



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E APLICADAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

**UTILIZAÇÃO DA METAHEURÍSTICA *SIMULATED ANNEALING*
PARA A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE TURNOS DOS
FUNCIONÁRIOS DE UMA LOJA VAREJISTA**

IZABEL CRISTINA VILELA SANTOS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JOÃO MONLEVADE

Março, 2016



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal de Ouro Preto – UFOP
Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas
Colegiado do Curso de Engenharia de Produção



Izabel Cristina Vilela Santos

**UTILIZAÇÃO DA METAHEURÍSTICA *SIMULATED ANNEALING*
PARA A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE TURNOS DOS
FUNCIONÁRIOS DE UMA LOJA VAREJISTA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção de Grau em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Xavier Martins

João Monlevade
ICEA – UFOP
Março de 2016



ANEXO VIII – ATA DE DEFESA

Ao 1º dia do mês de março de 2016, às 16 horas, na sala D304 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso pela aluna Izabel Cristina Vilela Santos, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Dr. Alexandre Xavier Martins, Msc. Gabriela Braga Fonseca, Drª. Mônica do Amaral. A aluna apresentou o trabalho intitulado: UTILIZAÇÃO DA METAHEURÍSTICA SIMULATED ANNEALING PARA A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE TURNOS DOS FUNCIONÁRIOS DE UMA LOJA VAREJISTA.

A comissão examinadora deliberou, pela:

Aprovação

Aprovação com Ressalva - Prazo concedido para as correções: 30 dias

Reprovação com Ressalva - Prazo para marcação da nova banca: _____

Reprovação

do aluno, com a nota 9,5. Na forma regulamentar e seguindo as determinações da resolução COEP12/2015 foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

João Monlevade, 01 de março de 2016.

Professor Orientador: Dr. Alexandre Xavier Martins

Convidada: MSc. Gabriela Braga Fonseca

Convidado: Drª. Mônica do Amaral

Aluno: Izabel Cristina Vilela Santos



TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado **“UTILIZAÇÃO DA METAHEURÍSTICA *SIMULATED ANNEALING* PARA A OTIMIZAÇÃO DA PROGRAMAÇÃO DE TURNOS DOS FUNCIONÁRIOS DE UMA LOJA VAREJISTA”** é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico, dados de empresas ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.

João Monlevade, 01 de Março de 2016

Izabel Cristina Vilela Santos

Izabel Cristina Vilela Santos



AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por mais uma etapa concluída em minha vida, por me dar força para superar as dificuldades e me fazer acreditar que tudo iria dar certo.

Aos meus pais, Valdir e Elizabeth, pelo amor incondicional e por acreditarem em mim durante esta jornada.

Aos meus irmãos, Bárbara e Diogo, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Ao meu namorado Diego, por me carregar no colo durante esta caminhada.

Às companheiras de curso, Dayse, Márthia, Fernanda, Juma, Flávia, Jéssica e todos os outros, por caminharem ao meu lado durante estes anos.

Ao Professor Alexandre, pela paciência e auxílio durante este trabalho.

À UFOP e aos professores pelo conhecimento compartilhado.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

A programação de horários está mais presente no dia a dia das pessoas do que elas conseguem perceber e uma de suas principais vertentes é a programação de escalas de funcionários, que é objeto de estudo deste trabalho. O objetivo é desenvolver um método automatizado para a programação de horários dos funcionários de uma loja varejista que satisfaça as leis trabalhistas, as preferências dos funcionários e as normas internas da organização. O estudo justifica-se pela dificuldade e demora na construção manual dessas escalas, como são feitas atualmente na empresa sob estudo. Além disso, uma escala de trabalho equilibrada garante uma maior satisfação do trabalhador, o que impacta positivamente em sua produtividade, e contribui para a redução de custos na organização, que deixa de trabalhar com falta ou excesso de pessoal. A técnica utilizada foi a metaheurística *Simulated Annealing* e os resultados obtidos, foram confrontados com um método exato utilizado anteriormente na resolução do problema.

Palavras chave: Programação de horários, Metaheurísticas, *Simulated Annealing*.

ABSTRACT

Scheduling is more present in our daily lives than we can perceive and one of its main aspects is the employees' scheduling, which is this paper object of study. The objective is to develop an automated method for the employees scheduling of a retail store that meets the labor laws, the preferences of employees and the internal rules of the organization. The study is justified by the difficulty and delay in the manual construction of these schedules as they are currently made in the company under study. In addition, a balanced roster ensures greater worker satisfaction, which affects positively on their productivity, and helps to reduce costs in the organization, which no more works with missing or overstaffed. The technique used was the metaheuristic Simulated Annealing and the results obtained were faced with an exact method previously used in solving the problem.

Keywords: Scheduling, Metaheuristics, Simulated Annealing.

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 – Padrões de Turnos | 16 |
| Tabela 2 – Padrões de distribuição de carga horária semanal | 17 |
| Tabela 3 – Testes variando temperatura inicial e <i>alpha</i> | 21 |
| Tabela 4 – Análise estatística dos resultados..... | 21 |
| Tabela 5 – Quadro de Horários | 22 |
| Tabela 6 – Quadro de Horários de Domingo com 16 faxineiras..... | 28 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Domingo..... | 23 |
| Gráfico 2 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Segunda-feira..... | 24 |
| Gráfico 3 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Terça-feira | 24 |
| Gráfico 4 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Quarta-feira..... | 25 |
| Gráfico 5 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Quinta-feira..... | 25 |
| Gráfico 6 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Sexta-feira..... | 26 |
| Gráfico 7 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Sábado | 26 |
| Gráfico 8 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Domingo com 16 funcionários | 28 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Formulação geral do <i>Simulated Annealing</i> | 9 |
| Figura 2 – Representação da solução | 16 |
| Figura 3 – Movimento do tipo 1..... | 18 |
| Figura 4 – Movimento do tipo 2..... | 18 |

LISTAS DE SIGLAS

GA *Genetic Algorithms* (Algoritmos Genéticos)

GRASP *Greedy Random Adaptive Search Procedure*

PPH Problemas de Programação de Horários

SA *Simulated Annealing*

TS *Tabu Search* (Busca Tabu)

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 | 1 |
| INTRODUÇÃO | 1 |
| JUSTIFICATIVA | 2 |
| OBJETIVO GERAL | 2 |
| OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 2 |
| CAPÍTULO 2 | 3 |
| REVISÃO LITERÁRIA | 3 |
| 2.1. <i>Staff Scheduling</i> | 3 |
| 2.2. Metaheurísticas | 6 |
| 2.2.1. <i>Simulated Annealing</i> | 7 |
| CAPÍTULO 3 | 11 |
| METODOLOGIA | 11 |
| CAPÍTULO 4 | 12 |
| DESENVOLVIMENTO | 12 |
| 4.1. Definição do problema: Programação de horário de turnos das faxineiras | 12 |
| 4.2. Construção do Método de Resolução | 15 |
| CAPÍTULO 5 | 20 |
| RESULTADOS | 20 |
| 5.1. Calibração do método | 20 |
| 5.2. Análise dos resultados obtidos..... | 22 |
| CONCLUSÃO | 30 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 31 |

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A utilização das tabelas de horários pode ser observada diariamente na vida das pessoas, na organização das suas atividades como, por exemplo, em horários de aulas, de partida de ônibus ou aviões, de sessões de cinema, de horários de turnos de trabalho. Desta forma, a construção de tabelas de horários é um problema pertinente, que se mostra presente em diversas situações cotidianas e que deve ser resolvido de modo eficiente (DANTAS, 2009).

Thompson (2003) citado por Rocha (2013), aponta três razões pelas quais atenção deve ser dada aos problemas de programação de pessoal: o tempo dedicado a se desenvolver uma escala manualmente faz com que o gerente tenha menos tempo para gerir os empregados e para interagir com os clientes; uma escala que atenda as preferências dos funcionários aumenta o desempenho no trabalho dos mesmos e, conseqüentemente, a produtividade e a qualidade do serviço; em uma escala adequada, o trabalho é designado de forma mais eficiente, levando a uma redução de custos já que excesso e falta de pessoal praticamente deixam de existir e a um aumento da lucratividade.

Ademais, fatores como, por exemplo, curtos períodos de descanso e longos períodos de trabalho, distribuição inadequada entre períodos de descanso e de trabalho ou turnos de trabalho não padronizados, podem afetar negativamente a saúde física e mental dos empregados (TOTTERDELL, 2005 apud ROCHA, 2013).

No caso deste estudo, o problema envolve a programação de turnos de empregados, que é uma das variações dos PPH (Problemas de Programação de Horários). O problema consiste basicamente em encontrar um método automatizado que facilite a geração das escalas de trabalho dos empregados de uma loja varejista de grande porte, que até então tem sido feitas de forma manual e intuitiva, demandando grande esforço e disponibilidade de tempo.

Além do grande número de funcionários, o processo é dificultado pelo grande número de restrições envolvidas como, por exemplo, restrições impostas por leis trabalhistas, restrições de preferências dos funcionários e restrições internas do próprio negócio. Existe ainda, um

projeto de expansão da capacidade da empresa, que deve se concretizar em pouco tempo, aumentando assim o número de funcionários e de restrições e, conseqüentemente, a complexidade do problema, tornando inviável que o processo continue sendo feito manualmente.

