00	12.00	36.00
12.00	12.50	56.00
13.00	13.00	40.00
14.00	14.50	36.00
15.00	14.50	56.00
16.00	16.50	56.00
17.00	17.00	48.00
18.00	18.50	48.00
19.00	18.50	56.00
20.00	19.00	52.00
21.00	20.00	36.00
22.00	20.50	56.00

23.00	22.50	56.00
24.00	23.00	40.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
9	1	10.00	3	10.00
10	3	10.50	5	18.50
1000	5	18.50	8	8.50
8	8	8.50	10	16.50
16	10	16.50	13	0.50
1000	13	0.50	15	14.50
14	15	14.50	17	2.50
2	17	2.50	19	10.50
1000	19	10.50	22	0.50
1	22	0.50	24	8.50
11	24	12.00	25	24.00
1000	25	24.00	28	14.00
15	28	14.50	30	22.50
23	30	22.50	33	6.50
1000	33	6.50	35	20.50
22	35	20.50	38	4.50
5	38	4.50	40	12.50
1000	40	12.50	43	2.50
3	43	3.00	44	3.00
4	44	4.00	45	16.00
17	45	17.00	47	17.00
1000	47	17.00	50	7.00
7	50	7.00	52	11.00
12	52	12.50	54	20.50
1000	54	20.50	57	10.50
13	57	13.00	59	5.00
6	59	6.50	61	14.50
1000	61	14.50	64	4.50
18	64	18.50	66	18.50
19	66	18.50	69	2.50
1000	69	2.50	71	16.50
20	71	19.00	73	23.00
24	73	23.00	75	15.00
1000	75	15.00	78	5.00
21	78	20.00	80	8.00
9	80	10.00	82	10.00
1000	82	10.00	84	24.00
10	85	10.50	87	18.50
1000	87	18.50	90	8.50
8	90	8.50	92	16.50
1000	92	16.50	95	6.50
16	95	16.50	98	0.50
14	98	14.50	100	2.50
1000	100	2.50	102	16.50
2	103	2.50	105	10.50
1000	105	10.50	108	0.50
1	108	0.50	110	8.50
11	110	12.00	111	24.00

1000	111	24.00	114	14.00
15	114	14.50	116	22.50
1000	116	22.50	119	12.50
23	119	22.50	122	6.50
1000	122	6.50	124	20.50
22	124	20.50	127	4.50
1000	127	4.50	129	18.50
5	130	4.50	132	12.50
3	133	3.00	134	3.00
1000	134	3.00	136	17.00
4	137	4.00	138	16.00
17	138	17.00	140	17.00
1000	140	17.00	143	7.00
7	143	7.00	145	11.00
1000	145	11.00	148	1.00
12	148	12.50	150	20.50
13	151	13.00	153	5.00
1000	153	5.00	155	19.00
6	156	6.50	158	14.50
18	158	18.50	160	18.50
1000	160	18.50	163	8.50
19	163	18.50	166	2.50
1000	166	2.50	168	16.50
20	168	19.00	170	23.00
24	170	23.00	172	15.00
1000	172	15.00	175	5.00
21	175	20.00	177	8.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 2 - S.A v=1 - T5
==========

CUSTO FINAL = $71.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.50	56.00
2.00	3.00	24.00
3.00	3.50	56.00
4.00	4.00	36.00
5.00	5.50	56.00
6.00	7.00	52.00
7.00	7.50	56.00
8.00	9.50	56.00
9.00	10.00	48.00
10.00	11.50	56.00
11.00	12.00	36.00
12.00	13.00	40.00
13.00	13.50	56.00
14.00	14.50	36.00
15.00	15.50	56.00
16.00	17.00	48.00
17.00	17.50	56.00

18.00	18.50	48.00
19.00	19.00	52.00
20.00	19.50	56.00
21.00	20.00	36.00
22.00	21.50	56.00
23.00	23.00	40.00
24.00	23.50	56.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
24	1	23.50	4	7.50
1000	4	7.50	6	21.50
22	6	21.50	9	5.50
6	9	7.00	11	11.00
1000	11	11.00	14	1.00
4	14	4.00	15	16.00
21	15	20.00	17	8.00
1000	17	8.00	19	22.00
23	19	23.00	21	15.00
15	21	15.50	23	23.50
1000	23	23.50	26	13.50
14	26	14.50	28	2.50
9	28	10.00	30	10.00
1000	30	10.00	32	24.00
1	33	1.50	35	9.50
12	35	13.00	37	5.00
1000	37	5.00	39	19.00
19	39	19.00	41	23.00
1000	41	23.00	44	13.00
13	44	13.50	46	21.50
1000	46	21.50	49	11.50
10	49	11.50	51	19.50
1000	51	19.50	54	9.50
8	54	9.50	56	17.50
1000	56	17.50	59	7.50
7	59	7.50	61	15.50
1000	61	15.50	64	5.50
5	64	5.50	66	13.50
1000	66	13.50	69	3.50
3	69	3.50	71	11.50
11	71	12.00	72	24.00
2	73	3.00	74	3.00
1000	74	3.00	76	17.00
16	76	17.00	78	17.00
20	78	19.50	81	3.50
1000	81	3.50	83	17.50
17	83	17.50	86	1.50
1000	86	1.50	88	15.50
18	88	18.50	90	18.50
24	90	23.50	93	7.50
1000	93	7.50	95	21.50
22	95	21.50	98	5.50
6	98	7.00	100	11.00

1000	100	11.00	103	1.00
4	103	4.00	104	16.00
21	104	20.00	106	8.00
1000	106	8.00	108	22.00
23	108	23.00	110	15.00
15	110	15.50	112	23.50
1000	112	23.50	115	13.50
14	115	14.50	117	2.50
9	117	10.00	119	10.00
1000	119	10.00	121	24.00
1	122	1.50	124	9.50
12	124	13.00	126	5.00
1000	126	5.00	128	19.00
19	128	19.00	130	23.00
1000	130	23.00	133	13.00
13	133	13.50	135	21.50
1000	135	21.50	138	11.50
10	138	11.50	140	19.50
1000	140	19.50	143	9.50
8	143	9.50	145	17.50
1000	145	17.50	148	7.50
7	148	7.50	150	15.50
1000	150	15.50	153	5.50
5	153	5.50	155	13.50
1000	155	13.50	158	3.50
3	158	3.50	160	11.50
11	160	12.00	161	24.00
2	162	3.00	163	3.00
1000	163	3.00	165	17.00
16	165	17.00	167	17.00
20	167	19.50	170	3.50
1000	170	3.50	172	17.50
17	172	17.50	175	1.50
1000	175	1.50	177	15.50
18	177	18.50	179	18.50

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 2 - S.A v=10 - T6
==========

CUSTO FINAL = $32.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.50	56.00
2.00	3.00	24.00
3.00	3.50	56.00
4.00	4.00	36.00
5.00	5.50	56.00
6.00	7.00	52.00
7.00	7.50	56.00
8.00	9.50	56.00
9.00	10.00	48.00

10.00	11.50	56.00
11.00	12.00	36.00
12.00	13.00	40.00
13.00	13.50	56.00
14.00	14.50	36.00
15.00	15.50	56.00
16.00	17.00	48.00
17.00	17.50	56.00
18.00	18.50	48.00
19.00	19.00	52.00
20.00	19.50	56.00
21.00	20.00	36.00
22.00	21.50	56.00
23.00	23.00	40.00
24.00	23.50	56.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
3	1	3.50	3	11.50
1000	3	11.50	6	1.50
1	6	1.50	8	9.50
8	8	9.50	10	17.50
1000	10	17.50	13	7.50
7	13	7.50	15	15.50
1000	15	15.50	18	5.50
5	18	5.50	20	13.50
13	20	13.50	22	21.50
1000	22	21.50	25	11.50
10	25	11.50	27	19.50
21	27	20.00	29	8.00
1000	29	8.00	31	22.00
23	31	23.00	33	15.00
18	33	18.50	35	18.50
1000	35	18.50	38	8.50
9	38	10.00	40	10.00
12	40	13.00	42	5.00
1000	42	5.00	44	19.00
19	44	19.00	46	23.00
24	46	23.50	49	7.50
1000	49	7.50	51	21.50
22	51	21.50	54	5.50
1000	54	5.50	56	19.50
20	56	19.50	59	3.50
4	59	4.00	60	16.00
1000	60	16.00	63	6.00
6	63	7.00	65	11.00
11	65	12.00	66	24.00
1000	66	24.00	69	14.00
14	69	14.50	71	2.50
2	71	3.00	72	3.00
1000	72	3.00	74	17.00
16	74	17.00	76	17.00
17	76	17.50	79	1.50

1000	79	1.50	81	15.50
15	81	15.50	83	23.50
3	84	3.50	86	11.50
1000	86	11.50	89	1.50
1	89	1.50	91	9.50
8	91	9.50	93	17.50
1000	93	17.50	96	7.50
7	96	7.50	98	15.50
1000	98	15.50	101	5.50
5	101	5.50	103	13.50
13	103	13.50	105	21.50
1000	105	21.50	108	11.50
10	108	11.50	110	19.50
21	110	20.00	112	8.00
1000	112	8.00	114	22.00
23	114	23.00	116	15.00
18	116	18.50	118	18.50
1000	118	18.50	121	8.50
9	121	10.00	123	10.00
12	123	13.00	125	5.00
1000	125	5.00	127	19.00
19	127	19.00	129	23.00
24	129	23.50	132	7.50
1000	132	7.50	134	21.50
22	134	21.50	137	5.50
1000	137	5.50	139	19.50
20	139	19.50	142	3.50
4	142	4.00	143	16.00
1000	143	16.00	146	6.00
6	146	7.00	148	11.00
11	148	12.00	149	24.00
1000	149	24.00	152	14.00
14	152	14.50	154	2.50
2	154	3.00	155	3.00
1000	155	3.00	157	17.00
16	157	17.00	159	17.00
17	159	17.50	162	1.50
1000	162	1.50	164	15.50
15	164	15.50	166	23.50

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 3 - GULOSO - T7
==========

CUSTO FINAL = $247.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.00	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	2.71	56.00
4.00	3.00	24.00
5.00	4.00	36.00

6.00	4.43	56.00
7.00	6.14	56.00
8.00	7.00	52.00
9.00	7.86	56.00
10.00	9.57	56.00
11.00	10.00	48.00
12.00	11.29	56.00
13.00	11.50	48.00
14.00	12.00	36.00
15.00	13.00	56.00
16.00	13.00	40.00
17.00	14.50	36.00
18.00	14.71	56.00
19.00	16.43	56.00
20.00	17.00	48.00
21.00	18.14	56.00
22.00	18.50	48.00
23.00	19.00	52.00
24.00	19.86	56.00
25.00	20.00	36.00
26.00	21.57	56.00
27.00	23.00	40.00
28.00	23.29	56.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
23	1	19.00	3	23.00
27	3	23.00	5	15.00
1000	5	15.00	8	5.00
7	8	6.14	10	14.14
17	10	14.50	12	2.50
4	12	3.00	13	3.00
1000	13	3.00	15	17.00
20	15	17.00	17	17.00
21	17	18.14	20	2.14
1000	20	2.14	22	16.14
19	22	16.43	25	0.43
1	25	1.00	27	9.00
1000	27	9.00	29	23.00
28	29	23.29	32	7.29
9	32	7.86	34	15.86
1000	34	15.86	37	5.86
8	37	7.00	39	11.00
12	39	11.29	41	19.29
1000	41	19.29	44	9.29
10	44	9.57	46	17.57
22	46	18.50	48	18.50
1000	48	18.50	51	8.50
11	51	10.00	53	10.00
13	53	11.50	55	11.50
1000	55	11.50	58	1.50
2	58	1.50	59	13.50
18	59	14.71	61	22.71

