

ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

TRABALHO DE FORMATURA

**UM MODELO PARA O GERENCIAMENTO DE RECURSOS
HUMANOS DE UMA EMPRESA DE ENTRETENIMENTO**

Volume 1 – Corpo do Trabalho

Autor: Luiz Rodrigo Marques Corrêa

Orientador: Professor Antonio Muscat

2000

*ff 2000
C817.m
v.2*

A meu irmão Cezar, com quem aprendi muito
sobre a vida neste ano de 2000.

Agradecimentos

Agradeço:

- a meu orientador, prof. Antônio Muscat e as prof.as. Celma Ribeiro e Débora Ronconi, pela sólida orientação prestada;
- a Gustavo Pierini e Marcelo Cardoso, pela oportunidade do trabalho;
- a querida Tatiane, pelo apoio e paciência incondicionais oferecidos durante todo o trabalho;
- a meus pais, por tudo que sou e consegui até hoje;
- a meus amigos Alexandre Gonçalves e Mauro Gonçalves, os ‘primos’, pela ajuda e apoio dados nas horas difíceis;
- a todas as outras pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para o trabalho.

E agradeço especialmente a Deus, sem Quem nada é possível nesta vida.

Sumário

O presente trabalho constrói um modelo para o gerenciamento de recursos humanos de uma empresa de entretenimento, onde as jornadas de trabalho são flexíveis. O transporte dos funcionários também é considerado neste modelo porque é pago pela empresa e decorre do modelo de alocação dos funcionários às jornadas de trabalho.

O objetivo do trabalho é criar uma ferramenta para o aperfeiçoamento da operação da empresa, visando reduzir o custo total sistêmico (mão-de-obra + transporte) atual.

Índice

Lista de figuras	
Lista de gráficos	
Lista de tabelas	
Lista de quadros	
Resumo	
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Tema do trabalho	1
1.2. Objetivo do trabalho	1
1.3. Estrutura do trabalho.....	1
2. A EMPRESA E O TRABALHO DE FORMATURA	4
2.1. Histórico da empresa.....	4
2.2. A empresa atualmente.....	5
2.3. Motivação para o Trabalho de Formatura.....	8
2.4. Descrição do problema a ser trabalhado no TF	12
3. EMBASAMENTO TEÓRICO E REVISÃO DA LITERATURA	14
3.1. Classificação de algoritmos aproximados.....	18
4. MODELAGEM DO PROBLEMA DE MONTAGEM DA ESCALA	23
4.1. Detalhamento do problema.....	23
4.1.1. Custos do sistema.....	24
4.1.2. Considerações adicionais para o detalhamento do problema	24
4.1.3. Restrições para alocação	28
4.1.4. Restrições para definição de horários das jornadas	30
4.1.5. Restrição para definição de rotas utilizadas pelos funcionários	35
4.2. Considerações iniciais sobre o problema.....	35
4.3. Modelagem realizada.....	39
4.3.1. Modelagem matemática.....	41
4.3.2. Modelagem heurística.....	54
4.4. Resultados obtidos	73
4.4.1. Avaliação empírica do modelo como um todo	74
4.4.2. Avaliação do desempenho da heurística de melhoramento	86
4.4.3. Simulação para o modelo real.....	88
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES.....	91
BIBLIOGRAFIA.....	97
ANEXOS	VOL. 2
ANEXO A - MANUAL DE UTILIZAÇÃO DO SISTEMA EM EXCEL	VOL. 2
ANEXO B - LISTAGEM DOS PROCEDIMENTOS QUE FORMAM O SISTEMA EM EXCEL	VOL. 2
ANEXO C - MODELAGEM EXATA TENTADA	VOL. 2
ANEXO D - MEMORIAIS DE CÁLCULO.....	VOL. 2
ANEXO E - EXEMPLOS UTILIZADOS NAS SIMULAÇÕES.....	VOL. 2

Lista de figuras

Figura 1 - Ilustração com exemplos de horários para uma jornada.....	25
Figura 2 - Ilustração de como são as rotas.....	27
Figura 3 - Ilustração da restrição de carga máxima diária.....	33
Figura 4 - Ilustração para o melhor entendimento de como funciona a definição dos horários de entrada e saída das jornadas.....	35
Figura 5 - Tela principal do sistema Excel que suporta as heurísticas.....	57
Figura 6 - Heurística 1, usada para a obtenção de uma solução inicial viável.....	63
Figura 7 - Planilha Transporte.....	66
Figura 8 - Movimentos possíveis para distribuir melhor os funcionários entre as viagens existentes.....	68
Figura 9 - Macrofluxo da heurística 2, utilizada para melhoramento da solução viável inicial apresentada pela heurística 1.....	72
Figura 10 - Parte interessada da curva normal, no cálculo do fator de repetição....	217

Lista de gráficos

Gráfico 1 -	Faixas de custo de transporte.....	51
Gráfico 2 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 1 da tabela 3.....	76
Gráfico 3 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 2 da tabela 3.....	77
Gráfico 4 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 3 da tabela 3.....	77
Gráfico 5 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 4 da tabela 3.....	78
Gráfico 6 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 5 da tabela 3.....	79
Gráfico 7 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 6 da tabela 3.....	79
Gráfico 8 -	Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 7 da tabela 3.....	80

Lista de tabelas

Tabela 1 -	Intervalo para alimentação em função do tempo total trabalhado	11
Tabela 2 -	Dados utilizados para modelagem do transporte.....	24
Tabela 3 -	Características dos exemplos utilizados para simulação.....	75
Tabela 4 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 1 da tabela 3.....	76
Tabela 5 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 2 da tabela 3.....	76
Tabela 6 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 3 da tabela 3.....	77
Tabela 7 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 4 da tabela 3.....	78
Tabela 8 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 5 da tabela 3.....	78
Tabela 9 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 6 da tabela 3.....	79
Tabela 10 -	Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 7 da tabela 3.....	80
Tabela 11 -	Teste de aderência para o exemplo 6.....	82
Tabela 12 -	Teste de aderência para o exemplo 7.....	84
Tabela 13 -	Fator de repetição da simulação.....	85
Tabela 14 -	Resultados obtidos com análise da heurística 2, para modelos pequenos.....	87
Tabela 15 -	Premissa utilizada para criação de jornadas.....	89
Tabela 16 -	Resultados da simulação para o problema real.....	89

Lista de quadros

Quadro 1 -	Índices utilizados na modelagem matemática.	41
Quadro 2 -	Variáveis e parâmetros utilizados na modelagem do problema.	44

Resumo

O presente trabalho descreve a construção de um modelo de alocação de pessoal às jornadas de trabalho das atividades operacionais de uma empresa de entretenimento, visando a diminuição do custo atual do sistema.

O problema pode ser caracterizado como um problema de designação, ou na literatura mais geral, como um problema de atribuição. Porém, o problema a ser descrito é um caso especial de atribuição, pois além do gerenciamento dos recursos humanos, tem-se gerenciamento do transporte dos funcionários, que é pago pela empresa, e decorre da atribuição de um funcionário a uma jornada.

O problema é modelado e resolvido através de técnicas heurísticas, via simulação.

Ao final são apresentados os resultados obtidos com o sistema montado para a realização das simulações e são tecidas considerações sobre o potencial de redução de custos, bem como considerações sobre a implementação do sistema.

CAPÍTULO 1

Introdução

**Este primeiro capítulo cuida de definir o trabalho, seu escopo
e sua estrutura.**

1. Introdução

1.1. Tema do trabalho

O tema escolhido foi o desenvolvimento de um modelo de alocação de pessoal, relativo às atividades operacionais de um parque de diversões.

1.2. Objetivo do trabalho

O objetivo do presente trabalho de formatura (doravante TF) é construir um modelo de alocação de pessoal às jornadas de trabalho da empresa, que respeite as restrições existentes e obtenha uma redução dos **custos totais** do sistema em relação à prática atual da empresa. Conseguir-se-á, assim, do ponto de vista da mão-de-obra, aperfeiçoar a operação do parque.

IMPORTANTE: Daqui até o final do trabalho, quando se falar em custos totais, estará se falando na soma de custos de mão-de-obra (incorrido pelo trabalho do pessoal a ser alocado as jornadas de trabalho) e custos de transporte (que a empresa incorre por ter de trazer os funcionários ao parque no início do dia e levá-los de volta às suas casas ao término de suas jornadas de trabalho).

1.3. Estrutura do trabalho

O presente trabalho está estruturado em capítulos. Segue a descrição dos capítulos e de seus conteúdos:

- **Capítulo 1:** o primeiro capítulo realiza a introdução do trabalho. É constituído pelo **Tema do trabalho**, pelo **Objetivo do trabalho** e pela **Estrutura do trabalho**;
- **Capítulo 2:** o segundo capítulo descreve a empresa e faz as considerações iniciais a respeito do TF. A descrição da empresa é dividida em **Histórico da empresa** e **A empresa atualmente**. Há ainda, ao final deste capítulo, uma breve consideração sobre a motivação para a realização deste trabalho, bem como, é exposto, pela primeira vez, o problema que se pretende resolver com este trabalho;
- **Capítulo 3:** o terceiro capítulo constitui o embasamento teórico do trabalho. Neste capítulo é revisada a literatura, para que o trabalho tenha sustentação;
- **Capítulo 4:** o quarto capítulo é o principal. Neste capítulo é proposta a modelagem para o problema identificado. São realizadas considerações iniciais para o problema, e a partir destas, são elaboradas duas modelagens para a resolução do problema. Ao final deste capítulo é mostrado o resultado obtido;
- **Capítulo 5:** o quinto capítulo contém as conclusões e considerações finais do trabalho.

CAPÍTULO 2

A empresa e o trabalho de formatura

**O segundo capítulo cuida da descrição da empresa e introduz
o problema a ser resolvido por este trabalho.**

2. A empresa e o trabalho de formatura

Este capítulo é destinado à descrição da empresa alvo deste trabalho. Está dividido em quatro partes:

- **Histórico da empresa:** que descreve a evolução do grupo Playcenter até os dias de hoje;
- **A empresa atualmente:** que descreve as últimas mudanças do grupo Playcenter, e em especial, o parque temático Hopi Hari, a empresa alvo deste trabalho;
- **Motivação para o trabalho de formatura:** que descreve o início do trabalho, bem como as motivações iniciais para seu desenvolvimento;
- **Descrição do problema a ser trabalhado no TF:** que inicia a descrição do problema a ser tratado neste trabalho.

2.1. Histórico da empresa

O Playcenter é uma das marcas registradas de São Paulo - título conquistado no decorrer dos anos, desde sua inauguração, em 1973. Foi o primeiro centro de lazer de grande porte do Brasil e já proporcionou diversão para mais de 50 milhões de visitantes. A infra-estrutura do local, com uma área de 100 mil metros quadrados, alia conforto e segurança aos brinquedos.

Dentre as mais de 30 atrações do Playcenter São Paulo, há brinquedos para todos os gostos, combinados de modo a garantir diversão, com destaque para as montanhas-russas Boomerang e Looping Star, Evolution, Skycoaster e Turbo Drop.

Além disso, o parque possui uma “games gallery” e um Playland com videogames, simuladores e jogos de última geração. Também conta com restaurantes, lanchonetes e quiosques para alimentação.

Na parte de parques, o Grupo Playcenter conta também com um parque de diversões de menor porte, localizado em Pernambuco, além do Hopi Hari, onde será desenvolvido o presente trabalho.

O Grupo Playcenter ainda conta com uma área para entretenimento *indoor*. Há dois tipos de lojas: as Playlands e os *bowlings*. Ambas geralmente situam-se em áreas com grandes concentrações de pessoas, como *shopping centers*. As primeiras contam com diversos brinquedos, como *arcades* e fliperamas, enquanto as segundas, são lojas voltadas a prática do boliche, possuindo, cada uma, diversas pistas de boliche e normalmente, uma lanchonete que complementa o serviço principal (entretenimento) com serviço de alimentação.

2.2. A empresa atualmente

A chegada de Hopi Hari, primeiro parque temático do Grupo Playcenter, contribui para a criação no Brasil do conceito *parquemania*, termo que denomina o hábito de visitação aos parques. Nos Estados Unidos, o hábito já existe com registro de mais de 300 milhões de pessoas nos parques durante o ano passado. A idéia do Grupo Playcenter é oferecer alternativas para que o brasileiro aproveite suas horas de lazer nos parques.

Assim, o Grupo Playcenter oferece um parque temático – o Hopi Hari – para todas as idades, localizado em Vinhedo (Rodovia dos Bandeirantes km 72), numa área de 31 milhões de pessoas (250 Km ao redor do parque), que coincide com a mesma área de influência do Playcenter São Paulo, com produtos e propostas bem definidas.

Hopi Hari procura entreter seu público com uma grande variedade de atrações, espalhadas por cinco áreas temáticas, a saber:

- Brinquedos, conhecidos como *rides*, sendo o ícone do parque a Montanha Russa de madeira, situada logo a entrada do mesmo;
- Lojas de jogos, como por exemplo os *arcades*;
- Peças teatrais, shows e cinemas.

As atrações são complementadas pela grande variedade de possibilidades de alimentação, fornecidas por lanchonetes, restaurantes, sorveterias, etc. Há também máquinas automáticas de venda de refrigerantes, chocolates, doces, conhecidas por *vending machines*, que juntamente com os vendedores ambulantes (*hot dog*, pipoca, algodão doce) complementam a oferta de alimentação.

Hopi Hari foi construído com capacidade para receber 23,6 mil visitantes por dia, sendo a média de visitação igual a 8 mil pessoas/dia de operação. Esta média aumenta consideravelmente se forem considerados apenas fins-de-semana e/ou feriados, passando normalmente dos 15 mil visitantes. O estacionamento comporta 5,5 mil carros e 107 ônibus. O horário de funcionamento é de quintas e sextas-feiras das 12h às 20 horas e de sábados, domingos e feriados das 10h às 20 horas.

O parque é dividido em cinco áreas temáticas: Kaminda Mundi, Wild West, Infantasia, Mistieri e Aribabiba, onde cada uma possui suas características próprias.

Kaminda Mundi está localizada a entrada do parque e representa uma miscelânea de todas as nações do mundo. Em hopês¹, significa “Caminho do Mundo”. A grande atração desta área temática é La Tour Eiffel, um elevador de 69 metros de altura, caracterizado externamente como a Torre Eiffel, que despenca em queda livre com seus ocupantes.

A próxima área temática é Wild West e representa o velho oeste. Toda a área é caracterizada com brinquedos e lojas ‘trajados’ como se formasse uma cidade do velho oeste americano. Como principal atração, Wild West possui um rio artificial com corredeira, chamado Rio Bravo, no qual os visitantes descem em cima de grandes bóias circulares. Há ainda um *show* de Cabaré no teatro local.

Infantasia é a área temática que representa a alegria. Esta área, voltada mais para o público infantil, contém os personagens da Vila Sésamo, como uma das principais atrações. Há também um castelo de bonecos animados, cujo espetáculo é focado em aspectos da cultura brasileira.

Mistieri, que representa a antigüidade através de dinossauros e pirâmides, é uma das áreas mais agitadas do parque. Concentra alguns brinquedos de grande atratividade de Hopi Hari, como a montanha russa de madeira, que figura como símbolo do parque. Há

¹ Hopês é a língua criada para o parque, já que conceitualmente ‘Hopi Hari é um país’ e portanto, deve ter sua língua.

ainda uma montanha russa no escuro (todo o percurso é feito dentro de um galpão fechado, que não permite a entrada de luz) e um cinema simulador.

Por fim, temos Aribabiba, a capital de Hopi Hari. Aribabiba, em hopês, significa “Viva a vida com alegria”. Como atração principal de Aribabiba há uma montanha russa que anda em cima de um trilho aberto, indo e vindo (de ré) no mesmo percurso, no qual ainda existe um *looping*. Aribabiba é uma das áreas temáticas com maior número de jogos.

2.3. Motivação para o Trabalho de Formatura

A semente geradora da motivação para o desenvolvimento deste trabalho foi um estudo realizado no Playcenter, mais especificamente no parque Hopi Hari, que consistia em descrever a demanda, em cada posto de trabalho, ao longo do dia. Este estudo, teve como resultado final, o desenvolvimento de uma metodologia que gera jornadas de trabalho de modo a suprir a demanda do público, em cada ponto de contato e/ou ponto de prestação de algum tipo de serviço. Ou seja, este estudo foi desenvolvido para a parte operacional do parque.

O estudo desenvolveu alguns conceitos que serão utilizados neste trabalho, a saber:

- **Tipo de dia:** o tipo de dia é determinado em função da visitação esperada. Como fatores determinantes para a determinação dos tipos de dia existentes, foi levado em consideração se o dia é de semana ou fim de semana e qual a visitação esperada. A partir desta segregação, foi determinada a demanda por posto de trabalho para cada tipo de dia;

- **Postos de trabalho:** são as posições ocupadas pelos atendentes (funcionários operacionais do parque). A descrição de um posto de trabalho deve indicar a natureza e a localização do trabalho exercido;
- **Demanda por postos de trabalho:** é a necessidade de se ter tarefas de determinada natureza exercidas em um determinado local, em um determinado horário. Pode ser inferida a partir da análise da demanda por produtos e serviços ao longo do dia, via sistema de vendas, medição direta e/ou indireta de parâmetros, observação, etc;
- **Área funcional:** é a determinação da área em função do tipo de trabalho. Como exemplos, pode-se citar: alimentos & bebidas, jogos, mercadorias, operações-rides, etc;
- **Multifuncionalidade:** é a situação operacional onde os funcionários estão habilitados a ocupar todos os postos de trabalho correspondentes a uma mesma área funcional;
- **Polivalência:** é a situação operacional onde os funcionários estão habilitados a ocupar postos de trabalho correspondentes a mais de uma área funcional;
- **Jornadas de trabalho:** correspondem à seqüência de postos de trabalho ocupados em um dia, apontando horários de entrada e saída, almoço e lanche. São montados de forma a atender toda a demanda por postos de trabalho do dia, respeitando as restrições do Acordo Sindical existente. Para tanto, utilizam-se os conceitos da multifuncionalidade e polivalência;
- **Escalas de trabalho:** correspondem à alocação, dia a dia, de funcionários às jornadas de trabalho. Os principais desafios associados correspondem à

homogeneização das cargas horárias², à folga dominical³ e à utilização ótima dos transportes⁴. Para tanto, as escalas são variabilizadas, no que tange a definição dos horários de entrada e saída, e, nem sempre, os funcionários cumprem as mesmas jornadas.

O estudo consistiu, como dito anteriormente, em levantar a demanda em cada posto de trabalho, por cada tipo de dia, para posteriormente, montar-se jornadas de trabalho que satisfizessem essa demanda.

Com isso, foram montadas as jornadas que otimizassem o atendimento a demanda de trabalho e consequentemente, foi otimizada a utilização de mão-de-obra operacional do parque, sem diminuição do nível de serviço esperado.

O tempo unitário, utilizado na elaboração das jornadas através da união de diversos postos de trabalho, foi definido como sendo igual a meia hora. Assim, todos os tempos adotados foram discretizados em intervalos de meia hora, começando em alguma hora inteira e terminando na mesma hora e trinta minutos ou começando em alguma hora e trinta minutos e terminando na próxima hora inteira. Ou seja, os tempos unitários em cada posto de trabalho são discretos, variando de meia em meia hora. Como exemplo,

² A preocupação com a uniformização de cargas de trabalho visa garantir que os funcionários operacionais cheguem ao final do mês com cargas de trabalho totais parecidas, resultando em rendimentos parecidos, já que o custo horário de cada funcionário não varia muito dos demais. Assim, evita-se que haja funcionários que ganham pouco (ou muito menos que os demais) ao final do mês, evitando-se dessa forma, que se “desinteressem” pelo trabalho e saiam da empresa, o que incorreria em custos adicionais para a contratação e treinamento de substitutos aos desinteressados.

³ Restrição ditada por acordo coletivo que diz que o funcionário do parque não poderá trabalhar mais que seis domingos consecutivos, isto é, é necessário que cada funcionário tenha pelo menos uma folga dominical a cada 7 domingos.

⁴ A preocupação com a utilização ótima do transporte é devida ao fato que o transporte é um dos custos associados ao sistema, devendo, portanto, ser otimizado.

pode-se citar os seguintes intervalos de tempo criados de acordo com o exposto acima:
09:00 → 09:30, 09:30 → 10:00, etc.

Além da demanda por posto de trabalho, foi considerado, para a montagem das jornadas, o intervalo necessário ao funcionário para alimentar-se durante o período de trabalho. Para isso, determinou-se quais os intervalos que seriam dados aos funcionários, em função do tempo total trabalhado no dia. Segue a tabela dos tempos para refeições:

Tempo total trabalhado pelo funcionário no dia	Intervalo para alimentação	Intervalo máximo⁵ entre horário de entrada e saída
Até 4,0 horas	Nenhum	4,0 horas
De 4,5 horas a 6,0 horas	0,5 hora	6,5 horas
De 6,5 horas a 10,0 horas	1,0 hora	11,0 horas

Tabela 1 - Intervalo para alimentação em função do tempo total trabalhado. Elaborado pelo autor.