JUSTIFICATIVA

O trabalho justifica-se, principalmente, pela arduidade e morosidade em se realizar as escalas de funcionários manual e intuitivamente. Utilizando-se o método proposto, espera-se que o tempo de obtenção da solução seja reduzido significativamente, possibilitando que os recursos que atualmente tem sido utilizados na solução do problema possam focar seus esforços em outras atividades, além de minimizar a chance de erros que possam surgir em soluções desenvolvidas sem apoio de um método automatizado.

OBJETIVO GERAL

Desenvolver um método automatizado para a resolução do problema de alocação horária que satisfaça as leis trabalhistas, as preferências dos funcionários e as normas internas da organização.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Compreender o problema de programação de horários;
- b) Estudar o problema específico da empresa em questão;
- c) Desenvolver um método heurístico para a resolução do problema;
- d) Comparar com um método exato existente.

CAPÍTULO 2

REVISÃO LITERÁRIA

Este capítulo traz uma revisão bibliográfica acerca do tema, com o intuito de trazer o embasamento teórico necessário para o desenvolvimento do trabalho.

2.1. *Staff Scheduling*

O problema de pesquisa pertence à classe dos Problemas de Programação de Horários (PPH), que são conhecidos como problemas de *timetabling*, ou de uma forma mais geral, problemas de agendamento (*scheduling*) (DANTAS, 2009).

Wren (1996) citado por Santos e Souza (2007, p. 2830), define os PPH como:

“A alocação, sujeita a restrições, de recursos a objetos colocados no espaço e no tempo, de modo a satisfazer, tanto quanto possível, um conjunto de objetivos desejáveis”.

Segundo Ernst et al. (2004, p. 3), em tradução livre, “programação de pessoal é o processo de construir horários de trabalho para os funcionários de maneira que uma organização possa satisfazer a demanda por seus bens ou serviços”.

Nas últimas décadas, várias abordagens tem sido utilizadas para tratar as diferentes versões dos problemas de escala de funcionários. Tais pesquisas tem sido motivadas pelos benefícios que uma escala de horário eficaz pode trazer para as organizações. Um dos principais benefícios, economicamente falando, é a redução de custos, uma vez que, geralmente, os recursos humanos representam o principal componente dos custos de uma companhia. Além disso, outros benefícios que podem ser citados são um serviço de qualidade e a satisfação dos clientes.

Atualmente, o problema de escala de pessoal é muito diferente daquele introduzido por Dantzig e Edie na década de 1950, como afirmam Pawar e Hanchate (2013). Segundo eles, hoje em dia, as necessidades e preferências dos funcionários tem sido muito mais consideradas no momento de construção dos horários do que naquela época.

Diferentes autores propõem diferentes classificações para os problemas de programação de horário. Para Baker (1976) citado por Pawar e Hanchate (2013), estes problemas podem ser distinguidos em três grupos: *shift scheduling*, *days off scheduling* e *tour scheduling*.

Shift scheduling é o mais simples, pois é fácil de resolver e a solução é de fácil implementação. Diz respeito a turnos que não se sobrepõem e é uma situação tipicamente enfrentada por companhias industriais. Esta configuração deixa de ser útil quando há flutuação da demanda em intervalos pequenos em comparação ao comprimento do turno, situação em que se faz necessária então a sobreposição de turnos como, por exemplo, em *call centers*.

No segundo grupo, *days off scheduling*, a extensão da semana de operação da instalação é diferente da extensão da semana de trabalho de um empregado, por exemplo, é comum que um empregado trabalhe apenas cinco dias na semana enquanto a empresa opera todos os dias da semana. Uma variação deste problema ainda assume que os dias de folga do funcionário devem ser consecutivos.

O terceiro caso é uma combinação dos outros dois. No *tour scheduling*, organizações operam sete dias na semana com mais de um turno por dia, por exemplo, hotéis, hospitais, etc. Neste caso, as horas do dia e os dias da semana em que o funcionário deve trabalhar precisa ser especificado, respeitando as folgas diárias e semanais as quais ele tem direito.

De acordo com a classificação de Baker, o problema tratado neste trabalho pode ser classificado como um problema de *tour scheduling*, já que a empresa sob estudo opera sete dias na semana com mais de um turno por dia. Portanto, as horas do dia e os dias da semana trabalhados e as folgas de cada funcionário devem ser especificados.

Ernst et al. (2004), propõem uma classificação um pouco mais geral. Eles sugerem que o processo de escalonamento de pessoal pode ser decomposto em alguns módulos. São eles:

- ✓ Módulo 1: *Demand modelling* (modelagem da demanda)
- ✓ Módulo 2: *Days off* (dias de folga)
- ✓ Módulo 3: *Shift scheduling* (programação dos turnos)
- ✓ Módulo 4: *Line of work construction* (construção da linha de trabalho)
- ✓ Módulo 5: *Task assignment* (atribuição de tarefas)
- ✓ Módulo 6: *Staff assignment* (atribuição de pessoal)

Assim, uma associação entre estes módulos é feita para se construir uma escala de pessoal para uma área de aplicação específica. É importante notar que embora os módulos inspirem um passo a passo, diferentes aplicações irão requerer diferentes combinações de apenas alguns ou vários destes módulos.

A aplicação deste tipo de problema no setor varejista, no qual a empresa estudada atua, é similar à aplicação em *call centers*, sendo que os clientes varejistas podem ser modelados como as pessoas que fazem as chamadas e, os operadores de caixa, como os atendentes. Este tipo de aplicação não envolve aspectos geográficos (ou espaciais) como em outras aplicações, o que torna o processo de escalonamento ligeiramente mais fácil. Porém, a natureza e o número exato de tarefas a serem realizadas não são conhecidos a priori, o que dificulta o processo. A exigência de força de trabalho neste tipo de aplicação varia de um dia para o outro e de uma semana para outra, além de que o horário de início dos turnos e o comprimento dos mesmos precisam variar de modo a satisfazer adequadamente a demanda por força de trabalho (ERNST et al., 2004).

Uma outra maneira popular de classificação é baseada no método utilizado para resolver o problema. Desta forma, Bechtold et al. (1991) citados por Pawar e Hanchate (2013) classificam tais métodos de solução em duas categorias: *linear programming* ou *construction based*. Posteriormente, outras categorias foram adicionadas por diferentes autores. Por exemplo, Alfares (2004), também citado pelos mesmos autores, propôs dez categorias para solução de problemas do tipo *tour scheduling*:

- ✓ Solução manual;
- ✓ Programação inteira;
- ✓ Modelagem implícita;
- ✓ Decomposição;
- ✓ Programação por metas;
- ✓ *Working set generation*;
- ✓ *LP-based solution*;
- ✓ Construção/melhora;
- ✓ Metaheurísticas e outros métodos.

É muito difícil encontrar boas soluções para esses problemas que são complexos e cheios de restrições e, mais difícil ainda, determinar soluções ótimas que minimizem os custos, atendam as preferências dos funcionários, distribuam os turnos igualmente entre os funcionários e satisfaçam todas as restrições do local de trabalho (ERNST et al., 2004).

Ainda de acordo com os mesmos autores, a literatura é notavelmente inclinada em direção à programação matemática e abordagens metaheurísticas para a resolução dos problemas de horários em oposição à programação por restrições e outras técnicas advindas da inteligência artificial. O presente estudo também fará parte dessa afirmação, uma vez que se pretende utilizar uma abordagem metaheurística para a resolução do problema de pesquisa.

O problema de pesquisa abordado pelo presente estudo já foi anteriormente tratado através de um modelo matemático baseado no método de Programação Linear Inteira Mista, proposto por Moreira (2015). Entretanto, para instâncias maiores do problema como, por exemplo, quando houver a expansão da capacidade da empresa, é possível que o método não seja capaz de encontrar uma solução viável em um tempo computacional hábil. Além disso, é possível que a empresa não esteja disposta a investir no *software* utilizado pelo método. Portanto, a utilização de uma abordagem metaheurística para a resolução do problema justifica-se pelas limitações do modelo matemático mencionadas acima.

2.2. Metaheurísticas

Metaheurísticas formam uma classe importante de métodos para a resolução de problemas de otimização combinatória/discreta. Normalmente, esses métodos são usados para resolver problemas que não podem ser resolvidos por heurísticas tradicionais. Os problemas são complexos em sua própria natureza, ou exemplos práticos do mundo real os tornam intratáveis para soluções exatas. Exemplos de metaheurísticas modernas são: *Simulated Annealing*, *Tabu Search* (Busca Tabu), *Genetic Algorithms* (Algoritmos Genéticos), *GRASP* (Procedimento de Busca Adaptativa Gulosa e Aleatória), Redes Neurais e Colônia de Formigas.

Métodos heurísticos e metaheurísticos tem sido popularmente utilizados na resolução dos problemas de escalonamento de pessoal, pois:

- ✓ Tendem a ser relativamente robustos. Embora não possam garantir uma solução ótima, geralmente produzem uma boa solução viável para uma vasta gama de dados de entrada em um limitado tempo de execução. Em comparação, muitas abordagens de programação inteira correm o risco de não retornarem soluções viáveis por um longo período.
- ✓ A maioria é relativamente simples de implementar e permite que informações específicas do problema sejam incorporadas e exploradas.
- ✓ Tornam fácil lidar com objetivos complexos, sendo estes custos reais com pessoal ou penalidades por violar restrições que são desejáveis mas não obrigatórias (ERNST et al., 2004).