1000	61	22.71	64	12.71
15	64	13.00	66	21.00
26	66	21.57	69	5.57
1000	69	5.57	71	19.57
24	71	19.86	74	3.86
5	74	4.00	75	16.00
1000	75	16.00	78	6.00
14	78	12.00	79	24.00
3	80	2.71	82	10.71
1000	82	10.71	85	0.71
6	85	4.43	87	12.43
16	87	13.00	89	5.00
1000	89	5.00	91	19.00
25	91	20.00	93	8.00
23	93	19.00	95	23.00
1000	95	23.00	98	13.00
27	98	23.00	100	15.00
7	101	6.14	103	14.14
1000	103	14.14	106	4.14
17	106	14.50	108	2.50
4	108	3.00	109	3.00
1000	109	3.00	111	17.00
20	111	17.00	113	17.00
21	113	18.14	116	2.14
1000	116	2.14	118	16.14
19	118	16.43	121	0.43
1000	121	0.43	123	14.43
1	124	1.00	126	9.00
1000	126	9.00	128	23.00
28	128	23.29	131	7.29
1000	131	7.29	133	21.29
9	134	7.86	136	15.86
1000	136	15.86	139	5.86
8	139	7.00	141	11.00
1000	141	11.00	144	1.00
12	144	11.29	146	19.29
1000	146	19.29	149	9.29
10	149	9.57	151	17.57
22	151	18.50	153	18.50
1000	153	18.50	156	8.50
11	156	10.00	158	10.00
13	158	11.50	160	11.50
1000	160	11.50	163	1.50
2	163	1.50	164	13.50
18	164	14.71	166	22.71
1000	166	22.71	169	12.71
15	169	13.00	171	21.00
1000	171	21.00	174	11.00
26	174	21.57	177	5.57
1000	177	5.57	179	19.57
24	179	19.86	182	3.86
5	182	4.00	183	16.00
1000	183	16.00	186	6.00
14	186	12.00	187	24.00
3	188	2.71	190	10.71

1000	190	10.71	193	0.71
6	193	4.43	195	12.43
16	195	13.00	197	5.00
1000	197	5.00	199	19.00
25	199	20.00	201	8.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 3 - S.A v=1 - T8
==========

CUSTO FINAL = $121.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	1.00	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	2.71	56.00
4.00	3.00	24.00
5.00	4.00	36.00
6.00	4.43	56.00
7.00	6.14	56.00
8.00	7.00	52.00
9.00	7.86	56.00
10.00	9.57	56.00
11.00	10.00	48.00
12.00	11.29	56.00
13.00	11.50	48.00
14.00	12.00	36.00
15.00	13.00	56.00
16.00	13.00	40.00
17.00	14.50	36.00
18.00	14.71	56.00
19.00	16.43	56.00
20.00	17.00	48.00
21.00	18.14	56.00
22.00	18.50	48.00
23.00	19.00	52.00
24.00	19.86	56.00
25.00	20.00	36.00
26.00	21.57	56.00
27.00	23.00	40.00
28.00	23.29	56.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
5	1	4.00	2	16.00
19	2	16.43	5	0.43
1000	5	0.43	7	14.43
21	7	18.14	10	2.14
4	10	3.00	11	3.00
1000	11	3.00	13	17.00

20	13	17.00	15	17.00
27	15	23.00	17	15.00
1000	17	15.00	20	5.00
9	20	7.86	22	15.86
1000	22	15.86	25	5.86
8	25	7.00	27	11.00
1000	27	11.00	30	1.00
1	30	1.00	32	9.00
12	32	11.29	34	19.29
1000	34	19.29	37	9.29
10	37	9.57	39	17.57
1000	39	17.57	42	7.57
11	42	10.00	44	10.00
1000	44	10.00	46	24.00
7	47	6.14	49	14.14
18	49	14.71	51	22.71
1000	51	22.71	54	12.71
15	54	13.00	56	21.00
26	56	21.57	59	5.57
1000	59	5.57	61	19.57
25	61	20.00	63	8.00
16	63	13.00	65	5.00
1000	65	5.00	67	19.00
28	67	23.29	70	7.29
14	70	12.00	71	24.00
1000	71	24.00	74	14.00
17	74	14.50	76	2.50
6	76	4.43	78	12.43
1000	78	12.43	81	2.43
3	81	2.71	83	10.71
13	83	11.50	85	11.50
1000	85	11.50	88	1.50
2	88	1.50	89	13.50
24	89	19.86	92	3.86
1000	92	3.86	94	17.86
22	94	18.50	96	18.50
23	96	19.00	98	23.00
1000	98	23.00	101	13.00
5	102	4.00	103	16.00
19	103	16.43	106	0.43
1000	106	0.43	108	14.43
21	108	18.14	111	2.14
4	111	3.00	112	3.00
1000	112	3.00	114	17.00
20	114	17.00	116	17.00
27	116	23.00	118	15.00
1000	118	15.00	121	5.00
9	121	7.86	123	15.86
1000	123	15.86	126	5.86
8	126	7.00	128	11.00
1000	128	11.00	131	1.00
1	131	1.00	133	9.00
12	133	11.29	135	19.29
1000	135	19.29	138	9.29
10	138	9.57	140	17.57

1000	140	17.57	143	7.57
11	143	10.00	145	10.00
1000	145	10.00	147	24.00
7	148	6.14	150	14.14
18	150	14.71	152	22.71
1000	152	22.71	155	12.71
15	155	13.00	157	21.00
26	157	21.57	160	5.57
1000	160	5.57	162	19.57
25	162	20.00	164	8.00
16	164	13.00	166	5.00
1000	166	5.00	168	19.00
28	168	23.29	171	7.29
14	171	12.00	172	24.00
1000	172	24.00	175	14.00
17	175	14.50	177	2.50
6	177	4.43	179	12.43
1000	179	12.43	182	2.43
3	182	2.71	184	10.71
13	184	11.50	186	11.50
1000	186	11.50	189	1.50
2	189	1.50	190	13.50
24	190	19.86	193	3.86
1000	193	3.86	195	17.86
22	195	18.50	197	18.50
23	197	19.00	199	23.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 3 - S.A v=10 - T9
==========

CUSTO FINAL = $45.21

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	1.71	56.00
4.00	3.00	24.00
5.00	3.43	56.00
6.00	4.00	36.00
7.00	5.14	56.00
8.00	6.86	56.00
9.00	7.00	52.00
10.00	8.57	56.00
11.00	10.00	48.00
12.00	10.29	56.00
13.00	11.50	48.00
14.00	12.00	56.00
15.00	12.00	36.00
16.00	13.00	40.00
17.00	13.71	56.00
18.00	14.50	36.00

19.00	15.43	56.00
20.00	17.00	48.00
21.00	17.14	56.00
22.00	18.50	48.00
23.00	18.86	56.00
24.00	19.00	52.00
25.00	20.00	36.00
26.00	20.57	56.00
27.00	22.29	56.00
28.00	23.00	40.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
12	1	10.29	3	18.29
1000	3	18.29	6	8.29
10	6	8.57	8	16.57
1000	8	16.57	11	6.57
8	11	6.86	13	14.86
1000	13	14.86	16	4.86
7	16	5.14	18	13.14
1000	18	13.14	21	3.14
5	21	3.43	23	11.43
15	23	12.00	24	24.00
1000	24	24.00	27	14.00
20	27	17.00	29	17.00
22	29	18.50	31	18.50
1000	31	18.50	34	8.50
13	34	11.50	36	11.50
1000	36	11.50	39	1.50
3	39	1.71	41	9.71
11	41	10.00	43	10.00
1000	43	10.00	45	24.00
1	46	0.00	48	8.00
1000	48	8.00	50	22.00
27	50	22.29	53	6.29
1000	53	6.29	55	20.29
26	55	20.57	58	4.57
1000	58	4.57	60	18.57
23	60	18.86	63	2.86
6	63	4.00	64	16.00
1000	64	16.00	67	6.00
9	67	7.00	69	11.00
16	69	13.00	71	5.00
1000	71	5.00	73	19.00
24	73	19.00	75	23.00
1000	75	23.00	78	13.00
17	78	13.71	80	21.71
1000	80	21.71	83	11.71
14	83	12.00	85	20.00
25	85	20.00	87	8.00
1000	87	8.00	89	22.00
28	89	23.00	91	15.00
19	91	15.43	93	23.43

1000	93	23.43	96	13.43
18	96	14.50	98	2.50
4	98	3.00	99	3.00
1000	99	3.00	101	17.00
21	101	17.14	104	1.14
2	104	1.50	105	13.50
1000	105	13.50	108	3.50
12	108	10.29	110	18.29
1000	110	18.29	113	8.29
10	113	8.57	115	16.57
1000	115	16.57	118	6.57
8	118	6.86	120	14.86
1000	120	14.86	123	4.86
7	123	5.14	125	13.14
1000	125	13.14	128	3.14
5	128	3.43	130	11.43
15	130	12.00	131	24.00
1000	131	24.00	134	14.00
20	134	17.00	136	17.00
22	136	18.50	138	18.50
1000	138	18.50	141	8.50
13	141	11.50	143	11.50
1000	143	11.50	146	1.50
3	146	1.71	148	9.71
11	148	10.00	150	10.00
1000	150	10.00	152	24.00
1	153	0.00	155	8.00
1000	155	8.00	157	22.00
27	157	22.29	160	6.29
1000	160	6.29	162	20.29
26	162	20.57	165	4.57
1000	165	4.57	167	18.57
23	167	18.86	170	2.86
6	170	4.00	171	16.00
1000	171	16.00	174	6.00
9	174	7.00	176	11.00
16	176	13.00	178	5.00
1000	178	5.00	180	19.00
24	180	19.00	182	23.00
1000	182	23.00	185	13.00
17	185	13.71	187	21.71
1000	187	21.71	190	11.71
14	190	12.00	192	20.00
25	192	20.00	194	8.00
1000	194	8.00	196	22.00
28	196	23.00	198	15.00
19	198	15.43	200	23.43
1000	200	23.43	203	13.43
18	203	14.50	205	2.50
4	205	3.00	206	3.00
1000	206	3.00	208	17.00
21	208	17.14	211	1.14
2	211	1.50	212	13.50

==========

```
=====================================
     GRUPO DE VIAGENS 4 - GULOSO - T10
=====================================

        CUSTO FINAL = $250.50

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========
    indice    hora saída    duração
  ---------x--------------x---------
    1.00        0.50        56.00
    2.00        1.50        36.00
    3.00        2.00        56.00
    4.00        3.00        24.00
    5.00        3.50        56.00
    6.00        4.00        36.00
    7.00        5.00        56.00
    8.00        6.00        24.00
    9.00        6.50        56.00
   10.00        7.00        52.00
   11.00        8.00        56.00
   12.00        9.50        56.00
   13.00       10.00        48.00
   14.00       11.00        56.00
   15.00       11.50        48.00
   16.00       12.00        36.00
   17.00       12.50        56.00
   18.00       13.00        40.00
   19.00       14.00        56.00
   20.00       14.50        36.00
   21.00       15.50        56.00
   22.00       17.00        48.00
   23.00       17.00        56.00
   24.00       18.50        48.00
   25.00       18.50        56.00
   26.00       19.00        52.00
   27.00       20.00        36.00
   28.00       20.00        56.00
   29.00       21.50        56.00
   30.00       22.50        52.00
   31.00       23.00        40.00
   32.00       23.00        56.00
=======================================

======================== ESCALA FINAL ========================
   indice    dia início   hora início   dia fim    hora fim
  ---------x------------x-------------x---------x-----------
       15         1          11.50          3       11.50
       16         3          12.00          4       24.00
        4         5           3.00          6        3.00
     1000         6           3.00          8       17.00
       22         8          17.00         10       17.00
       23        10          17.00         13        1.00
     1000        13           1.00         15       15.00
       21        15          15.50         17       23.50
        1        18           0.50         20        8.50
```

1000	20	8.50	22	22.50
30	22	22.50	25	2.50
5	25	3.50	27	11.50
1000	27	11.50	30	1.50
2	30	1.50	31	13.50
19	31	14.00	33	22.00
1000	33	22.00	36	12.00
17	36	12.50	38	20.50
29	38	21.50	41	5.50
1000	41	5.50	43	19.50
27	43	20.00	45	8.00
11	45	8.00	47	16.00
1000	47	16.00	50	6.00
8	50	6.00	51	6.00
9	51	6.50	53	14.50
20	53	14.50	55	2.50
1000	55	2.50	57	16.50
24	57	18.50	59	18.50
25	59	18.50	62	2.50
1000	62	2.50	64	16.50
26	64	19.00	66	23.00
31	66	23.00	68	15.00
1000	68	15.00	71	5.00
7	71	5.00	73	13.00
18	73	13.00	75	5.00
1000	75	5.00	77	19.00
28	77	20.00	80	4.00
6	80	4.00	81	16.00
1000	81	16.00	84	6.00
10	84	7.00	86	11.00
14	86	11.00	88	19.00
1000	88	19.00	91	9.00
12	91	9.50	93	17.50
32	93	23.00	96	7.00
1000	96	7.00	98	21.00
3	99	2.00	101	10.00
13	101	10.00	103	10.00
1000	103	10.00	105	24.00
15	106	11.50	108	11.50
16	108	12.00	109	24.00
4	110	3.00	111	3.00
1000	111	3.00	113	17.00
22	113	17.00	115	17.00
23	115	17.00	118	1.00
1000	118	1.00	120	15.00
21	120	15.50	122	23.50
1000	122	23.50	125	13.50
1	126	0.50	128	8.50
1000	128	8.50	130	22.50
30	130	22.50	133	2.50
1000	133	2.50	135	16.50
5	136	3.50	138	11.50
2	139	1.50	140	13.50
1000	140	13.50	143	3.50
19	143	14.00	145	22.00