Dessa forma, as jornadas contém, além dos postos de trabalhos a serem cumpridos, o intervalo para alimentação do funcionário alocado a mesma.

Descrito o trabalho que originou este TF, passemos a descrição do problema a ser trabalhado.

⁵ Esta é a categoria de intervalo refeição da jornada. Sua função será explicada no capítulo 4.

2.4. Descrição do problema a ser trabalhado no TF

Montada a metodologia de construção de jornadas de trabalho que maximizassem a alocação de recursos (mão-de-obra) em função da demanda, restava a seguinte questão: “Como utilizar, da melhor forma possível, as jornadas criadas e montar as escalas de trabalho que otimizassem todos os pontos acima citados?”. Ou ainda, “Como alocar eficientemente os funcionários às jornadas, levando-se em consideração as características de ambos, de modo a obter uma operação eficiente⁶ e de baixo⁷ custo?”.

Assim, o problema a ser trabalhado consiste na construção de um modelo de alocação de pessoal (do quadro operacional) às jornadas de trabalho de um dado dia, definindo-se os horários de entrada e saída de cada jornada, bem como a linha de transporte a ser utilizada por cada funcionário alocado a alguma jornada⁸, observando-se ainda as restrições do problema⁹ e o custo total incorrido, que deverá ser menor que o obtido atualmente pela empresa. Como resultado teremos a estruturação da operação do parque, do ponto de vista da mão-de-obra, com uma diminuição do custo atual desta operação.

⁶ Uma operação eficiente é obtida respeitando-se a capacitação que cada jornada requer de um funcionário para que o mesmo a desempenhe bem, sem perda de qualidade no serviço prestado.

⁷ Custo menor que o atual.

⁸ A explicação da necessidade de definição de cada uma das características citadas, como por exemplo, a definição do horário de entrada da jornada, para estruturação da operação, será realizada no quarto capítulo, no item 4.1 “Detalhamento do problema”.

⁹ As restrições serão expostas no item 4.1 “Detalhamento do problema”.

CAPÍTULO 3

Embasamento teórico

**O terceiro capítulo realiza a revisão da literatura e constrói o
embasamento teórico para o desenvolvimento do trabalho.**

3. Embasamento teórico e revisão da literatura

O problema a ser abordado neste trabalho é encontrado na literatura como problema generalizado de atribuição (PGA), ou GAP, que do inglês significa *generalized assignment problem*.

O problema constitui basicamente em se achar o mínimo custo da alocação dos n agentes às m jornadas de trabalho existentes, de tal forma de cada jornada é atribuída a apenas um agente, respeitando-se a restrição de capacidade de cada agente.

Muitas aplicações da vida real podem ser modeladas como um PGA, como por exemplo:

- planejamento de recursos, alocação de espaço de memória;
- problemas de roteamento de veículos;
- Atribuição de tarefas de desenvolvimento de software a programadores, atribuição de tarefas a computadores em uma rede;
- encadeamento de comerciais de TV de tamanhos diferentes em intervalos determinados de tempo
- e outros.

Pode-se melhor descrever um PGA utilizando-se a terminologia da mochila (MARTELLO *et al.* (1990) *apud* LORENA *et al.* (1994)). Seja l_i o lucro de se atribuir um item i a mochila, p_i o peso associado, e c a capacidade da mochila. Dessa forma, o problema da mochila é formulado como:

$$V(M) = \max \sum_{i=1}^n l_i x_i$$

(Mochila)

$$sujeito a \quad \sum_{i=1}^n p_i x_i \leq c, \quad \text{onde}$$

$$x_i \in \{0,1\}, i \in N = \{1, \dots, n\},$$

$$0 < p_i \leq c, i \in N \quad e \quad \sum_{i=1}^n p_i > c$$

Temos então, pela terminologia da mochila, que dados **n** itens e **m** mochilas, onde l_{ji} é o lucro de se atribuir um item **i** para a mochila **j**, e c_j é a capacidade da mochila **j**, atribuir cada item **i** a exatamente uma mochila **j**, não excedendo a capacidade de cada mochila.

O PGA pode ser então formulado para

$$V(GAP) = \max \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n l_{ji} x_{ji}$$

$$(PGA) \quad sujeito a \quad \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n p_{ji} x_{ji} \leq c_j, \quad j \in M = \{1, \dots, m\}$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ji} = 1, \quad i \in N, \quad \text{onde}$$

$$x_{ji} \in \{0,1\}, \quad i \in N = \{1, \dots, n\},$$

$$0 < p_{ji} \leq c_j, \quad i \in N \quad e \quad \sum_{j=1}^m p_{ji} > c_j$$

A maioria dos algoritmos utilizados são baseados em técnicas *branch-and-bound* e em relaxamentos da atribuição ou das restrições da mochila. Pode-se utilizar para as restrições citadas o relaxamento Lagrangeano ou o relaxamento surrogate.

Há ainda, na literatura, a descrição de técnicas que utilizam o relaxamento da restrição que torna o problema inteiro, para que o mesmo seja resolvido linearmente e técnicas que simplesmente ignoram alguma das restrições a fim de tornar o problema original mais facilmente solucionável. Estas últimas técnicas procuram obter soluções que sejam viáveis para o problema, descontadas algumas restrições, e a partir desta solução, buscar soluções, normalmente situadas na vizinhança da primeira, que respeitem todas as restrições, inclusive as que foram originalmente relaxadas.

Entretanto, cabe notar que, segundo FISCHER *et al.* (1986) *apud* CATTRYSSE *et al.* (1992), o problema generalizado de atribuição é um problema de otimização combinatória (POC) NP-difícil¹⁰. Isto é, não se consegue montar algoritmos que levem a solução ótima do problema em tempos de resolução polinomiais.

De acordo com OSMAM (1991), a complexidade de problemas é calculada em função da dificuldade de resolução dos mesmos. Esta dificuldade é medida em termos do tempo computacional, ou ainda, do número de etapas necessárias a resolução do problema. Quando um algoritmo consegue resolver o problema em um tempo polinomial, este é dito eficiente.

Dessa forma, através do critério conhecido como ‘no pior caso’ (“*Worst-case criterion*”), um algoritmo tem uma complexidade de tempo de $O(g(n))$, se $f(n)$, o tempo máximo requerido para rodar o algoritmo é tal que:

$$|f(n)| < c \cdot |g(n)| \quad \text{onde } c \text{ é uma constante, } g(n) \text{ é uma função real de } n \text{ e } n \text{ é o tamanho do problema.}$$

¹⁰ Na classificação dada, NP refere-se a não polinomial e difícil faz alusão a complexidade do problema, bem como a dificuldade de encontrar-se solução exata.

Assim, retornando a classificação quanto a complexidade de resolução, um problema é dito fácil quando o mesmo possui uma complexidade de tempo igual a $O(n^k)$, onde k é constante e n é o tamanho do problema. $O(n^k)$ é uma função que pode ser expressa como:

$$a_k \cdot n^k + a_{k-1}n^{k-1} + \dots + a_1n + a_0, \quad \text{onde } a_i \text{ são constantes.}$$

Tal complexidade é dita de ordem polinomial, e o algoritmo é chamado de algoritmo de tempo polinomial de ordem k , sendo o valor desejável menor ou igual a 3.

Da literatura, sabe-se que para a maioria dos problemas combinatórios, como o PGA, não há ou não foram desenvolvidos algoritmos eficientes. Esta situação leva a crer que não seja possível elaborar algoritmos eficientes para a solução desses problemas intrinsecamente difíceis ou intratáveis. Para estes problemas, os algoritmos desenvolvidos requerem tempos de resolução não polinomiais, como descrito por funções tal como, $O(n^{\log n})$, $O(k^n)$ ou $O(n!)$.

Da teoria de NP-Completo¹¹, tem-se que problemas NP-difíceis, como o problema abordado, só são resolvidos a otimidade através de algoritmos que listem todas as possibilidades de resposta.

Percebe-se, portanto, uma clara tendência a utilização de técnicas heurísticas para a resolução de problemas de otimização combinatória NP-difíceis, em detrimento a utilização de métodos exatos.

¹¹ Tradução livre do nome original da teoria, que em inglês é *NP-Completeness*

“Heurísticas podem ser definidas como regras de bolso, senso comum ou ainda chutes calculados. Elas são critérios, ou métodos computacionais para decidir entre o mais eficiente caminho a ser seguido para o alcance de um objetivo (minimização ou maximização de alguma variável do sistema). Não necessariamente identificam o mais eficiente caminho. *Algoritmos* são procedimentos para a resolução de problemas em termos matemáticos. *Algoritmos aproximados* tem propriedades de convergência mas não garantem uma solução precisa, apenas uma aproximação da solução. Algoritmos que não tem sua convergência provada são chamados de heurísticas” (OSMAN(1991)).

3.1. Classificação de algoritmos aproximados

Encontra-se na literatura a seguintes classes de algoritmos aproximados:

- (a) **Construção:** algoritmos de construção geram uma solução através da adição de elementos (ex. arcos, nós, alocações, etc..) individuais, um de cada vez, até que uma solução viável seja obtida. Os chamados *greed algorithms* são uma classe importante de heurísticas de um única iteração que tomam passos sucessivos para maximizar o ganho imediato. Além disso, a solução viável almejada geralmente só é achada ao final do procedimento da heurística;
- (b) **Melhoramento:** algoritmos de melhoramento partem de uma solução viável e sucessivamente a melhoram através de uma seqüência de mudanças e/ou trocas no local da busca. Geralmente a viabilidade é mantida durante toda a busca;
- (c) **Programação matemática:** as heurísticas de programação matemática utilizam modelos de otimização matemática e um procedimento para solução exata. Então,

modificam este procedimento de solução para obter uma heurística eficiente para o problema;

(d) **Decomposição**: as heurísticas de decomposição procuram solucionar um problema pela decomposição deste em um seqüência de problemas menores e mais tratáveis, onde a saída de um problema é a entrada para o próximo, finalizando com uma agregação indutiva destas soluções;

(e) **Particionamento**: algoritmos de particionamento procuram quebrar o problema original em sub-problemas menores, cada qual é resolvido independentemente. Estas soluções são então agregadas em uma só que será a solução para o problema original;¹²

(f) **Restrição do espaço solução**: a idéia por trás destas heurísticas é restringir o conjunto de soluções de modo a facilitar a solução do problema. De alguma forma, todas as heurísticas são métodos de restrição. Entretanto, nesta categoria estão sendo consideradas as heurísticas que explicitamente restringem o espaço solução do problema;

(g) **Relaxamento do espaço solução**: oposta à idéia anterior, o relaxamento de espaços solução são desejados em função da obtenção de problemas mais tratáveis. Relaxamentos Lagrangeanos, relaxamento *surrogate* e algoritmos de relaxamento de problemas inteiros para problemas lineares são exemplos desta categoria;

¹² Este tipo de heurística é, de certa forma, análogo à heurística de decomposição. Na realidade, não há concordância universal quanto a distinção entre ‘decomposição’ e ‘particionamento’. Pode-se, por exemplo, ver particionamento como agrupar todas as variáveis e, então, otimizar com respeito a um grupo por vez. Nestes termos, particionamento é uma maneira de decompor um problema. Fica aqui mantido o conceito como apresentado por BALL e MAGAZINE (1981) *apud* OSMAN(1991).

(h) **Algoritmos compostos:** algoritmos compostos são heurísticas de mais de um tipo que são utilizadas para a obtenção de soluções e performances melhores. Um exemplo clássico de algoritmos compostos é o uso de heurísticas de construção, que concebem uma solução viável inicial, seguido pelo uso de heurísticas de melhoramento, que tratam de melhorar a solução inicial encontrada;

(i) **Algoritmos aproximados meta-estratégicos:** um algoritmo meta-estratégico é um método para solução aproximada de difíceis, grandes e/ou complexos POCs, para os quais a solução exata não pode ser achada em uma quantidade real de tempo computacional, mesmo utilizando-se os mais poderosos computadores. Tais algoritmos organizam e direcionam a busca de métodos subordinados tais como a busca local, e empregam estratégias operacionais e organizacionais diferentes em busca de melhores desempenhos.

Os ótimos locais obtidos com as heurísticas descritas no item (b) dependem fortemente da solução viável inicial e dos mecanismos de busca. Estes ótimos locais são geralmente de baixa qualidade. A técnica meta-estratégica é desenvolvida para evitar estas armadilhas de soluções iniciais de baixa qualidade. Elas permitem que o método de busca local continue mesmo depois de ter sido encontrado um ótimo local, aumentando assim as possibilidades de sair de ótimos locais, passando a outros ótimos, senão global, melhores que o ótimo local inicial.

Há quatro algoritmos meta-estratégicos conhecidos atualmente:

- **Algoritmos genéticos**, desenvolvidos por HOLLAND (1985) *apud* OSMAN (1991), cuja inspiração vem da biologia e aplicam técnicas que simulam mecanismos de seleção natural e genéticas naturais dos sistemas biológicos;
- **Redes neurais** são algoritmos baseados em técnicas de inteligência artificial. O interessante na aplicação de redes neurais a resolução de POCs é que não há

necessidade de formulação explícita do modelo. A rede neural trata de inventar sua função de energia¹³, dada as características do problema;

- **Têmpera simulada (TS)**, que é baseada em busca aleatória e aceitação de estratégias, emergidas da analogia entre o processo de têmpera de sólidos e a solução de POCs. Foi desenvolvida por KIRKPATRICK *et al.*(1983) *apud* OSMAN e, independentemente, por CERNY (1985) *apud* OSMAN;
- **Busca tabu (BT)**, que é baseada na restrição e liberação de estratégias de procura, nasceu do cerne das técnicas gerais da resolução inteligente de problemas. Foi originada por GLOVER (1986) *apud* OSMAN.

Dentre os algoritmos meta-estratégicos, TS e BT provaram ser os de maior sucesso na resolução de difíceis POCs, obtendo por diversas vezes soluções muito próximas do ótimo global.

¹³ Em redes neurais, entende-se por função de energia a função alvo da otimização, ou seja, traçando um paralelo com a pesquisa operacional, teríamos a função objetivo.

CAPÍTULO 4

Modelagem do

problema

**O quarto capítulo é o principal. É neste capítulo que é
realizado a modelagem do problema, isto é, é proposta a
solução para o mesmo.**

4. Modelagem do problema de montagem da escala

Este capítulo cuidará da descrição completa e modelagem do problema encontrado, o qual será o cerne deste trabalho. Está subdividido nas seguintes partes:

- **Detalhamento do problema:** esta parte completará a descrição inicial feita no capítulo 2 de forma a possibilitar a compreensão total do mesmo;
- **Considerações iniciais sobre o problema:** após a detalhamento, serão tecidas algumas considerações iniciais sobre o problema, que servirão de suporte a construção da modelagem do mesmo;
- **Modelagem realizada:** serão enumeradas possibilidades de modelagem e dentre estas, será desenvolvida a que melhor conseguir descrever o problema de modo a solucioná-lo satisfatoriamente;
- **Resultados obtidos:** será mostrado o resultado obtido para o problema.

Seguem cada um dos itens acima descritos.

4.1. Detalhamento do problema

Antes de iniciar-se o detalhamento do problema, é interessante que seja feita uma breve descrição dos custos do sistema, com os quais estar-se-á lidando intensamente daqui em diante.

4.1.1. Custos do sistema

Como exposto na primeira página deste trabalho, o custo total do sistema é composto por dois custos: o de mão-de-obra e o de transporte.

O custo de mão de obra é diretamente proporcional ao total trabalhado, bem como ao custo horário do funcionário. Basicamente, o custo de mão-de-obra é dado pelo custo horário do funcionário alocado a jornada multiplicado pelo tempo total trabalhado.

O transporte dos funcionários é terceirizado, ou seja, é realizado por outra empresa, especializada em transporte. Seu custo é variável, pago por viagem realizada, independendo do número de funcionários transportados. Independe também da rota realizada (logo, independe da distância). A única variável que influencia o custo da viagem é o veículo utilizado, que poderá ser ônibus ou microônibus. Segue tabela com as características de cada um dos veículos:

Veículo	Capacidade [# pessoas]	Custo [R\$/viagem]
Ônibus	44	54,00
Microônibus	18	44,00

Tabela 2 - Dados utilizados para modelagem do transporte. Elaborado pelo autor.

4.1.2. Considerações adicionais para o detalhamento do problema

Para cada tipo de dia, que varia em função da visitação esperada, teremos as jornadas que deverão ser realizadas para o bom funcionamento do parque. Dessa forma, deveremos procurar quais os funcionários que deverão ser alocados a cada jornada, respeitando-se todas as restrições pertinentes ao problema.

Cada jornada possui um horário típico de entrada e saída. Isto porque as jornadas são uma seqüência de postos de trabalho, como explicado em 2.3. Então, o horário típico de entrada da jornada é o horário em que o funcionário entra no primeiro posto de trabalho e o típico de saída, o horário em que o funcionário sai do último posto de trabalho da jornada. Dessa forma, estes representam, respectivamente, os horários que efetivamente começa-se e termina-se de trabalhar.

Entretanto, os horários de entrada e saída não são necessariamente os típicos, pois os mesmos tem flexibilidade¹⁴ para serem definidos, bastando observar-se as restrições ditadas por esses horários típicos. É interessante relembrar¹⁵ que estes horários variam de meia em meia hora, podendo ser “hora cheia” (por exemplo, 10:00) ou “hora meia” (por exemplo, 10:30). O horário de entrada é sempre menor ou igual ao típico de entrada e o de saída é sempre maior ou igual ao típico de saída.

Veja ilustração que segue:

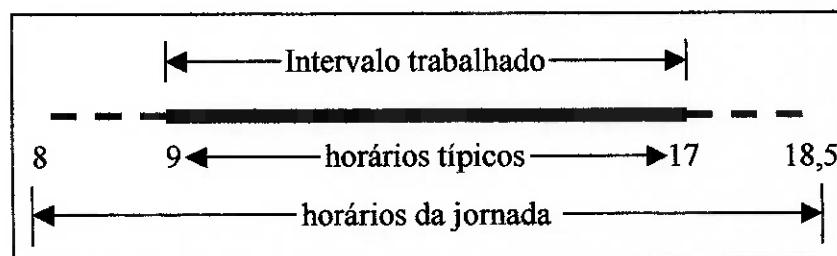


Figura 1 - Ilustração com exemplos de horários para uma jornada.
Elaborado pelo autor.

¹⁴ A razão desta flexibilidade na definição de horários será explicada no próximo item (4.2).

¹⁵ Mostrado no item 2.3.

Assim, numa descrição breve, o horário de entrada é o horário a partir do qual o funcionário está disponível à empresa e o horário típico de entrada é o horário que efetivamente o funcionário começa a trabalhar. O inverso é válido para a saída. Cabe frisar que o funcionário recebe sobre as horas disponíveis, ou seja, pelo intervalo ditado pelo horário de entrada e o horário de saída.

O transporte de cada funcionário é determinado pelos horários da jornada (de entrada e saída) e pelas rotas (para a vinda ao parque e volta para casa) que utiliza. Para a ida (casa do funcionário → parque), os horários de chegada ao parque das viagens dos ônibus são determinados pelos horários de entrada das jornadas, devendo o ônibus chegar 20 minutos antes do início da jornada. O mesmo é válido para as viagens de volta (parque → casa do funcionário), sendo que o ônibus deve sair 20 minutos depois do horário de término da jornada.