2.2.1. *Simulated Annealing*

Segundo Rodrigues, Machado e Lima (2013), o *Simulated Annealing* é um algoritmo de busca local proposto originalmente por Kirkpatrick et al. (1983). Trata-se de uma técnica probabilística, que se baseia em uma analogia com a termodinâmica, ao simular o resfriamento lento da matéria, após ser aquecida (METROPOLIS et al., 1953 apud GOMES, 2003).

A técnica SA pode ser aplicada a diferentes problemas de otimização e possibilita a busca de soluções em regiões mais promissoras, fugindo de ótimos locais. O seu desafio consiste em encontrar o equilíbrio entre a diversificação e intensificação (BECCENERI, 2008 apud RODRIGUES; MACHADO; LIMA, 2013).

Conforme Gomes (2003), a analogia com o processo termodinâmico, *annealing* ou recozimento, é bastante direta. A função objetivo substitui a energia, os diversos estados da matéria substituem as possíveis soluções, os estados metaestáveis da matéria seriam os ótimos locais, e a estrutura cristalina (considerando um cristal sendo levado a sua temperatura de fusão) sendo o ótimo global.

Começando com uma solução inicial gerada aleatoriamente ou heurísticamente, e apoiado por funções adequadas de perturbação e avaliação, o algoritmo executa uma busca parcial estocástica do espaço de soluções até alcançar algum critério de parada. “Diferentes

critérios de parada podem ser adotados: tempo máximo de processamento, número máximo de iterações, quando é encontrada uma solução s com $f(s)$ menor que um valor predefinido, ou um número máximo de iterações sem alcançar um melhoramento” (BLUM; ROLI, 2001 apud GOMES, 2003, p. 49).

Como explicam Rodrigues, Machado e Lima (2013), o SA também aceita movimentos que piorem a solução corrente, segundo uma probabilidade controlada por um parâmetro (T) chamado temperatura. Quanto maior a temperatura, maior a probabilidade de aceitação de uma solução pior do que a solução corrente. Na alta temperatura, a busca é quase aleatória, quanto mais baixa a temperatura, mais gulosa se torna a busca.

Portanto, uma solução é aceita quando um número gerado aleatoriamente for menor do que a probabilidade. Com isso, é possível piorar a solução para que se possa alcançar outras regiões dentro do espaço de vizinhança e assim chegar a uma solução de boa qualidade (mais próxima possível da solução ótima global) (GOMES, 2003).

Se a temperatura é resfriada lentamente torna-se possível atingir o ótimo global da função. Se a temperatura não for reduzida suficientemente lenta, um mínimo local poderá ser atingido (RODRIGUES; MACHADO; LIMA, 2013).

Blum e Roli (2001) citados por Gomes (2003) também acrescentam que a regra de resfriamento pode variar durante a busca, com o objetivo de ajustar o balanço entre diversificação e intensificação. Por exemplo, no início da busca, a temperatura T pode ser constante ou decrescer linearmente, favorecendo assim mais a diversificação. Então, T pode seguir uma regra, como a geométrica, para convergir para um mínimo local no fim da busca, ou seja, intensificado mais do que diversificando.

Além disso, quando uma solução permanece por muitas iterações sem ser melhorada, outra técnica comumente usada no processo do SA, *Re-Annealing*, é utilizada. Ou seja, o processo é reaquecido para que se possa atingir outras regiões, escapando de um possível ótimo local e assim voltar a melhorar a solução (GOMES, 2003).

Portanto, a temperatura inicial, a taxa de resfriamento e o número máximo de iterações por grau de temperatura, são parâmetros muito importantes que devem ser devidamente ajustados para uma boa performance do *Simulated Annealing* (RODRIGUES; MACHADO; LIMA, 2013).

A seguir é apresentada a formulação geral do SA.

Figura 1 – Formulação geral do *Simulated Annealing*

```
Algoritmo Metropolis
-Início
1. Estabelecer uma solução realizável  $s^0$ ;
2.  $s \leftarrow s^0$ ;
3. Escolher uma temperatura inicial  $T > 0$ ;
4. Enquanto o sistema não esteja resfriado Fazer
    Efetuar L iterações de:
    Escolher aleatoriamente um vizinho  $v \in v(s)$ 
     $\Delta = \text{objetivo}(v) - \text{objetivo}(s)$ 
    Se  $\Delta < 0$  então
         $s \leftarrow v$ ;
    Se  $\text{objetivo}(v) < \text{objetivo}(s^*)$  então
         $s^* \leftarrow v$ ;
    Senão
         $s \leftarrow v$  com probabilidade  $e^{-\Delta/T}$ ;
    Fim da busca interna;
    Reduzir a temperatura;
Fim do Enquanto
-Fim
```

Fonte: NORONHA (2001) apud GOMES (2003)

Busseti (2001a) citado por Gomes (2003) apresenta algumas vantagens e desvantagens desta metaheurística:

Vantagens:

- ✓ Simples implementação;
- ✓ Capacidade de lidar com modelos altamente não-lineares, dados caóticos e muitas restrições;
- ✓ Técnica robusta em geral;
- ✓ Habilidade e flexibilidade para se aproximar do ótimo global;
- ✓ Versatilidade (desde que o algoritmo não dependa de alguma propriedade restritiva do modelo);
- ✓ Facilidade em ser “ajustado”.

Desvantagens:

- ✓ Um número exponencial de soluções deve ser visitado;
- ✓ Tempos elevados de processamento;
- ✓ Pouco inteligente, pois só usa a variação do valor da função objetivo como informação do problema.

O SA foi o método escolhido para a resolução do problema devido às vantagens apresentadas e, também, por ser um método que vem sendo aplicado com relativo sucesso em problemas de programação de horários (SOUZA; MARTINS; ARAÚJO, 2002).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

A metodologia de pesquisa a ser utilizada no presente trabalho é a modelagem quantitativa. De acordo com Villares e Nakano (2000, p. 68) a modelagem consiste no “uso de estratégias artificiais para reconstruir a realidade através do uso de lógica dedutiva”.

Segundo Bertrand e Fransoo (2002), através da pesquisa quantitativa baseada em modelo, é possível explicar parte do comportamento dos processos operacionais da vida real ou capturar parte dos problemas de tomada de decisão enfrentados por gestores em processos operacionais da vida real.

Portanto, no presente estudo, o intuito é capturar o problema da geração de escala de horários enfrentado pela loja varejista estudada e reconstruí-lo através de um modelo utilizando-se de lógica dedutiva.

A primeira parte deste trabalho consiste em uma revisão bibliográfica a respeito do tema, visando entender melhor o problema estudado e a técnica utilizada para resolvê-lo. Como fonte de pesquisa, foram utilizados artigos, dissertações, teses e outros materiais referentes ao tema.

Em um segundo momento, foi feita a coleta dos dados necessários para a resolução do problema. Os dados foram coletados diretamente na empresa sob estudo, através de entrevista realizada com a pessoa responsável pela geração das escalas dos funcionários atualmente.

A terceira fase diz respeito à modelagem do problema a partir das informações obtidas na fase anterior e à construção do método utilizando-se o *Simulated Annealing*.

Por fim, foram feitos os testes e a calibração do método, e os resultados obtidos foram confrontados com os resultados obtidos anteriormente na resolução do problema por meio da Programação Linear Inteira Mista.

CAPÍTULO 4

DESENVOLVIMENTO

O presente trabalho propõe à loja varejista, que está localizado na cidade de João Monlevade, Minas Gerais, um método baseado na metaheurística *Simulated Annealing* para solucionar o problema de programação de horários de funcionários.

4.1. Definição do problema: Programação de horário de turnos das faxineiras

Este trabalho, assim como o trabalho desenvolvido por Moreira (2015), inclusive para efeito de comparação, limitar-se-á a desenvolver um método que faça a programação de horário das funcionárias de um departamento específico da empresa, no caso, o departamento de limpeza. Uma vez criado para esse departamento, o método poderá ser ajustado para os outros departamentos da organização.

Como apresentado por Moreira (2015), as restrições envolvidas no problema são as seguintes:

1. Cada funcionária tem o direito de trabalhar 44 (quarenta e quatro) horas semanais;
2. Cada funcionária deve ter, no mínimo, uma folga durante a semana;
3. Se alguém trabalhar no domingo, no próximo domingo a mesma funcionária terá este dia como folga;
4. A duração dos turnos deve ser de 6 (seis) à 8 (oito) horas por dia;
5. Turnos com duração acima de 6 (seis) horas, as funcionárias têm o direito de fazer intervalos de 1 (uma) à 2 (duas) horas durante o expediente para descanso;
6. O expediente de funcionamento é de segunda-feira a domingo, horário de 6:00 à 22:00, exceto domingo, que funciona de 6:00 às 21:00 horas.
7. Durante o intervalo de 2 (dois) turnos, a funcionária deve ter 11 (onze) horas consecutivas de folga;
8. Deve haver, no mínimo, 4 (quatro) funcionárias trabalhando durante o expediente;
9. O quadro de faxineiras é de 14 pessoas;

Moreira (2015) também propõe a formulação matemática do problema que é apresentada a seguir.