1000	145	22.00	148	12.00
17	148	12.50	150	20.50
1000	150	20.50	153	10.50
29	153	21.50	156	5.50
27	156	20.00	158	8.00
1000	158	8.00	160	22.00
11	161	8.00	163	16.00
8	164	6.00	165	6.00
1000	165	6.00	167	20.00
9	168	6.50	170	14.50
20	170	14.50	172	2.50
1000	172	2.50	174	16.50
24	174	18.50	176	18.50
25	176	18.50	179	2.50
1000	179	2.50	181	16.50
26	181	19.00	183	23.00
31	183	23.00	185	15.00
1000	185	15.00	188	5.00
7	188	5.00	190	13.00
18	190	13.00	192	5.00
1000	192	5.00	194	19.00
28	194	20.00	197	4.00
6	197	4.00	198	16.00
1000	198	16.00	201	6.00
10	201	7.00	203	11.00
1000	203	11.00	206	1.00
14	206	11.00	208	19.00
1000	208	19.00	211	9.00
12	211	9.50	213	17.50
1000	213	17.50	216	7.50
32	216	23.00	219	7.00
1000	219	7.00	221	21.00
3	222	2.00	224	10.00
1000	224	10.00	226	24.00
13	227	10.00	229	10.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 4 - S.A v=1 - T11
==========

CUSTO FINAL = $103.50

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.50	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	2.00	56.00
4.00	3.00	24.00
5.00	3.50	56.00
6.00	4.00	36.00
7.00	5.00	56.00
8.00	6.00	24.00
9.00	6.50	56.00

10.00	7.00	52.00
11.00	8.00	56.00
12.00	9.50	56.00
13.00	10.00	48.00
14.00	11.00	56.00
15.00	11.50	48.00
16.00	12.00	36.00
17.00	12.50	56.00
18.00	13.00	40.00
19.00	14.00	56.00
20.00	14.50	36.00
21.00	15.50	56.00
22.00	17.00	48.00
23.00	17.00	56.00
24.00	18.50	48.00
25.00	18.50	56.00
26.00	19.00	52.00
27.00	20.00	36.00
28.00	20.00	56.00
29.00	21.50	56.00
30.00	22.50	52.00
31.00	23.00	40.00
32.00	23.00	56.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
15	1	11.50	3	11.50
16	3	12.00	4	24.00
1000	4	24.00	7	14.00
20	7	14.50	9	2.50
4	9	3.00	10	3.00
1000	10	3.00	12	17.00
24	12	18.50	14	18.50
1000	14	18.50	17	8.50
17	17	12.50	19	20.50
1000	19	20.50	22	10.50
14	22	11.00	24	19.00
1000	24	19.00	27	9.00
12	27	9.50	29	17.50
26	29	19.00	31	23.00
1000	31	23.00	34	13.00
19	34	14.00	36	22.00
1000	36	22.00	39	12.00
21	39	15.50	41	23.50
1	42	0.50	44	8.50
1000	44	8.50	46	22.50
30	46	22.50	49	2.50
5	49	3.50	51	11.50
1000	51	11.50	54	1.50
3	54	2.00	56	10.00
13	56	10.00	58	10.00
1000	58	10.00	60	24.00
8	61	6.00	62	6.00

11	62	8.00	64	16.00
1000	64	16.00	67	6.00
9	67	6.50	69	14.50
27	69	20.00	71	8.00
1000	71	8.00	73	22.00
31	73	23.00	75	15.00
29	75	21.50	78	5.50
1000	78	5.50	80	19.50
32	80	23.00	83	7.00
10	83	7.00	85	11.00
1000	85	11.00	88	1.00
7	88	5.00	90	13.00
18	90	13.00	92	5.00
1000	92	5.00	94	19.00
28	94	20.00	97	4.00
1000	97	4.00	99	18.00
25	99	18.50	102	2.50
1000	102	2.50	104	16.50
23	104	17.00	107	1.00
2	107	1.50	108	13.50
1000	108	13.50	111	3.50
6	111	4.00	112	16.00
22	112	17.00	114	17.00
1000	114	17.00	117	7.00
15	117	11.50	119	11.50
16	119	12.00	120	24.00
1000	120	24.00	123	14.00
20	123	14.50	125	2.50
4	125	3.00	126	3.00
1000	126	3.00	128	17.00
24	128	18.50	130	18.50
1000	130	18.50	133	8.50
17	133	12.50	135	20.50
1000	135	20.50	138	10.50
14	138	11.00	140	19.00
1000	140	19.00	143	9.00
12	143	9.50	145	17.50
26	145	19.00	147	23.00
1000	147	23.00	150	13.00
19	150	14.00	152	22.00
1000	152	22.00	155	12.00
21	155	15.50	157	23.50
1	158	0.50	160	8.50
1000	160	8.50	162	22.50
30	162	22.50	165	2.50
5	165	3.50	167	11.50
1000	167	11.50	170	1.50
3	170	2.00	172	10.00
13	172	10.00	174	10.00
1000	174	10.00	176	24.00
8	177	6.00	178	6.00
11	178	8.00	180	16.00
1000	180	16.00	183	6.00
9	183	6.50	185	14.50
27	185	20.00	187	8.00

1000	187	8.00	189	22.00
31	189	23.00	191	15.00
29	191	21.50	194	5.50
1000	194	5.50	196	19.50
32	196	23.00	199	7.00
10	199	7.00	201	11.00
1000	201	11.00	204	1.00
7	204	5.00	206	13.00
18	206	13.00	208	5.00
1000	208	5.00	210	19.00
28	210	20.00	213	4.00
1000	213	4.00	215	18.00
25	215	18.50	218	2.50
1000	218	2.50	220	16.50
23	220	17.00	223	1.00
2	223	1.50	224	13.50
1000	224	13.50	227	3.50
6	227	4.00	228	16.00
22	228	17.00	230	17.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 4 - S.A v=10 - T12
==========

CUSTO FINAL = $47.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	1.50	56.00
4.00	3.00	24.00
5.00	3.00	56.00
6.00	4.00	36.00
7.00	4.50	56.00
8.00	6.00	24.00
9.00	6.00	56.00
10.00	7.00	52.00
11.00	7.50	56.00
12.00	9.00	56.00
13.00	10.00	48.00
14.00	10.50	56.00
15.00	11.50	48.00
16.00	12.00	36.00
17.00	12.00	56.00
18.00	13.00	40.00
19.00	13.50	56.00
20.00	14.50	36.00
21.00	15.00	56.00
22.00	16.50	56.00
23.00	17.00	48.00
24.00	18.00	56.00
25.00	18.50	48.00

26.00	19.00	52.00
27.00	19.50	56.00
28.00	20.00	36.00
29.00	21.00	56.00
30.00	22.50	52.00
31.00	22.50	56.00
32.00	23.00	40.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
13	1	10.00	3	10.00
16	3	12.00	4	24.00
1000	4	24.00	7	14.00
21	7	15.00	9	23.00
1000	9	23.00	12	13.00
19	12	13.50	14	21.50
1000	14	21.50	17	11.50
17	17	12.00	19	20.00
1000	19	20.00	22	10.00
14	22	10.50	24	18.50
1000	24	18.50	27	8.50
12	27	9.00	29	17.00
1000	29	17.00	32	7.00
11	32	7.50	34	15.50
23	34	17.00	36	17.00
1000	36	17.00	39	7.00
10	39	7.00	41	11.00
15	41	11.50	43	11.50
1000	43	11.50	46	1.50
4	46	3.00	47	3.00
5	47	3.00	49	11.00
1000	49	11.00	52	1.00
2	52	1.50	53	13.50
20	53	14.50	55	2.50
1000	55	2.50	57	16.50
25	57	18.50	59	18.50
28	59	20.00	61	8.00
1000	61	8.00	63	22.00
30	63	22.50	66	2.50
1000	66	2.50	68	16.50
24	68	18.00	71	2.00
1000	71	2.00	73	16.00
22	73	16.50	76	0.50
3	76	1.50	78	9.50
1000	78	9.50	80	23.50
1	81	0.00	83	8.00
1000	83	8.00	85	22.00
31	85	22.50	88	6.50
1000	88	6.50	90	20.50
29	90	21.00	93	5.00
1000	93	5.00	95	19.00
27	95	19.50	98	3.50
6	98	4.00	99	16.00

1000	99	16.00	102	6.00
8	102	6.00	103	6.00
9	103	6.00	105	14.00
1000	105	14.00	108	4.00
7	108	4.50	110	12.50
18	110	13.00	112	5.00
1000	112	5.00	114	19.00
26	114	19.00	116	23.00
32	116	23.00	118	15.00
1000	118	15.00	121	5.00
13	121	10.00	123	10.00
16	123	12.00	124	24.00
1000	124	24.00	127	14.00
21	127	15.00	129	23.00
1000	129	23.00	132	13.00
19	132	13.50	134	21.50
1000	134	21.50	137	11.50
17	137	12.00	139	20.00
1000	139	20.00	142	10.00
14	142	10.50	144	18.50
1000	144	18.50	147	8.50
12	147	9.00	149	17.00
1000	149	17.00	152	7.00
11	152	7.50	154	15.50
23	154	17.00	156	17.00
1000	156	17.00	159	7.00
10	159	7.00	161	11.00
15	161	11.50	163	11.50
1000	163	11.50	166	1.50
4	166	3.00	167	3.00
5	167	3.00	169	11.00
1000	169	11.00	172	1.00
2	172	1.50	173	13.50
20	173	14.50	175	2.50
1000	175	2.50	177	16.50
25	177	18.50	179	18.50
28	179	20.00	181	8.00
1000	181	8.00	183	22.00
30	183	22.50	186	2.50
1000	186	2.50	188	16.50
24	188	18.00	191	2.00
1000	191	2.00	193	16.00
22	193	16.50	196	0.50
3	196	1.50	198	9.50
1000	198	9.50	200	23.50
1	201	0.00	203	8.00
1000	203	8.00	205	22.00
31	205	22.50	208	6.50
1000	208	6.50	210	20.50
29	210	21.00	213	5.00
1000	213	5.00	215	19.00
27	215	19.50	218	3.50
6	218	4.00	219	16.00
1000	219	16.00	222	6.00
8	222	6.00	223	6.00

9	223	6.00	225	14.00
1000	225	14.00	228	4.00
7	228	4.50	230	12.50
18	230	13.00	232	5.00
1000	232	5.00	234	19.00
26	234	19.00	236	23.00
32	236	23.00	238	15.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 5 - GULOSO - T13
==========

