

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS  
CAMPUS TIMÓTEO**

Diogo Victor de Oliveira

**QUALIFICAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE GRADES DE HORÁRIOS  
INSTITUCIONAIS ATRAVÉS DE ALGORITMOS GENÉTICOS E  
HEURÍSTICAS: ESTUDO DE CASO CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

**Timóteo**

**2016**

**Diogo Victor de Oliveira**

**QUALIFICAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE GRADES DE HORÁRIOS  
INSTITUCIONAIS ATRAVÉS DE ALGORITMOS GENÉTICOS E  
HEURÍSTICAS: ESTUDO DE CASO CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Orientador: Marcelo de Sousa Balbino  
Coorientador: Rodrigo Gaiba de Oliveira

Timóteo

2016

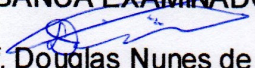
DIOGO VICTOR DE OLIVEIRA

**QUALIFICAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE GRADES DE HORÁRIOS  
INSTITUCIONAIS ATRAVÉS DE ALGORITMOS GENÉTICOS E  
HEURÍSTICAS: ESTUDO DE CASO CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

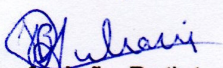
Monografia apresentada à Coordenação de Engenharia de Computação do Campus Timóteo do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Computação.

Aprovada em 16 de Março de 2016.

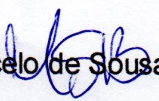
**BANCA EXAMINADORA**

  
Prof. Douglas Nunes de Oliveira

---

  
Prof. João Batista Queiroz Zuliani

---

  
Prof. Marcelo de Sousa Balbino

---

  
Prof. Rodrigo Galba de Oliveira

---

Aos meus pais, minha noiva, meus amigos e todos aqueles  
que, de alguma forma, me ajudaram a chegar até aqui.

# Agradecimentos

Primeiramente, agradeço à Deus pela minha vida, por me capacitar todos os dias e por ter me dado uma família incrível e amigos verdadeiros. Também agradeço à Deus por me proporcionar os demais agradecimentos aqui mencionados.

Agradeço aos meus pais Silvano e Elias pelo imenso amor e carinho sempre dedicados a mim, bem como por todo apoio e investimento em minha educação.

Agradeço à minha noiva Andyara Moura por todo amor, apoio, companheirismo e pela compreensão do pouco tempo de disponibilidade durante o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador Marcelo Balbino pelos conselhos, direcionamentos e informações sem as quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço à todos os professores que participaram das entrevistas, cedendo informações valiosas para este trabalho. Agradeço em especial às professoras Deismar Botega e Márcia Ferreira pela atenção e apoio durante toda elaboração do presente trabalho, ao professor Douglas Nunes pelas sugestões técnicas na implementação do sistema, bem como ao professor Rodrigo Gaiba pelo incentivo e auxílio na proposta do trabalho.

Agradeço ao meu amigo Dayvisson Ferreira pela grande contribuição, cedendo informações adicionais e essenciais sobre o sistema por ele desenvolvido.

*“Os grandes navegadores  
devem sua reputação aos temporais e tempestades”.  
Epicuro*

# Resumo

O problema de geração automática de grade de horários institucionais, conhecido na literatura internacional como *automated timetabling problem*, pode ser classificado como um problema de múltiplas restrições, NP-difícil e de otimização combinatória, apresentando assim uma alta complexidade. O CEFET-MG Campus Timóteo possui um sistema, desenvolvido por Ferreira (2015), para geração automatizada de grades horárias. O sistema proposto por Ferreira (2015) utiliza algoritmos genéticos (AG) e heurísticas para produzir soluções viáveis para o problema em geral. No entanto, tal sistema não considera todas as restrições impostas pelo cenário real do CEFET-MG, o que afeta negativamente a qualificação das soluções, realizada pelo AG, e faz com que as soluções encontradas não possam ser utilizadas na prática pela instituição. Uma qualificação desalinhada com o contexto do problema pode fazer com que o AG não reconheça a verdadeira solução ótima de tal problema. Assim, o presente trabalho apresenta a implementação de um sistema, a partir do sistema proposto por Ferreira (2015), capaz de qualificar eficientemente as grade de horários geradas e otimizar os resultados obtidos pela instituição, de modo que esta possa substituir o seu atual processo manual de confecção de horários. Para tal, o sistema proposto utiliza algoritmos genéticos e uma heurística de melhoramento. O AG desenvolvido apresenta um novo sistema de qualificação, permitindo-lhe encontrar melhores grades horárias. A heurística de melhoramento busca garantir que a solução encontrada seja, no mínimo, um ótimo local do espaço de busca. Ainda, o sistema de qualificação implementado é totalmente configurável pelo usuário, permitindo que ele leve o contexto atual da instituição para dentro do sistema. Por fim, este trabalho propõem ainda uma alteração na equação base, utilizada pela heurística construtiva de Ferreira (2015), do processo de alocação de aulas. Os experimentos apresentam resultados satisfatórios e um tempo de execução razoável.