Definição dos dados de entrada para o problema:

F : Conjunto de funcionárias com elemento i pertencentes a F ;

D : Conjunto de dias de trabalho com elemento d pertencentes a D ;

T : Conjunto de turnos de trabalho com elemento t pertencentes a T ;

H : Conjunto de horários de trabalho com elemento h pertencentes a H ;

MTH : Conjunto de turnos padrões com elemento t pertencentes a T e h pertencentes a H ;

$Carga$: Conjunto de soma horários h pertencentes a H , que estão contidos nos turnos t pertencentes a T ;

E as seguintes variáveis de decisão:

dp_i : Desvio de horas positivas geradas pelo funcionário i ;

dn_i : Desvio de horas negativas geradas pelo funcionário i ;

FD_i : Folga forçada no dia d domingo caso o funcionário i trabalhe no domingo anterior;

X_{idt} : Funcionária i trabalha no dia d no turno t ;

Y_{idh} : Funcionária i trabalha no dia d no horário h ;

$Ddh_{d,h}$: Escala de horários h que acontece no dia d .

Portanto, o problema da programação dos turnos de trabalho das faxineiras pode ser representado pelo seguinte modelo matemático proposto por Moreira (2015):

$$\min = \sum_{i \in F} \left(\sum_{d \in D, h \in H} (ddh_{d,h}) + dn_i + dp_i \right) \quad (4.1)$$

s.a.

$$FD_i = \sum_{d \in D} X_{i,d,1}, \quad \forall i \in F \quad (4.2)$$

$$\sum_{t \in T} \left(\sum_{d \in D} (Carga_t * X_{i,d,t}) + dn_i + dp_i \right) = 44, \quad \forall i \in F \quad (4.3)$$

$$\sum_{t \in T} X_{i,d,t} = 1, \quad \forall i \in F, d \in D \quad (4.4)$$

$$X_{i,1,1} \geq FD_i, \quad \forall i \in F \quad (4.5)$$

$$\sum_{i \in F} (Y_{i,d,h} + ddh_{d,h}) \geq 4, \quad \forall d \in D, h \in H \quad (4.6)$$

$$Y_{i,1,16} = 0, \quad \forall i \in F \quad (4.7)$$

$$\sum_{d \in D} X_{i,d,1} \geq 1, \quad \forall i \in F \quad (4.8)$$

$$Y_{i,d,h} = \sum_{t \in T} MTH_{t,h} * X_{i,d,t}, \quad \forall i \in F, d \in D, h \in H \quad (4.9)$$

$$X_{i,d,h} \leq 1 + 4 * (1 - X_{i,d,1}), \quad \forall i \in F \mid Dia_d < 7 \quad (4.10)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + 4 * (1 - X_{i,d,1}), \quad \forall i \in F \mid Horario_h \leq 5 \quad (4.11)$$

$$Y_{i,d,16} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{i,d,16}), \quad \forall i \in F \mid Dia_d < 7 \quad (4.12)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + 2 * (1 - Y_{i,d,16}), \quad \forall i \in F \mid Horario_h \leq 3 \quad (4.13)$$

$$Y_{i,d,15} \leq 1 + (1 - Y_{i,d,15}), \quad \forall i \in F \mid Dia_d < 7 \quad (4.14)$$

$$\sum_{h \in H} Y_{i,d+1,h} \leq 1 + (1 - Y_{i,d,15}), \quad \forall i \in F \mid Horario_h \leq 2 \quad (4.15)$$

$$Y_{i,d,14} + Y_{i,d+1,1} \leq 1, \quad \forall i \in F \mid Dia_d < 7 \quad (4.16)$$

$$Y_{i,d,h}, X_{i,d,h}, FD_i \in \{0,1\} \quad (4.17)$$

$$ddh_{d,h}, dn_i, dp_i \in \mathbb{N} \quad (4.18)$$

A função multiobjetivo (4.1) minimiza o desvio das 44 (quarenta e quatro) horas semanais e o desvio do número de funcionárias mínimo por hora. A restrição (4.2) contabiliza as folgas durante a semana. A restrição (4.3) faz com que as funcionárias tendam a trabalhar 44 (quarenta

e quatro) horas por semana. A restrição (4.4) restringe as funcionárias a trabalharem um turno por dia, sendo que a folga está inclusa em algum dia da semana. A restrição (4.5) força as funcionárias a terem folga no domingo, quando trabalharem no domingo anterior. A restrição (4.6) tenta manter o número mínimo de 4 (quatro) funcionárias durante cada faixa de horário. A restrição (4.7) restringe o horário de funcionamento das 21h00 às 22h00. A restrição (4.8) faz com que cada funcionária tenha folga uma vez por semana. A restrição (4.9) delega a funcionária a trabalhar no turno selecionado. As restrições (4.10) e (4.11) permitem que a funcionária que teve folga no dia anterior trabalhe após às 11h00 do dia seguinte. As restrições (4.12), (4.13), (4.14), (4.15) e (4.16) restringem a funcionária a ter folga de 11 (onze) horas consecutivas entre dois turnos de trabalho. E as restrições (4.17) e (4.18) são as funções domínio das variáveis de decisão.

4.2. Construção do Método de Resolução

O método é composto, basicamente, por duas etapas: a geração da solução inicial e o *Simulated Annealing* propriamente dito.

As variáveis envolvidas no método são: o número de funcionários (n), o número de horários do expediente (h), o número de dias da semana (d) e o número de padrões de turnos (t). No caso do departamento de limpeza tratado neste trabalho, o número de funcionárias é igual a 14, o horário de expediente é de 6:00 às 22:00hs (16 faixas de horário), os dias da semana são de domingo a sábado e os padrões de turnos são as 90 combinações de turnos de 6, 7, 8, 9 e 10 horas de trabalho ou folga. Para exemplo, veja os turnos de 6 horas e folga na Tabela 1.

A representação da solução é feita, basicamente, por uma matriz com os horários que cada funcionário trabalha em cada dia da semana, ou seja, uma matriz $n \times h \times d$. Para exemplo, veja Figura 2.

Tabela 1 – Padrões de Turnos

| Turnos/Horas | Padrões de Turnos | | | | | | | | | | | | | | | SOMA | |
|--------------|-------------------|-------------|-------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------|---------------|
| | 6:00 - 7:00 | 7:00 - 8:00 | 8:00 - 9:00 | 9:00 - 10:00 | 10:00 - 11:00 | 11:00 - 12:00 | 12:00 - 13:00 | 13:00 - 14:00 | 14:00 - 15:00 | 15:00 - 16:00 | 16:00 - 17:00 | 17:00 - 18:00 | 18:00 - 19:00 | 19:00 - 20:00 | 20:00 - 21:00 | | 21:00 - 22:00 |
| Folga | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T3 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T4 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| T9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| T10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| T11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Fonte: Moreira (2015)

Figura 2 – Representação da solução

| | Segunda | | | | | | | | | | | | | | | .. | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|----|---------------|
| | 06:00 - 07:00 | 07:00 - 08:00 | 08:00 - 09:00 | 09:00 - 10:00 | 10:00 - 11:00 | 11:00 - 12:00 | 12:00 - 13:00 | 13:00 - 14:00 | 14:00 - 15:00 | 15:00 - 16:00 | 16:00 - 17:00 | 17:00 - 18:00 | 18:00 - 19:00 | 19:00 - 20:00 | 20:00 - 21:00 | | 21:00 - 22:00 |
| Faxineira 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 5 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 6 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 7 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 9 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Faxineira 10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| : | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: Elaborado pela autora

Para gerar a solução inicial, admite-se que 7 funcionárias folgam domingo e as outras 7 não. As que folgam domingo, folgam duas vezes na semana e as outras, uma vez na semana. No primeiro caso, escolhe-se, aleatoriamente, um dos oito padrões de distribuição de carga horária semanal que contém duas folgas na semana, no segundo caso, um dos treze padrões que contém uma folga na semana. Veja os padrões na Tabela 2.

Tabela 2 – Padrões de distribuição de carga horária semanal

| Padrões de distribuição de carga horária semanal | | | | | | | |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| Dom | Seg | Ter | Qua | Qui | Sex | Sáb | Soma |
| 0 | 0 | 8 | 8 | 8 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 8 | 8 | 9 | 9 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 8 | 9 | 9 | 9 | 9 | 44 |
| 0 | 0 | 7 | 7 | 10 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 7 | 8 | 9 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 7 | 9 | 9 | 9 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 6 | 9 | 9 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 0 | 6 | 8 | 10 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 6 | 6 | 10 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 6 | 7 | 9 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 6 | 8 | 8 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 6 | 8 | 9 | 9 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 7 | 8 | 8 | 9 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 8 | 8 | 8 | 8 | 44 |
| 0 | 6 | 6 | 7 | 7 | 9 | 9 | 44 |
| 0 | 6 | 7 | 7 | 7 | 7 | 10 | 44 |
| 0 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 | 8 | 44 |
| 0 | 6 | 7 | 7 | 7 | 8 | 9 | 44 |
| 0 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 44 |
| 0 | 7 | 7 | 7 | 7 | 8 | 8 | 44 |

Fonte: Elaborado pela autora

Cada célula apresentada na Tabela 2 indica o número de horas trabalhadas em um dia da semana e a soma de horas trabalhadas semanalmente deve ser 44, como mostra a última coluna.