Quanto às rotas, cada funcionário pode utilizar uma ou mais para se deslocar entre sua casa e o parque. Cada viagem fica então definida pelo cruzamento entre os horários e rotas. Vale citar que as rotas de transporte são definidas em função do quadro atual de funcionários. Veja ilustração que segue, onde a rota traçada aparece como uma linha verde e as casas dos funcionários aparecem como pontos vermelhos, ao redor da rota:

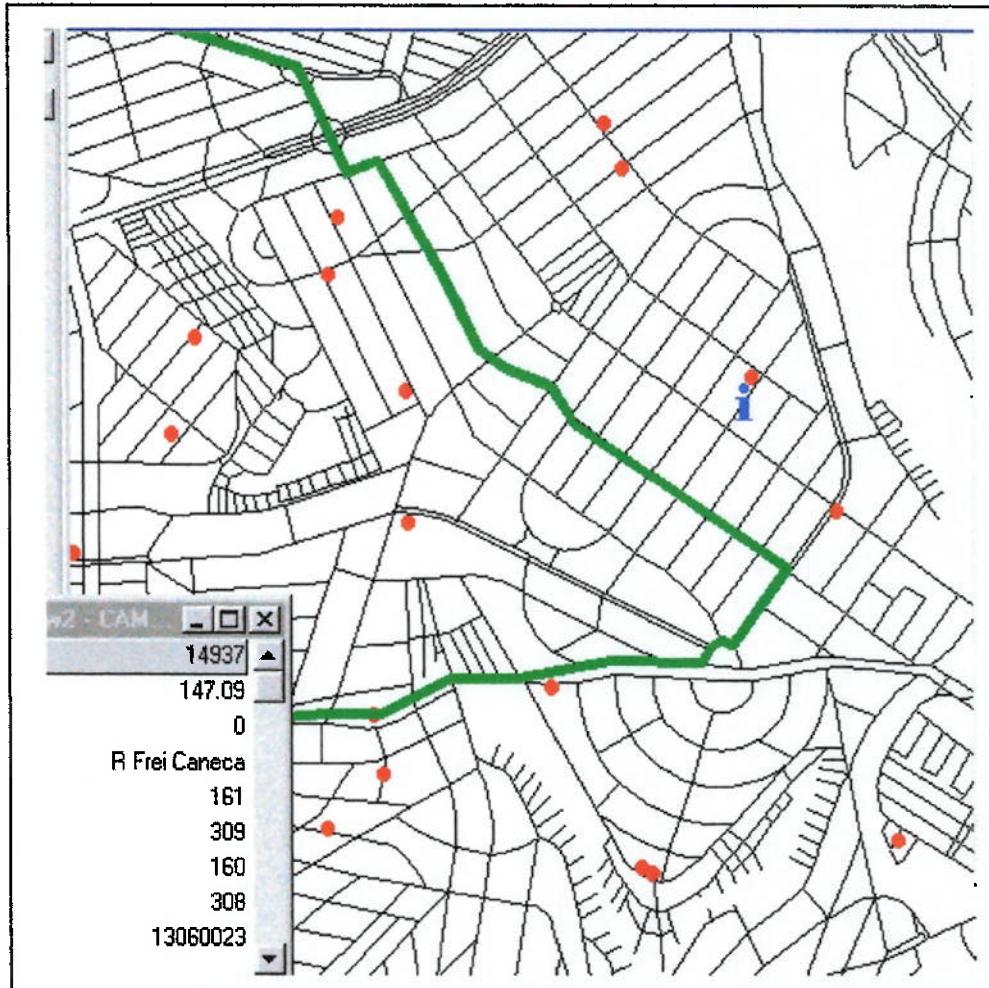


Figura 2 - Ilustração de como são as rotas. Elaborado pelo área de Transportes do Hopi Hari.

Logo, a solução do problema passa pela definição de quem deve ser alocado a cada jornada de trabalho, dos horários de entrada e saída de cada jornada e das rotas a serem utilizadas pelos funcionários alocados às jornadas.

Além de todas as características principais já citadas do problema, tem-se ainda as restrições a serem consideradas. Dividiremos a exposição das restrições de acordo com as três partes a serem definidas para a solução do problema: alocação de funcionários às jornadas, definição de horários de jornadas e definição de rotas utilizadas pelos funcionários. Segue definição e explicação de cada uma das restrições.

4.1.3. Restrições para alocação

As restrições para alocação de funcionários às jornadas são aquelas que dizem se uma alocação é possível ou não.

1º) Restrição fundamental das jornadas

A primeira restrição de alocação diz que cada jornada do tipo de dia considerado deverá ter seu respectivo funcionário alocado. Dessa forma, ao final do processo de alocação, cada jornada deverá ter um, e apenas um, funcionário alocado a mesma.

2º) Restrição fundamental dos funcionários

A segunda restrição diz que cada funcionário poderá estar alocado a no máximo uma jornada.

3º) Restrição de capacitação

A terceira e mais importante restrição de alocação é a da capacitação. Para que um funcionário seja elegível a uma jornada, ele deverá estar treinado em todos os padrões de execução dos postos de trabalho que compõe a jornada. Cruzando-se a informação de quais padrões um funcionário está treinado com a matriz de padrões necessários para a execução de cada jornada, constrói-se a matriz de capacitação, que é a tabela que diz quais os funcionários que estão devidamente capacitados a cada jornada. Esta matriz será utilizada futuramente no processo de alocação de pessoal às jornadas.

4º) Restrição de célula

A gestão do parque é realizada através da divisão do mesmo em células de negócio. As jornadas de trabalho são feitas por célula de negócio do parque, e cada funcionário

também pertence a uma célula de negócio. Assim, a restrição de célula diz que o funcionário deverá ser da mesma célula de negócios que a jornada em questão.

5) Restrição de horário de entrada, dada pelo funcionário

Alguns funcionários possuem restrições quanto aos horários em que podem trabalhar, principalmente por serem estudantes. Dessa forma, foi necessário criar restrições de horários para estes funcionários.

Para os funcionários que possuem restrições quanto ao trabalho matutino, criou-se as restrições de horário de entrada. Essa restrição diz que funcionários com restrição no horário de entrada podem trabalhar apenas em jornadas que comecem após sua restrição de horário, ou seja, os funcionários que possuem restrições de entrada só podem trabalhar em jornadas cujos horários de entrada da jornada sejam maiores que as suas respectivas restrições de entrada.

6) Restrição de horário de saída, dada pelo funcionário

As mesmas considerações para a restrição de horário de entrada são válidas aqui, com a diferença que agora a restrição refere-se ao trabalho noturno. Assim, para os funcionários que possuem restrição de horário de saída, as jornadas elegíveis são aquelas que possuem seu horário de saída menores que as respectivas restrições de horário de saída de cada funcionário.

7) Restrição de carga máxima semanal

Essa restrição é de caráter legal, sendo ditada pelo acordo coletivo assinado entre a empresa e o sindicato que representa os funcionários. A restrição de carga máxima

semanal estipula uma carga máxima que pode ser trabalhada por um funcionário em uma dada semana. Este teto tem o valor de 44 horas semanais.

8) Restrição de carga máxima mensal

Essa restrição, assim como a de carga máxima semanal, é de caráter legal, ditada pelo acordo coletivo já citado e estabelece um teto máximo de carga de trabalho mensal, que foi fixado em 180 horas mensais.

9) Restrição dos “domingos”

A última restrição para a alocação também é dada pelo Acordo Sindical. Neste, ficou acordado entre o sindicato e a empresa que nenhum funcionário poderia trabalhar mais que 6 domingos consecutivos, ou seja, não é possível que um funcionário seja alocado para trabalhar por 7 domingos consecutivos, ou ainda, a menor freqüência de folgas aos domingos que deverá ser dada a cada funcionário é de 1 domingo em cada 7.

4.1.4. Restrições para definição de horários das jornadas

A necessidade de restrições para a definição de horários da jornada surge em função da necessidade de gerenciamento da flexibilidade¹⁶ de definição desses horários. Logo, as restrições para definição de horários de jornadas são aquelas que dizem, se o horário escolhido é válido ou não para àquela jornada.

¹⁶ Como exposto anteriormente, a razão para a flexibilização dos horários de entrada e saída de cada jornada será explicado no próximo item (4.2).

1º) Restrição de horário de entrada, dada pela jornada

Esta outra restrição para o horário de entrada da jornada estabelece o limite superior até o qual a mesma poderá variar. Este limite superior do horário de entrada da jornada é dado pelo horário de entrada típico.

Desse modo, o horário de entrada de uma dada jornada, poderá variar entre a eventual restrição de horário de entrada que o funcionário alocado possa ter e o horário típico de entrada da própria jornada.

2º) Restrição de horário de saída, dada pela jornada

Analogamente a restrição de entrada ditada pela jornada, esta restrição existe em função dos horários típicos de saída das jornadas. Assim, esta restrição diz que o horário de saída de uma jornada poderá variar até o limite inferior ditado pelo seu horário típico de saída.

Desse modo, o horário de saída de uma dada jornada, poderá variar entre o horário típico de saída da própria jornada e a eventual restrição para o horário de saída que o funcionário alocado possa ter.

3) Restrição de carga máxima diária

Esta restrição ‘amarra’ o horário de entrada ao de saída, ou melhor, garante a máxima variação possível entre o horário de entrada e de saída. Esta restrição existe em função da natureza da criação das jornadas, pois existem em uma jornada, além dos postos de trabalho, os intervalos para alimentação.

Dessa forma, para uma jornada que tenha, por exemplo, 5 horas de trabalho no dia, teremos um intervalo programado de meia hora.

Normalmente, não há buracos nas jornadas, isto é, não há janelas entre os postos de trabalho no qual o funcionário ficaria sem trabalhar, o que indica que os intervalos para alimentação estão, **na maioria das vezes**, travados entre dois postos de trabalho, ou melhor, começam ao término de um posto de trabalho e terminam quando se começa em outro posto de trabalho, o que não permite um aumento deste intervalo de alimentação.

Assim, esta ‘trava’ não permite que as jornadas tenham seus horários de entrada e saída definidos livremente, porque definir horários de entrada e saída, independentemente um do outro, acarreta desrespeito ao intervalo de alimentação da jornada, pois este deve sempre ser definido em função da duração total da jornada. Segue ilustração de uma jornada:

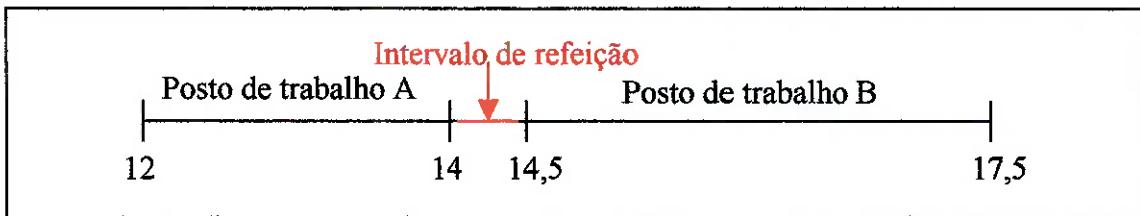


Figura 3 - Ilustração da restrição de carga máxima diária. Elaborado pelo autor.

No exemplo da figura 3, caso o horário de saída fosse definido para as 19,5 horas, teríamos um intervalo da jornada total de 7,5 horas, o que resultaria em um intervalo para refeição de 1 hora. Vê-se claramente, que para este caso, não há a possibilidade de um intervalo de 1 hora para refeição, pois se tem disponível, apenas o intervalo das 14:00 às 14:30 para a refeição. Assim, a definição de horários de entrada e saída fica restrita a categoria de intervalo de alimentação de até 6 horas, onde é prevista 0,5 hora de intervalo para refeição.

Para uma melhor compreensão do processo inteiro de definição e manipulação de horários de entrada e saída de jornadas, veja a figura 4 a seguir, com ilustração de como funcionam as cinco restrições acima expostas, sendo consideradas ao mesmo tempo.

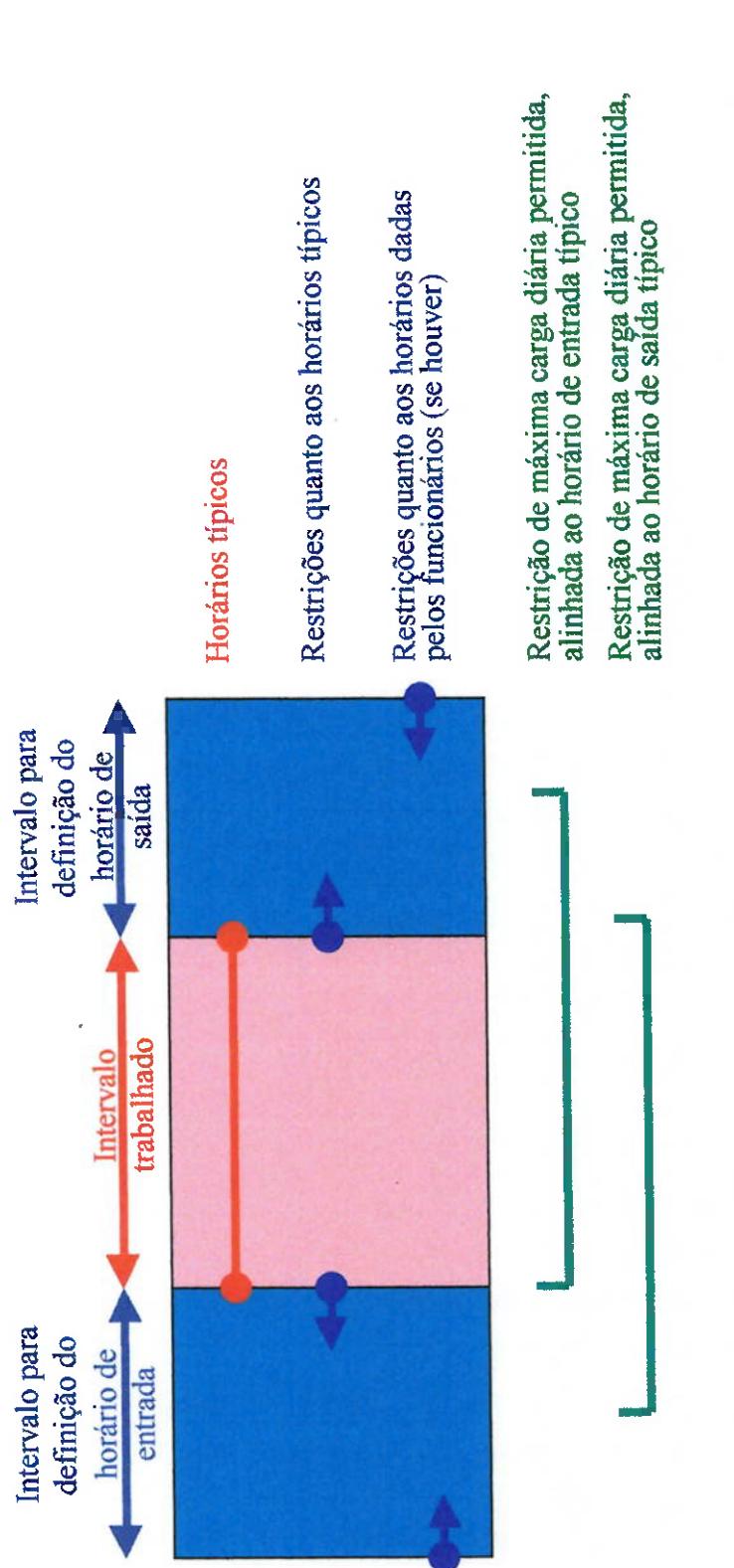


Figura 4 - Ilustração para o melhor entendimento de como funciona a definição dos horários de entrada e saída das jornadas. Elaborado pelo autor.

A princípio, os horários de entrada e saída têm permissão para serem definidos dentro de cada um dos respectivos intervalos azuis. Deve-se entretanto atentar à restrição de máxima carga diária, que dita a máxima distância que o horário de entrada poderá ser definido do horário de saída.

4.1.5. Restrição para definição de rotas utilizadas pelos funcionários

A restrição para definição de rotas para funcionários é aquela que diz se uma rota é possível ou não àquele funcionário. A partir da matriz de rotas possíveis por funcionário, conseguimos verificar dentre quais rotas podemos escolher para definir, em conjunto com os horários das jornadas, o transporte do funcionário.

4.2. Considerações iniciais sobre o problema

As considerações iniciais que serão realizadas neste item tem por objetivo validar a forma da solução proposta para o problema descrito.

Todas as considerações e análises de custo expostas neste item serão baseadas no custo por funcionário porque dado um tipo de dia, o número de jornadas a serem trabalhadas é fixo, sendo também fixo, portanto, o número de funcionários¹⁷. Como o custo total do sistema pode ser expresso pela somatória do custo total de cada funcionário, verifica-se que considerações sobre o custo do sistema pode ser realizadas através de considerações aos custos individuais dos funcionários.

¹⁷ Cada jornada necessita de um e apenas um funcionário.

A próxima consideração a ser feita é sobre como o custo sistêmico varia, mesmo tendo a alocação de funcionários às jornadas já definida.

Dada uma certa alocação de funcionários às jornadas, **variações no custo sistêmico ocorrem em função da definição dos horários da jornada e da rota do funcionário alocado à mesma**. Pelo lado da mão-de-obra, percebe-se claramente que o custo por funcionário está diretamente atrelado à definição dos horários, pois os mesmos determinam o intervalo trabalhado¹⁸ e consequentemente, o custo de mão-de-obra incorrido pela empresa para a realização daquela jornada. Já pelo lado do transporte, sabe-se que o custo é diretamente proporcional ao número total de viagens porque o custo unitário de cada viagem é sempre o mesmo. Logo, como o número de viagens é definido pelos horários da jornada e pela rota do funcionário, tem-se que o custo de transporte varia em função dos dois fatores citados.

Decorre das duas considerações anteriores, que o problema de alocação de pessoal às jornadas visando o menor custo possível, é resolvido trabalhando-se a alocação juntamente com a definição dos horários das jornadas e das rotas de transporte utilizada pelos funcionários.

¹⁸ Na realidade, o intervalo trabalhado é dado pela diferença dos horários típicos da jornada. Caso os horários de entrada e/ou saída não correspondam aos típicos, o intervalo trabalhado continuará a ser o mesmo que o típico, apesar da empresa remunerar o empregado pela disponibilidade total, que corresponde ao intervalo dado pelos horários de entrada e saída da jornada. Ou seja, o funcionário ganhará parte da remuneração por um tempo que foi efetivamente trabalhado e parte, pela sua disponibilidade em estar na empresa no período total da jornada.

As próximas considerações são relativas aos mecanismos utilizados para a alocação com **baixo**¹⁹ custo. A terceira consideração é sobre os pontos ótimos de cada parcela do custo total.

Para o custo de mão-de-obra, é interessante que cada funcionário trabalhe o mínimo possível, já que o custo horário do funcionário é fixo, incorrendo-se, portanto, no menor custo de mão-de-obra. Este mínimo é ditado pela diferença entre os horários típicos da jornada, que geram os menores intervalos possíveis.

Para o custo de transporte, é interessante que se ocupe ao máximo os ônibus e microônibus utilizados para o transporte dos funcionários, para que se obtenha o menor custo de transporte por funcionário.

A partir destas duas últimas considerações, percebe-se, intuitivamente, que o ponto ótimo do sistema não é dado nem pelo ponto ótimo de mão-de-obra, nem pelo de transporte, sendo o ponto procurado uma resultante dos dois subproblemas.

Desta última consideração surge a justificativa para a flexibilização dos horários de cada jornada. Dada uma alocação, o menor custo para a mesma é conseguido através da flexibilização dos horários das jornadas (juntamente com a rota dos funcionários), ou seja, é interessante que o horário de entrada e saída da jornada possa ser variados, pois esta flexibilização possibilita acesso a pontos de menor custo no sistema. Assim, mesmo

¹⁹ Como explicado anteriormente, está sendo considerado baixo custo àquele que for menor que o custo obtido com a prática atual da empresa.

que a empresa pague mais pela mão-de-obra, a redução no custo de transporte poderá compensar e, ao final, o custo total será menor que o anteriormente obtido.

4.3. Modelagem realizada

Há sempre, para problemas de programação matemática, como no caso do problema abordado, dois tipos de modelos de solução que podem ser abordados:

- solução exata, cuja finalidade é achar o ponto ótimo do sistema em questão;
- solução heurística, cuja finalidade é achar um ótimo local ou um ponto que retorne um bom valor para a função objetivo do problema.

Para o primeiro caso, é comum utilizar-se *softwares* de modelagem matemática. Dentre os disponíveis no mercado, escolheu-se a utilização do GAMS.

Para o segundo caso, montou-se um sistema em Excel para a resolução do problema via simulação.

Inicialmente, tentou-se a modelagem matemática exata. Entretanto, devido à natureza do problema²⁰, a modelagem exata não conseguiu chegar a um resultado viável. Dessa forma, continuou-se o trabalho através da modelagem heurística.

A modelagem exata foi baseada na modelagem matemática do problema. A modelagem em GAMS é mostrada nos apêndices enquanto a modelagem matemática é apresentada no item 4.3.1. O tratamento heurístico virá a seguir, no item 4.3.2.

²⁰ É conhecida e citada pela literatura, a dificuldade de obtenção de solução exata para problemas com natureza combinatória, como é o caso do problema tratado. Para maiores referências ver ZANAKIS et al. (1989).

Como dito nas considerações iniciais, para um dado dia, o problema é resolvido através da determinação dos seguintes pontos:

- qual funcionário será alocado a cada jornada;
- quais serão os horários de entrada e saída de cada jornada;
- quais serão as rotas utilizadas por cada funcionário alocado.

Logo, independente do método utilizado, a modelagem proposta para a solução do problema deverá ter como saída os três itens acima expostos.