**Palavras-chave:** Grade de Horários, Algoritmos Genéticos, Heurística de Melhoramento, Qualificação, Otimização.

# Abstract

The problem of generating timetable in an automated way, known in the international literature as the automated timetabling problem, can be classified as a multiple constraints, NP-hard and combinatorial optimization problem, thus presenting a high complexity. The CEFET-MG Campus Timóteo has a system, developed by Ferreira (2015), for the automated timetabling generation. The system proposed by Ferreira (2015) uses genetic algorithms (GA) and heuristics to produce viable solutions to the general problem. However, such a system does not consider all the restrictions imposed by the real scenario of CEFET-MG, which negatively affects the solutions qualification carried out by the GA and makes impossible for the institution to utilize the found solutions in practice. A misaligned qualification with the problem context can make the GA does not recognize the actual problem's optimal solution. Thus, this work presents the implementation of a system, from the system proposed by Ferreira (2015), which is capable of efficiently qualify the generated timetables and optimize the results obtained by the institution, so that it can replace its current manual process of timetable manufacturing. In this regard, the proposed system utilizes genetic algorithms and an improvement heuristic. The developed GA presents a new qualification system, allowing it to find better timetables. The improvement heuristic seeks to ensure that the found solution is, at least, a local optimum of the search space. In addition, the implemented qualification system is totally configurable by the user, allowing that such user takes the current institution context into the system. Finally, this work also proposes a change in the main equation used by the constructive heuristic, presented by Ferreira (2015), in the timetabling process. The experiments present satisfactory results and a reasonable runtime.

**Keywords:** Timetabling, Genetic Algorithm, Improvement Heuristic, Qualification, Optimization.

# Lista de Figuras

|                                                                                           |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Visão geral de um algoritmo genético . . . . .                                 | 23 |
| Figura 2 – Representação binária de um indivíduo . . . . .                                | 24 |
| Figura 3 – Indivíduos selecionados como pais . . . . .                                    | 29 |
| Figura 4 – Cromossomos selecionados . . . . .                                             | 29 |
| Figura 5 – Cruzamento de ponto único . . . . .                                            | 30 |
| Figura 6 – Cruzamento de dois pontos . . . . .                                            | 31 |
| Figura 7 – Partially Matched Crossover (PMX) . . . . .                                    | 32 |
| Figura 8 – Mutação simples . . . . .                                                      | 32 |
| Figura 9 – Sistema PHI - Estrutura . . . . .                                              | 36 |
| Figura 10 – Representação de indivíduo utilizada . . . . .                                | 37 |
| Figura 11 – Operador de mutação proposto . . . . .                                        | 46 |
| Figura 12 – Horário isolado . . . . .                                                     | 47 |
| Figura 13 – Blocos de horários excessivamente grandes . . . . .                           | 48 |
| Figura 14 – Horário com turnos ocupados parcialmente . . . . .                            | 49 |
| Figura 15 – Grafo - representação da montagem de grade horária . . . . .                  | 57 |
| Figura 16 – Heurística de melhoramento . . . . .                                          | 58 |
| Figura 17 – Qualidade das grades geradas ( <i>Fitness</i> ) . . . . .                     | 68 |
| Figura 18 – Tempo de geração de grades horárias . . . . .                                 | 68 |
| Figura 19 – Interface de Configurações . . . . .                                          | 79 |
| Figura 20 – Interface de Montagem e Alterações Manuais da Grade . . . . .                 | 80 |
| Figura 21 – Interface de Geração de Grades Horárias com Feedback para o usuário . . . . . | 81 |
| Figura 22 – Interface de Geração de Grades Horárias - Grade gerada com sucesso . . . . .  | 81 |
| Figura 23 – Interface de Geração de Grades Horárias - Falha ao gerar a grade . . . . .    | 82 |
| Figura 24 – Interface de Relatório de Erros - sem erros . . . . .                         | 82 |
| Figura 25 – Interface de Relatório de Erros com 1 erro . . . . .                          | 82 |
| Figura 26 – Interface de Salvamento de Grades Horárias . . . . .                          | 83 |
| Figura 27 – Interface de Carregamento de Grades Horárias . . . . .                        | 83 |
| Figura 28 – Interface de Inserção de Disponibilidade com a opção de reuniões . . . . .    | 84 |
| Figura 29 – INFO-1 . . . . .                                                              | 85 |
| Figura 30 – INFO-2 . . . . .                                                              | 86 |
| Figura 31 – INFO-3 . . . . .                                                              | 87 |
| Figura 32 – EC-1 . . . . .                                                                | 88 |
| Figura 33 – EC-2 . . . . .                                                                | 89 |
| Figura 34 – EC-4 . . . . .                                                                | 90 |
| Figura 35 – INFO-1 . . . . .                                                              | 91 |
| Figura 36 – INFO-2 . . . . .                                                              | 92 |
| Figura 37 – INFO-3 . . . . .                                                              | 93 |
| Figura 38 – EC-1 . . . . .                                                                | 94 |
| Figura 39 – EC-2 . . . . .                                                                | 95 |