CUSTO FINAL = $316.17

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.33	56.00
3.00	1.50	36.00
4.00	2.67	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	4.00	36.00
7.00	4.00	56.00
8.00	5.33	56.00
9.00	6.00	24.00
10.00	6.67	56.00
11.00	7.00	52.00
12.00	8.00	56.00
13.00	9.00	40.00
14.00	9.33	56.00
15.00	10.00	48.00
16.00	10.67	56.00
17.00	11.50	48.00
18.00	12.00	36.00
19.00	12.00	56.00
20.00	13.00	40.00
21.00	13.33	56.00
22.00	14.50	36.00
23.00	14.67	56.00
24.00	16.00	56.00
25.00	17.00	48.00
26.00	17.33	56.00
27.00	18.50	48.00
28.00	18.67	56.00
29.00	19.00	52.00
30.00	20.00	56.00
31.00	20.00	36.00
32.00	21.33	56.00
33.00	21.50	24.00
34.00	22.50	52.00
35.00	22.67	56.00
36.00	23.00	40.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
27	1	18.50	3	18.50
28	3	18.67	6	2.67
1000	6	2.67	8	16.67
25	8	17.00	10	17.00
26	10	17.33	13	1.33
1000	13	1.33	15	15.33
24	15	16.00	17	24.00
1	18	0.00	20	8.00
1000	20	8.00	22	22.00
34	22	22.50	25	2.50
4	25	2.67	27	10.67
1000	27	10.67	30	0.67
2	30	1.33	32	9.33
15	32	10.00	34	10.00
1000	34	10.00	36	24.00
3	37	1.50	38	13.50
22	38	14.50	40	2.50
5	40	3.00	41	3.00
1000	41	3.00	43	17.00
29	43	19.00	45	23.00
36	45	23.00	47	15.00
1000	47	15.00	50	5.00
8	50	5.33	52	13.33
21	52	13.33	54	21.33
1000	54	21.33	57	11.33
17	57	11.50	59	11.50
18	59	12.00	60	24.00
9	61	6.00	62	6.00
1000	62	6.00	64	20.00
31	64	20.00	66	8.00
13	66	9.00	68	1.00
6	68	4.00	69	16.00
1000	69	16.00	72	6.00
10	72	6.67	74	14.67
23	74	14.67	76	22.67
1000	76	22.67	79	12.67
20	79	13.00	81	5.00
11	81	7.00	83	11.00
1000	83	11.00	86	1.00
7	86	4.00	88	12.00
19	88	12.00	90	20.00
1000	90	20.00	93	10.00
16	93	10.67	95	18.67
30	95	20.00	98	4.00
1000	98	4.00	100	18.00
32	100	21.33	103	5.33
12	103	8.00	105	16.00
1000	105	16.00	108	6.00
14	108	9.33	110	17.33
33	110	21.50	111	21.50
1000	111	21.50	114	11.50

35	114	22.67	117	6.67
1000	117	6.67	119	20.67
27	120	18.50	122	18.50
28	122	18.67	125	2.67
1000	125	2.67	127	16.67
25	127	17.00	129	17.00
26	129	17.33	132	1.33
1000	132	1.33	134	15.33
24	134	16.00	136	24.00
1000	136	24.00	139	14.00
1	140	0.00	142	8.00
1000	142	8.00	144	22.00
34	144	22.50	147	2.50
1000	147	2.50	149	16.50
4	150	2.67	152	10.67
1000	152	10.67	155	0.67
2	155	1.33	157	9.33
15	157	10.00	159	10.00
1000	159	10.00	161	24.00
3	162	1.50	163	13.50
22	163	14.50	165	2.50
5	165	3.00	166	3.00
1000	166	3.00	168	17.00
29	168	19.00	170	23.00
36	170	23.00	172	15.00
1000	172	15.00	175	5.00
8	175	5.33	177	13.33
1000	177	13.33	180	3.33
21	180	13.33	182	21.33
17	183	11.50	185	11.50
1000	185	11.50	188	1.50
18	188	12.00	189	24.00
9	190	6.00	191	6.00
31	191	20.00	193	8.00
1000	193	8.00	195	22.00
13	196	9.00	198	1.00
6	198	4.00	199	16.00
1000	199	16.00	202	6.00
10	202	6.67	204	14.67
1000	204	14.67	207	4.67
23	207	14.67	209	22.67
20	210	13.00	212	5.00
1000	212	5.00	214	19.00
11	215	7.00	217	11.00
1000	217	11.00	220	1.00
7	220	4.00	222	12.00
1000	222	12.00	225	2.00
19	225	12.00	227	20.00
1000	227	20.00	230	10.00
16	230	10.67	232	18.67
1000	232	18.67	235	8.67
30	235	20.00	238	4.00
1000	238	4.00	240	18.00
32	240	21.33	243	5.33
1000	243	5.33	245	19.33

12	246	8.00	248	16.00
1000	248	16.00	251	6.00
14	251	9.33	253	17.33
33	253	21.50	254	21.50
1000	254	21.50	257	11.50
35	257	22.67	260	6.67

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 5 - S.A v=1 - T14
==========

CUSTO FINAL = $126.67

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.33	56.00
3.00	1.50	36.00
4.00	2.67	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	4.00	36.00
7.00	4.00	56.00
8.00	5.33	56.00
9.00	6.00	24.00
10.00	6.67	56.00
11.00	7.00	52.00
12.00	8.00	56.00
13.00	9.00	40.00
14.00	9.33	56.00
15.00	10.00	48.00
16.00	10.67	56.00
17.00	11.50	48.00
18.00	12.00	36.00
19.00	12.00	56.00
20.00	13.00	40.00
21.00	13.33	56.00
22.00	14.50	36.00
23.00	14.67	56.00
24.00	16.00	56.00
25.00	17.00	48.00
26.00	17.33	56.00
27.00	18.50	48.00
28.00	18.67	56.00
29.00	19.00	52.00
30.00	20.00	56.00
31.00	20.00	36.00
32.00	21.33	56.00
33.00	21.50	24.00
34.00	22.50	52.00
35.00	22.67	56.00
36.00	23.00	40.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
32	1	21.33	4	5.33
1000	4	5.33	6	19.33
30	6	20.00	9	4.00
6	9	4.00	10	16.00
1000	10	16.00	13	6.00
10	13	6.67	15	14.67
29	15	19.00	17	23.00
1000	17	23.00	20	13.00
23	20	14.67	22	22.67
36	22	23.00	24	15.00
1000	24	15.00	27	5.00
9	27	6.00	28	6.00
13	28	9.00	30	1.00
1000	30	1.00	32	15.00
26	32	17.33	35	1.33
3	35	1.50	36	13.50
1000	36	13.50	39	3.50
17	39	11.50	41	11.50
22	41	14.50	43	2.50
1000	43	2.50	45	16.50
25	45	17.00	47	17.00
31	47	20.00	49	8.00
1000	49	8.00	51	22.00
34	51	22.50	54	2.50
8	54	5.33	56	13.33
1000	56	13.33	59	3.33
7	59	4.00	61	12.00
18	61	12.00	62	24.00
1000	62	24.00	65	14.00
24	65	16.00	67	24.00
1000	67	24.00	70	14.00
28	70	18.67	73	2.67
5	73	3.00	74	3.00
1000	74	3.00	76	17.00
27	76	18.50	78	18.50
1000	78	18.50	81	8.50
16	81	10.67	83	18.67
1000	83	18.67	86	8.67
21	86	13.33	88	21.33
1000	88	21.33	91	11.33
19	91	12.00	93	20.00
33	93	21.50	94	21.50
1000	94	21.50	97	11.50
20	97	13.00	99	5.00
11	99	7.00	101	11.00
1000	101	11.00	104	1.00
4	104	2.67	106	10.67
1000	106	10.67	109	0.67
2	109	1.33	111	9.33
15	111	10.00	113	10.00
1000	113	10.00	115	24.00
1	116	0.00	118	8.00

1000	118	8.00	120	22.00
35	120	22.67	123	6.67
14	123	9.33	125	17.33
1000	125	17.33	128	7.33
12	128	8.00	130	16.00
32	130	21.33	133	5.33
1000	133	5.33	135	19.33
30	135	20.00	138	4.00
6	138	4.00	139	16.00
1000	139	16.00	142	6.00
10	142	6.67	144	14.67
29	144	19.00	146	23.00
1000	146	23.00	149	13.00
23	149	14.67	151	22.67
36	151	23.00	153	15.00
1000	153	15.00	156	5.00
9	156	6.00	157	6.00
13	157	9.00	159	1.00
1000	159	1.00	161	15.00
26	161	17.33	164	1.33
3	164	1.50	165	13.50
1000	165	13.50	168	3.50
17	168	11.50	170	11.50
22	170	14.50	172	2.50
1000	172	2.50	174	16.50
25	174	17.00	176	17.00
31	176	20.00	178	8.00
1000	178	8.00	180	22.00
34	180	22.50	183	2.50
8	183	5.33	185	13.33
1000	185	13.33	188	3.33
7	188	4.00	190	12.00
18	190	12.00	191	24.00
1000	191	24.00	194	14.00
24	194	16.00	196	24.00
1000	196	24.00	199	14.00
28	199	18.67	202	2.67
5	202	3.00	203	3.00
1000	203	3.00	205	17.00
27	205	18.50	207	18.50
1000	207	18.50	210	8.50
16	210	10.67	212	18.67
1000	212	18.67	215	8.67
21	215	13.33	217	21.33
1000	217	21.33	220	11.33
19	220	12.00	222	20.00
33	222	21.50	223	21.50
1000	223	21.50	226	11.50
20	226	13.00	228	5.00
11	228	7.00	230	11.00
1000	230	11.00	233	1.00
4	233	2.67	235	10.67
1000	235	10.67	238	0.67
2	238	1.33	240	9.33
15	240	10.00	242	10.00

1000	242	10.00	244	24.00
1	245	0.00	247	8.00
1000	247	8.00	249	22.00
35	249	22.67	252	6.67
14	252	9.33	254	17.33
1000	254	17.33	257	7.33
12	257	8.00	259	16.00

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 5 - S.A v=10 - T15
==========

CUSTO FINAL = $68.67

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.33	56.00
3.00	1.50	36.00
4.00	2.67	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	4.00	36.00
7.00	4.00	56.00
8.00	5.33	56.00
9.00	6.00	24.00
10.00	6.67	56.00
11.00	7.00	52.00
12.00	8.00	56.00
13.00	9.00	40.00
14.00	9.33	56.00
15.00	10.00	48.00
16.00	10.67	56.00
17.00	11.50	48.00
18.00	12.00	36.00
19.00	12.00	56.00
20.00	13.00	40.00
21.00	13.33	56.00
22.00	14.50	36.00
23.00	14.67	56.00
24.00	16.00	56.00
25.00	17.00	48.00
26.00	17.33	56.00
27.00	18.50	48.00
28.00	18.67	56.00
29.00	19.00	52.00
30.00	20.00	56.00
31.00	20.00	36.00
32.00	21.33	56.00
33.00	21.50	24.00
34.00	22.50	52.00
35.00	22.67	56.00
36.00	23.00	40.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
35	1	22.67	4	6.67
1000	4	6.67	6	20.67
32	6	21.33	9	5.33
1000	9	5.33	11	19.33
30	11	20.00	14	4.00
1000	14	4.00	16	18.00
29	16	19.00	18	23.00
1000	18	23.00	21	13.00
21	21	13.33	23	21.33
33	23	21.50	24	21.50
1000	24	21.50	27	11.50
17	27	11.50	29	11.50
19	29	12.00	31	20.00
1000	31	20.00	34	10.00
18	34	12.00	35	24.00
1	36	0.00	38	8.00
1000	38	8.00	40	22.00
34	40	22.50	43	2.50
6	43	4.00	44	16.00
1000	44	16.00	47	6.00
9	47	6.00	48	6.00
11	48	7.00	50	11.00
20	50	13.00	52	5.00
1000	52	5.00	54	19.00
31	54	20.00	56	8.00
13	56	9.00	58	1.00
1000	58	1.00	60	15.00
28	60	18.67	63	2.67
1000	63	2.67	65	16.67
25	65	17.00	67	17.00
27	67	18.50	69	18.50
1000	69	18.50	72	8.50
16	72	10.67	74	18.67
1000	74	18.67	77	8.67
14	77	9.33	79	17.33
1000	79	17.33	82	7.33
12	82	8.00	84	16.00
24	84	16.00	86	24.00
1000	86	24.00	89	14.00
23	89	14.67	91	22.67
36	91	23.00	93	15.00
1000	93	15.00	96	5.00
10	96	6.67	98	14.67
1000	98	14.67	101	4.67
8	101	5.33	103	13.33
1000	103	13.33	106	3.33
7	106	4.00	108	12.00
1000	108	12.00	111	2.00
4	111	2.67	113	10.67
1000	113	10.67	116	0.67
2	116	1.33	118	9.33