Para a modelagem matemática, serão desconsideradas as seguintes restrições, em função da dificuldade de modelagem associada as mesmas:

- restrição de capacitação, que diz quais as jornadas que um dado funcionário está devidamente capacitado a exercer. Dessa forma, será considerado, por simplificação, que todos os funcionários são igualmente prováveis de serem alocados a uma jornada, ou seja, será considerado que todos os funcionários estão capacitados a todas as jornadas;
- restrição de utilização de rotas, que diz quais rotas de transporte um funcionário pode utilizar. Assim, será considerado, por simplificação, que todas as rotas têm igual probabilidade de serem utilizadas por um funcionário, ou seja, será considerado que todos os funcionários podem utilizar todas as rotas.

Segue a modelagem matemática.

4.3.1. Modelagem matemática

Nesta parte, apresentar-se-á o modelo matemático construído para a descrição do problema e suas restrições.

Inicialmente, mostraremos quais os índices e as variáveis/parâmetros²¹ que serão utilizados na modelagem. Cada índice e cada variável será seguido de sua descrição e explicação, se necessário.

Índices utilizados na modelagem

Índice	Variação	Explicação do índice
f Funcionário	De 1 a F, onde F é o número de funcionários disponíveis ao trabalho, no dia que está sendo montada a escala de trabalho	Índice utilizado para controlar os funcionários durante a modelagem
j Jornada	De 1 a J, onde J é o número de jornadas do dia que está sendo montada a escala de trabalho	Índice utilizado para controlar as jornadas durante a modelagem
h Horário	De 1 a 48. Cada índice representa meia hora. Assim, o dia é caracterizado como começando às 00:30 (representado pelo 1) e terminando às 24:00 (representado pelo 48)	Índice utilizado para controlar os horários durante a modelagem
r Rota de transporte	De 1 a R, onde R é o número de rotas disponíveis aos funcionários, no dia que está sendo montada a escala de trabalho	Índice utilizado para controlar as rotas durante a modelagem
ct Faixa de custo de transporte	De 1 a CT, onde CT ²² é o número máximo de faixas de custo de transporte possíveis do sistema.	Índice utilizado para controlar as faixas de custo de transporte durante a modelagem.

Quadro 1 - Índices utilizados na modelagem matemática. Elaborado pelo autor.

²¹ Variável será considerada o ente que não se sabe o valor a priori. Parâmetro é um dado inicial do problema, com os quais serão realizados todos os cálculos necessários.

²² O número CT será calculado mais adiante, juntamente com a explicação do que são as faixas de custo de transporte, no decorrer da exposição da modelagem, quando estes conceitos aparecerem.

Variáveis e parâmetros utilizados na modelagem

Variável/parâmetro	Função	
CustoSist	Custo do sistema	Variável que armazena o custo do sistema, ou seja, o custo de mão-de-obra mais o custo de transporte. Esta variável é a alvo do processo de otimização
BE _{f, j, h, r}	Binário de alocação para a entrada	Variável principal (juntamente com BS) do processo de alocação. É variável binária, que quando igual a 1 indica que o funcionário f está alocado a jornada j entrando no horário h e vindo ao parque com a rota (de transporte) r
BS _{f, j, h, r}	Binário de alocação para a saída	Variável principal (juntamente com BE) do processo de alocação. É variável binária, que quando igual a 1 indica que o funcionário f está alocado a jornada j saindo no horário h e voltando à sua casa com a rota (de transporte) r
C _f	Custo horário do funcionário f	Parâmetro que armazena o custo, em reais, que a empresa incorre, por hora trabalhada do funcionário f
HE _j	Horário de entrada da jornada j	Variável que armazena o horário de entrada da jornada j
HS _j	Horário de saída da jornada j	Variável que armazena o horário de saída da jornada j
ET _j	Horário típico de entrada da jornada j	Parâmetro que armazena o horário típico de entrada da jornada j
ST _j	Horário típico de saída da jornada j	Parâmetro que armazena o horário típico de saída da jornada j
RE _f	Restrição de horário de entrada do funcionário f	Parâmetro que armazena o valor de eventual restrição de horário de entrada que o funcionário f possa ter. Quando o funcionário não tiver restrição de horário, será considerado que sua restrição é igual a

		1, que é o valor inferior da amplitude de variação dos horários [1 → 48] ²³
REAlloc _j	Restrição de horário de entrada do funcionário alocado a jornada j	Variável que armazena a restrição de horário de entrada do funcionário alocado a jornada j
RS _f	Restrição de horário de saída do funcionário f	Parâmetro que armazena o valor de eventual restrição de horário de saída que o funcionário f possa ter. Quando o funcionário não tiver restrição de horário para a saída, será considerado que sua restrição é igual a 48, que é o valor superior da amplitude de variação de horários [1 → 48]
RSAloc _j	Restrição de horário de saída do funcionário alocado a jornada j	Variável que armazena a restrição de horário de saída do funcionário alocado a jornada j
FE _{h,r}	Número de funcionários que entram na hora h, com a rota r	Variável que calcula, dado certa alocação, o número de pessoas que entrará no horário h e com a rota r
FS _{h,r}	Número de funcionários que saem na hora h, com a rota r	Variável que calcula, dado certa alocação, o número de pessoas que sairão no horário h e com a rota r
TE _{h,r}	Custo de transporte para a entrada, da hora h e rota r	Variável que armazenará o valor do custo de transporte associado a trazer o pessoal ao parque, que entram no horário h e utilizam a rota r
TS _{h,r}	Custo de transporte para a saída, da hora h e rota r	Variável que armazenará o valor do custo de transporte associado a devolver o pessoal às suas casas, que saem no horário h e utilizam a rota r

²³ Conforme explicado anteriormente, as jornadas forma montadas com intervalos discretos de tempo iguais a meia hora cada. Como o dia possui 24 horas, decidiu-se chamar de 1 o primeiro intervalo de meia hora do dia (ou a primeira meia hora do dia (00:30)), 2 o segundo intervalo (ou a segunda meia hora – 01:00), e assim até o último intervalo de meia hora (ou a última meia hora – 24:00), que é o de número 48.

CFT _{ct}	Custo de transporte por faixa ct	Parâmetro que armazena o valor de transporte de cada faixa de transporte. As faixas de transporte são patamares de custos associados a intervalos de números de pessoas a serem transportadas ²⁴ .
XE _{ct, h, r}	Binário que define a faixa de custo de transporte para a entrada	Variável binária que define qual faixa de custo de transporte está associada ao horário h e a rota r, na entrada.
XS _{ct, h, r}	Binário que define a faixa de custo de transporte para a saída	Variável binária que define qual faixa de custo de transporte está associada ao horário h e a rota r, na saída.

Quadro 2 -Variáveis e parâmetros utilizados na modelagem do problema. Elaborado pelo autor.

A base para esta modelagem vem da literatura clássica de Pesquisa Operacional, através dos modelos gerais de atribuição. Com isso, a modelagem do transporte é tratada como secundária, isto é, é modelada após modelagem da atribuição estar pronta. Isto porque o transporte decorre da alocação de mão-de-obra às jornadas de trabalho existentes. Foi atentado modelar-se o problema na forma inversa, modelando-se em primeiro lugar, a parte do transporte e deixando a atribuição em segundo plano. Entretanto, parte da natureza do problema que o custo de transporte nasce em função da atribuição e não o contrário, o que determinou o rumo inicial do trabalho e a forma proposta para solucioná-lo.

O modelo é, portanto, dividido em duas partes principais: alocação e transporte. Segue considerações sobre a primeira parte.

²⁴ Vide explicação detalhada, após término de tabela, na seção modelagem do transporte

Modelagem da alocação

O embrião do modelo clássico de atribuição é exatamente a matriz de alocação, onde se tem f funcionários prontos a serem alocados a j jornadas. A atribuição é feita através de variáveis binárias que, quando possuem valor igual a 1, indicam a alocação do funcionário à jornada.

Havia, porém, o problema de como acoplar a parte de transporte à de atribuição. Após muita reflexão e diversas tentativas de modelagem deste acoplamento, chegou-se a uma boa solução para o problema do acoplamento, na qual atrela-se o problema do transporte ao problema principal, através da própria alocação, isto é, através das próprias variáveis binárias de alocação.

Utiliza-se para tanto, os pontos de definição do transporte como índices da variável binária de alocação, além dos tradicionais índices de jornadas e funcionários. Como pontos que determinam o transporte tem-se as rotas e os horários. Dessa forma, a variável binária de alocação acabou com os seguintes índices: funcionário, jornada, horário e rota.

Havia outro problema a ser definido, que era como lidar com a entrada e a saída, já que as duas, do ponto de vista de transporte, tem seu horário e rotas independentes uma da outra. Optou-se por utilizar duas variáveis binárias para a alocação ao invés de um só. A primeira era responsável pela entrada, e a segunda, pela saída. Criou-se, em decorrência da existência de duas variáveis de atribuição, uma restrição a mais no problema que garantisse o acoplamento de uma à outra, no que tange a alocação de um funcionário f a

uma jornada **j**. Garantiu-se, assim, que as únicas variações que pudessem haver entre as variáveis binárias de entrada e saída fossem relativas ao horário e a rota, não podendo existir absurdos como o funcionário **F** estar alocado a jornada **J1** na entrada, e a jornada **J2** na saída.

Modelagem do transporte

O custo de transporte é baseado no número de viagens realizadas, e portanto, no número de veículos (ônibus e/ou microônibus) utilizados para o transporte, a cada horário e rota. Este número é calculado a partir do número funcionários em cada horário e rota, para a saída e entrada, e capacidade de um ônibus/microônibus.

O número de veículos utilizados, para cada horário e rota, será calculado da seguinte forma:

- 1º) Divide-se o número de funcionários, naquele horário e rota, pela capacidade de um ônibus;
- 2º) Se o resto da divisão do primeiro passo for menor ou igual a capacidade de um microônibus, o número de veículos necessário será igual ao resultado da divisão do primeiro passo, em número de ônibus, mais um microônibus;
- 3º) Se o resto da divisão do primeiro passo for maior que a capacidade de um microônibus, o número de veículos necessários será igual a ao resultado da divisão do primeiro passo mais um, em número de ônibus, e nenhum microônibus.

O cálculo acima espelha a melhor relação de custo obtida²⁵, dadas as características do transporte utilizado pela empresa.

Uma vez calculado o número de veículos necessários, basta multiplicá-los pelo custo de suas viagens para obter-se o custo de transporte, por horário e rota. Segue a modelagem matemática do problema.

²⁵ Para ilustrar a afirmação acima, basta observar que 20 pessoas podem ser transportadas por um ônibus ou por dois microônibus, de acordo com as capacitações dos veículos, dada pela tabela 2. Entretanto, o custo das duas configurações propostas são diferentes. Assim, procurou-se estabelecer, dado um certo número de pessoas, como calcular a configuração de transporte que resultasse no menor custo. Essa configuração é a apresentada nos três passos acima expostos.

Função objetivo:

$$CustoSist = \underbrace{\sum_j \sum_f \left(\sum_h \sum_r BE_{f,j,h,r} \right) \cdot C_f \cdot (HS_j - HE_j) / 2}_{\text{Custo de mão-de-obra}} + \underbrace{\sum_h \sum_r (TE_{h,r} + TS_{h,r})}_{\text{Custo de transporte}} \quad (0)$$

Sujeito a:

$$\sum_f \sum_h \sum_r BE_{f,j,h,r} = 1 \quad (1)$$

$$\sum_f \sum_h \sum_r BS_{f,j,h,r} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_j \sum_h \sum_r BE_{f,j,h,r} \leq 1 \quad (3)$$

$$\sum_f \sum_h \sum_r BS_{f,j,h,r} \leq 1 \quad (4)$$

$$\sum_h \sum_r BE_{f,j,h,r} = \sum_h \sum_r BS_{f,j,h,r} \quad (5)$$

$$HE_j = \sum_f \sum_h \sum_r h \cdot BE_{f,j,h,r} \quad (6)$$

$$HE_j \geq REAlloc_j \quad (7)$$

$$HE_j \leq ET_j \quad (8)$$

$$REAlloc_j = \sum_f \left(\sum_h \sum_r BE_{f,j,h,r} \right) \cdot RE_f \quad (9)$$

$$HS_j = \sum_f \sum_h \sum_r h \cdot BS_{f,j,h,r} \quad (10)$$

$$HS_j \leq RSAloc_j \quad (11)$$

$$HS_j \geq ST_j \quad (12)$$

$$RSAloc_j = \sum_f \left(\sum_h \sum_r BS_{f,j,h,r} \right) \cdot RS_f \quad (13)$$

$$FE_{h,r} = \sum_f \sum_j BE_{f,j,h,r} \quad (14)$$

$$FS_{h,r} = \sum_f \sum_j BS_{f,j,h,r} \quad (15)$$

$$TE_{h,r} = \sum_h \sum_r XE_{ct,h,r} \cdot CFT_{ct} \quad (16)$$

$$\sum_{ct} XE_{ct,h,r} = 1 \quad (17)$$

$$\text{Se } FE_{h,r} \leq 18 \Rightarrow XE_{1,h,r} = 1 \quad (18a), (18b), \dots$$

$$\text{Se } 19 \leq FE_{h,r} \leq 44 \Rightarrow XE_{2,h,r} = 1$$

$$\text{Se } 45 \leq FE_{h,r} \leq 62 \Rightarrow XE_{3,h,r} = 1$$

⋮

<até última faixa definida pelo
tamanho do problema>²⁶

$$TS_{h,r} = \sum_h \sum_r XS_{ct,h,r} \cdot CFT_{ct} \quad (19)$$

$$\sum_{ct} XS_{ct,h,r} = 1 \quad (20)$$

$$\text{Se } FS_{h,r} \leq 18 \Rightarrow XS_{1,h,r} = 1 \quad (21a), (22b), \dots$$

$$\text{Se } 19 \leq FS_{h,r} \leq 44 \Rightarrow XS_{2,h,r} = 1$$

$$\text{Se } 45 \leq FS_{h,r} \leq 62 \Rightarrow XS_{3,h,r} = 1$$

⋮

<até última faixa definida pelo
tamanho do problema>²⁶

Segue agora a descrição de cada (in)equação acima exposta:

- (0) Função objetivo do problema, que descreve o custo total do sistema
- (1) Toda jornada deve ter seu funcionário alocado
- (2) Toda jornada deve ter seu funcionário alocado
- (3) Cada funcionário deverá estar alocado a no máximo 1 jornada
- (4) Cada funcionário deverá estar alocado a no máximo 1 jornada
- (5) Restrição que garante que o par jornada-funcionário alocado estejam igualmente designados para a entrada (BE) e para a saída (BS))
- (6) Definição do horário de entrada

²⁶ O número de faixas é dado em função do tamanho do problema. Será explicado mais a frente como se calcula este número de faixas necessário.

- (7) Horário de entrada da jornada deve ser menor ou igual ao horário típico de entrada da jornada
- (8) Horário de entrada da jornada deve ser maior ou igual à alguma eventual restrição de horário de entrada que o funcionário alocado possa ter
- (9) Definição da restrição de horário de entrada do funcionário alocado a cada jornada
- (10) Definição de horário de saída da jornada
- (11) Horário de saída da jornada deve ser maior ou igual ao horário típico de saída da jornada
- (12) Horário de saída da jornada deve ser menor ou igual à alguma eventual restrição de horário de saída que o funcionário alocado possa ter
- (13) Definição da restrição de horário de saída do funcionário alocado a cada jornada
- (14) Definição do número de funcionários, na entrada, por hora e rota
- (15) Definição do número de funcionários, na saída, por hora e rota
- (16) Definição do custo de transporte para a entrada, por hora e rota
- (17) Restrição da variável binária que define a faixa de valor do transporte para a entrada – só pode haver uma faixa de custo por hora e rota
- (18a), (18b),... Restrições que definem qual a faixa de custo de transporte incorrida, para a entrada.
- (19) Definição do custo de transporte para a saída, por hora e rota
- (20) Restrição da variável binária que define a faixa do custo de transporte para a saída, por hora e rota
- (21a), (21b),... Restrições que definem qual a faixa de custo do transporte incorrida, para a saída

Faixas de custo de transporte

A melhor maneira de descrever o custo de transporte foi através da criação de faixas de custo de transporte. Estas faixas refletem exatamente a função de custo, cuja variável independente é o número de pessoas a serem transportadas, exposta nos três passos para o cálculo do custo de transporte, no 4.3.1.

Assim, para cada intervalo de número de pessoas a serem transportadas, calculou-se o custo da operação, resultando no gráfico abaixo:

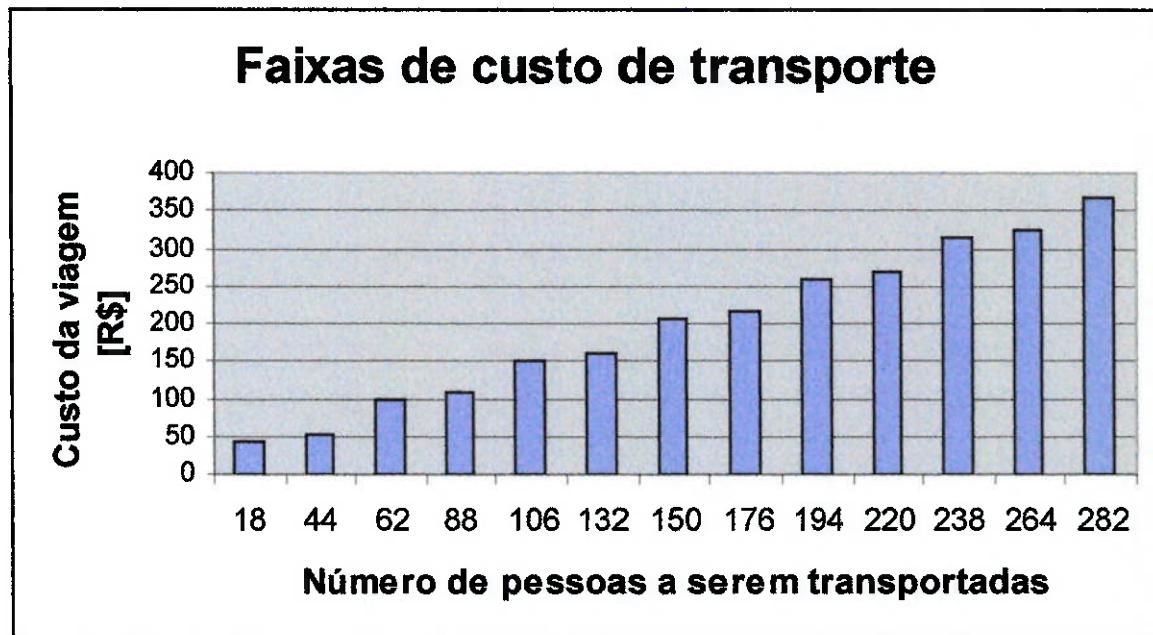


Gráfico 1 - Faixas de custo de transporte. Elaborado pelo autor.

Chamou-se de faixa de transporte cada um dos intervalos acima expostos no gráfico, que representam o custo da operação em função do número de funcionários transportados. Logo, à faixa contendo de 0 a 18 pessoas, convencionou-se chamar de faixa 1, à de 19 a 44 pessoas, faixa 2 e assim por diante. É interessante notar que estas faixas só dependem da capacidade dos veículos utilizados, bem como dos custos de suas viagens. Ambas informações constam na tabela 2.

O número máximo de faixas, descrito como CT no quadro1, é calculado por absurdo. Supondo-se, por absurdo, que todas os funcionários fossem transportados em um dado horário e rota, para a vinda ou para a volta, a última faixa de custo necessária seria a representada pelo número de ônibus necessários para o transporte do total de funcionários do dia, em um dado horário e rota.

Comentários finais sobre a modelagem exata

Através da modelagem acima descrita, foi desenvolvido o modelo para o GAMS com a finalidade de obter-se uma solução exata para o problema.

É interessante notar que a modelagem apresentada é inteira e não linear, o que caracteriza a natureza do problema como combinatória. Inteira por motivos óbvios (as variáveis de alocação são binárias) e não linear por dois motivos:

- primeiro porque na função objetivo há multiplicação de variáveis (BE que multiplica a subtração entre HS e HE);
- e segundo porque os custos de transporte são dados por uma função descontínua (em forma de escada) , observada no gráfico 1.

Assim, infelizmente, devido ao tamanho²⁷ e, principalmente, a natureza do problema, não se conseguiu chegar a alguma solução. Mesmo para entradas de tamanho reduzido frente ao real (5 x 10), não se obteve nenhum sucesso na modelagem, sendo que não se conseguiu sequer encontrar uma solução inicial para o problema.

²⁷ O tamanho do problema tratado é da ordem de 900 x 1200 (jornadas por funcionário), para um dado dia. Em CATTRYSSE et al. (1992), encontram-se exemplos e comparações entre técnicas exatas que resolvem problemas da ordem de ate 20 x 5.

Para finalizar, cabe um comentário a respeito da descrição do transporte. À primeira vista, tal descrição pode parecer confusa, devido a introdução das faixas de custo de transporte. Foram tentadas outras modelagens, todas, porém, sem sucesso.