Figura 40 – EC-4 . . . . . 96

# Lista de Tabelas

|                                                                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 – Tabela de disponibilidade na alocação da aula de Matemática - Cálculo da Importância . . . . . | 40 |
| Tabela 2 – Valores possíveis de pontuação . . . . .                                                       | 52 |
| Tabela 3 – Tabela de disponibilidade das aulas . . . . .                                                  | 54 |
| Tabela 4 – Alocação das instâncias da Aula1 - Importância . . . . .                                       | 55 |
| Tabela 5 – Alocação das instâncias da Aula1 - Novo cálculo de Importância . . . . .                       | 56 |
| Tabela 6 – Valores de configuração fixos em todos os testes . . . . .                                     | 62 |
| Tabela 7 – Grupo 1 - Pesos e máximos selecionados aleatoriamente . . . . .                                | 63 |
| Tabela 8 – Grupo 1 - Testes realizados . . . . .                                                          | 63 |
| Tabela 9 – Grupo 2 - Configuração do Algoritmo Genético . . . . .                                         | 64 |
| Tabela 10 – Grupo 2 - Testes realizados . . . . .                                                         | 64 |
| Tabela 11 – Grupo 3 - Testes realizados . . . . .                                                         | 65 |

# Sumário

|            |                                                                     |           |
|------------|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>INTRODUÇÃO</b>                                                   | <b>13</b> |
| <b>1.1</b> | <b>Justificativa e Motivação</b>                                    | <b>14</b> |
| <b>1.2</b> | <b>Objetivos</b>                                                    | <b>16</b> |
| <b>1.3</b> | <b>Método</b>                                                       | <b>16</b> |
| 1.3.1      | Revisão da literatura                                               | 16        |
| 1.3.2      | Entrevistas com professores da instituição                          | 17        |
| 1.3.3      | Adaptação do sistema de Ferreira (2015)                             | 17        |
| <b>1.4</b> | <b>Organização</b>                                                  | <b>17</b> |
| <b>2</b>   | <b>REVISÃO DA LITERATURA</b>                                        | <b>18</b> |
| <b>2.1</b> | <b>Fundamentação Teórica</b>                                        | <b>18</b> |
| 2.1.1      | <b>Problema da grade horária</b>                                    | <b>18</b> |
| 2.1.1.1    | Restrições                                                          | 20        |
| 2.1.2      | <b>Algoritmos genéticos</b>                                         | <b>22</b> |
| 2.1.2.1    | Representação do indivíduo                                          | 23        |
| 2.1.2.2    | Técnicas de Seleção                                                 | 24        |
| 2.1.2.2.1  | Elitismo                                                            | 24        |
| 2.1.2.2.2  | Seleção natural - Roleta Viciada                                    | 25        |
| 2.1.2.3    | Geração da população inicial                                        | 26        |
| 2.1.2.4    | Função de avaliação                                                 | 26        |
| 2.1.2.5    | Seleção dos Pais                                                    | 27        |
| 2.1.2.6    | Operadores Genéticos                                                | 28        |
| 2.1.2.6.1  | Cruzamento ( <i>Crossover</i> )                                     | 28        |
| 2.1.2.6.2  | Mutação                                                             | 31        |
| 2.1.2.7    | Seleção dos indivíduos para a próxima geração                       | 33        |
| 2.1.3      | <b>Heurística de Melhoramento</b>                                   | <b>33</b> |
| <b>2.2</b> | <b>Estado da Arte</b>                                               | <b>34</b> |
| <b>3</b>   | <b>RESULTADOS</b>                                                   | <b>42</b> |
| <b>3.1</b> | <b>Restrições e Melhorias Impostas pelo Contexto do CEFET-MG</b>    | <b>42</b> |
| 3.1.1      | Restrições Levantadas                                               | 42        |
| 3.1.2      | Melhorias do Sistema                                                | 43        |
| <b>3.2</b> | <b>Geradores de Grade Horária: Algoritmo Genético e Heurísticas</b> | <b>44</b> |
| 3.2.1      | Implementação do Algoritmo Genético                                 | 45        |
| 3.2.2      | Operadores Genéticos                                                | 45        |
| 3.2.3      | Função Objetivo                                                     | 46        |
| 3.2.4      | Sistema de Qualificação                                             | 50        |
| 3.2.5      | Novo Cálculo de Importância na Heurística Construtiva               | 54        |
| 3.2.6      | Heurística de melhoramento                                          | 56        |