15	118	10.00	120	10.00
1000	120	10.00	122	24.00
3	123	1.50	124	13.50
22	124	14.50	126	2.50
5	126	3.00	127	3.00
1000	127	3.00	129	17.00
26	129	17.33	132	1.33
1000	132	1.33	134	15.33
35	134	22.67	137	6.67
1000	137	6.67	139	20.67
32	139	21.33	142	5.33
1000	142	5.33	144	19.33
30	144	20.00	147	4.00
1000	147	4.00	149	18.00
29	149	19.00	151	23.00
1000	151	23.00	154	13.00
21	154	13.33	156	21.33
33	156	21.50	157	21.50
1000	157	21.50	160	11.50
17	160	11.50	162	11.50
19	162	12.00	164	20.00
1000	164	20.00	167	10.00
18	167	12.00	168	24.00
1	169	0.00	171	8.00
1000	171	8.00	173	22.00
34	173	22.50	176	2.50
6	176	4.00	177	16.00
1000	177	16.00	180	6.00
9	180	6.00	181	6.00
11	181	7.00	183	11.00
20	183	13.00	185	5.00
1000	185	5.00	187	19.00
31	187	20.00	189	8.00
13	189	9.00	191	1.00
1000	191	1.00	193	15.00
28	193	18.67	196	2.67
1000	196	2.67	198	16.67
25	198	17.00	200	17.00
27	200	18.50	202	18.50
1000	202	18.50	205	8.50
16	205	10.67	207	18.67
1000	207	18.67	210	8.67
14	210	9.33	212	17.33
1000	212	17.33	215	7.33
12	215	8.00	217	16.00
24	217	16.00	219	24.00
1000	219	24.00	222	14.00
23	222	14.67	224	22.67
36	224	23.00	226	15.00
1000	226	15.00	229	5.00
10	229	6.67	231	14.67
1000	231	14.67	234	4.67
8	234	5.33	236	13.33
1000	236	13.33	239	3.33
7	239	4.00	241	12.00

1000	241	12.00	244	2.00
4	244	2.67	246	10.67
1000	246	10.67	249	0.67
2	249	1.33	251	9.33
15	251	10.00	253	10.00
1000	253	10.00	255	24.00
3	256	1.50	257	13.50
22	257	14.50	259	2.50
5	259	3.00	260	3.00
1000	260	3.00	262	17.00
26	262	17.33	265	1.33

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 6 - GULOSO - T16
==========

CUSTO FINAL = $346.00

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.20	56.00
3.00	1.50	36.00
4.00	2.40	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	3.60	56.00
7.00	4.00	36.00
8.00	4.80	56.00
9.00	5.50	48.00
10.00	6.00	24.00
11.00	6.00	56.00
12.00	7.00	52.00
13.00	7.20	56.00
14.00	8.40	56.00
15.00	9.00	40.00
16.00	9.60	56.00
17.00	10.00	48.00
18.00	10.80	56.00
19.00	11.50	48.00
20.00	12.00	56.00
21.00	12.00	36.00
22.00	13.00	40.00
23.00	13.20	56.00
24.00	14.40	56.00
25.00	14.50	36.00
26.00	15.60	56.00
27.00	16.00	40.00
28.00	16.80	56.00
29.00	17.00	48.00
30.00	18.00	56.00
31.00	18.50	48.00
32.00	19.00	52.00
33.00	19.20	56.00

34.00	20.00	36.00
35.00	20.40	56.00
36.00	21.50	24.00
37.00	21.60	56.00
38.00	22.50	52.00
39.00	22.80	56.00
40.00	23.00	40.00

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
2	1	1.20	3	9.20
16	3	9.60	5	17.60
1000	5	17.60	8	7.60
14	8	8.40	10	16.40
28	10	16.80	13	0.80
1000	13	0.80	15	14.80
26	15	15.60	17	23.60
1	18	0.00	20	8.00
1000	20	8.00	22	22.00
38	22	22.50	25	2.50
5	25	3.00	26	3.00
7	26	4.00	27	16.00
1000	27	16.00	30	6.00
10	30	6.00	31	6.00
11	31	6.00	33	14.00
25	33	14.50	35	2.50
1000	35	2.50	37	16.50
29	37	17.00	39	17.00
30	39	18.00	42	2.00
1000	42	2.00	44	16.00
27	44	16.00	46	8.00
15	46	9.00	48	1.00
3	48	1.50	49	13.50
1000	49	13.50	52	3.50
6	52	3.60	54	11.60
20	54	12.00	56	20.00
1000	56	20.00	59	10.00
17	59	10.00	61	10.00
18	61	10.80	63	18.80
1000	63	18.80	66	8.80
19	66	11.50	68	11.50
21	68	12.00	69	24.00
1000	69	24.00	72	14.00
24	72	14.40	74	22.40
39	74	22.80	77	6.80
1000	77	6.80	79	20.80
36	79	21.50	80	21.50
37	80	21.60	83	5.60
1000	83	5.60	85	19.60
34	85	20.00	87	8.00
22	87	13.00	89	5.00
1000	89	5.00	91	19.00
32	91	19.00	93	23.00

40	93	23.00	95	15.00
1000	95	15.00	98	5.00
9	98	5.50	100	5.50
12	100	7.00	102	11.00
1000	102	11.00	105	1.00
4	105	2.40	107	10.40
23	107	13.20	109	21.20
1000	109	21.20	112	11.20
31	112	18.50	114	18.50
33	114	19.20	117	3.20
1000	117	3.20	119	17.20
35	119	20.40	122	4.40
8	122	4.80	124	12.80
1000	124	12.80	127	2.80
13	127	7.20	129	15.20
1000	129	15.20	132	5.20
2	133	1.20	135	9.20
1000	135	9.20	137	23.20
16	138	9.60	140	17.60
1000	140	17.60	143	7.60
14	143	8.40	145	16.40
1000	145	16.40	148	6.40
28	148	16.80	151	0.80
1000	151	0.80	153	14.80
26	153	15.60	155	23.60
1000	155	23.60	158	13.60
1	159	0.00	161	8.00
1000	161	8.00	163	22.00
38	163	22.50	166	2.50
5	166	3.00	167	3.00
1000	167	3.00	169	17.00
7	170	4.00	171	16.00
10	172	6.00	173	6.00
1000	173	6.00	175	20.00
11	176	6.00	178	14.00
25	178	14.50	180	2.50
1000	180	2.50	182	16.50
29	182	17.00	184	17.00
30	184	18.00	187	2.00
1000	187	2.00	189	16.00
27	189	16.00	191	8.00
15	191	9.00	193	1.00
1000	193	1.00	195	15.00
3	196	1.50	197	13.50
6	198	3.60	200	11.60
1000	200	11.60	203	1.60
20	203	12.00	205	20.00
17	206	10.00	208	10.00
1000	208	10.00	210	24.00
18	211	10.80	213	18.80
1000	213	18.80	216	8.80
19	216	11.50	218	11.50
21	218	12.00	219	24.00
1000	219	24.00	222	14.00
24	222	14.40	224	22.40

1000	224	22.40	227	12.40
39	227	22.80	230	6.80
36	230	21.50	231	21.50
1000	231	21.50	234	11.50
37	234	21.60	237	5.60
34	237	20.00	239	8.00
1000	239	8.00	241	22.00
22	242	13.00	244	5.00
32	244	19.00	246	23.00
1000	246	23.00	249	13.00
40	249	23.00	251	15.00
9	252	5.50	254	5.50
1000	254	5.50	256	19.50
12	257	7.00	259	11.00
1000	259	11.00	262	1.00
4	262	2.40	264	10.40
1000	264	10.40	267	0.40
23	267	13.20	269	21.20
1000	269	21.20	272	11.20
31	272	18.50	274	18.50
1000	274	18.50	277	8.50
33	277	19.20	280	3.20
1000	280	3.20	282	17.20
35	282	20.40	285	4.40
1000	285	4.40	287	18.40
8	288	4.80	290	12.80
1000	290	12.80	293	2.80
13	293	7.20	295	15.20

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 6 - S.A v=1 - T17
==========

CUSTO FINAL = $169.20

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.00	56.00
2.00	1.20	56.00
3.00	1.50	36.00
4.00	2.40	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	3.60	56.00
7.00	4.00	36.00
8.00	4.80	56.00
9.00	5.50	48.00
10.00	6.00	24.00
11.00	6.00	56.00
12.00	7.00	52.00
13.00	7.20	56.00
14.00	8.40	56.00
15.00	9.00	40.00
16.00	9.60	56.00

17.00	10.00	48.00
18.00	10.80	56.00
19.00	11.50	48.00
20.00	12.00	56.00
21.00	12.00	36.00
22.00	13.00	40.00
23.00	13.20	56.00
24.00	14.40	56.00
25.00	14.50	36.00
26.00	15.60	56.00
27.00	16.00	40.00
28.00	16.80	56.00
29.00	17.00	48.00
30.00	18.00	56.00
31.00	18.50	48.00
32.00	19.00	52.00
33.00	19.20	56.00
34.00	20.00	36.00
35.00	20.40	56.00
36.00	21.50	24.00
37.00	21.60	56.00
38.00	22.50	52.00
39.00	22.80	56.00
40.00	23.00	40.00

==========

========== ESCALA FINAL ==========

indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
1	1	0.00	3	8.00
1000	3	8.00	5	22.00
39	5	22.80	8	6.80
1000	8	6.80	10	20.80
37	10	21.60	13	5.60
16	13	9.60	15	17.60
1000	15	17.60	18	7.60
15	18	9.00	20	1.00
3	20	1.50	21	13.50
1000	21	13.50	24	3.50
6	24	3.60	26	11.60
22	26	13.00	28	5.00
1000	28	5.00	30	19.00
34	30	20.00	32	8.00
25	32	14.50	34	2.50
1000	34	2.50	36	16.50
32	36	19.00	38	23.00
40	38	23.00	40	15.00
1000	40	15.00	43	5.00
12	43	7.00	45	11.00
1000	45	11.00	48	1.00
9	48	5.50	50	5.50
1000	50	5.50	52	19.50
38	52	22.50	55	2.50
5	55	3.00	56	3.00
7	56	4.00	57	16.00

1000	57	16.00	60	6.00
10	60	6.00	61	6.00
11	61	6.00	63	14.00
1000	63	14.00	66	4.00
13	66	7.20	68	15.20
1000	68	15.20	71	5.20
14	71	8.40	73	16.40
28	73	16.80	76	0.80
1000	76	0.80	78	14.80
26	78	15.60	80	23.60
1000	80	23.60	83	13.60
29	83	17.00	85	17.00
36	85	21.50	86	21.50
1000	86	21.50	89	11.50
21	89	12.00	90	24.00
2	91	1.20	93	9.20
1000	93	9.20	95	23.20
4	96	2.40	98	10.40
24	98	14.40	100	22.40
1000	100	22.40	103	12.40
27	103	16.00	105	8.00
17	105	10.00	107	10.00
1000	107	10.00	109	24.00
8	110	4.80	112	12.80
23	112	13.20	114	21.20
1000	114	21.20	117	11.20
20	117	12.00	119	20.00
1000	119	20.00	122	10.00
19	122	11.50	124	11.50
30	124	18.00	127	2.00
1000	127	2.00	129	16.00
31	129	18.50	131	18.50
1000	131	18.50	134	8.50
18	134	10.80	136	18.80
35	136	20.40	139	4.40
1000	139	4.40	141	18.40
33	141	19.20	144	3.20
1000	144	3.20	146	17.20
1	147	0.00	149	8.00
1000	149	8.00	151	22.00
39	151	22.80	154	6.80
1000	154	6.80	156	20.80
37	156	21.60	159	5.60
16	159	9.60	161	17.60
1000	161	17.60	164	7.60
15	164	9.00	166	1.00
3	166	1.50	167	13.50
1000	167	13.50	170	3.50
6	170	3.60	172	11.60
22	172	13.00	174	5.00
1000	174	5.00	176	19.00
34	176	20.00	178	8.00
25	178	14.50	180	2.50
1000	180	2.50	182	16.50
32	182	19.00	184	23.00

40	184	23.00	186	15.00
1000	186	15.00	189	5.00
12	189	7.00	191	11.00
1000	191	11.00	194	1.00
9	194	5.50	196	5.50
1000	196	5.50	198	19.50
38	198	22.50	201	2.50
5	201	3.00	202	3.00
7	202	4.00	203	16.00
1000	203	16.00	206	6.00
10	206	6.00	207	6.00
11	207	6.00	209	14.00
1000	209	14.00	212	4.00
13	212	7.20	214	15.20
1000	214	15.20	217	5.20
14	217	8.40	219	16.40
28	219	16.80	222	0.80
1000	222	0.80	224	14.80
26	224	15.60	226	23.60
1000	226	23.60	229	13.60
29	229	17.00	231	17.00
36	231	21.50	232	21.50
1000	232	21.50	235	11.50
21	235	12.00	236	24.00
2	237	1.20	239	9.20
1000	239	9.20	241	23.20
4	242	2.40	244	10.40
24	244	14.40	246	22.40
1000	246	22.40	249	12.40
27	249	16.00	251	8.00
17	251	10.00	253	10.00
1000	253	10.00	255	24.00
8	256	4.80	258	12.80
23	258	13.20	260	21.20
1000	260	21.20	263	11.20
20	263	12.00	265	20.00
1000	265	20.00	268	10.00
19	268	11.50	270	11.50
30	270	18.00	273	2.00
1000	273	2.00	275	16.00
31	275	18.50	277	18.50
1000	277	18.50	280	8.50
18	280	10.80	282	18.80
35	282	20.40	285	4.40
1000	285	4.40	287	18.40
33	287	19.20	290	3.20