Como ilustração de outras modelagens de transporte tentadas, utilizou-se variáveis para calcular o número de veículos necessários em função do número de pessoas a serem transportadas e a partir daí, calcular o custo de transporte, resultando em um modelo mais fácil de entender que o de faixas de custo de transporte. Entretanto, para o cálculo da necessidade de veículos, era necessária a utilização de funções descontínuas como a função teto²⁸ e a inteiro²⁹, resultando em modelos matemáticos de difícil trato. Resolveu-se simplificar, deixando como última modelagem, a que mais se aproximou de uma resposta viável, que foi a das faixas de custo de transportes, aqui exposta. Dessa forma, encerrou-se a tentativa de solução exata do problema. Parte-se, agora, para a resolução do problema por métodos heurísticos.

²⁸ A função teto calcula o próximo número a um dado número, de acordo com intervalos preestabelecidos. Como exemplo, a função teto de 13 com intervalo de 5 em 5, começando em 0, resulta 15.

²⁹ A função inteiro retorna a parte inteira de um dado número. Ambas funções foram necessárias para o cálculo do número de veículos pois o mesmo não varia linearmente em função do número de pessoas transportadas. Para verificar a não linearidade do custo de transporte basta olhar o gráfico 1.

4.3.2. Modelagem heurística

Conforme OSMAM (1991) diz, verifica-se que problemas de otimização combinatória, que é o caso do problema em abordagem, são “de uma natureza tal cujo procedimento para solução exata é desconhecido. As vezes, apesar de um procedimento para solução exata existir, este poderá ser computacionalmente proibitivo ou irreal em seus requisitos de informação. Além disso, o tempo e os recursos necessários para o desenvolvimento de um algoritmo exato que sirva ao caso poderá exceder em muito o necessário para a implementação de um método heurístico”.

Métodos heurísticos são, devido a sua construção e desenho, de mais fácil entendimento para o tomador de decisão do problema, e sendo assim aumentam suas chances de implementação.

Outra questão importante a ser considerada é que em problemas reais, muitas vezes os mais diferentes aspectos são ignorados pela própria dificuldade de modela-los adequadamente. Cabe citar a importante restrição da capacitação dos funcionários, que na modelagem exata teve de ser ignorada.

Quanto a plataforma para à construção da heurística, escolheu-se o MS Excel. A escolha foi devida aos seguintes motivos:

- em primeiro lugar, o Excel, assim como outros pacotes baseados em planilhas eletrônicas, é uma poderosa ferramenta para cálculos;
- em segundo lugar, dentre os pacotes de planilhas eletrônicas, o Excel é, de longe, o mais conhecido e utilizado, sendo portanto, uma escolha de cunho ‘popular’ que

poderá proporcionar, entre outras coisas, ilustrações de como podem ser utilizadas planilhas para aqueles que conhecem o *software* e desconhecem seu potencial de uso - por isso a questão da escolha através da popularidade;

- em terceiro e último lugar, por ser uma opção de fácil acesso.

Inicialmente, foram determinadas quais as entradas e saídas que deveríamos ter. Para as entradas, definiu-se que seriam necessárias as seguintes informações:

- Jornadas do dia e suas características;
- Funcionários disponíveis para alocação e suas características;
- Matriz de capacitação - tabela que traz, para cada jornada, quais os funcionários devidamente habilitados (treinados) a realizá-la;
- Matriz de transporte – tabela que traz, para cada funcionário, quais as rotas que os mesmos podem utilizar.

As saídas necessárias são as mesmas que as citadas na modelagem exata:

- Funcionários que trabalharão em cada jornada – matriz de alocação preenchida;
- Horários de entrada e saída de cada jornada;
- Rotas utilizadas, para a entrada e saída, por cada funcionário alocado a uma jornada.

O modelo de simulação foi baseado na matriz de alocação, isto é, foi inicialmente construído utilizando-se a própria matriz.

Estrutura das planilhas que suportam a heurística

O sistema construído em Excel é baseado na matriz de atribuição. Nesta matriz figuram as jornadas na vertical (cada coluna representando uma) e os funcionários na horizontal (cada linha representa um). Uma alocação (atribuição) é feita quando a célula resultante do cruzamento de uma coluna (jornada) com um linha (funcionários) é preenchida com o número um (1). As próximas duas colunas adjacentes a matriz, à esquerda da mesma, contém as rotas que cada funcionário utilizará. Quanto as próximas duas linhas adjacentes a matriz, em baixo da mesma, contêm os horários de saída e entrada da jornada. Dessa forma, o sistema é manipulado através da matriz de alocação e das colunas e linhas adjacentes, que contemplam as características da atribuição e do transporte respectivamente.

Ao lado das colunas das rotas, tem-se as demais características dos funcionários. E abaixo das linhas dos horários de entrada e saída tem-se as características das jornadas.

Veja figura ilustrativa da planilha principal do sistema.

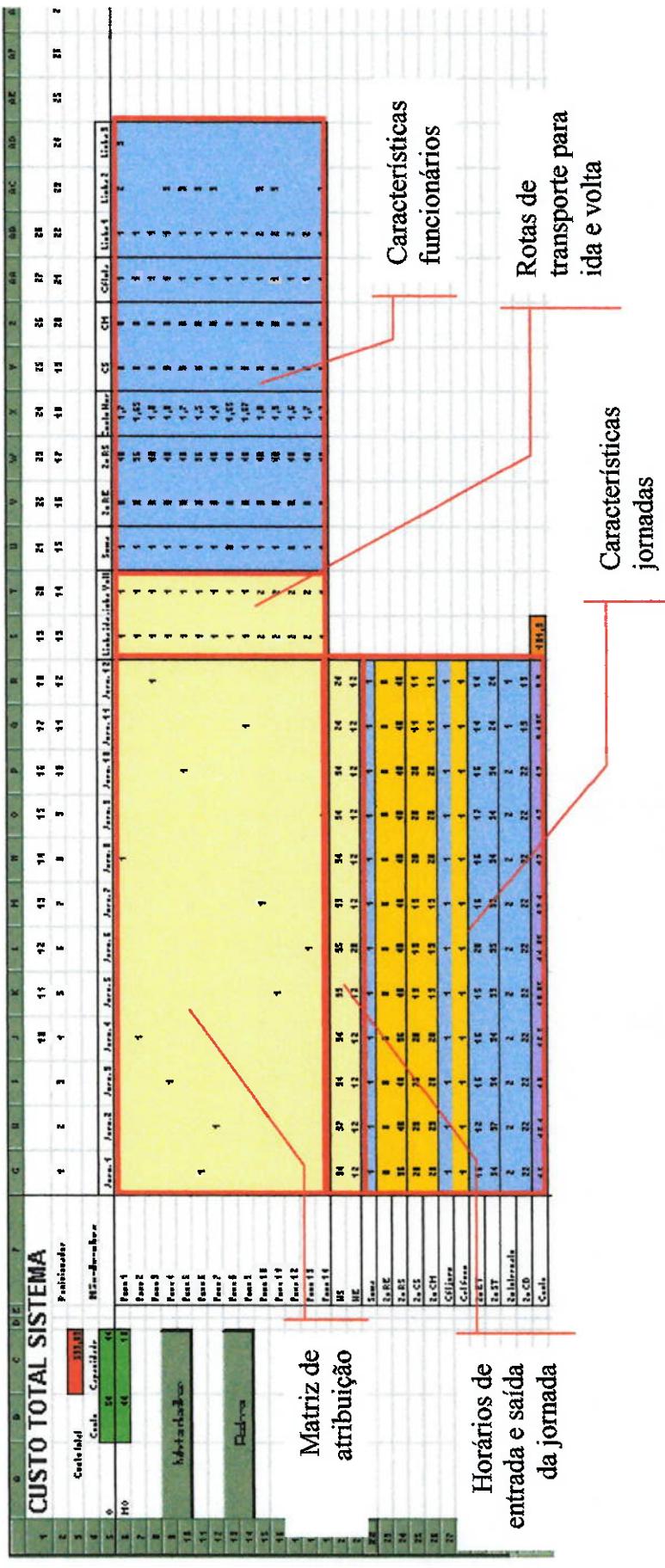


Figura 5 - Tela principal do sistema Excel que suporta as heurísticas. Elaborado pelo autor.

Estrutura da heurística

A heurística foi construída baseada em modelos de construção e melhoramento. Assim, há duas partes claramente definidas:

- A primeira, chamada doravante de heurística 1, é do tipo heurística de construção e trata da alocação dos funcionários às jornadas, de acordo com algumas regras, para a obtenção de uma solução inicial viável;
- A segunda, doravante heurística 2, é do tipo de melhoramento e partindo da alocação já pronta, trata de melhorar o custo sistêmico, mexendo nas alavancas que definem o transporte, que são a definição dos horários de entrada e saída e a das rotas de transporte de entrada e saída.

Segue a primeira parte da heurística:

Heurística 1 - para alocação

A primeira preocupação quanto a construção da modelagem da heurística foi em relação a restrição de capacitação e como abordá-la.

Em função da empresa ser relativamente nova (operações iniciadas na virada de 1999 para 2000), há preocupações quanto a capacitação do quadro de funcionários. O *turn-over* é relativamente alto, em função da natureza do negócio, o que dificulta a manutenção do quadro de funcionários de forma devidamente capacitada, isto é, de modo a garantir que haja sempre um funcionário capacitado para cada jornada de trabalho do dia. Dessa forma, a primeira preocupação que se teve foi a construção de um modelo que possibilite a alocação de modo a garantir o maior número de

funcionários capacitados entre as jornadas de um dado dia. Esta observação vem a garantir a qualidade do trabalho antes de qualquer outro fator, até mesmo antes do custo.

A segunda preocupação é garantir que todas as restrições do problema real fossem observadas na modelagem. Para isso, foram consideradas todas as restrições citadas nos itens 4.1.3 a 4.1.5, exceto a restrição dos domingos, a nona do item 4.1.3. Para a restrição dos domingos ser respeitada, basta, na entrada de dados, não colocar os funcionários que já tiverem trabalhados os últimos seis domingos, quando for necessária a montagem da escala de um domingo.

Em função da situação³⁰ citada, espera-se que algumas jornadas sejam alocadas com funcionários sem a devida capacitação, ou ainda, não sejam respeitadas todas as restrições do problema. Assim, a última preocupação para a construção da modelo é que o mesmo tenha uma seletividade nas restrições a serem consideradas. Ou melhor, que haja uma lista de prioridades com respeito as restrições do problema.

Para que o número de jornadas com funcionários capacitados seja o maior possível, é necessário que a alocação comece pelas jornadas com menor número de funcionários capacitados para depois se passar às que tem mais funcionários. Desse modo, evita-se, por exemplo, que um funcionário, que seja o único capacitado a uma jornada A, seja alocado a uma outra jornada B, a qual também está capacitado, deixando a jornada A sem opções de funcionários devidamente capacitados.

³⁰ Dificuldade de manutenção de quadro devidamente capacitado.

Assim, a alocação às jornadas ocorrerá na ordem crescente do número de funcionários capacitados nas mesmas, deixando por fim as que não possuem nenhum funcionário capacitado.

A alocação de funcionários às jornadas será feita em duas fases:

- a primeira, na qual todas as restrições são respeitadas;
- a segunda, na qual uma ou mais restrições são relaxadas.

Quando se falar em restrição relaxada significa dizer que a restrição foi desconsiderada.

Nesta segunda fase, o relaxamento de restrições é feito de maneira gradual, na seguinte ordem:

1º) **Restrição de célula.** A restrição de célula só é importante no sentido de garantir o controle e a boa administração do quadro de funcionários de cada célula do parque. Logo, não há qualquer prejuízo de qualidade do serviço prestado, caso seja alocado um funcionário de uma célula a uma jornada de outra célula, desde que o mesmo esteja devidamente capacitado, ou seja, quando se tratar de um funcionário polivalente.

2º) **Restrição de capacitação.** Apesar da restrição de capacitação ser a mais importante do ponto de vista da garantia de qualidade do serviço prestado, quando se chega a este estágio, todas as jornadas que ainda não tiveram funcionários alocados, já passaram por tentativa de alocação e muito provavelmente, a mesma não aconteceu em função da restrição de capacitação, que é a mais difícil de se respeitar, de um modo geral.

3º) Restrições de carga de trabalho (semanal e mensal).

As próximas restrições que se preferiu relaxar foram as restrições de carga de trabalho, tanto a semanal quanto a mensal. Relaxando-se esta restrição, não há nenhum problema operacional, a princípio, para o funcionário e nem para a empresa. O maior risco que se incorre ao relaxar estas restrições é o risco de passivos trabalhistas, isto é, processos trabalhistas, por desrespeito as regras do acordo coletivo. Entretanto, este risco é pequeno, pois o abuso está “diluído” em uma semana ou mês, e além disso, o funcionário está sendo remunerado pela carga extra.

4º) As demais, que ainda não forma relaxadas.

Sobram, por fim, as restrições de horário de entrada e saída, as quais se violadas implicam em imediato descontentamento por parte do funcionário, que sai lesado em relação a outras atividades extra-trabalho na empresa, que o impede, em teoria, de estar trabalhando naquele horário³¹.

As restrições fundamentais da jornada e do funcionário nunca são violadas, pois sempre se deve ter alguém para realizar cada jornada do dia, sendo por este motivo o número de funcionários no quadro superior ao número máximo de jornadas que poderá haver em um determinado dia. E cada jornada só pode ser realizada por um funcionário.

Todo o processo de alocação é feito de acordo com as considerações anteriormente realizadas. Quanto a escolha dos horários da jornada, a heurística 1 mantém os horários das jornadas como sendo iguais aos típicos, preservando assim, o menor custo de mão-

³¹ Apenas para relembrar, a maior ocorrência de restrições nos horários de trabalho quanto aos funcionários é devida a atividades escolares.

de-obra para o sistema. Quanto as rotas, são escolhidas as primeiras da lista de possibilidades de cada funcionário.

Segue o modelo heurístico para alocação, apresentado em forma de um fluxograma.

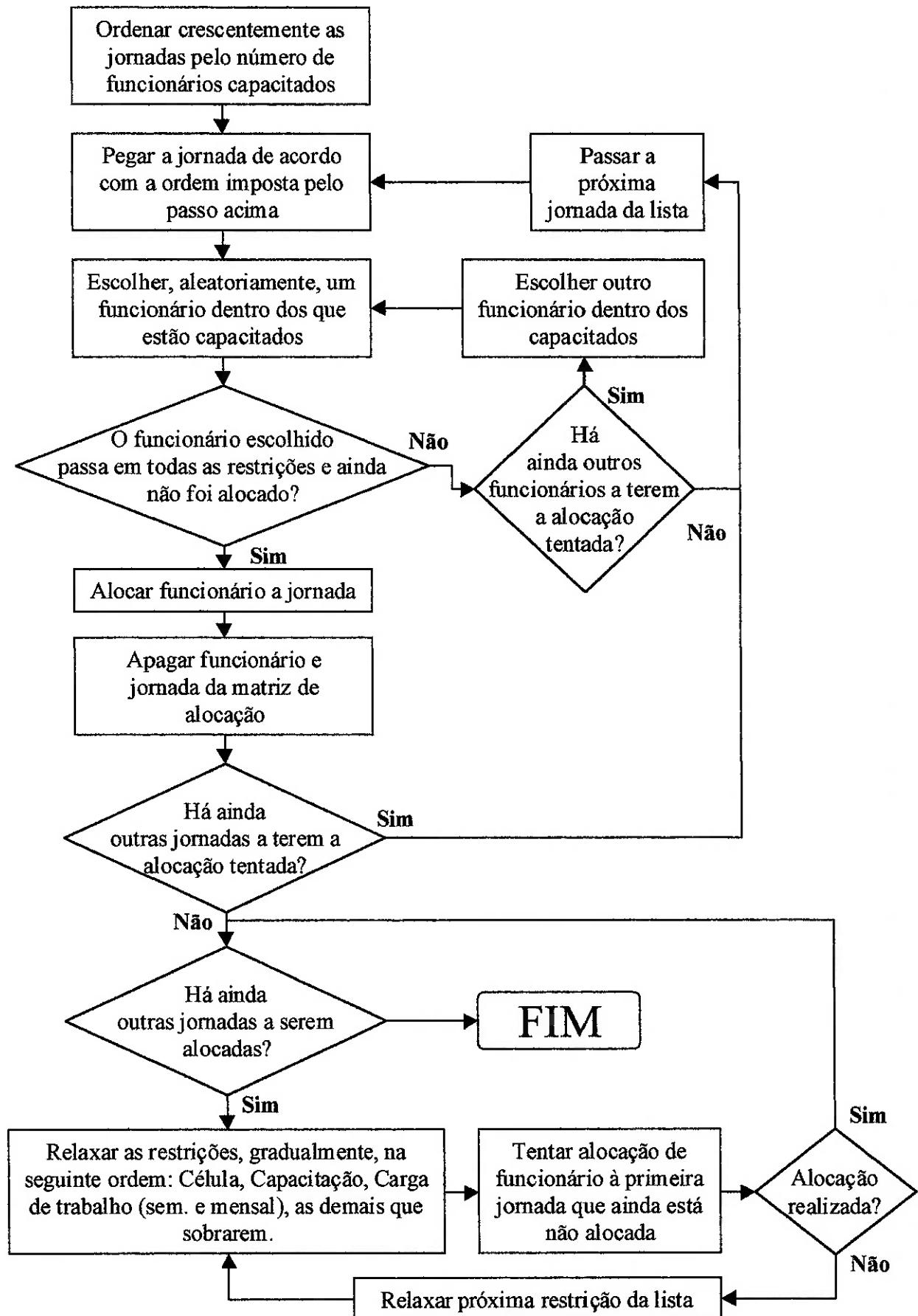


Figura 6 - Heurística 1, usada para a obtenção de uma solução inicial viável. Elaborado pelo autor.

Como comentário final da heurística 1, é interessante notar no fluxograma as duas fases claramente definidas:

- a primeira realiza alocações respeitando-se todas as restrições apresentadas. Esta fase é definida pelo primeiro *looping* do fluxograma apresentado na figura 6;
- a segunda, aloca funcionários às jornadas que já tiveram **tentativas** de alocações realizadas sem sucesso, em virtude de alguma das restrições existentes. Para isso, relaxa-se as restrições, na ordem apresentada, até que cada jornada possua seu funcionário alocado. Esta segunda fase é definida pelo segundo *looping* do fluxograma da figura 6.

Heurística 2 - para melhoramento da solução viável inicial

Uma vez o quadro de funcionários alocado às jornadas de trabalho do dia, segundo as regras anteriormente expressas, utilizar-se-á a heurística 2, que cuidará de obter um baixo custo à alocação feita.

A heurística 2 está baseada nos “movimentos”³² possíveis de serem realizados com as entidades de transporte do sistema (horários e linhas de transporte). Assim, os movimentos estudados são relativos ao transporte. Para isso, construí-se uma planilha chamada **Transporte** que cuidará de mostrar como estão distribuídas as viagens do dia.

³² Os movimentos possíveis serão explicados mais adiante.

Esta planilha conta com 4 matrizes: 2 para a ida e 2 para a volta. Todas as planilhas são construídas com as colunas representando os horários existentes e as linhas, as rotas de transporte.

A primeira de planilha do par (tanto para ida quanto para volta) contém o número de pessoas a serem transportadas em cada linha de transporte e horário disponível. A segunda planilha, é utilizada como auxiliar no processo da heurística 2 e serve para armazenar os potenciais de ganho de cada “movimento”. Segue ilustração da planilha

Transporte.

Figura 7 - Planilha Transporte. Elaborado pelo autor.

Movimentos possíveis

O custo de transporte do sistema só diminui se se diminuir a necessidade de viagens, em cada horário e rota.

Para isso, é necessário que pessoas que inicialmente eram transportadas por mais de um veículo, seja por diferença de rota de transporte, seja por diferença de horário, passem a ser transportadas em um único horário e rota, atentando-se a melhor aproveitar a capacidade de transporte de ambos os horários e rotas envolvidos. O primeiro par horário e rota ganhará em custo pois terá sua viagem eliminada e o segundo, ganhará também, pois com o mesmo custo³³, serão transportadas mais funcionários.

Assim, basicamente devemos eliminar viagens através da mudança dos funcionários que seriam transportados pela viagem que agora será eliminada, para outro horário e rota que já possua uma viagem existente. Elimina-se assim o custo de transporte de uma viagem, podendo aumentar ou não o custo da outra, e consequentemente, aumentar ou não o custo total de transporte.

Dessa forma, a heurística 2 trabalha no sentido de tentar agregar mais funcionários em um mesmo horário e rota, para que os veículos que farão o transporte tenham sua capacidade melhor ocupada e assim, consiga-se uma custo *per capita* de transporte mais baixo que na situação original.

³³ Lembrar que o custo por viagem é constante, dependendo apenas do tipo de veículo empregado.