|            |                                                                                      |           |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3.3</b> | <b>PHI 2: Sistema de Geração de Grade Horária . . . . .</b>                          | <b>59</b> |
| <b>3.4</b> | <b>Experimentos . . . . .</b>                                                        | <b>61</b> |
| 3.4.1      | Experimentos do grupo 1 . . . . .                                                    | 62        |
| 3.4.2      | Experimentos do grupo 2 . . . . .                                                    | 63        |
| 3.4.3      | Experimentos do grupo 3 . . . . .                                                    | 65        |
| <b>3.5</b> | <b>Análise dos resultados . . . . .</b>                                              | <b>65</b> |
| <b>4</b>   | <b>CONCLUSÃO . . . . .</b>                                                           | <b>72</b> |
| 4.1        | Trabalhos futuros . . . . .                                                          | 73        |
|            | <b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>                                                         | <b>75</b> |
|            | <b>APÊNDICES . . . . .</b>                                                           | <b>78</b> |
|            | <b>APÊNDICE A – MELHORIAS DO SISTEMA . . . . .</b>                                   | <b>79</b> |
|            | <b>APÊNDICE B – GRADES GERADAS COM O SISTEMA PHI 2 . . . . .</b>                     | <b>85</b> |
|            | <b>APÊNDICE C – GRADES GERADAS COM O SISTEMA PHI (PRIMEIRA<br/>VERSÃO) . . . . .</b> | <b>91</b> |

# 1 Introdução

*“A resposta certa, não importa nada:  
o essencial é que as perguntas estejam certas”.*  
Mário Quintana

O problema de elaboração de grade horária (PEGH), conhecido na literatura internacional como *timetabling problem*, é um dos mais comuns problemas de otimização. Mais especificamente, segundo Jat e Yang (2010), ele pode ser classificado como um problema de múltiplas restrições, NP-difícil (FEOFILOFF, 2015) e de otimização combinatória, sendo muito difícil a determinação de uma solução ótima para tal problema.

O PEGH pode ser aplicado em muitos contextos diferentes, como, por exemplo, em instituições de ensino, no transporte e instituições de saúde (BASIR; ISMAIL; NORWAWI, 2013 apud FERREIRA, 2015). No entanto, este trabalho apresenta foco no estudo do PEGH dedicado apenas ao âmbito de instituições de ensino, mais especificamente, o contexto do CEFET-MG Campus Timóteo.

Thanh (2006 apud JAT; YANG, 2010) afirma que o PEGH pode ser definido como o ato de alocar recursos para atividades diante de restrições predefinidas, de forma a maximizar as probabilidades de alocação ou minimizar a violação das restrições. Tais restrições, segundo Hamawaki (2005), Jat e Yang (2010), e Asiyaban e Mousavinasab (2013), podem ser classificadas como fortes ou fracas. Restrições fortes são aquelas cuja violação resulta em uma grade de horários inválida, por exemplo, a alocação de duas aulas diferentes do mesmo professor em um mesmo horário (é impossível o professor estar em duas salas diferentes ao mesmo tempo). Já as restrições fracas referem-se àquelas que desejavelmente devem ser atendidas para otimizar os resultados, por exemplo, a eliminação de horários vagos de forma que a grade horária fique a mais condensada possível.

Desde as primeiras pesquisas conhecidas através dos trabalhos de Appleby, Blake e Newman (1961) e Gotlieb (1963), várias soluções para o PEGH já foram propostas na literatura, sendo estas, porém, geralmente dependentes de circunstâncias especiais de uma instituição. Hamawaki (2005) afirma que o desenvolvimento de uma solução universal para o PEGH, de forma a ser aplicada em qualquer caso, é bastante improvável devido ao vasto número de restrições que são específicas do ambiente de cada tipo de instituição de ensino. O contexto do CEFET-MG, por exemplo, apresenta várias particularidades.