Depois de escolhido, aleatoriamente, o padrão de distribuição de carga horária semanal, embaralha-se a ordem dessa distribuição de carga horária e, também aleatoriamente, um padrão de turno é escolhido de acordo com a carga horária determinada para cada dia e carrega-se a solução. Por exemplo, supondo que o padrão de distribuição de carga horária semanal escolhido, aleatoriamente, foi o padrão 0 7 7 7 7 8 8, então esta ordem é embaralhada e, para cada dia que não for folga (zero), escolhe-se um dos turnos, neste caso, de 7 ou 8 horas e atribui-se ao funcionário naquele dia.

A solução inicial gerada é, então, utilizada como entrada do *Simulated Annealing*, que tem como parâmetros, também, a temperatura inicial, o *alpha* (ou taxa de resfriamento) e o

número máximo de iterações. A temperatura inicial escolhida foi 50, o α 0.8 e o número máximo de iterações $n \times d \times h$. Posteriormente, haverá a calibração dos parâmetros.

O *Simulated Annealing* foi construído como se segue: enquanto o sistema não estiver resfriado, ou seja, enquanto a temperatura for maior do que zero, um número máximo de iterações (neste trabalho, $n \times d \times h$, ou $14 \times 7 \times 16 = 1568$ iterações) é realizado, onde, para cada iteração, um vizinho é gerado a partir de um movimento.

No caso deste trabalho, um movimento é a troca de um dia de trabalho por outro, para um mesmo funcionário, desde que não seja o dia de folga nem o mesmo dia e, outro movimento, é a alocação de um novo turno, desde que tenha a mesma carga horária pelo qual foi trocado. As Figuras 3 e 4, respectivamente, apresentam exemplos desses movimentos. A probabilidade de um dos dois tipos de movimento ocorrer é a mesma, ou seja, 50% para cada.

Figura 3 – Movimento do tipo 1

| | Segunda | | | | | | | | | | | | | | Terça | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 06:00 - 07:00 | 07:00 - 08:00 | 08:00 - 09:00 | 09:00 - 10:00 | 10:00 - 11:00 | 11:00 - 12:00 | 12:00 - 13:00 | 13:00 - 14:00 | 14:00 - 15:00 | 15:00 - 16:00 | 16:00 - 17:00 | 17:00 - 18:00 | 18:00 - 19:00 | 19:00 - 20:00 | 20:00 - 21:00 | 21:00 - 22:00 | 06:00 - 07:00 | 07:00 - 08:00 | 08:00 - 09:00 | 09:00 - 10:00 | 10:00 - 11:00 | 11:00 - 12:00 | 12:00 - 13:00 | 13:00 - 14:00 | 14:00 - 15:00 | 15:00 - 16:00 | 16:00 - 17:00 | 17:00 - 18:00 | 18:00 - 19:00 | 19:00 - 20:00 | 20:00 - 21:00 | 21:00 - 22:00 |
| Faxineira 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Faxineira 3 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |
|-------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Fonte: Elaborado pela autora

Figura 4 – Movimento do tipo 2

| | Sábado | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 06:00 - 07:00 | 07:00 - 08:00 | 08:00 - 09:00 | 09:00 - 10:00 | 10:00 - 11:00 | 11:00 - 12:00 | 12:00 - 13:00 | 13:00 - 14:00 | 14:00 - 15:00 | 15:00 - 16:00 | 16:00 - 17:00 | 17:00 - 18:00 | 18:00 - 19:00 | 19:00 - 20:00 | 20:00 - 21:00 | 21:00 - 22:00 |
| Faxineira 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

| | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

Fonte: Elaborado pela autora

No movimento exemplificado pela Figura 3, o turno da faxineira 3 na Segunda-feira é alocado à Terça-feira e vice-versa.

Já no movimento exemplificado na Figura 4, um turno é trocado por outro com a mesma carga horária. No exemplo, o turno de 8 horas da faxineira 9 no Sábado é trocado por um outro turno qualquer de 8 horas de trabalho.

Depois, para cada vizinho, calcula-se um *delta* sendo a diferença entre a função objetivo da solução corrente e a função objetivo do vizinho. Se o valor da função objetivo do vizinho for menor do que o valor da função objetivo da solução corrente, a solução corrente recebe a solução vizinha. Se o valor da função objetivo do vizinho for maior do que o valor da função objetivo da solução corrente, a solução corrente recebe a solução vizinha com uma certa probabilidade $e^{-\Delta/T}$.

Por fim, a temperatura é resfriada à taxa de resfriamento *alpha* (neste caso, 0.8) e o processo se repete. Ao fim de todo o processo a melhor solução é retornada.

Da forma como o método foi desenvolvido, o número de horas trabalhadas semanalmente por cada funcionário será sempre 44 horas, sendo assim, essa parcela não compõe a função objetivo, como no caso do modelo desenvolvido por Moreira (2015).

Neste caso, para o cálculo da função objetivo, é levado em consideração apenas o número de funcionários trabalhando por faixa de horário. Este número deve ser sempre maior ou igual a 4. Caso esta restrição não seja atendida, a função objetivo é penalizada. Por exemplo, se em todos os horários houver 4 ou mais funcionárias trabalhando, a função objetivo não será penalizada e assumirá valor 0 (zero), por outro lado, a cada horário que houver apenas 3 funcionárias trabalhando a função objetivo será penalizada em 1 unidade, ou 2 unidades caso apenas 2 funcionárias estejam trabalhando, 3 unidades caso apenas 1 funcionária esteja trabalhando ou 4 unidades caso nenhuma funcionária esteja trabalhando.

Assim, a função objetivo poderá ser acrescida de 0 (zero), 1, 2, 3 ou 4 unidades em cada faixa de horário, o objetivo é minimizar este valor, ou seja, ter, no mínimo, 4 faxineiras trabalhando por faixa de horário e F.O. = 0.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados obtidos pela metaheurística *Simulated Annealing* e os mesmos serão comparados com os resultados obtidos pelo modelo matemático proposto por Moreira (2015) para a programação de horários dos turnos das faxineiras.

A linguagem utilizada para a criação do código foi a linguagem C++ e o *software* utilizado para a execução foi o C++ Builder 5. As execuções dos testes foram realizadas num computador com processador Intel Core i5 com velocidade de 1.8 GHz, memória RAM de 8GB e 1TB de HD com o sistema operacional Windows 8.1 (64 bits).

5.1. Calibração do método

Como mencionado, inicialmente, os valores escolhidos como parâmetros para o SA foram: temperatura inicial = 50, $\alpha = 0.8$ e número máximo de iterações = $n \times d \times h$, porém, com o intuito de calibrar o método, foram realizados testes para diferentes valores de temperatura inicial e de α . Primeiramente, para dez diferentes valores de semente de números aleatórios, o α foi mantido constante e a temperatura inicial variada de 50 em 50, de 50 a 300. Depois, para os mesmos valores de semente, a temperatura inicial foi mantida constante e o α variado para 0.85, 0.9, 0.95 e 0.99. Os resultados são mostrados na Tabela 3.

Como pode ser notado, a variação da temperatura não exerceu grande influência sobre os resultados, já a variação do α sim. Quanto maior o α , melhores foram os resultados. Portanto, para a solução final foram considerados $\alpha = 0.99$ e temperatura inicial = 50. Para estes valores, outros quarenta testes foram realizados utilizando-se outras sementes de números aleatórios. A análise estatística dos resultados obtidos encontra-se na Tabela 4.

Tabela 3 – Testes variando temperatura inicial e α

| | | Alpha = 0.8 | | | | | | Temperatura = 50 | | | |
|---------|-------------|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|------------------|-----|------|------|
| | | Temperatura | | | | | | Alpha | | | |
| Semente | | 50 | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 | 0.85 | 0.9 | 0.95 | 0.99 |
| 1000 | Sol Inicial | 55 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 |
| 2000 | Sol Inicial | 61 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 3000 | Sol Inicial | 57 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| 4000 | Sol Inicial | 62 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 5000 | Sol Inicial | 61 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 |
| 6000 | Sol Inicial | 64 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 7000 | Sol Inicial | 60 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 8000 | Sol Inicial | 63 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| 9000 | Sol Inicial | 51 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 5 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 | 4 |
| 10000 | Sol Inicial | 67 | | | | | | | | | |
| | Sol Final | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 |

Fonte: Elaborado pela autora

Tabela 4 – Análise estatística dos resultados

| <i>Análise Estatística</i> | |
|----------------------------|------|
| Média | 4.05 |
| Desvio padrão | 0.22 |
| Mínimo | 4 |
| Máximo | 5 |
| Soma | 162 |
| Contagem | 40 |

Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, em apenas dois dos quarenta testes, o método não foi capaz de convergir para a melhor solução (F.O. = 4), chegando bem próximo (F.O. = 5).

5.2. Análise dos resultados obtidos

A Tabela 5 mostra a solução final encontrada pela aplicação da metaheurística.