Lembrando-se que a heurística 1 define para cada jornada, como horários de entrada e saída, seus respectivos horários típicos e que o horário típico de entrada é o limite superior de variação do horário de entrada, assim como o típico de saída é o limite inferior do horário de saída, percebe-se que os horários de entrada só poderão ser alterados para valores inferiores aos inicialmente definidos e os horários de saída, para valores superiores aos inicialmente definidos.

Quanto as rotas, a variação é livre, bastando apenas o funcionário estar habilitado a usá-las, para que a definição de utilização de rotas possa ser mudada.

Logo, os funcionários de cada célula da matriz de transportes, poderão ter os seguintes movimentos entre rotas e horários, nas matrizes da planilha Transporte:

		Para a ida			
		09:30	10:00	10:30	11:00 ...
Horário	Linha				
1				↑	
2			←	↙	↓
3					

Para a volta					
...	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00
	↑	→	↓		
	↙				

Figura 8 - Movimentos possíveis para distribuir melhor os funcionários entre as viagens existentes. Elaborado pelo autor.

De todos os movimentos válidos, será considerado, na heurística 2, apenas a variação entre horários. A variação entre rotas será desconsiderada, pelos seguintes motivos:

- atualmente, a empresa trabalha com apenas uma linha de transporte por funcionários, devido a restrições operacionais relativas ao gerenciamento dessas linhas;
- Entretanto, o sistema construído possibilita a utilização de mais de uma rota por funcionário. Espera-se, devido a própria natureza da construção das rotas, que o percentual de funcionários que possam passar a utilizar mais de uma rota seja baixo, no máximo 5% do total, que seriam os funcionários que morassem nas imediações do cruzamento de rotas. Assim, mesmo que a heurística considerasse os movimentos entre rotas, este seria possível apenas a um pequeno percentual dos funcionários, o que em termos globais impactaria pouco no custo total sistêmico.

Optou-se dessa forma considerar apenas como movimentos a serem trabalhados os entre horários.

A heurística 2 trabalha em duas etapas:

- a primeira etapa trata de calcular, para cada par de horário e rota, se há um potencial³⁴ de ganho e caso haja, qual é este potencial;
- Calculados todos os potenciais de ganho, em cada linha de transporte é realizado o movimento que tenha o maior potencial de ganho.

³⁴ O potencial de ganho nada mais é do que o quanto conseguir-se-á reduzir o custo total do sistema pela variação de rotas e horários, de acordo com os movimentos possíveis considerados.

As etapas ambas as etapas acima descritas se sucedem até que não haja mais nenhum potencial de ganho positivo. O potencial de ganho é calculado da seguinte maneira:

$$P = C_{vs} - \sum_{f=1}^F C_f \cdot I - \Delta_{nv}$$

Onde,

C_{vs} é o custo da viagem que some, isto é, da viagem que deixa de existir pelo movimento realizado;

C_f é o custo horário do funcionário f , que pertence a viagem que some;

I é o intervalo entre as duas viagens consideradas, a que some e a que receberá os funcionários da que some;

Δ_{nv} é a diferença de custo da viagem que recebe os funcionários entre depois de tê-los recebidos e na situação original.

Para melhor elucidar o cálculo do potencial de ganho, vamos a um exemplo:

Supondo que houvesse dois horários com viagens na entrada, na linha 1:

às 09:00 e às 10:00. Às 09:00 estão alocados 34 funcionários e às 10:00,

5 funcionários. Para facilitar o cálculo, suponha que o custo horário de todos os funcionários seja R\$2,00/hora trabalhada. Teríamos então:

A viagem que some neste caso só poderá ser a das 10:00 pois, os movimentos permitidos para a entrada só podem ser regressivos (de uma determinada hora para uma hora menor).

$C_{VS} = R\$44,00$, que é o custo da viagem de um micro-ônibus (capacidade para 18 passageiros, comportando, portanto, os 5 passageiros da viagem que some);

$I=1$ hora, que é o intervalo entre 09:00 e 10:00;

$F = 5$, que é o número de passageiros da viagem que some;

Portanto, $\Sigma C_f \cdot I = R\$10,00$;

$\Delta_{NV} = 0$, pois não haverá variação no custo da viagem das 09:00, uma vez que o veículo utilizado originalmente era um ônibus (capacidade para 44 passageiros) que transportaria 34 passageiros e passará a transportar 39 ($=34+5$ novos passageiros vindos das 10:00). Não há portanto necessidade de mudança nem de adição de outro veículo para o transporte.

Temos portanto um potencial de ganho positivo de $P = 44 - 10 - 0 = R\$34,00$, que implica em realizar a mudança citada.

Segue o fluxograma da heurística 2.

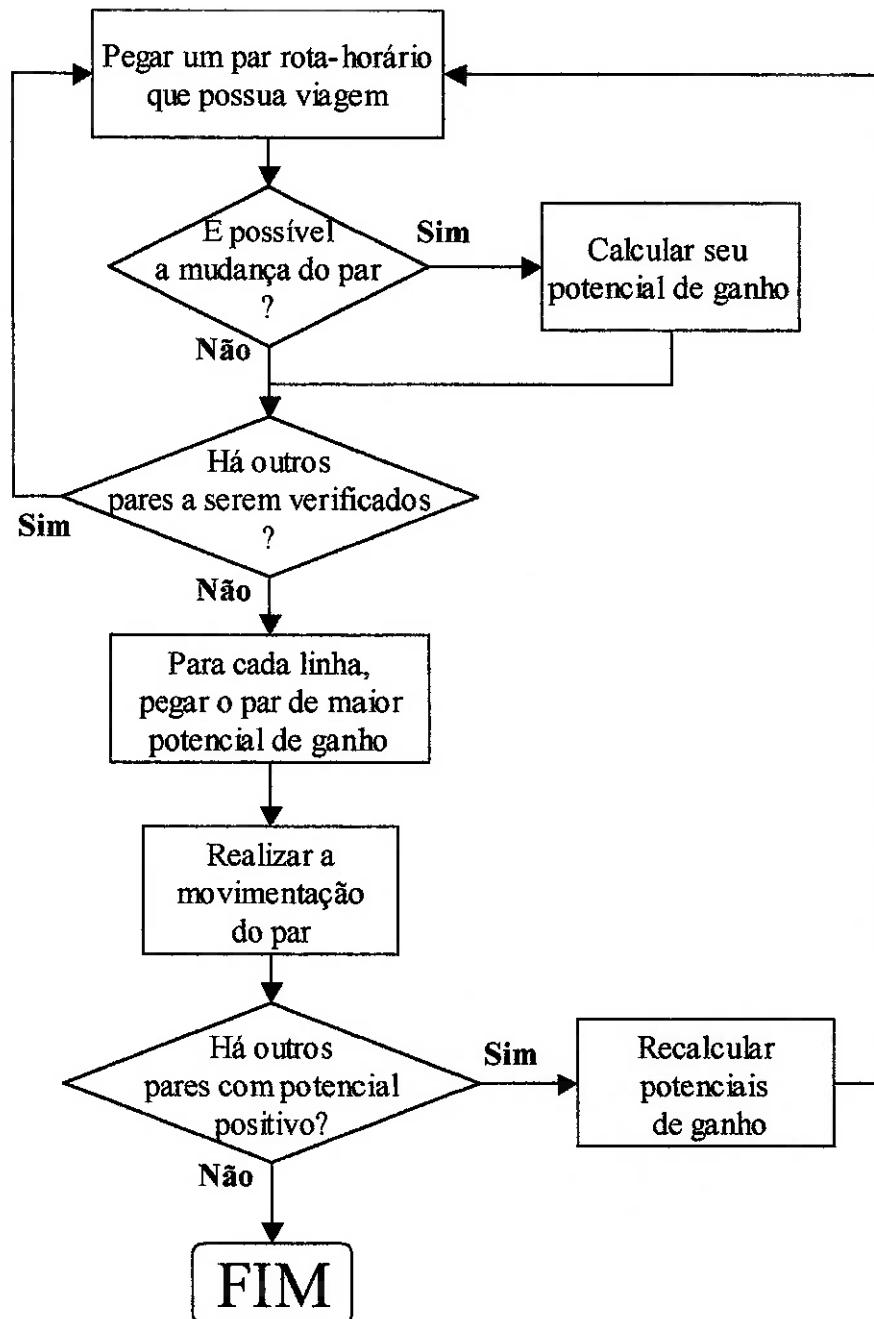


Figura 9 - Macrofluxo da heurística 2, utilizada para melhoramento da solução viável inicial apresentada pela heurística 1. Elaborado pelo autor.

4.4. Resultados obtidos

Antes da apresentação de qualquer resultado, realizar-se-á algumas considerações a respeito do funcionamento das heurísticas elaboradas.

A heurística 1 (construtiva) é baseada em seleções aleatórias, tanto para as jornadas quanto para os funcionários. Isto significa que, quando é necessário escolher alguma entidade, como por exemplo, a próxima jornada a ser alocada ou o próximo funcionário a ser testado na jornada em processo de alocação, e já tendo sido verificados os critérios apresentados com resultado de mais de uma entidade com igual probabilidade de ser a escolhida, o procedimento interno utiliza-se de geradores de números aleatórios para proceder à escolha de maneira aleatória, inserindo o “acaso”³⁵ ao modelo.

Já a heurística 2, de melhoramento, é um processo determinístico, pois dada uma alocação, o resultado da heurística será sempre o mesmo. Assim, quanto a possibilidade de variação nos resultados finais, esta é devida à heurística 1.

Tendo em vista as considerações feitas, decidiu-se avaliar o modelo criado da seguinte maneira:

- avaliar o modelo como um todo, com exemplos de tamanhos diferentes, realizando-se diversas simulações para cada um, com o intuito de se observar se há uma distribuição de probabilidades dos resultados que represente o modelo;

³⁵ Na realidade, geradores de números aleatórios geram números pseudo-aleatórios. Entretanto a seqüência gerada pode, para fins práticos de simulação, ser considerada aleatória.

- avaliar isoladamente a eficiência da heurística 2, dada uma alocação qualquer. Para esta avaliação serão utilizados modelos pequenos, para os quais é possível conhecer o ótimo global e poder assim, compará-lo ao resultado obtido;
- por último, simular-se-á para o problema real qual o potencial de ganho que há na aplicação do modelo desenvolvido.

Para a primeira e terceira avaliações será utilizado o método da análise empírica. Para o segundo caso serão realizadas análises empíricas e a do método do pior caso. Para maiores detalhes sobre estes métodos ver OSMAN (1991).

4.4.1. Avaliação empírica do modelo como um todo

Para esta avaliação foram construídos sete exemplos para os quais foram realizadas simulações.

Após o término de cada simulação, guardou-se os resultados obtidos na planilha **Resultados**. Montou-se também um cabeçalho para esta planilha contendo basicamente o melhor e o pior resultado obtido, bem como a média e o desvio-padrão dos mesmos.

Cada vez que um resultado obtido fosse melhor que o melhor de até então, este resultado tinha suas entidades (a alocação, os horários e as rotas, de entrada e saída) armazenadas nesta planilha **Resultados**. Dessa forma, conseguiu-se guardar qual alocação e configuração de horários e rotas que representava aquele custo obtido.

O objetivo de muitas simulações terem sido feitas foi poder observar como a solução viável inicial gerada pela heurística 1 afetava o resultado final do modelo. Como é conhecido na literatura, modelos mistos de construção e melhoramento normalmente são muito afetados pela solução viável inicial.

Para que a avaliação desta variação pudesse ser feita, decidiu-se simular, para cada exemplo, cem (100) vezes. Foram então construídos, para cada exemplo, histogramas dos custos finais obtidos em cada simulação.

A idéia por trás da realização de simulações com exemplos diferentes é poder variar o tamanho do exemplo e observar se o mesmo influi na desempenho do modelo.

Na tabela estão os macro dados dos exemplos simulados. Consultar anexos para maiores informações sobre os exemplos criados para simulação.

Exemplo	Número de jornadas	Número de funcionários
1	10	20
2	10	40
3	20	40
4	10	60
5	20	60
6	30	60
7	60	120

Tabela 3 - Características dos exemplos utilizados para simulação.
Elaborado pelo autor.

Seguem agora, na seqüência dos exemplos apresentados, tabelas contendo o resumo dos resultados obtidos e os respectivos histogramas das simulações. É interessante notar, que foram armazenadas além de informações relativas aos custos, informações relativas

ao tempo de processamento³⁶ necessário para obtê-las. Nas simulações que seguem, as capacidades dos veículos foram alteradas para 5 e 2 lugares, para haver, na maioria das vezes, mais de um veículo por linha para os problemas pequenos, assim como ocorre no problema real.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	771	223	548		
Final	531	235	338	8	4

Tabela 4 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 1 da tabela 3. Elaborado pelo autor

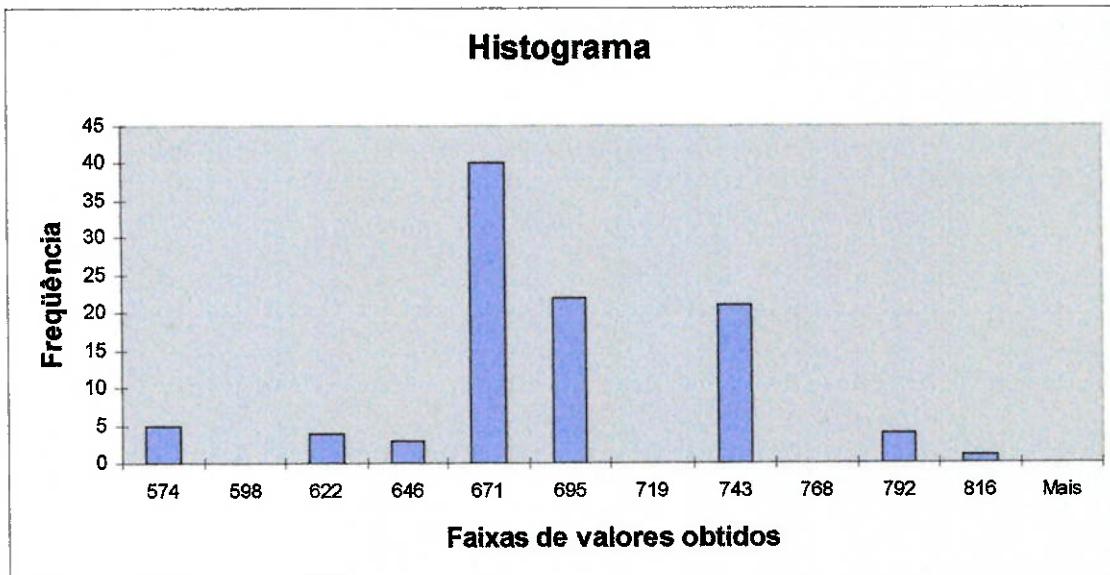


Gráfico 2 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 1 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	825	223	602		
Final	632	240	392	7	3

Tabela 5 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 2 da tabela 3. Elaborado pelo autor

³⁶ Todo o processamento foi realizado em um Pentium Celeron 333MHz, com 64 Mb RAM equipado com Windows 98 e Excel 2000.

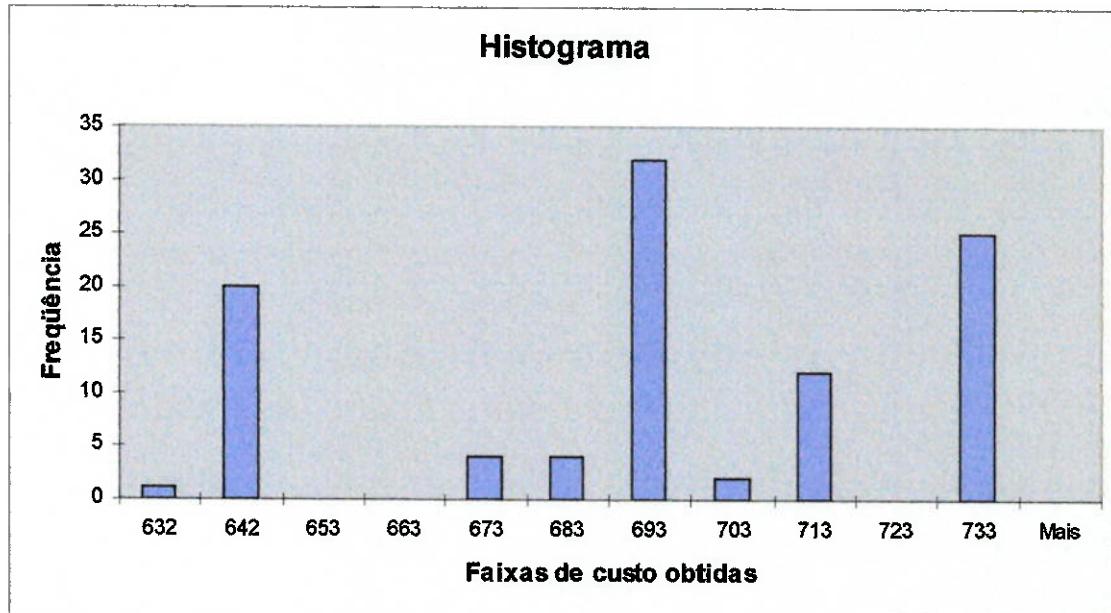


Gráfico 3 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 2 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	1361	441	920		
Final	1101	459	642	15	7

Tabela 6 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 3 da tabela 3. Elaborado pelo autor

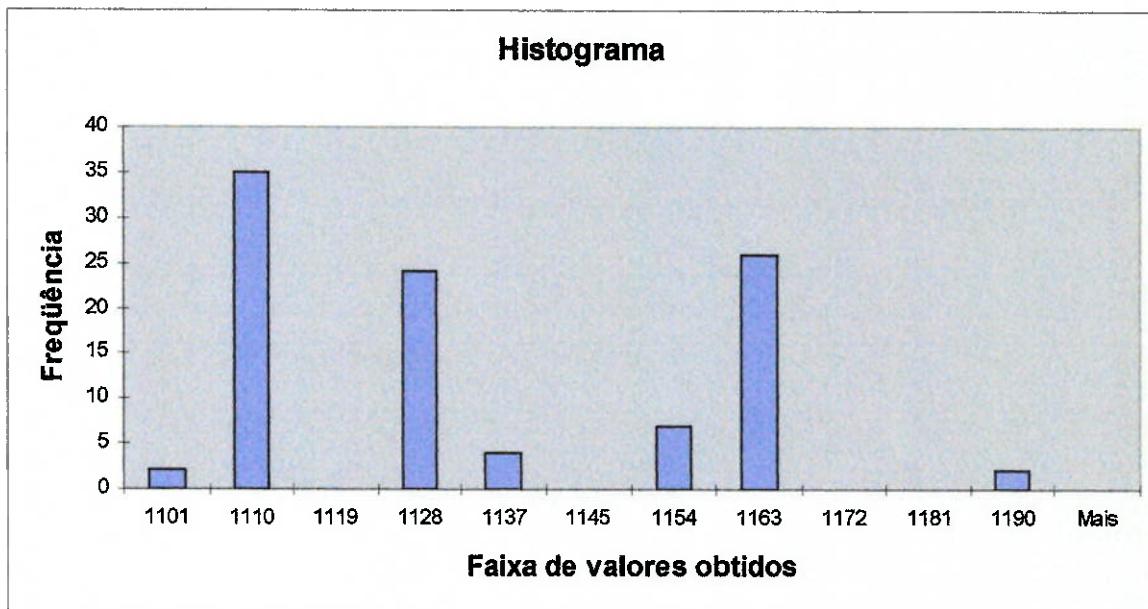


Gráfico 4 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 3 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	847	211	636		
Final	580	232	348	10	5

Tabela 7 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 4 da tabela 3. Elaborado pelo autor

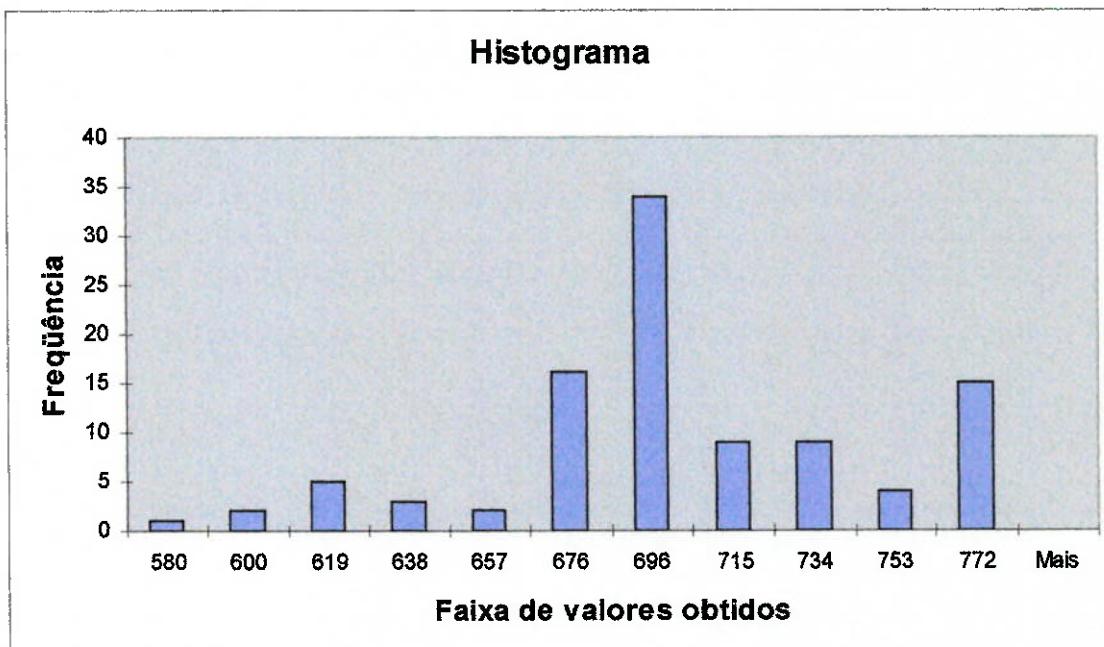


Gráfico 5 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 4 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	1484	442	1042		
Final	1103	461	642	21	10