Ferreira (2015) realizou um trabalho promissor voltado para o contexto do CEFET-MG Campus Timóteo e seu estudo será utilizado como base desta monografia. Ele apresentou uma considerável contribuição ao implementar um sistema que contemple cursos de nível superior e técnico concomitantemente, bem como atende as restrições fortes do problema e o máximo possível da preferência de horários dos professores (restrição fraca). O sistema ainda descentraliza as responsabilidades entre as coordenações e os professores, através de uma

interface web, onde cada professor pode registrar seus próprios horários de disponibilidade. No entanto, o âmbito do CEFET-MG Campus Timóteo impõe restrições fracas que não foram atendidas por Ferreira (2015) e que são fundamentais para a utilização real do sistema, uma vez que a violação de tais restrições diminui muito a qualidade da grade horária gerada. Desse modo, será realizado um estudo aprofundado do trabalho de Ferreira (2015) e entrevistas não-estruturadas com professores da instituição abordada com o intuito de se levantar as restrições que necessitam ser satisfeitas, visando a realização de uma continuação e adaptação do trabalho de Ferreira (2015). Quanto as restrições, como a instituição objeto de estudo já possui um sistema (FERREIRA, 2015) que atende todas as restrições fortes do problema, o presente trabalho terá como foco a satisfação das restrições fracas do contexto através de técnicas de otimização e qualificação da grade horária, a fim de otimizar os resultados finais.

De acordo com Ferreira (2015), mesmo que o atendimento de todas as restrições fortes seja factível, analisar todas as restrições fracas pode ser um desafio excessivamente complicado. Even, Itai e Shamir (1976) provaram que não existe um algoritmo determinístico de tempo polinomial capaz de resolver o PEGH, se cada professor possuir a possibilidade de estar inicialmente indisponível em algum subconjunto aleatório de horários, o que é a realidade de praticamente todas as instituições de ensino, inclusive do CEFET-MG Campus Timóteo. Diante de tanta complexidade, a utilização da computação evolutiva baseada em algoritmos genéticos (AG) na resolução do PEGH vem se destacando na literatura, como podemos ver, por exemplo, nos trabalhos de Ferreira (2015), Asiyaban e Mousavinasab (2013), Ramos (2002), Hamawaki (2005), Freitas et al. (2014) e Netto (2011). Além disso, Oliveira e Carravilla (2002) afirmam que a aplicação de uma heurística de melhoramento a uma solução viável do problema pode ser capaz de gerar uma otimização dessa solução, ou pelo menos, aumentar a garantia da qualidade de tal solução.

Adicionalmente, Ferreira (2015) apresenta uma heurística construtiva que aloca os blocos de aulas considerando a interferência que tal alocação terá para os demais blocos de aulas ainda não alocados. Assim, Ferreira (2015) utiliza uma equação exponencial, que tem como variável as disponibilidades das aulas, para calcular a importância (ou interferência) de um dia, horário e sala para tais aulas. A equação proposta por Ferreira (2015) apresenta bons resultados, mas é muito suscetível à provocar alocações inadequadas.

Deste modo, o presente trabalho busca inicialmente identificar as restrições impostas pelo contexto da instituição objeto de estudo e que não são atendidas pelo atual sistema. Então, apresentar uma nova equação do cálculo de importâncias na heurística construtiva e propor, através da utilização de algoritmos genéticos e uma heurística de melhoramento, uma modificação do trabalho de Ferreira (2015), de forma a qualificar melhor as grades horárias geradas e otimizar o processo de elaboração da grade horária da instituição.

## 1.1 Justificativa e Motivação

De acordo com Asiyaban e Mousavinasab (2013), o problema de elaboração de grade de horários para cursos de universidades é bastante complexo e demorado, sendo abordado, de forma cíclica, no início de cada semestre. Ele ainda afirma que a confecção manual desse

tipo de grade horária exige grande esforço e muitas horas de trabalho de funcionários especialistas no assunto. Appleby, Blake e Newman (1961) afirmam também que o processo de elaboração de grade de horários, para instituições de cursos equivalentes ao ensino médio no Brasil, pode custar ao elaborador mais de 100 horas de trabalho quando feito manualmente. O aparecimento e evolução da computação permitiu uma visão diferente do problema, uma vez que uma solução pode ser obtida de forma prática e em apenas algumas horas com o auxílio de um computador.