==========

==========
GRUPO DE VIAGENS 6 - S.A v=10 - T18
==========

CUSTO FINAL = $74.80

======== TABELA DE HORÁRIOS ==========

indice	hora saída	duração
1.00	0.50	56.00
2.00	1.50	36.00
3.00	1.70	56.00
4.00	2.90	56.00
5.00	3.00	24.00
6.00	4.00	36.00
7.00	4.10	56.00
8.00	5.30	56.00
9.00	5.50	48.00
10.00	6.00	24.00
11.00	6.50	56.00
12.00	7.00	52.00
13.00	7.70	56.00
14.00	8.90	56.00
15.00	9.00	40.00
16.00	10.00	48.00
17.00	10.10	56.00
18.00	11.30	56.00
19.00	11.50	48.00
20.00	12.00	36.00
21.00	12.50	56.00
22.00	13.00	40.00
23.00	13.70	56.00
24.00	14.50	36.00
25.00	14.90	56.00
26.00	16.00	40.00
27.00	16.10	56.00
28.00	17.00	48.00
29.00	17.30	56.00
30.00	18.50	56.00
31.00	18.50	48.00
32.00	19.00	52.00
33.00	19.70	56.00
34.00	20.00	36.00
35.00	20.90	56.00
36.00	21.50	24.00
37.00	22.10	56.00
38.00	22.50	52.00
39.00	23.00	40.00
40.00	23.30	56.00

========== ESCALA FINAL ==========

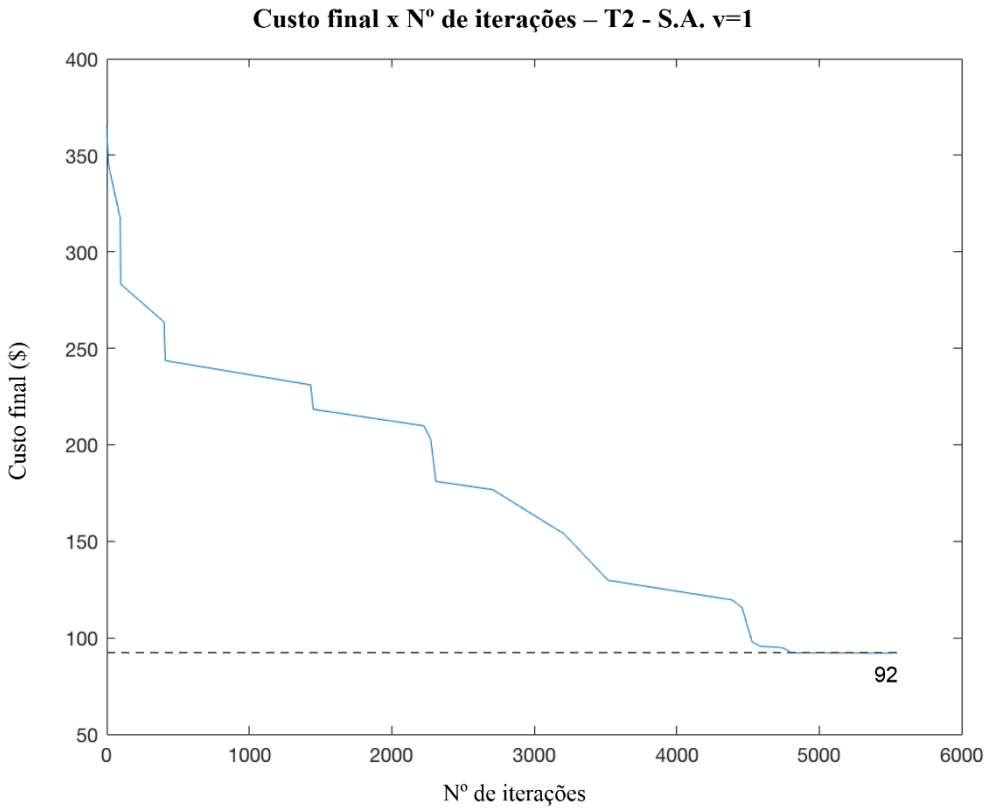
indice	dia início	hora início	dia fim	hora fim
23	1	13.70	3	21.70
1000	3	21.70	6	11.70
21	6	12.50	8	20.50
36	8	21.50	9	21.50
1000	9	21.50	12	11.50
19	12	11.50	14	11.50
22	14	13.00	16	5.00
1000	16	5.00	18	19.00

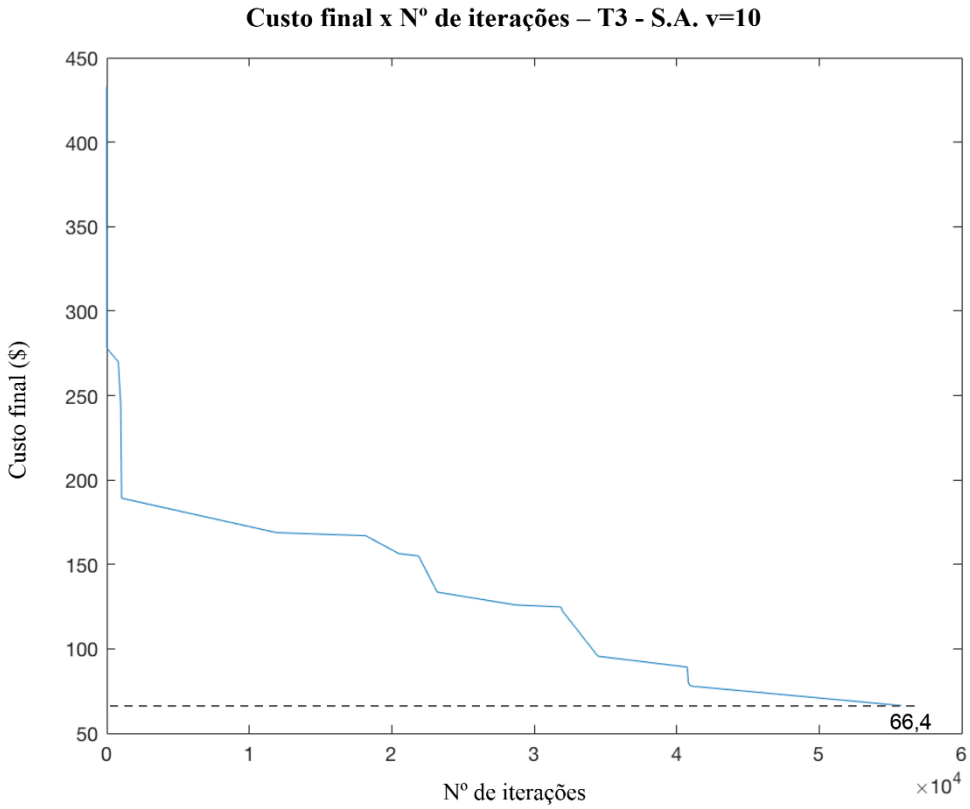
33	18	19.70	21	3.70
1000	21	3.70	23	17.70
30	23	18.50	26	2.50
1000	26	2.50	28	16.50
29	28	17.30	31	1.30
2	31	1.50	32	13.50
1000	32	13.50	35	3.50
10	35	6.00	36	6.00
12	36	7.00	38	11.00
20	38	12.00	39	24.00
1000	39	24.00	42	14.00
24	42	14.50	44	2.50
5	44	3.00	45	3.00
1000	45	3.00	47	17.00
28	47	17.00	49	17.00
34	49	20.00	51	8.00
1000	51	8.00	53	22.00
37	53	22.10	56	6.10
11	56	6.50	58	14.50
1000	58	14.50	61	4.50
9	61	5.50	63	5.50
1000	63	5.50	65	19.50
35	65	20.90	68	4.90
1000	68	4.90	70	18.90
32	70	19.00	72	23.00
40	72	23.30	75	7.30
1000	75	7.30	77	21.30
38	77	22.50	80	2.50
6	80	4.00	81	16.00
1000	81	16.00	84	6.00
13	84	7.70	86	15.70
27	86	16.10	89	0.10
1000	89	0.10	91	14.10
25	91	14.90	93	22.90
39	93	23.00	95	15.00
1000	95	15.00	98	5.00
8	98	5.30	100	13.30
1000	100	13.30	103	3.30
7	103	4.10	105	12.10
1000	105	12.10	108	2.10
4	108	2.90	110	10.90
1000	110	10.90	113	0.90
3	113	1.70	115	9.70
1000	115	9.70	117	23.70
1	118	0.50	120	8.50
15	120	9.00	122	1.00
1000	122	1.00	124	15.00
26	124	16.00	126	8.00
14	126	8.90	128	16.90
1000	128	16.90	131	6.90
16	131	10.00	133	10.00
18	133	11.30	135	19.30
1000	135	19.30	138	9.30
17	138	10.10	140	18.10
31	140	18.50	142	18.50

1000	142	18.50	145	8.50
23	145	13.70	147	21.70
1000	147	21.70	150	11.70
21	150	12.50	152	20.50
36	152	21.50	153	21.50
1000	153	21.50	156	11.50
19	156	11.50	158	11.50
22	158	13.00	160	5.00
1000	160	5.00	162	19.00
33	162	19.70	165	3.70
1000	165	3.70	167	17.70
30	167	18.50	170	2.50
1000	170	2.50	172	16.50
29	172	17.30	175	1.30
2	175	1.50	176	13.50
1000	176	13.50	179	3.50
10	179	6.00	180	6.00
12	180	7.00	182	11.00
20	182	12.00	183	24.00
1000	183	24.00	186	14.00
24	186	14.50	188	2.50
5	188	3.00	189	3.00
1000	189	3.00	191	17.00
28	191	17.00	193	17.00
34	193	20.00	195	8.00
1000	195	8.00	197	22.00
37	197	22.10	200	6.10
11	200	6.50	202	14.50
1000	202	14.50	205	4.50
9	205	5.50	207	5.50
1000	207	5.50	209	19.50
35	209	20.90	212	4.90
1000	212	4.90	214	18.90
32	214	19.00	216	23.00
40	216	23.30	219	7.30
1000	219	7.30	221	21.30
38	221	22.50	224	2.50
6	224	4.00	225	16.00
1000	225	16.00	228	6.00
13	228	7.70	230	15.70
27	230	16.10	233	0.10
1000	233	0.10	235	14.10
25	235	14.90	237	22.90
39	237	23.00	239	15.00
1000	239	15.00	242	5.00
8	242	5.30	244	13.30
1000	244	13.30	247	3.30
7	247	4.10	249	12.10
1000	249	12.10	252	2.10
4	252	2.90	254	10.90
1000	254	10.90	257	0.90
3	257	1.70	259	9.70
1000	259	9.70	261	23.70
1	262	0.50	264	8.50
15	264	9.00	266	1.00