Tabela 5 – Quadro de horários

| Quadro de Horários | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------|---------|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|-----|----|
| FUNC\Dia | PERÍODO | DOM | | SEG | | TER | | QUA | | QUI | | SEX | | SAB | |
| | | E | S | E | S | E | S | E | S | E | S | E | S | E | S |
| Funcionária 1 | 1º | | | 9 | 15 | 9 | 15 | 6 | 10 | | | 7 | 13 | 6 | 10 |
| | 2º | | | 17 | 20 | | | 12 | 18 | | | 15 | 19 | 12 | 17 |
| Funcionária 2 | 1º | | | 6 | 12 | 11 | 16 | 6 | 11 | 6 | 11 | | | 10 | 13 |
| | 2º | | | 14 | 18 | 18 | 22 | 13 | 16 | 13 | 16 | | | 15 | 21 |
| Funcionária 3 | 1º | | | 6 | 10 | 6 | 10 | 10 | 13 | 6 | 11 | 6 | 11 | | |
| | 2º | | | 12 | 17 | 12 | 16 | 15 | 21 | 13 | 18 | 13 | 16 | | |
| Funcionária 4 | 1º | | | 6 | 10 | 6 | 10 | 9 | 13 | | | 7 | 10 | 6 | 11 |
| | 2º | | | 12 | 16 | 12 | 18 | 15 | 19 | | | 12 | 17 | 13 | 18 |
| Funcionária 5 | 1º | | | 12 | 17 | 6 | 12 | 6 | 10 | 6 | 10 | | | 15 | 21 |
| | 2º | | | 19 | 22 | 14 | 18 | 12 | 18 | 12 | 18 | | | | |
| Funcionária 6 | 1º | | | 7 | 11 | 10 | 13 | 12 | 17 | 11 | 15 | 7 | 13 | | |
| | 2º | | | 13 | 19 | 15 | 20 | 19 | 22 | 17 | 21 | 15 | 19 | | |
| Funcionária 7 | 1º | | | 6 | 10 | 6 | 9 | 10 | 16 | | | 6 | 11 | 8 | 13 |
| | 2º | | | 12 | 17 | 11 | 17 | 18 | 21 | | | 13 | 17 | 15 | 18 |
| Funcionária 8 | 1º | 11 | 15 | | | 6 | 12 | 16 | 22 | 11 | 14 | 11 | 16 | 9 | 15 |
| | 2º | 17 | 22 | | | | | | | 16 | 21 | 18 | 22 | | |
| Funcionária 9 | 1º | 7 | 13 | 13 | 18 | | | 6 | 9 | 6 | 12 | 6 | 9 | 6 | 10 |
| | 2º | 15 | 19 | 20 | 22 | | | 10 | 14 | | | 10 | 14 | 11 | 14 |
| Funcionária 10 | 1º | 6 | 11 | 14 | 17 | 12 | 17 | | | 14 | 18 | 14 | 17 | 6 | 10 |
| | 2º | 13 | 17 | 18 | 22 | 19 | 21 | | | 19 | 22 | 18 | 22 | 11 | 14 |
| Funcionária 11 | 1º | 12 | 15 | | | 14 | 17 | 14 | 17 | 14 | 17 | 10 | 14 | 14 | 18 |
| | 2º | 17 | 22 | | | 18 | 22 | 18 | 22 | 18 | 22 | 16 | 20 | 19 | 22 |
| Funcionária 12 | 1º | 6 | 12 | 11 | 15 | | | 16 | 22 | 16 | 22 | 14 | 17 | 14 | 17 |
| | 2º | 14 | 17 | 17 | 22 | | | | | | | 18 | 22 | 18 | 22 |
| Funcionária 13 | 1º | 6 | 12 | 8 | 12 | 13 | 17 | | | 13 | 18 | 6 | 9 | 14 | 17 |
| | 2º | 14 | 17 | 13 | 16 | 19 | 22 | | | 20 | 22 | 10 | 14 | 18 | 22 |
| Funcionária 14 | 1º | 12 | 15 | | | 16 | 22 | 10 | 13 | 10 | 15 | 16 | 22 | 12 | 15 |
| | 2º | 17 | 22 | | | | | 15 | 20 | 17 | 20 | | | 17 | 22 |

LEGENDA:
E: Horário de entrada do funcionário – S: Horário de saída do funcionário
1º Período: Carga horária antes do intervalo durante o turno de trabalho
2º Período: Carga horária depois do intervalo durante o turno de trabalho
Preenchimento escuro: Folga do Funcionário

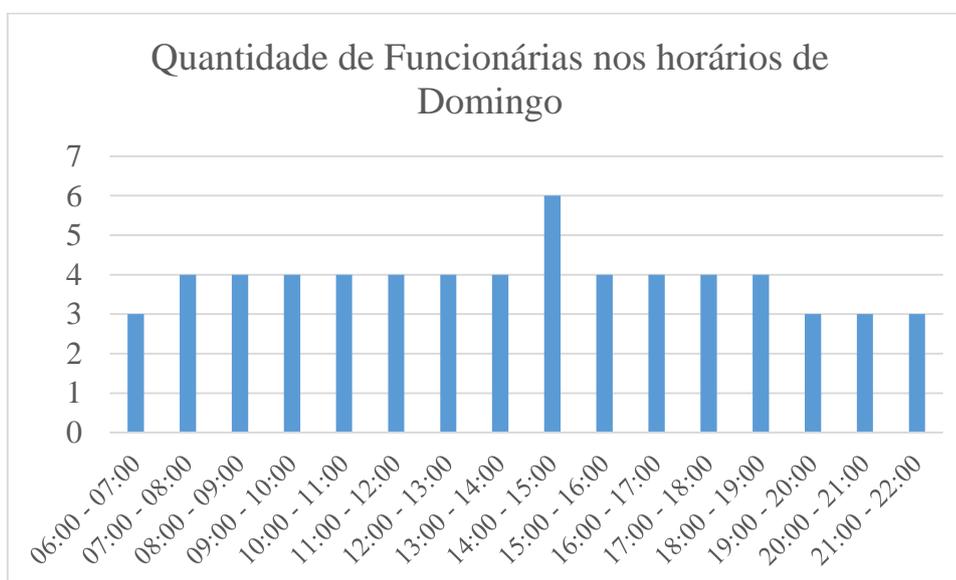
Fonte: Adaptado de Moreira (2015)

Os dados contidos na Tabela 5 podem ser lidos como se segue: utilizando como exemplo a funcionária 1, no domingo ela folga o dia todo (células preenchidas em cinza escuro), na segunda-feira ela trabalha de 09:00 às 15:00hs, faz duas horas de intervalo, volta às 17:00 e trabalha até às 20:00hs. O raciocínio é o mesmo para outras funcionárias e dias da semana.

Como pode ser notado, as restrições: folgar, no mínimo, uma vez por semana; folgar um domingo, trabalhar outro; trabalhar 44 horas semanais; trabalhar, no máximo, 8 horas por dia ou 10, sendo 2 horas extras; ter folga, de no mínimo 1 hora e no máximo 2 horas, para jornada de trabalho superior a 6 horas; foram atendidas pelo método. Apenas a restrição de ter, no mínimo, 4 (quatro) funcionárias trabalhando por faixa de horário não foi completamente atendida, o que era de se esperar, já que isso aconteceu também para o método exato utilizado por Moreira (2015).

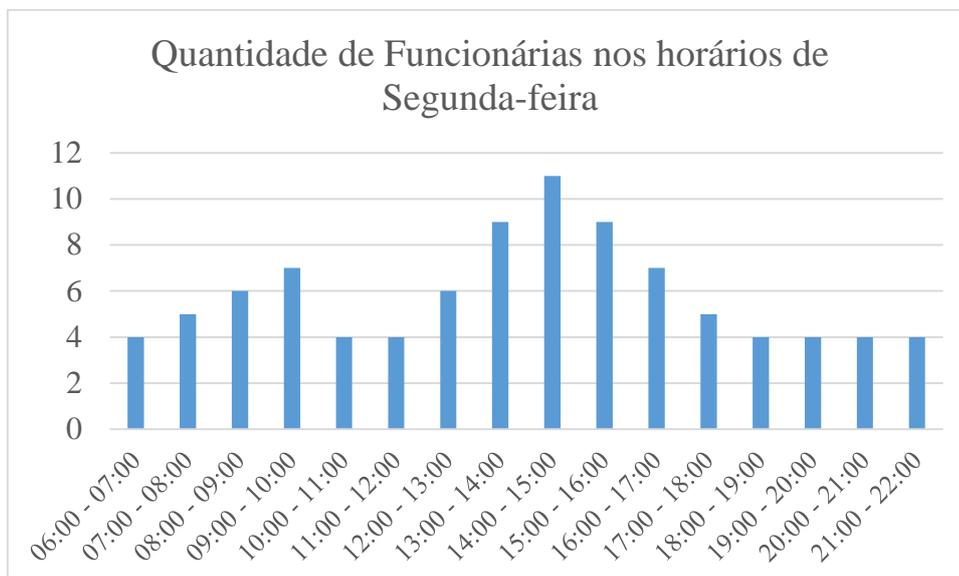
Os gráficos de 1 a 7 mostram o número de faxineiras trabalhando por faixa de horário durante o horário de funcionamento da loja para cada dia da semana.