Tabela 8 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 5 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

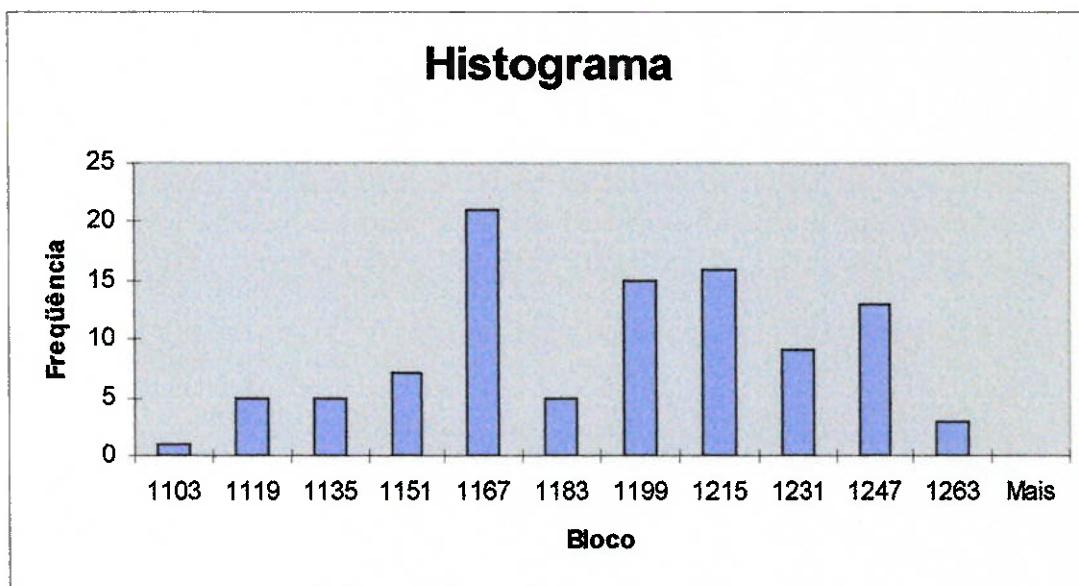


Gráfico 6 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 5 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	2055	655	1390		
Final	1627	705	922	40	19

Tabela 9 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 6 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

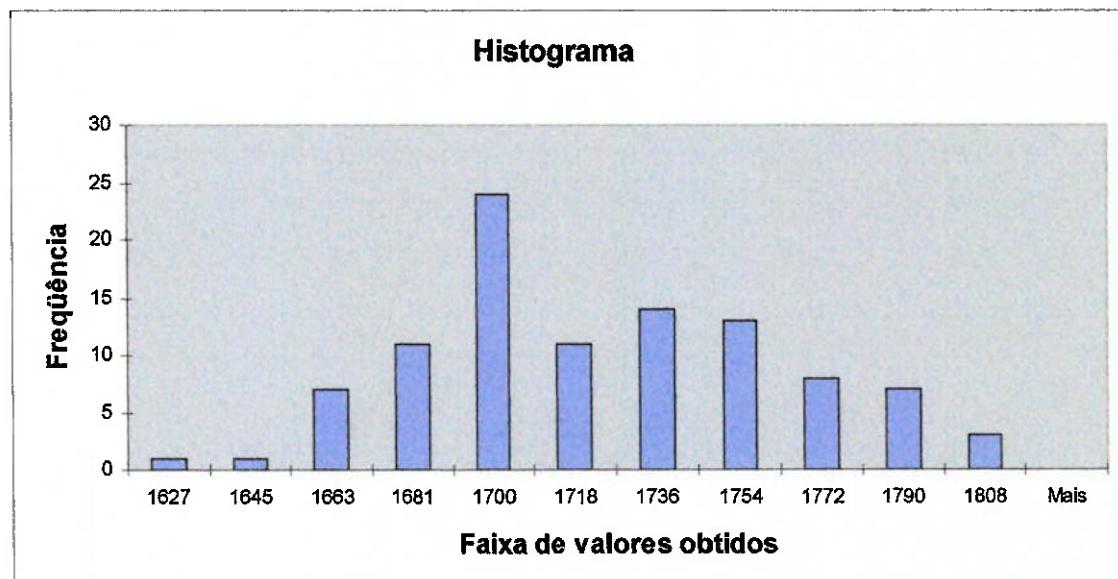


Gráfico 7 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 6 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (s)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	3282	1258	2024		
Final	3065	1285	1780	225	27

Tabela 10 - Resumo dos resultados obtidos com a simulação do exemplo 7 da tabela 3. Elaborado pelo autor

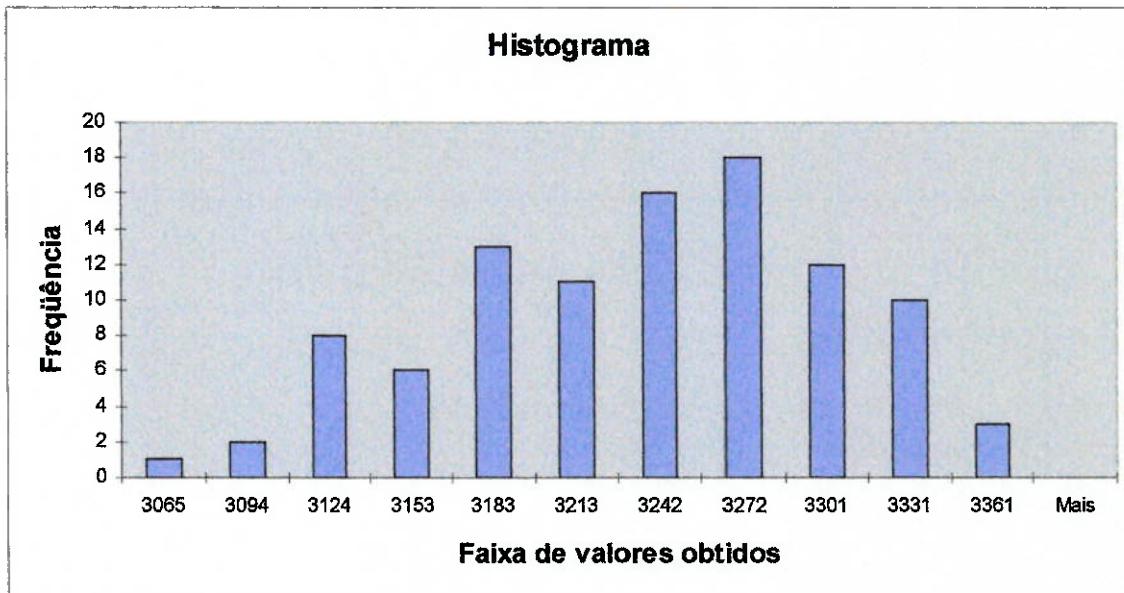


Gráfico 8 - Histograma dos custos obtidos com a simulação do exemplo 7 da tabela 3. Elaborado pelo autor.

Percebe-se, dos gráficos acima que não há um padrão muito definido para simulações com exemplos pequenos (como os exemplos 1, 2 e 3). Entretanto, a medida que o tamanho do exemplo cresce, percebe-se que os resultados começam a compor uma curva que se assemelha a uma normal.

Realizar-se-á, para a verificação da hipótese estabelecida, de que a distribuição que representa os resultados é descrita por uma curva normal, o teste de aderência de Komolgorov-Smirnov com os resultados obtidos com os exemplos simulados 6 e 7, que são os de maior tamanho: Em ambos os casos, o teste foi realizado com um nível de significância de 1%. Seguem as planilhas com os testes realizados:

Teste de aderência para o exemplo 6

EXEMPLO 6

Máximo: 0,11

Resultado:

Adere a normal a 1% de significância

Iteração	x	Média:	x (ordenado)	Z	F(x)-G(X)	
					esquerda	direita
1	1696,88	1715,423	1626,94	-2,20	0,0139	0,00
2	1736,46	Desvio-padrão:	1631,14	-2,10	0,0181	0,01
3	1733,98	40,228	1651,02	-1,60	0,0547	0,02
4	1740,29	Valor crítico p/ 5%	1652,49	-1,56	0,0589	0,03
5	1772,49	0,136	1653,98	-1,53	0,0633	0,04
6	1680,54	Valor crítico p/ 1%	1654,60	-1,51	0,0653	0,05
7	1769,30	0,163	1655,36	-1,49	0,0677	0,06
8	1669,45		1661,02	-1,35	0,0881	0,07
9	1774,26		1662,26	-1,32	0,0932	0,08
10	1706,26		1664,74	-1,26	0,1039	0,09
11	1745,22		1666,52	-1,22	0,1120	0,10
12	1678,82		1669,45	-1,14	0,1265	0,11
13	1780,54		1669,70	-1,14	0,1278	0,12
14	1727,73		1671,33	-1,10	0,1365	0,13
15	1724,80		1678,82	-0,91	0,1815	0,14
16	1776,74		1678,82	-0,91	0,1815	0,15
17	1771,78		1679,45	-0,89	0,1856	0,16
18	1808,35		1679,45	-0,89	0,1856	0,17
19	1689,22		1679,45	-0,89	0,1856	0,18
20	1655,36		1680,54	-0,87	0,1930	0,19
21	1684,18		1684,18	-0,78	0,2187	0,20
22	1716,18		1685,02	-0,76	0,2249	0,21
23	1739,02		1686,21	-0,73	0,2338	0,22
24	1671,33		1687,45	-0,70	0,2434	0,23
25	1696,26		1688,74	-0,66	0,2536	0,24
26	1689,84		1689,22	-0,65	0,2574	0,25
27	1652,49		1689,22	-0,65	0,2574	0,26
28	1626,94		1689,84	-0,64	0,2624	0,27
29	1764,74		1690,06	-0,63	0,2642	0,28
30	1679,45		1690,06	-0,63	0,2642	0,29
31	1631,14		1690,06	-0,63	0,2642	0,30
32	1712,38		1690,06	-0,63	0,2642	0,31
33	1661,02		1690,06	-0,63	0,2642	0,32
34	1729,11		1690,06	-0,63	0,2642	0,33
35	1713,45		1691,25	-0,60	0,2739	0,34
36	1689,22		1692,54	-0,57	0,2848	0,35
37	1666,52		1693,73	-0,54	0,2948	0,36
38	1690,06		1693,78	-0,54	0,2953	0,37
39	1693,73		1693,78	-0,54	0,2953	0,38
40	1719,75		1694,49	-0,52	0,3014	0,39
41	1686,21		1694,97	-0,51	0,3055	0,40
42	1722,21		1696,26	-0,48	0,3169	0,41
43	1734,68		1696,88	-0,46	0,3224	0,42
44	1792,06		1699,45	-0,40	0,3456	0,43
45	1654,60		1705,02	-0,26	0,3980	0,44
46	1664,74		1706,26	-0,23	0,4099	0,45
47	1692,54		1707,73	-0,19	0,4241	0,46
48	1678,82		1708,74	-0,17	0,4340	0,47
49	1737,70		1710,60	-0,12	0,4523	0,48
50	1653,98		1711,59	-0,10	0,4620	0,49

(continuação)

Iteração	x	x (ordenado)	Z	F(x)	G(x)	F(x)-G(X)	
						esquerda	direita
51	1771,78	1712,38	-0,08	0,4698	0,50	0,03	0,04
52	1690,06	1712,46	-0,07	0,4706	0,51	0,04	0,05
53	1784,18	1713,45	-0,05	0,4804	0,52	0,04	0,05
54	1651,02	1714,06	-0,03	0,4865	0,53	0,04	0,05
55	1669,70	1716,18	0,02	0,5075	0,54	0,03	0,04
56	1688,74	1719,75	0,11	0,5429	0,55	0,01	0,02
57	1705,02	1722,21	0,17	0,5669	0,56	0,01	0,00
58	1679,45	1724,54	0,23	0,5897	0,57	0,02	0,01
59	1685,02	1724,80	0,23	0,5921	0,58	0,01	0,00
60	1693,78	1727,73	0,31	0,6201	0,59	0,03	0,02
61	1691,25	1729,11	0,34	0,6331	0,60	0,03	0,02
62	1679,45	1729,11	0,34	0,6331	0,61	0,02	0,01
63	1730,26	1730,26	0,37	0,6439	0,62	0,02	0,01
64	1753,90	1730,26	0,37	0,6439	0,63	0,01	0,00
65	1779,61	1733,98	0,46	0,6777	0,64	0,04	0,03
66	1733,98	1733,98	0,46	0,6777	0,65	0,03	0,02
67	1769,92	1734,68	0,48	0,6840	0,66	0,02	0,01
68	1770,54	1735,08	0,49	0,6874	0,67	0,02	0,01
69	1763,50	1735,22	0,49	0,6887	0,68	0,01	0,00
70	1687,45	1736,46	0,52	0,6995	0,69	0,01	0,00
71	1745,22	1737,70	0,55	0,7101	0,70	0,01	0,00
72	1711,59	1738,18	0,57	0,7142	0,71	0,00	0,01
73	1739,64	1739,02	0,59	0,7213	0,72	0,00	0,01
74	1690,06	1739,64	0,60	0,7264	0,73	0,00	0,01
75	1714,06	1739,64	0,60	0,7264	0,74	0,01	0,02
76	1744,60	1740,26	0,62	0,7315	0,75	0,02	0,03
77	1708,74	1740,29	0,62	0,7318	0,76	0,03	0,04
78	1789,22	1744,60	0,73	0,7659	0,77	0,00	0,01
79	1693,78	1745,22	0,74	0,7706	0,78	0,01	0,02
80	1802,54	1745,22	0,74	0,7706	0,79	0,02	0,03
81	1690,06	1748,94	0,83	0,7976	0,80	0,00	0,01
82	1739,64	1753,90	0,96	0,8306	0,81	0,02	0,01
83	1738,18	1763,50	1,20	0,8840	0,82	0,06	0,05
84	1748,94	1764,74	1,23	0,8899	0,83	0,06	0,05
85	1735,22	1768,06	1,31	0,9047	0,84	0,06	0,05
86	1690,06	1769,30	1,34	0,9098	0,85	0,06	0,05
87	1710,60	1769,92	1,35	0,9123	0,86	0,05	0,04
88	1662,26	1770,54	1,37	0,9147	0,87	0,04	0,03
89	1735,08	1771,78	1,40	0,9194	0,88	0,04	0,03
90	1690,06	1771,78	1,40	0,9194	0,89	0,03	0,02
91	1694,49	1772,49	1,42	0,9220	0,90	0,02	0,01
92	1699,45	1774,26	1,46	0,9282	0,91	0,02	0,01
93	1694,97	1776,74	1,52	0,9363	0,92	0,02	0,01
94	1730,26	1779,61	1,60	0,9447	0,93	0,01	0,00
95	1740,26	1780,54	1,62	0,9473	0,94	0,01	0,00
96	1768,06	1784,18	1,71	0,9563	0,95	0,01	0,00
97	1707,73	1789,22	1,83	0,9667	0,96	0,01	0,00
98	1724,54	1792,06	1,91	0,9716	0,97	0,00	0,01
99	1712,46	1802,54	2,17	0,9848	0,98	0,00	0,01
100	1729,11	1808,35	2,31	0,9896	0,99	0,00	0,01
					1,00		0,00

Tabela 11 - Teste de aderência para o exemplo 6. Elaborado pelo autor.

Teste de aderência para o exemplo 7

EXEMPLO 7

Máximo: **0,07** Resultado: **Adere a normal a 1% de significância**

Iteração	x	Média:	F(x)-G(X)					
			x	z	F(x)	G(x)	esquerda	direita
1	3204,89	3222,384	3064,74	-2,31	0,0104	0,00	0,01	0,00
2	3263,87	Desvio-padrão:	3073,96	-2,18	0,0147	0,01	0,00	0,01
3	3117,59	68,172	3090,46	-1,94	0,0265	0,02	0,01	0,00
4	3189,76	Valor crítico p/ 5%	3095,90	-1,86	0,0318	0,03	0,00	0,01
5	3154,55	0,136	3098,38	-1,82	0,0345	0,04	0,01	0,02
6	3158,72	Valor crítico p/ 1%	3110,46	-1,64	0,0503	0,05	0,00	0,01
7	3150,21	0,163	3113,81	-1,59	0,0556	0,06	0,00	0,01
8	3316,18		3114,94	-1,58	0,0575	0,07	0,01	0,02
9	3232,69		3117,59	-1,54	0,0621	0,08	0,02	0,03
10	3095,90		3121,59	-1,48	0,0696	0,09	0,02	0,03
11	3161,14		3122,91	-1,46	0,0723	0,10	0,03	0,04
12	3302,57		3124,89	-1,43	0,0763	0,11	0,03	0,04
13	3251,17		3142,13	-1,18	0,1195	0,12	0,00	0,01
14	3121,59		3143,22	-1,16	0,1228	0,13	0,01	0,02
15	3243,84		3145,87	-1,12	0,1309	0,14	0,01	0,02
16	3269,81		3148,74	-1,08	0,1400	0,15	0,01	0,02
17	3292,07		3150,21	-1,06	0,1449	0,16	0,02	0,03
18	3316,97		3153,79	-1,01	0,1571	0,17	0,01	0,02
19	3098,38		3154,55	-1,00	0,1598	0,18	0,02	0,03
20	3248,21		3158,72	-0,93	0,1752	0,19	0,01	0,02
21	3201,34		3161,14	-0,90	0,1845	0,20	0,02	0,03
22	3179,34		3161,73	-0,89	0,1868	0,21	0,02	0,03
23	3218,66		3165,00	-0,84	0,1999	0,22	0,02	0,03
24	3220,91		3165,39	-0,84	0,2016	0,23	0,03	0,04
25	3328,77		3176,52	-0,67	0,2505	0,24	0,01	0,00
26	3231,93		3179,34	-0,63	0,2639	0,25	0,01	0,00
27	3227,19		3179,73	-0,63	0,2658	0,26	0,01	0,00
28	3298,66		3180,52	-0,61	0,2696	0,27	0,00	0,01
29	3233,00		3182,04	-0,59	0,2770	0,28	0,00	0,01
30	3196,66		3182,57	-0,58	0,2796	0,29	0,01	0,02
31	3246,55		3189,76	-0,48	0,3161	0,30	0,02	0,01
32	3195,36		3190,13	-0,47	0,3180	0,31	0,01	0,00
33	3270,27		3190,52	-0,47	0,3201	0,32	0,00	0,01
34	3325,48		3192,41	-0,44	0,3301	0,33	0,00	0,01
35	3269,73		3195,36	-0,40	0,3459	0,34	0,01	0,00
36	3294,46		3195,62	-0,39	0,3473	0,35	0,00	0,01
37	3161,73		3196,66	-0,38	0,3530	0,36	0,01	0,02
38	3270,18		3200,18	-0,33	0,3723	0,37	0,00	0,01
39	3257,39		3201,34	-0,31	0,3788	0,38	0,00	0,01
40	3255,70		3204,89	-0,26	0,3987	0,39	0,01	0,00
41	3114,94		3210,55	-0,17	0,4311	0,40	0,03	0,02
42	3326,35		3218,66	-0,05	0,4782	0,41	0,07	0,06
43	3165,00		3218,74	-0,05	0,4787	0,42	0,06	0,05
44	3274,88		3220,91	-0,02	0,4914	0,43	0,06	0,05
45	3277,25		3221,03	-0,02	0,4921	0,44	0,05	0,04
46	3180,52		3223,48	0,02	0,5064	0,45	0,06	0,05
47	3309,70		3226,35	0,06	0,5232	0,46	0,06	0,05
48	3143,22		3227,19	0,07	0,5281	0,47	0,06	0,05
49	3179,73		3228,35	0,09	0,5349	0,48	0,05	0,04
50	3273,36		3229,65	0,11	0,5424	0,49	0,05	0,04