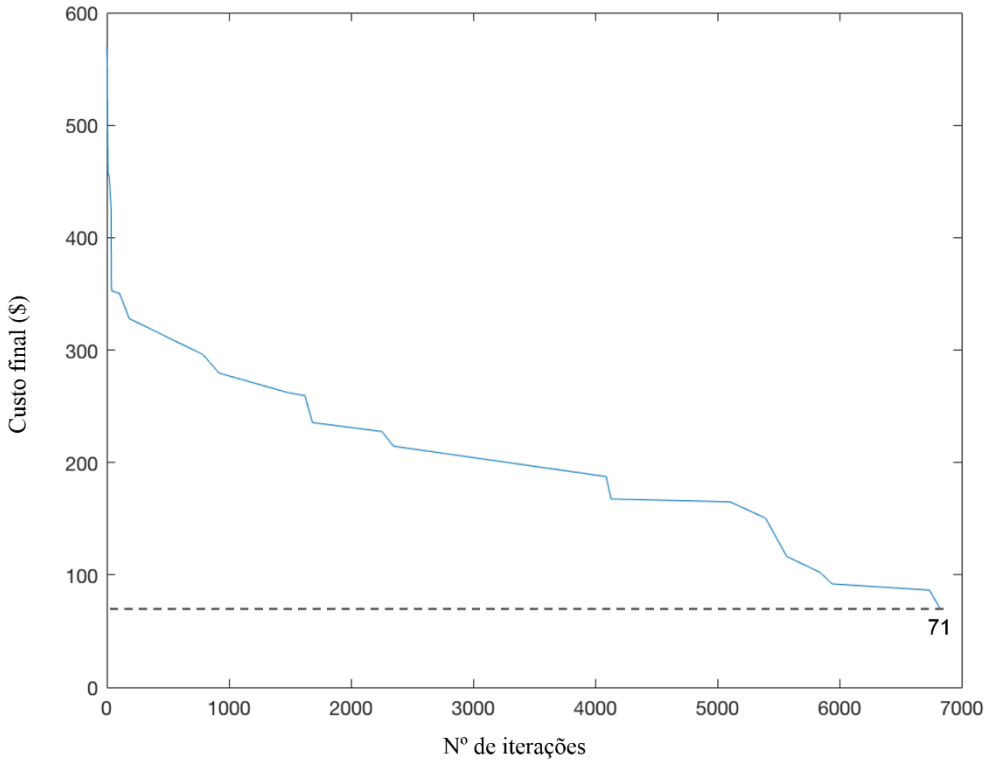
1000	266	1.00	268	15.00
26	268	16.00	270	8.00
14	270	8.90	272	16.90
1000	272	16.90	275	6.90
16	275	10.00	277	10.00
18	277	11.30	279	19.30
1000	279	19.30	282	9.30
17	282	10.10	284	18.10
31	284	18.50	286	18.50

C – GRÁFICOS

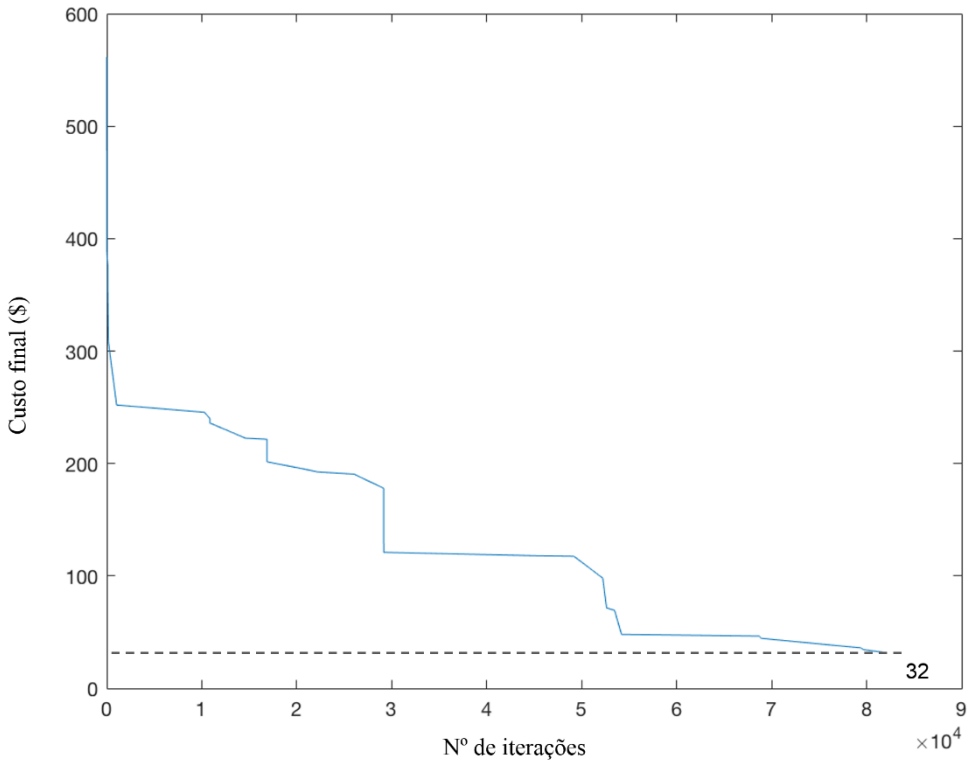

Custo final x Nº de iterações – T2 - S.A. v=1
Custo final ($)
Nº de iterações
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1000
2000
3000
4000
5000
6000
92


Custo final x Nº de iterações – T3 - S.A. v=10
Custo final ($)
Nº de iterações
450
400
350
300
250
200
150
100
50
0
1
2
3
4
5
6
×10^4
66,4

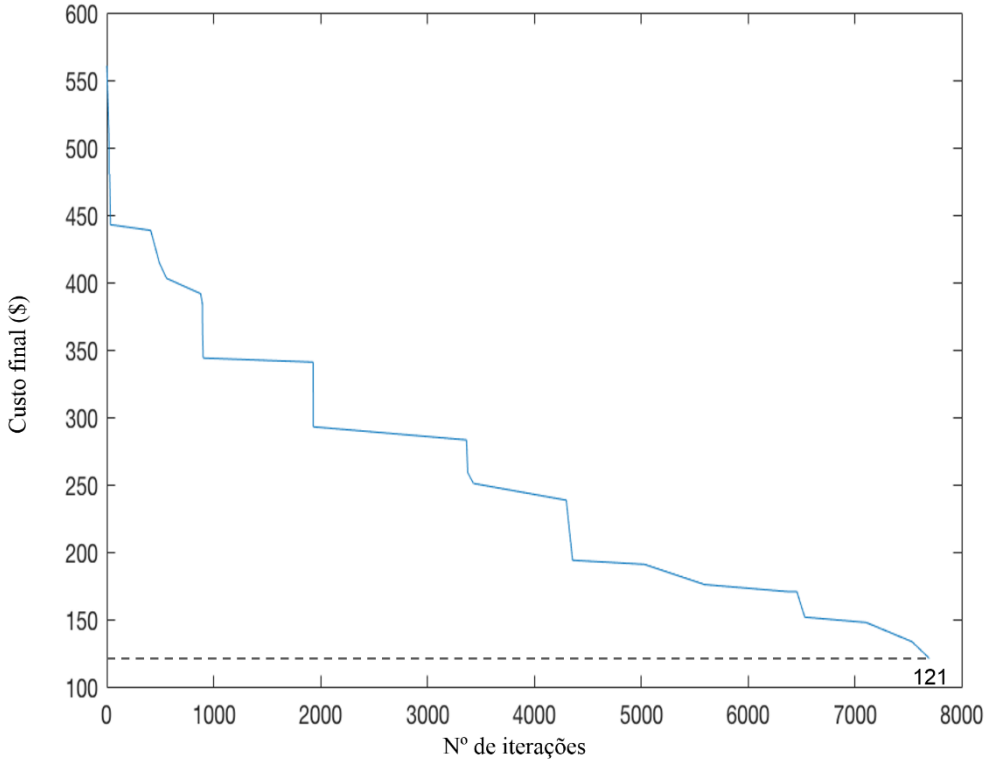
Custo final x Nº de iterações – T5 - S.A. v=1



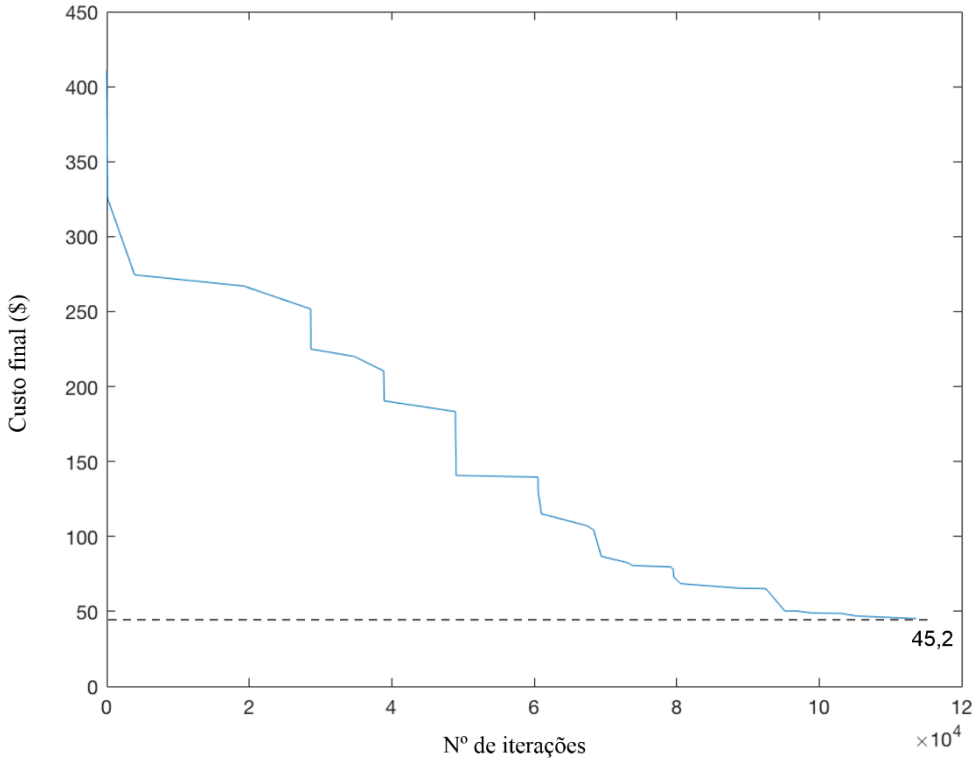
Custo final x Nº de iterações – T6 - S.A. v=10



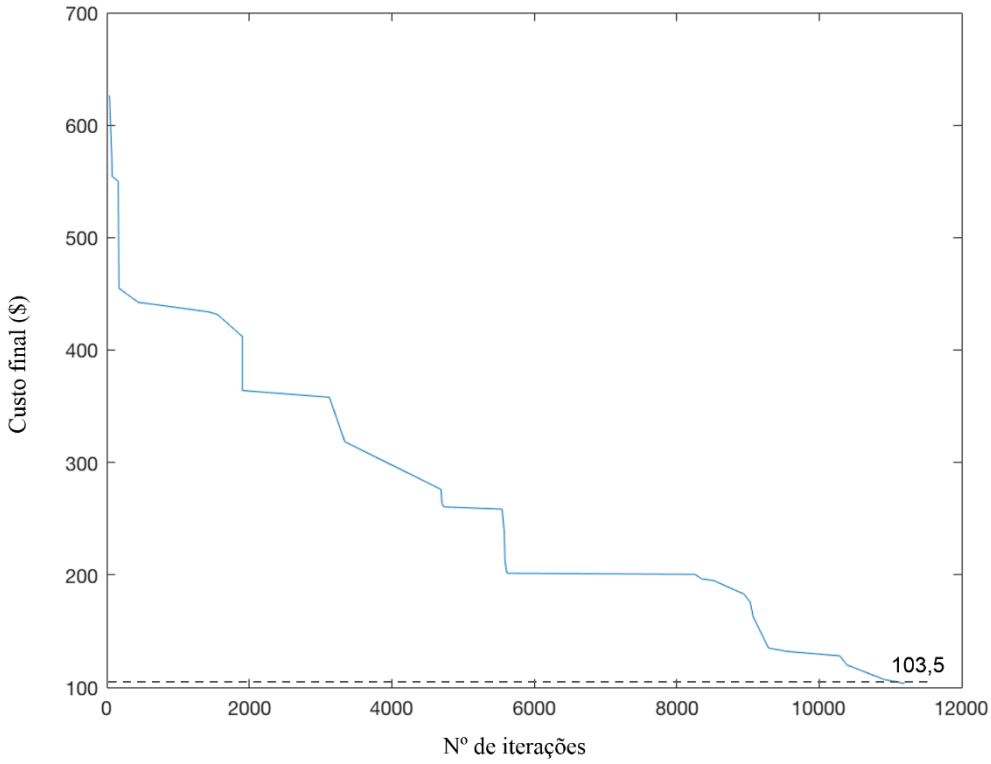
Custo final x Nº de iterações – T8 - S.A. v=1