Atualmente, o CEFET-MG Campus Timóteo dispõe de um sistema para geração automatizada de grade horária. Tal sistema, desenvolvido por Ferreira (2015), atende a maioria das restrições necessárias a uma grade de horários da instituição, como mencionado anteriormente. No entanto, o sistema não aborda algumas restrições fracas importantes, que afetam muito a qualidade das grades geradas, e apresenta como resultado grades horárias viáveis para o PEGH em geral, mas inviáveis para a utilização no contexto real e específico do campus. Dessa forma, o processo de elaboração de grade horária na instituição ainda continua a ser confeccionado manualmente e com o auxílio de planilhas eletrônicas, levando mais de uma semana para ser realizado.

O sistema proposto por Ferreira (2015) utiliza computação evolutiva baseada em algoritmos genéticos (AG). O AG é um algoritmo de busca. Assim, ele possui um espaço de busca que é o espaço que contém as soluções do problema, no caso deste trabalho, ambas soluções viáveis e inviáveis. Dessa forma, o trabalho do AG é, basicamente, construir e analisar centenas de soluções, por vez, dentro de tal espaço, selecionando as mais adaptadas ao contexto do problema e descartando soluções que acredita-se não contribuir para o objetivo. Assim, o AG simula o processo evolutivo dos seres vivos, onde, em cada geração, espera-se obter um indivíduo (solução) melhor ou, pelo menos, igual à da geração anterior. É como se ele percorresse o espaço de busca, passando por um bom caminho, à procura da solução ótima, mas sem analisar todas as soluções que compõem o referido espaço, uma vez que a quantidade de elementos para análise pode ser muito grande.

A cada solução encontrada, o AG necessita analisar e qualificar tal solução, dizendo o quanto ela é boa, ou seja, o quanto a solução satisfaz o problema. A **qualificação** do AG deve considerar todas as peculiaridades e restrições impostas pelo contexto do problema estudado, sendo ela crucial para o algoritmo e para a resolução do problema, pois é esta qualificação que traz as regras de negócio do problema para dentro do algoritmo. Esse processo de qualificação é o responsável por retornar, para o usuário, a melhor solução encontrada.

Uma qualificação desalinhada com o contexto do problema, pode fazer com que o AG não reconheça a verdadeira solução ótima de tal problema. Linden (2012) afirma ainda que uma função de avaliação inconsistente provavelmente tornará o AG inútil. Por exemplo, no caso do PEGH, uma qualificação muito branda (genérica), que não considera todas as restrições necessárias, pode levar o AG a considerar uma grade horária parcialmente aceitável como ótima. Tal fato acaba tendendo à uma convergência prematura para ótimos locais, uma vez que o pequeno número de restrições não permite ao algoritmo diferenciar um ótimo local de um ótimo global. Por outro lado, uma qualificação exageradamente específica ou errônea pode

levar o AG a encontrar uma verdadeira solução ótima do problema, e não avaliá-la como tal, deixando-a ser dispensada durante seu processo evolutivo de busca.

Diante disso, podemos perceber que a realização de uma qualificação do AG, adequada às regras e restrições da instituição, é fundamental para a determinação de uma grade horária que atenda o contexto real de tal instituição. Assim, observa-se a necessidade da realização de uma adaptação ao atual sistema, melhorando a qualificação do AG utilizado, de forma a satisfazer as restrições impostas pelo ambiente da instituição e otimizar os resultados atualmente obtidos.

## 1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como objetivo a realização de uma análise detalhada do sistema proposto por Ferreira (2015) e a implementação de um sistema capaz de qualificar eficientemente as grades horárias geradas e melhorar o desempenho do algoritmo apresentado pelo autor supramencionado. Assim, busca-se satisfazer todas as restrições impostas pelo contexto do CEFET-MG Campus Timóteo, de modo que esta instituição possa substituir o seu atual processo manual de confecção de horários.

## 1.3 Método

O presente trabalho realizou um estudo de caso do CEFET-MG Campus Timóteo procurando solucionar o problema de geração automática da grade de horários. Tal estudo é realizado através dos seguintes procedimentos metodológicos: revisão de literatura, entrevistas não-estruturadas com funcionários da instituição estudada e adaptação do sistema proposto por Ferreira (2015), de forma a atender as restrições requeridas pelo CEFET-MG Campus Timóteo.

### 1.3.1 Revisão da literatura

A revisão da literatura se deu inicialmente através do estudo e da análise do projeto de Ferreira (2015). Logo após, foi realizada a pesquisa e a investigação de trabalhos no portal de periódicos da CAPES, no site da PATAT (2014) e em diversas bases científicas, tais como ScienceDirect (Elsevier), Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade Federal de Uberlândia, Research Gate, RI UFLA (Universidade Federal de Lavras), Springer, SciVerse, Cornell University Library, International Journal of Computational Intelligence and Applications, IEE Xplore Digital Library e CirWorld Journals. As principais palavras-chaves de pesquisa foram: *timetable problem*, *genetic algorithm*, *soft constraints in timetable*, *university timetable*, *school timetable*, algoritmos genéticos e geração automática de grade de horários.