(continuação)

Iteração	x	F(x)-G(X)					
		x (ordenado)	Z	F(x)	G(x)	esquerda	direita
51	1771,78	1712,38	-0,08	0,4698	0,50	0,03	0,04
52	1690,06	1712,46	-0,07	0,4706	0,51	0,04	0,05
53	1784,18	1713,45	-0,05	0,4804	0,52	0,04	0,05
54	1651,02	1714,06	-0,03	0,4865	0,53	0,04	0,05
55	1669,70	1716,18	0,02	0,5075	0,54	0,03	0,04
56	1688,74	1719,75	0,11	0,5429	0,55	0,01	0,02
57	1705,02	1722,21	0,17	0,5669	0,56	0,01	0,00
58	1679,45	1724,54	0,23	0,5897	0,57	0,02	0,01
59	1685,02	1724,80	0,23	0,5921	0,58	0,01	0,00
60	1693,78	1727,73	0,31	0,6201	0,59	0,03	0,02
61	1691,25	1729,11	0,34	0,6331	0,60	0,03	0,02
62	1679,45	1729,11	0,34	0,6331	0,61	0,02	0,01
63	1730,26	1730,26	0,37	0,6439	0,62	0,02	0,01
64	1753,90	1730,26	0,37	0,6439	0,63	0,01	0,00
65	1779,61	1733,98	0,46	0,6777	0,64	0,04	0,03
66	1733,98	1733,98	0,46	0,6777	0,65	0,03	0,02
67	1769,92	1734,68	0,48	0,6840	0,66	0,02	0,01
68	1770,54	1735,08	0,49	0,6874	0,67	0,02	0,01
69	1763,50	1735,22	0,49	0,6887	0,68	0,01	0,00
70	1687,45	1736,46	0,52	0,6995	0,69	0,01	0,00
71	1745,22	1737,70	0,55	0,7101	0,70	0,01	0,00
72	1711,59	1738,18	0,57	0,7142	0,71	0,00	0,01
73	1739,64	1739,02	0,59	0,7213	0,72	0,00	0,01
74	1690,06	1739,64	0,60	0,7264	0,73	0,00	0,01
75	1714,06	1739,64	0,60	0,7264	0,74	0,01	0,02
76	1744,60	1740,26	0,62	0,7315	0,75	0,02	0,03
77	1708,74	1740,29	0,62	0,7318	0,76	0,03	0,04
78	1789,22	1744,60	0,73	0,7659	0,77	0,00	0,01
79	1693,78	1745,22	0,74	0,7706	0,78	0,01	0,02
80	1802,54	1745,22	0,74	0,7706	0,79	0,02	0,03
81	1690,06	1748,94	0,83	0,7976	0,80	0,00	0,01
82	1739,64	1753,90	0,96	0,8306	0,81	0,02	0,01
83	1738,18	1763,50	1,20	0,8840	0,82	0,06	0,05
84	1748,94	1764,74	1,23	0,8899	0,83	0,06	0,05
85	1735,22	1768,06	1,31	0,9047	0,84	0,06	0,05
86	1690,06	1769,30	1,34	0,9098	0,85	0,06	0,05
87	1710,60	1769,92	1,35	0,9123	0,86	0,05	0,04
88	1662,26	1770,54	1,37	0,9147	0,87	0,04	0,03
89	1735,08	1771,78	1,40	0,9194	0,88	0,04	0,03
90	1690,06	1771,78	1,40	0,9194	0,89	0,03	0,02
91	1694,49	1772,49	1,42	0,9220	0,90	0,02	0,01
92	1699,45	1774,26	1,46	0,9282	0,91	0,02	0,01
93	1694,97	1776,74	1,52	0,9363	0,92	0,02	0,01
94	1730,26	1779,61	1,60	0,9447	0,93	0,01	0,00
95	1740,26	1780,54	1,62	0,9473	0,94	0,01	0,00
96	1768,06	1784,18	1,71	0,9563	0,95	0,01	0,00
97	1707,73	1789,22	1,83	0,9667	0,96	0,01	0,00
98	1724,54	1792,06	1,91	0,9716	0,97	0,00	0,01
99	1712,46	1802,54	2,17	0,9848	0,98	0,00	0,01
100	1729,11	1808,35	2,31	0,9896	0,99	0,00	0,01
					1,00		0,00

Tabela 12 - Teste de aderência para o exemplo 7. Elaborado pelo autor.

O teste realizado mostra que o modelo construído gera resultados que se comportam como uma normal. Dessa forma, sendo a curva normal representativa dos resultados obtidos, pode-se inferir empiricamente qual o número de vezes que será necessário simular para que o modelo possa chegar a um resultado que não seja sensível às soluções viáveis iniciais criadas pela heurística 1.

Definiu-se como bom resultado, os 20-percentil inferior da variação, isto é, a faixa com os 20% inferiores da variação total. Determinou-se então, de acordo com o tamanho do problema, para algumas confiabilidades, qual o número de vezes que será necessário simular para obter-se um valor dentro dos 20-percentil desejados. Chamou-se este número de **fator de repetição**.³⁷

Segue a tabela com os resultados:

Confiabilidade	90%	95%	99%
Fator de repetição	63	82	126

Tabela 13 - Fator de repetição da simulação. Elaborado pelo autor.

³⁷ O memorial de cálculo da análise para o fator de repetição encontra-se em anexo.

4.4.2. Avaliação do desempenho da heurística de melhoramento

Para a realização desta avaliação, criou-se exemplos pequenos³⁸, da ordem de, no máximo, 10 jornadas por 20 funcionários³⁹. Alocou-se então os funcionários as jornadas, e para cada alocação, foi comparado o resultado obtido com o esperado.

Desconsiderando-se a possibilidade de mais de uma rota por funcionário, a eficiência⁴⁰ média obtida foi de 100%. Considerando-se exemplos com mais de uma rota por funcionário, a eficiência pode variar muito, dependendo basicamente do número de possibilidades de funcionários com mais de uma rota. Como exemplo, supondo, por absurdo, que o número de rotas fosse igual ao número de jornadas e que cada funcionário pudesse utilizar todas as rotas, poderíamos ter desde todos os funcionários alocados a uma jornada pegando uma mesma rota, até a configuração totalmente oposta a primeira, na qual, teríamos cada funcionário alocado a uma jornada utilizando uma rota diferente. Estes dois extremos mostram que se pode ter custos de transporte muito diferentes quando se lida com a possibilidade de mais de uma rota por funcionário.

Assim, não foi possível chegar a um valor médio de perda de eficiência em termos de custos que fosse representativo, pois a diferença obtida dos custos depende muito das informações de entrada do problema. Em problemas pequenos, com os quais tentou-se trabalhar a fim de poder obter ótimos globais para uma dada alocação, percebeu-se que o transporte tem um peso muito alto em relação ao custo total, ainda mais quando se

³⁸ Os exemplos criados encontram-se em anexo.

³⁹ A razão dos exemplos serem pequenos é proporcionar a fácil obtenção do ótimo custo, para uma dada alocação.

⁴⁰ Entenda-se, por eficiência o valor final do custo obtido dividido pelo custo esperado.

considera valores de capacidade e custo dos veículos iguais aos do modelo real, onde uma viagem de transporte pode custar mais que todo o custo de mão-de-obra do modelo de 10 jornadas. Assim, para exemplos pequenos o sistema é muito sensível a qualquer mudança nas configurações da alocação. Para modelos maiores torna-se impossível avaliar o ótimo global, impedindo a análise.

Entretanto, cabe frisar que para movimentos exclusivos dentro de uma linha, a heurística 2 obtém o melhor custo possível, pois enumera exaustivamente todos os movimentos na dada linha e ordena-os na ordem decrescente de seus potenciais de ganho. Como os movimentos são recalculados passo a passo, garante-se que está se caminhando no sentido de obter-se o ótimo daquela alocação.⁴¹

Para que a análise possa ter uma sustentação numérica, utilizou-se as simulações realizadas no item anterior e avaliou-se qual a eficiência média de cada uma. Os resultados obtidos são mostrados na próxima tabela. Os custos são expressos em reais.

Exemplo	Custo inicial médio das iterações da simulação (A)	Diferença média entre custo inicial e final (B)	Eficiência média da heurística 2 (A/B)	Desvio-padrão das diferenças médias	Comportamento padrão ⁴²
1	830	153	18,4%	4,6%	Não
2	842	153	18,1%	3,1%	Não
3	1141	281	19,8%	3,0%	Não
4	833	140	16,8%	5,4%	Sim
5	1475	290	19,5%	3,7%	Sim
6	2059	344	16,6%	2,7%	Sim
7	3057	284	8,1%	2,1%	Sim

Tabela 14 - Resultados obtidos com análise da heurística 2, para modelos pequenos. Elaborado pelo autor.

⁴¹ Considerando sempre a impossibilidade de variação entre linhas.

⁴² Esta coluna indica se os resultados obtidos com as diferenças entre o custo inicial e final apresentam-se um comportamento normal. Para isso, analogamente ao realizado no item anterior, foram realizados testes de Komolgorov-Smirnov, com significância de 1%.

Com os resultados apresentados percebe-se a tendência do percentual de redução do custo total diminuir com o aumento do tamanho do problema. Parte deste comportamento deve ser creditada à presença de uma maior parcela de custo de transporte sobre o custo total do sistema para problemas pequenos.

Espera-se, que para exemplos do tamanho do modelo real, a redução de custo seja de 5 a 10% do custo total do sistema, seguindo-se a tendência dos últimos exemplos apresentados na tabela 14.

4.4.3. Simulação para o modelo real

Construi-se os dados de entrada para o sistema que fosse representativo ao problema real⁴³, com 967 jornadas e 1191 funcionários, e realizou-se a simulação. Seguem as premissas utilizadas na construção do exemplo representativo do problema real.

Premissas utilizadas na construção do exemplo representativo do problema real

O exemplo foi construído em parte com informações já existentes e em parte com informações criadas, com a finalidade de simular-se um problema do porte do real. Utilizaram-se, assim, informações de jornadas existentes, bem como foram criadas outras que faltam ser criadas para utilizar-se o modelo real. As jornadas criadas têm sua duração, na média, fixada de acordo com a tabela abaixo:

⁴³ Parte do exemplo foi construída pois não foi possível obter dados reais para todas as entidades do sistema.

	Fim-de-semana	Dia-de-semana
Duração [h/dia]	10	6

**Tabela 15 - Premissa utilizada para criação de jornadas.
Informações obtidas com pessoal da empresa.**

Além disso, procurou-se variar os horários das jornadas de acordo com o tipo de trabalho⁴⁴.

Definiu-se como o ganho potencial a diferença entre o custo final obtido menos o custo obtido com a solução viável inicial. Utilizou-se como parâmetro natural para representar o custo atualmente incorrido pela empresa o valor do custo inicialmente obtido com a solução dada pela heurística 1 porque esta é uma boa aproximação do processo que se utiliza atualmente para compor a escala de trabalho. Não há nenhum método para melhorar o custo, o que reforça a hipótese considerada.

Com o exemplo montado de acordo com as premissas citadas, obteve-se o seguinte resultado, para a simulação de um dia de final de semana, dados pela tabela abaixo:

	Custo (R\$)			Tempo de processamento (h)	
	Total	Mão-de-obra	Transporte	Alocar	Otimizar
Inicial	27044	16892	10152		
Final	23933	17427	6506	112,7	12,3

**Tabela 16 - Resultados da simulação para o problema real.
Elaborado pelo autor.**

⁴⁴ Para cargos administrativos, foram criados horários que seguem o horário comercial. Para os postos de trabalho operacionais, procurou-se distribui-los de modo a cobrir o horário de funcionamento do parque.

CAPÍTULO 5

Considerações finais

**O quinto capítulo realiza as considerações finais do trabalho
e tecê as conclusões a respeito do resultado obtido com a
modelagem proposta.**

5. Considerações finais e conclusões

O modelo heurístico elaborado conseguiu, além de descrever melhor a realidade do que o modelo exato proposto, atentando a características importantes do problema real, como a capacitação, atender a peculiaridades do problema, como a dificuldade de manutenção do quadro de funcionários devidamente capacitados. Percebe-se, portanto, alguns pontos fortes no modelo desenvolvido, como flexibilidade em relação a tratamento de anomalias e melhor adaptabilidade ao modelo real.

Quanto a função objetivo, o custo do sistema, conseguiu-se obter ótimos locais, que apesar de não representarem o ótimo global do problema, formam boas escalas de trabalho com um custo inferior que o atualmente praticado pela empresa.

Outro ponto importante a ser considerado é a ferramenta de gestão que se mostrará o modelo desenvolvido, na medida que possibilitará a aplicação efetiva⁴⁵ de jornadas de trabalho flexíveis às escalas de trabalho.

Como crítica negativa mais importante ao trabalho fica registrada a inabilidade da heurística de melhoramento em lidar com mais de uma rota por funcionário. Fica também, como sugestão para futura continuação deste trabalho, a possibilidade de modificação da heurística 2, otimizando-se primeiramente o custo dos funcionários que só possuírem uma rota e numa segunda etapa, tentar, de alguma forma, otimizar o custo

⁴⁵ Atualmente, há dificuldade em se efetivamente implantar as jornadas de trabalho flexíveis, pela própria dificuldade inerente a gestão das mesmas. Isto é, não havia até então mecanismos que facilitassem a operação e o controle destas jornadas por parte dos gestores. Além disso, o processo de alocação manualmente realizado é muito lento. Com o auxílio deste modelo, poderá-se realizar a alocação em um tempo muito menor e com maior qualidade.

dos funcionários com mais de uma rota, caso a caso, inserindo-os em viagens, de preferência já existentes.

Segue consideração a respeito do potencial de ganho anual com o custo a ser capturado.

Estimativa de ganho anual

A simulação para o exemplo representativo da realidade foi baseada em um dia típico de fim-de-semana. Para os dias de semana, utilizou-se um fator para calcular o ganho potencial. Este fator foi baseado no número médio de funcionários existente em dias de semana e fins-de-semana, sendo seu valor igual a 83%⁴⁶.

O parque opera, a cada semana, dois dias de semana (quinta e sexta-feira) e o fim-de-semana (sábado e domingo). Há ainda um evento por mês, cuja operação assemelha-se a operação de um dia de semana. Estimou-se 4,33 semanas/mês e utilizou-se 10 meses/ano, para a configuração citada e mais 2 meses/ano para férias, as quais utilizou-se ainda um fator⁴⁷ de multiplicação de 17%, para compensar o aumento de visitação e consequente aumento de recursos para operação. Ao final, utilizou-se um fator de conservadorismo de 70%, para compensar eventuais aproximações realizadas. Chegou-se, assim, ao fator para anualização do potencial de ganho de custos igual a 144.

⁴⁶ É bastante razoável aproximar-se o ganho do custo, proporcionalmente ao custo, e o custo, proporcionalmente ao número de funcionários (principal recurso). Sendo a média estimada de funcionários para o parque durante um fim-de-semana de 1050 pessoas e para os dias de semana, 870 pessoas, chega-se a 83% ($= 870 / 1050$).

⁴⁷ Baseado em estimativas feitas sobre dados históricos.

Com este fator multiplicativo e o resultados apresentados na tabela 16, espera-se que haja uma economia na operação, com pessoal e transporte, da ordem de R\$450.000/ano.

Finalizar-se-á o trabalho com uma consideração a respeito da aplicação prática do modelo construído.

Considerações sobre a implementação do modelo

Da tabela 16, percebe-se que o tempo necessário para rodar o modelo construído é alto, tornando inviável sua utilização diária, que seria sua indicação, à primeira vista, para a programação da operação. A necessidade de utilização diária do modelo decorre da constante e diária mudança das informações de entrada requisitadas pelo sistema, geradas pela própria operação, como a carga trabalhada na semana e no mês por cada funcionário.

Percebe-se, portanto, que para o tratamento do problema real é necessário uma abordagem diferente da inicialmente proposta.

Para que este modelo construído possa ser utilizado como ferramenta para planejamento e programação dos recursos humanos, através da realização de simulações para a elaboração de um plano mestre da operação, é necessário que se alterem suas entradas, as quais deverão deixar de ter mudanças diárias. O plano mestre deverá ter características mais flexíveis e possibilitar lidar com as mudanças diárias existentes de uma forma menos onerosa em relação ao tempo despendido.

Sugere-se, para tanto, que os funcionários, que são as entidades que têm suas características mudando diariamente, ao invés de serem considerados individualmente, sejam considerados como tipos de funcionários, onde cada tipo representará conjuntos de funcionários com características⁴⁸ iguais.

Para isso, será necessário mudança nas políticas de treinamento e alocação a áreas funcionais de trabalho, em função de características inerentes à pessoa do funcionário, como as rotas de transporte utilizadas (que variam de acordo com a localização da residência do funcionário) e eventuais restrições de horários dos mesmos.

Com a mudança proposta é possível montar o plano mestre de operação para um período, onde cada jornada deve ser trabalhada por um funcionário de determinado tipo. As cargas trabalhadas devem ser zeradas na montagem do plano, deixando de ser uma restrição ao sistema.

Dessa forma, será gerado um plano, com as jornadas de trabalho de cada dia, sendo realizadas por tipos de funcionários. Essa flexibilidade do plano, gerada com as mudanças propostas, possibilita que sejam escolhidos funcionários para cada tipo de funcionário alocado, respeitando-se, naturalmente, o tipo e por fim, a carga de trabalho do funcionário, que foi desconsiderada na montagem do plano.

⁴⁸ Os funcionários têm as seguintes características: capacitação, linhas de transporte utilizadas, restrições de horário e cargas de trabalho realizadas. Como características a serem consideradas para a montagem de um tipo de funcionário estão sendo consideradas a capacitação, as linhas de transporte utilizadas e as restrições de horário que os funcionários poderão apresentar. A abordagem das cargas de trabalho será diferente e descrita mais a frente.

Dessa forma, pode-se considerar as características com mudanças diárias sem que haja necessidade de uma ‘rodada’ diária do modelo. Com isso, possibilita-se, mesmo com um grande tempo de processamento, que sejam gerados roteiros de alocação não sensíveis a características muito dinâmicas. E, portanto, estes roteiros deverão ser atualizados com uma freqüência muito menor do que a mudança diária, inicialmente imaginada.

BIBLIOGRAFIA

**Esta última parte contém as referências bibliográficas
utilizadas na elaboração deste trabalho.**

Bibliografia

Segue a bibliografia de apoio usada na elaboração deste trabalho:

- CUNHA, C. e OLIVEIRA, P. R. Um algoritmo de programação matemática para determinar a tabela de horários dos trens do metrô. In: XXV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – Rio de Janeiro, **Anais do congresso**. Campinas, 1993. p.169-174.
- LORENA, L.A.N.; NARCISO, M.G. Heurísticas para o problema generalizado de atribuição. In: XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL – Rio de Janeiro, **Anais do congresso**. Florianópolis, 1994. p.473-479.
- BECKER, K.J.; GAVER, D.P.; GLAZEBROOK, K.D.; JACOBS, P.A.; LAWPHONGPANICH, S. Allocation of tasks to specialized processors: A planning approach. **European Journal of Operation Reserch**, 126, p.80-88, 2000.
- CATTRYSSE, D. G.; WASSENHOVE, L. N. V. A survey of algorithms for the generalized assignment problem. **European Journal of Operation Reserch**, 60, p.260-272, 1992.
- OSMAN, I. H. Heuristics for combinatorial optimization problems: developments and new directions. In: SECOND CONFERENCE ON INFORMATION TECHNOLOGY AND ITS APPLICATIONS, Swansea, UK, 1991. **Proceedings**. HAFEEZ, K.; WANI, M. A.; JOMAA, K.S., 1993. pp.1-25.
- ZANAKIS, S. H.; EVANS, J. R.; VAZACOPOULOS, A.A. Heuristics methods and applications: a categorized survey. **European Journal of Operational Research** 43, p.88-110, 1989.

Bibliografia

- BOBROWSKI, P. M.; PARK, P. S. An evaluation of labor assignment rules when workers are not perfectly interchangeable. **Journal of Operation Management** 11, p.257-268, 1993.
- WINSTON, W. L. **Introduction to Mathematical Programming**. 2.ed. Belmont, California, Duxbury Press, s.d. p.383-390.
- NOVAES, A. G., **Sistemas Logísticos: transporte, armazenagem e distribuição física de produtos**. Editora Edgard Blücher, 1989.
- FISHMAN, G. S. **Concepts and methods in event discret digital simulation**. John Wiley & Sons, Inc. , 1973.
- PINEDO, M.; CHAO, X. **Operations scheduling with applications in manufacturing and services**, Mc Graw Hill, 1999.
- MOORE, D.S. **The basic pratice of statistics**, W.H. Freeman and company, 1995.
- NETO, P. L. O.C.. **Estatística**, Editora Edgard Blücher Ltda, 1977.