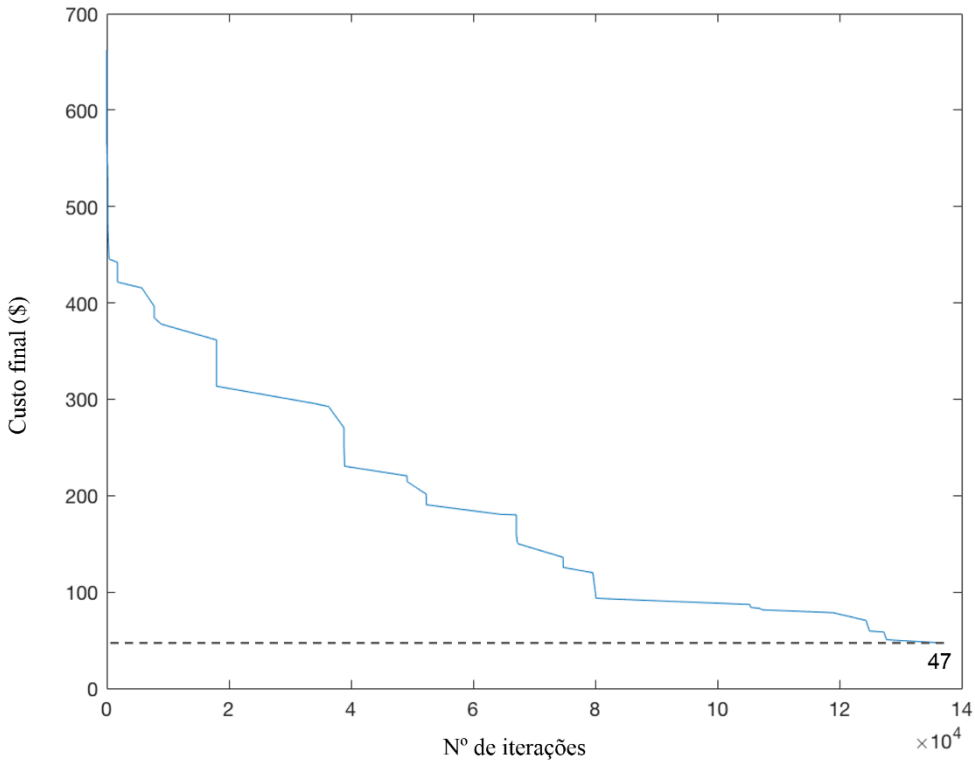
Custo final x Nº de iterações – T9 - S.A. v=10



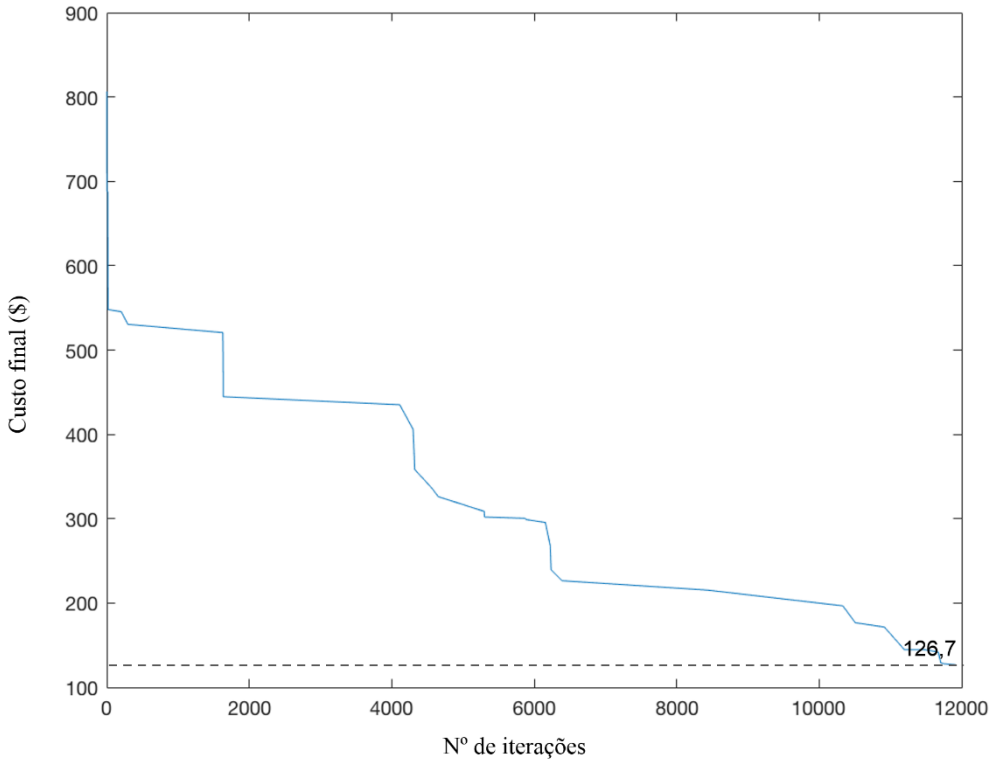
Custo final x Nº de iterações – T11 - S.A. v=1



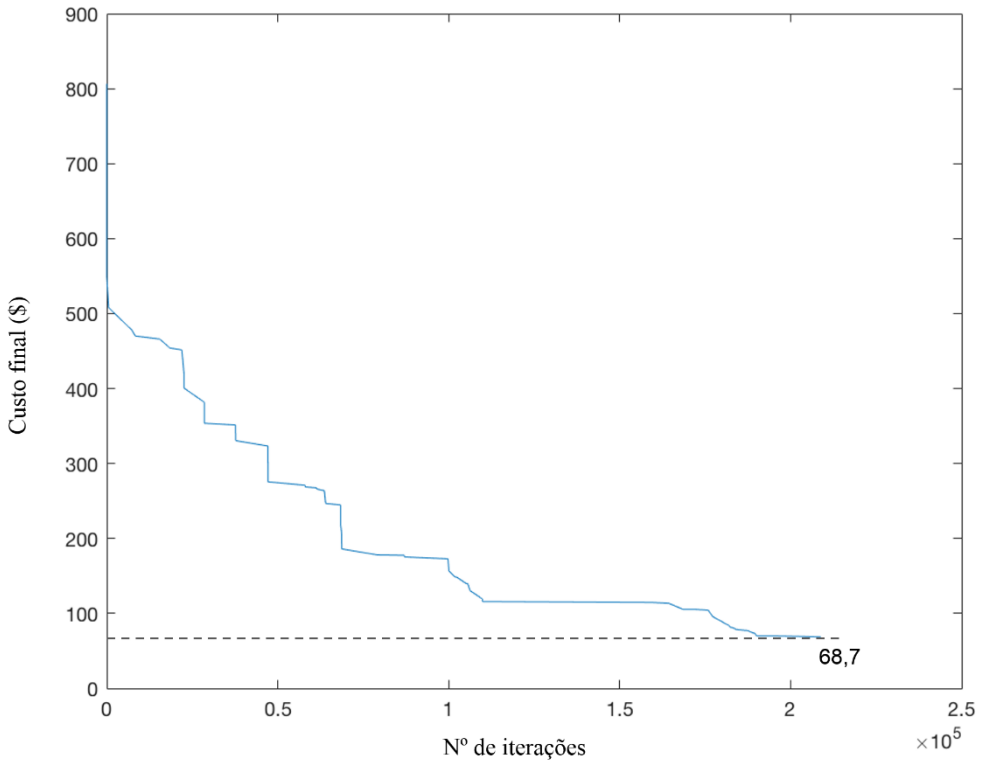
Custo final x Nº de iterações – T12 - S.A. v=10



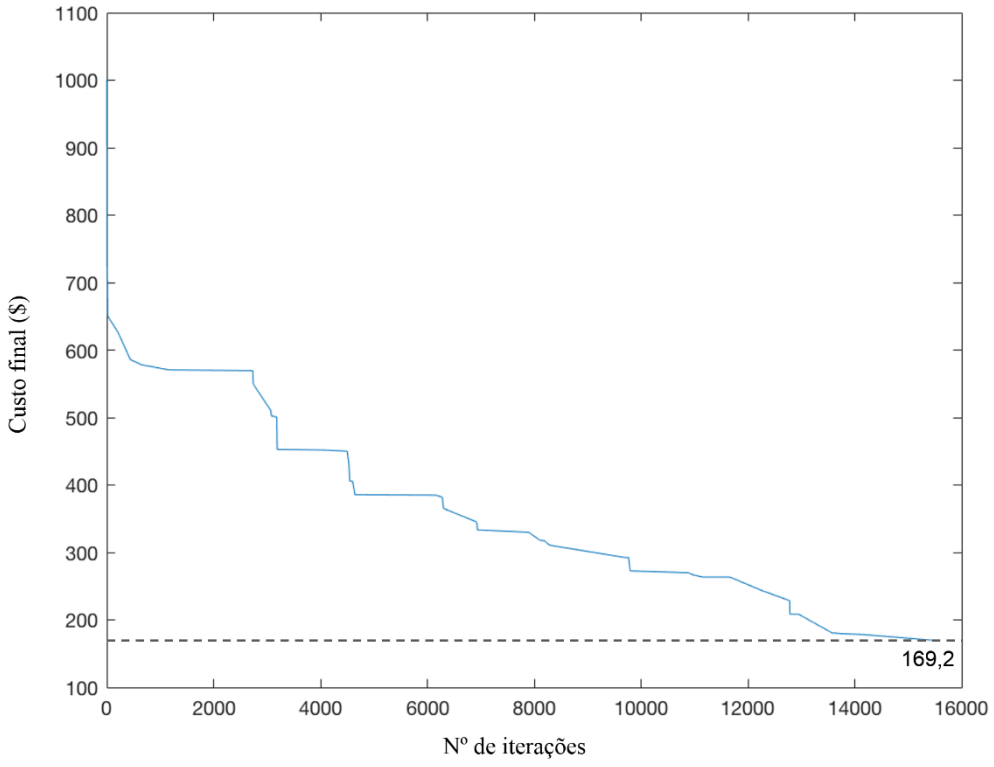
Custo final x Nº de iterações – T14 - S.A. v=1



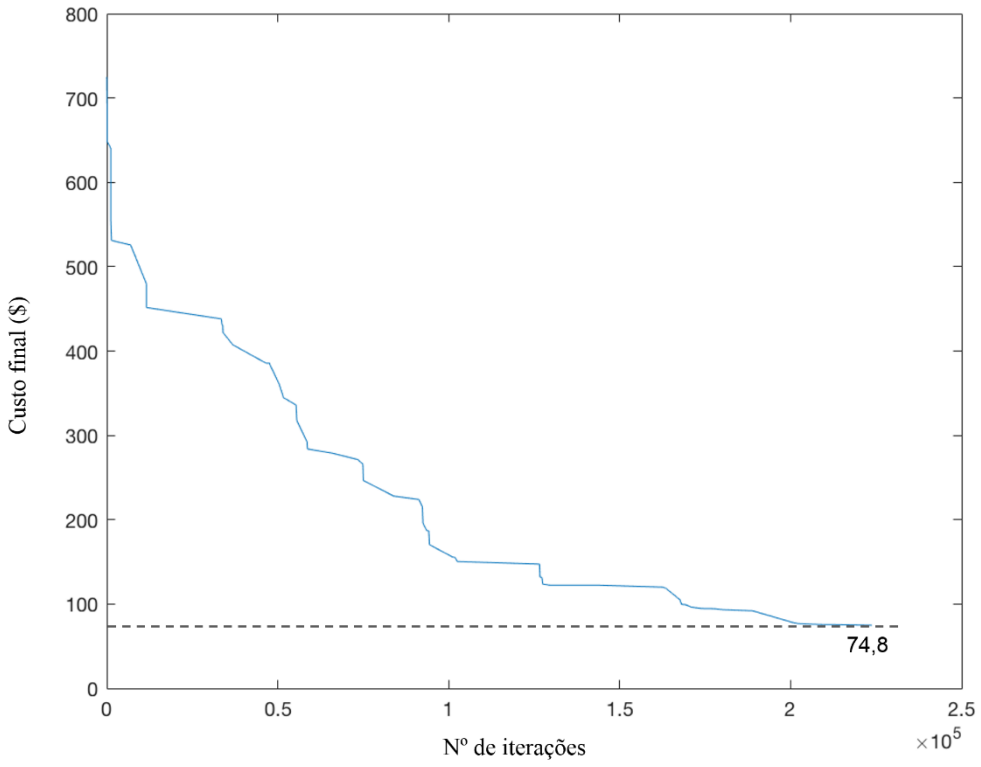
Custo final x Nº de iterações – T15 - S.A. v=10



Custo final x Nº de iterações – T17 - S.A. v=1



Custo final x Nº de iterações – T18 - S.A. v=10



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia de Produção é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral[1] e criminais previstas no Código Penal[2], além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 18 de Julho de 2018.

MARIA RIBEIRO DAIBERT
NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

201149051
Matrícula

MRDaibert
ASSINATURA

115.492.906-06
CPF

[1] LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

[2] Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.