A pesquisa literária teve como objetivo a busca de representações e técnicas que possibilitem o atendimento de restrições fracas através de algoritmos genéticos, com o intuito de se formular uma adaptação do trabalho de Ferreira (2015). Com a adaptação procura-se melhorar a qualificação das grades de horários, de forma a otimizar os resultados satisfazendo

eficientemente as restrições fracas fundamentais ao atendimento das necessidades da instituição estudada.

### 1.3.2 Entrevistas com professores da instituição

Concomitantemente com a pesquisa literária, foram realizadas entrevistas não-estruturadas (MATTOS, 2005) com alguns professores e responsáveis pelo atual processo de elaboração da grade de horários do CEFET-MG Campus Timóteo. As entrevistas tinham como objetivo principal definir as restrições fracas cuja a satisfação, ainda que parcial, eram imprescindíveis em uma grade horária utilizada de forma real na instituição. Adicionalmente, através das entrevistas buscou-se também enumerar outras restrições fracas que poderiam otimizar ainda mais os resultados, bem como definir o grau de importância de cada restrição levantada no ambiente atual da instituição. Por fim, foram levantadas importantes melhorias para o sistema em geral, a fim de garantir sua implantação e utilização no contexto do CEFET-MG.

### 1.3.3 Adaptação do sistema de Ferreira (2015)

A partir da revisão literária e das entrevistas não-estruturadas com professores e elaboradores da grade horária do CEFET-MG Campus Timóteo, confirmou-se a opção pela realização de uma adaptação do sistema desenvolvido por Ferreira (2015), buscando-se otimizar os resultados apresentados por ele. A adaptação mencionada se faz por meio da modificação do algoritmo genético e da equação base da heurística construtiva propostos por Ferreira (2015), juntamente com a aplicação de uma heurística de melhoramento, proposta pelo presente trabalho.

## 1.4 Organização

O corrente trabalho está estruturado em quatro capítulos, incluindo esta introdução com a justificativa, os objetivos e o método do trabalho. O próximo capítulo apresenta a revisão da literatura. A revisão da literatura abrange a fundamentação teórica necessária para o entendimento deste trabalho e o atual estado da arte do problema estudado, apresentando uma discussão sobre relacionados trabalhos presentes na literatura.

O terceiro capítulo descreve os resultados do presente trabalho. Assim, este capítulo relata as restrições e melhorias, impostas pelo contexto da instituição objeto de estudo, que foram levantadas nas entrevistas, bem como descreve as adaptações realizadas no núcleo do processo de geração de grades horárias, abordando a implementação do algoritmo genético, a modificação da heurística construtiva e a heurística de melhoramento proposta. Os resultados incluem, ainda, a nova versão do sistema de geração de grades horárias desenvolvida, o PHI 2, e os experimentos realizados. Por fim, o capítulo três se encerra apresentando a análise dos resultados descritos. Finalmente, o quarto e último capítulo é a conclusão do trabalho, mencionando as contribuições realizadas, as limitações do presente projeto e as propostas de trabalhos futuros.

## 2 Revisão da Literatura

*“O período de maior ganho em conhecimento e experiência  
é o período mais difícil da vida”.*  
Dalai Lama

A revisão da literatura aborda a fundamentação teórica necessária para o entendimento desta monografia, seu método e resultados, e apresenta o atual estado da arte do problema estudado através de uma discussão sobre relacionados trabalhos realizados.

### 2.1 Fundamentação Teórica

A presente monografia estuda a aplicação de algoritmos genéticos, juntamente com uma heurística de melhoramento, para buscar soluções otimizadas para o problema de geração automática de grade horária. Desse forma, esta seção apresenta a fundamentação teórica necessária para a compreensão do trabalho desenvolvido, abordando os conceitos e aspectos fundamentais sobre o problema de geração de grade de horários, os algoritmos genéticos e as heurísticas de melhoramento. Como este trabalho, ainda, propõem uma pequena modificação na heurística construtiva proposta por Ferreira (2015), tal conceito, também, é brevemente apresentado.