Gráfico 1 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Domingo



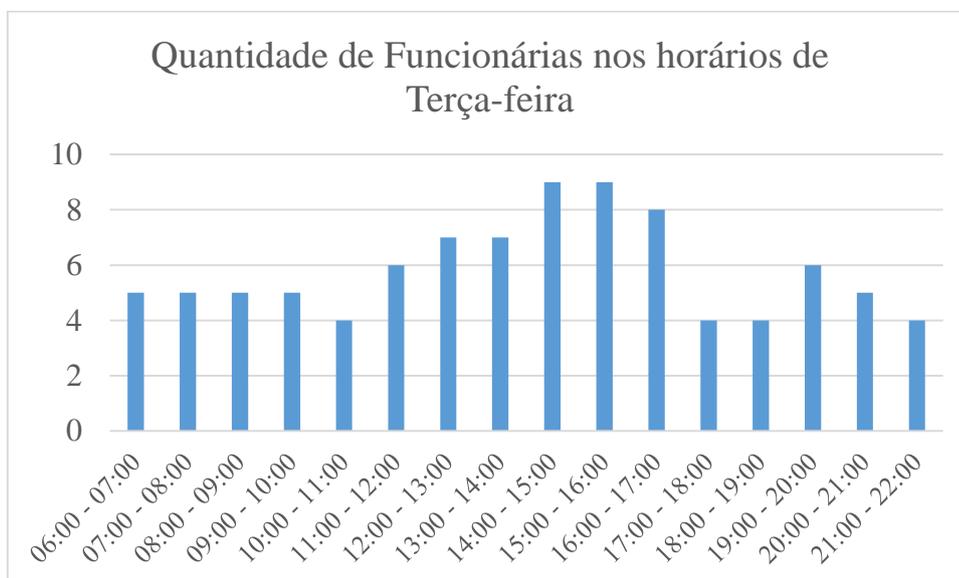
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 2 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Segunda-feira



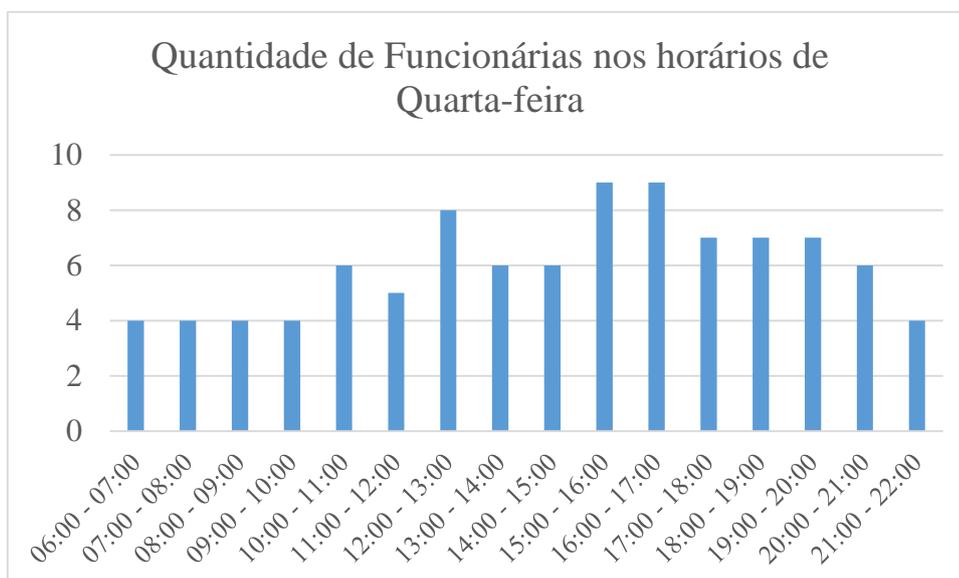
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 3 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Terça-feira



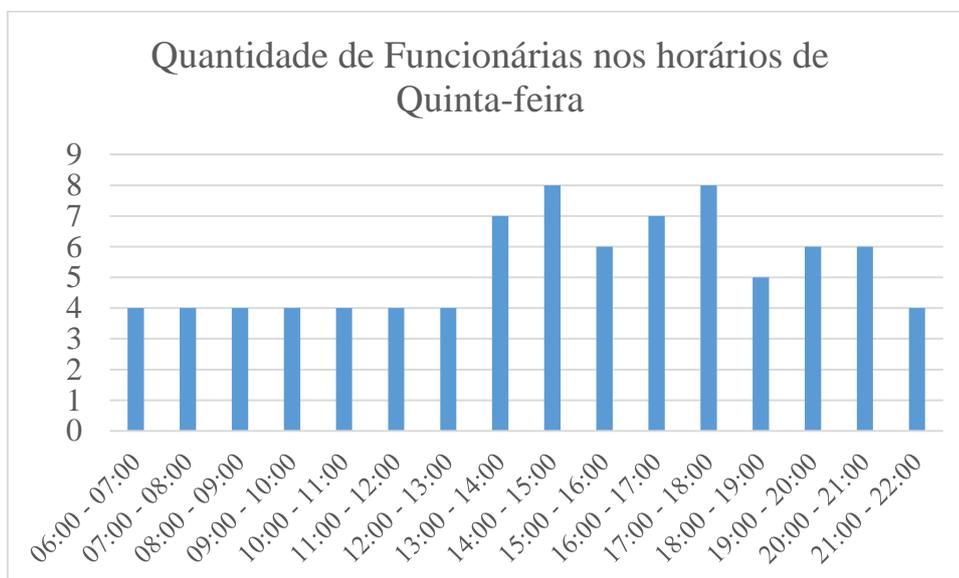
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 4 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Quarta-feira



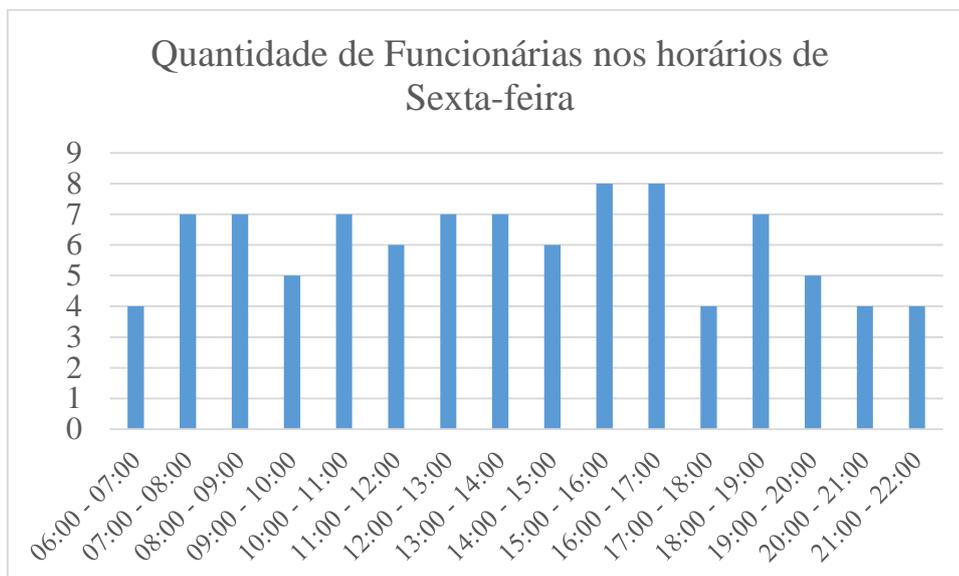
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 5 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Quinta-feira



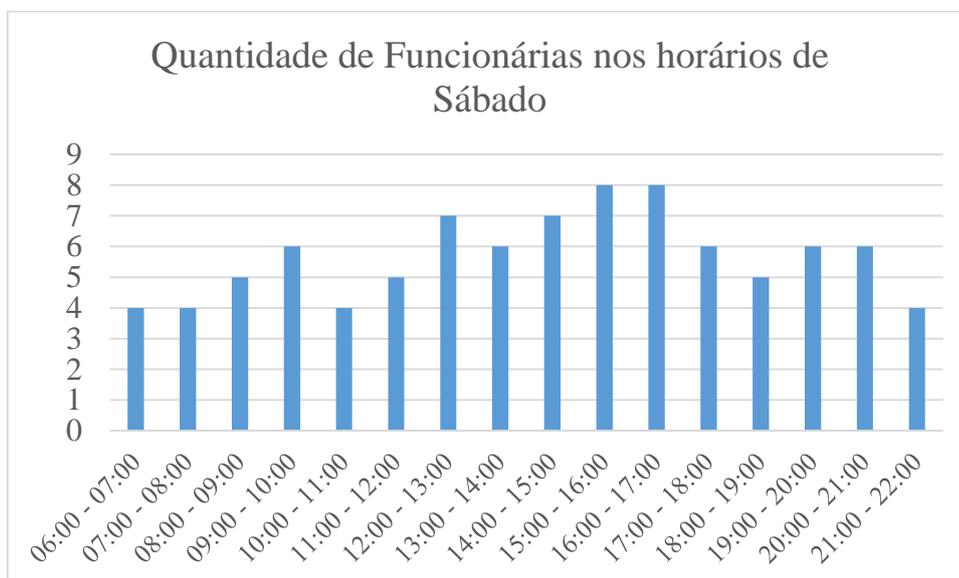
Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 6 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Sexta-feira



Fonte: Elaborado pela autora

Gráfico 7 – Distribuição de funcionárias durante os horários de Sábado



Fonte: Elaborado pela autora

Pode-se perceber que em todos os dias a restrição de ter, no mínimo, 4 (quatro) faxineiras por faixa de horário está sendo atendida, exceto no domingo, que nos horários de 6:00 às 7:00 e de 19:00 às 22:00hs trabalham apenas 3 (três) pessoas. Isso se deve à restrição de que se a funcionária trabalhou em um domingo, obrigatoriamente, ela deve folgar no próximo. Desta forma, apenas a metade da mão-de-obra é escalada para trabalho aos domingos, ou seja, 7 funcionárias, tornando inviável que a restrição de 4 funcionárias por faixa de horário seja atendida neste dia.

Para atender a essa restrição, conforme explica Moreira (2015), é necessário que a empresa conte com uma força de trabalho de 16 faxineiras, pois assim, 8 faxineiras serão escaladas aos domingos, tornando viável que, para cada faixa de horário, pelo menos 4 estejam trabalhando.

Desta forma, fica a critério da empresa contratar ou não mais duas faxineiras para o seu quadro de colaboradores, porém, como a distribuição das atuais 14 funcionárias durante os outros dias da semana mostrou-se satisfatoriamente uniforme e os horários não atendidos pela restrição foram poucos e de pouco movimento, é possível que a empresa opte por continuar com o quadro atual de faxineiras.

Vale ressaltar que o método proposto neste trabalho também foi capaz de convergir para a solução ótima quando o número de faxineiras foi alterado de 14 para 16. A solução obtida pode ser vista na Tabela 6.

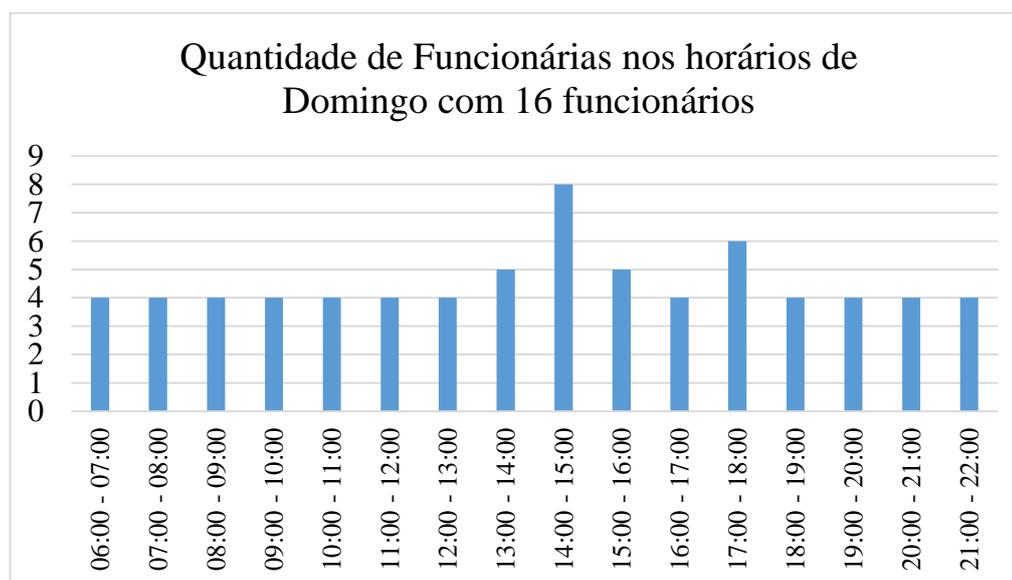
O conteúdo demonstrado na Tabela 6 apresenta o quadro de horários de domingo com 16 (dezesesseis) funcionárias. Pode-se constatar que, com essa quantidade de faxineiras, torna-se possível atender a todas as restrições. O Gráfico 8, apresenta a distribuição de faxineiras por faixa de horário no domingo e pode-se verificar que em todos os horários a restrição de haver, no mínimo, 4 (quatro) funcionárias trabalhando durante o expediente, foi completamente atendida.

Tabela 6 – Quadro de Horários de Domingo com 16 faxineiras

| Quadro de Horários de Domingo com 16 faxineiras | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| QUADRO DE HORÁRIOS | 6:00 - 7:00 | 7:00 - 8:00 | 8:00 - 9:00 | 9:00-10:00 | 10:00-11:00 | 11:00-12:00 | 12:00-13:00 | 13:00-14:00 | 14:00-15:00 | 15:00-16:00 | 16:00-17:00 | 17:00-18:00 | 18:00-19:00 | 19:00-20:00 | 20:00-21:00 | 21:00-22:00 |
| Funcionária 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Funcionária 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Funcionária 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Funcionária 13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Funcionária 14 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 15 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Funcionária 16 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |

Fonte: Adaptado de Moreira (2015)

Gráfico 8 – Distribuição de funcionárias durante os horários de domingo com 16 funcionárias



Fonte: Elaborado pela autora

Portanto, pode-se destacar que, para esse problema específico, o método gera a melhor solução, ou solução ótima, com a quantidade de 16 faxineiras, considerando as restrições encontradas no problema.

CONCLUSÃO

Este trabalho propôs-se a desenvolver um método automatizado para auxiliar na programação de horários dos funcionários de uma loja varejista, processo que atualmente é feito manualmente dispendendo muito tempo e esforço para ser executado, além de ser bastante suscetível a erro.

A técnica utilizada foi a metaheurística *Simulated Annealing*, que se mostrou muito eficiente, convergindo, em poucos segundos, para a solução ótima encontrada pelo método exato desenvolvido por Moreira (2015) na resolução do problema. Esse, por sua vez, levou por volta de 15 minutos para chegar na mesma solução, o que demonstra a importância da abordagem heurística para a resolução do problema, a qual espera-se solucionar instâncias maiores do problema, o que, talvez, o método exato não seria capaz de fazer.

No que diz respeito aos resultados, conforme já mencionado anteriormente e, também, por Moreira (2015), o quadro atual de 14 faxineiras não é capaz de atender completamente à demanda de ter, no mínimo, 4 faxineiras trabalhando por faixa de horário, problema que poderia ser solucionado com um quadro de 16 faxineiras. Entretanto, com o número atual de faxineiras, apenas domingo, em quatro horários, a restrição não é atendida. Portanto, cabe a alta direção da organização decidir entre contratar mais duas funcionárias ou operar com 3 funcionárias nos horários em que a restrição não é atendida, que são poucos e nos quais há pouco movimento.

Como sugestões para trabalhos futuros, aconselha-se que o método seja reproduzido para os outros departamentos da organização, especialmente para instâncias maiores do problema, para que seja analisado como o método se comportará nestes casos, e que outras restrições sejam incorporadas ao método, aproximando-o cada vez mais da realidade e da garantia do bem-estar dos trabalhadores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERTRAND, J. W.; FRANSOO, J. C. Modelling and Simulation: Operations management research methodologies using quantitative modeling. **International Journal of Operations & Production Management**, Vol. 22, No. 2, 2002, pp. 241-264.

DANTAS, V. C. **Algoritmos para Problemas de Programação de Horários de Cursos Pós-Matrícula**. Rio de Janeiro, 2009. 90p. Dissertação de Mestrado – Departamento de Informática, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2009.

ERNST, A. T. et al. Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. **European Journal of Operational Research** 153 (2004) 3–27.

GOMES, H. A. S. **Utilização da Metaheurística *Simulated Annealing* no Problema de Alocação de Pessoal em Empresas de Transporte Coletivo por Ônibus**. Dissertação de Mestrado – Programa de Mestrado em Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, 137 fl, 2003.

MOREIRA, R. C. **Otimização da programação de horários de faxineiras de um supermercado**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas, Universidade Federal de Ouro Preto, João Monlevade. 2015.

PAWAR, U. S.; HANCHATE, D. B. Literature Review on Personnel Scheduling. **International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)**, Volume 4, Issue 5, September – October, 2013.

ROCHA, M. S. F. S. **The staff scheduling problem: a general model and applications**. Porto, 2013. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

RODRIGUES, M. H. P.; MACHADO, C. M. S.; LIMA, M. L. P. Simulated annealing aplicado ao problema de alocação de berços. **Journal of Transport Literature**, vol. 7, n. 3, pp. 117-136, 2013.

SANTOS, H. G.; SOUZA, M. J. F. Programação de horários em instituições educacionais: Formulações e algoritmos. **XXXIX Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. Fortaleza: SBPO, pp. 2827-2882, 2007.

SOUZA, M.J.F.; MARTINS, A.X.; ARAÚJO, C.R. Experiências com a utilização de *Simulated Annealing* e Busca Tabu na resolução do Problema de Alocação de Salas. In: **XXXIV Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional - SBPO**, Outubro de 2002, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, Brasil. Anais do XXXIV SBPO, p. 1100-1110.

VILLARES, R. M.; NAKANO, D. N. A Produção Científica nos Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção: Um Levantamento de Métodos e Tipos de Pesquisa. **Produção**, vol. 9. n. 2, pp. 65-76, ABEPRO. Rio de Janeiro, 2000.