#### 2.1.1 Problema da grade horária

O problema de alocação de grade de horários constitui-se da alocação de recursos para atividades diante de restrições predefinidas, de forma a maximizar as probabilidades de alocação ou minimizar a violação das restrições (THANH, 2006 apud JAT; YANG, 2010). Wren (1996 apud FERREIRA, 2015) complementa definindo tal problema como o ato de alocar, buscando-se alcançar o máximo dos objetivos propostos, determinados recursos em limitados blocos de tempo e espaço atendendo à certas restrições.

Considerando especificamente o âmbito de uma instituição de ensino, Ferreira (2015) apresenta uma lista de conceitos fundamentais ao problema, os quais são:

- **Professor:** recurso humano do problema, responsável por lecionar as aulas. Alguns professores possuem restrições de horários durante a semana;
- **Sala:** recurso espacial do problema, são os locais onde acontecem as aulas. As salas se dividem entre salas comuns, laboratórios, auditório, entre outras;
- **Horário:** recurso temporal do problema, normalmente são intervalos de tempo de 50 minutos;
- **Bloco de horários:** conjunto de horários consecutivos, é comum que as aulas tenham que ocupar mais de um horário consecutivo;

- **Disciplina:** assunto que será lecionado pelo professor em determinada aula;
- **Turma:** conjunto de alunos agrupados para receber uma aula. Em determinadas disciplinas, como as que utilizam laboratórios pequenos, o grupo de alunos pode ser dividido em duas subturmas.
- **Aula:** objeto ou atividade que deve ser disposto no tempo e no espaço. Formada por um professor, uma turma e uma disciplina. Cada aula tem um número definido de ocorrências semanais, sendo que este valor representa quantas vezes esta aula deve aparecer no quadro de horários.

Segundo Jat e Yang (2010), o problema de grades horárias no contexto educacional pode ser dividido em três classes principais:

- Grade horária escolar (*school timetabling*)
- Grade horária de curso (*course timetabling*)
- Grade horária de exames (*exam timetabling*)

As classes supracitadas podem ser definidas através do trabalho de Schaerf (1999). Assim, uma grade horária escolar consiste em um quadro de horários semanais para as aulas de todas as turmas de uma escola, normalmente, equivalente aos níveis médio e técnico no Brasil. A grade horária de curso é formada pelo quadro de horários semanais de todas as aulas dos cursos de uma universidade ou faculdade. Finalmente, as grades horárias de exames referem-se ao quadros de horários de exames, testes ou avaliações de um conjunto de cursos de uma universidade.

A principal diferença de uma grade horária escolar para uma grade horária de curso está no conceito de turma. Nos cursos de nível médio e técnico (grade horária escolar) no Brasil, existe um conjunto de disciplinas relacionado à cada turma e um aluno pode pertencer somente a uma turma por vez, com exceção somente no caso de subturmas. Por exemplo, uma turma do primeiro ano do ensino médio é formada por um conjunto de alunos que irão cursar o mesmo conjunto de disciplinas (as disciplinas do primeiro ano do ensino médio), de modo que nenhum aluno dessa turma pode pertencer também a uma turma do segundo ano do ensino médio ao mesmo tempo, somente no próximo ano letivo se for aprovado em todas as disciplinas cursadas no presente ano. Já os cursos de nível superior (grade horária de curso) no Brasil possuem a ideia de que um aluno pode pertencer a mais de uma turma no mesmo período letivo, uma vez que cada turma está relacionada a somente uma disciplina. Assim, estes cursos permitem, por exemplo, que um aluno curse algumas disciplinas do primeiro período, algumas do segundo e outras do terceiro período em um mesmo semestre letivo, desde que atenda aos pré-requisitos de cada disciplina. Desse modo, por mais que uma disciplina seja programada para ser cursada no segundo período de um curso, por exemplo, não necessariamente será cursada somente por alunos que estejam no referido período. De um modo geral, não se considera mais, para efeito de conjunto de alunos em uma aula, a ideia de turma

de um período, mas sim de uma disciplina. Isto é, não se assume mais a concepção de turma do segundo período, por exemplo, mas sim turma de cálculo 2, turma de física 1, e assim por diante.

Entretanto, a ideia de um período de curso superior como uma turma, ainda pode ser usada na análise de algumas restrições, como o choque entre disciplinas de uma mesma turma, de forma a favorecer o aluno regular, que sempre é aprovado em todas as matérias e cursa em cada período somente as disciplinas planejadas pela instituição para aquele período.

Vale ressaltar ainda que existem diferenças não só entre as classes supramencionadas, mas também entre problemas dentro de uma mesma classe, uma vez que estão submetidos às restrições específicas da própria classe e das instituições as quais abordam.

#### 2.1.1.1 Restrições

As restrições do problema de alocação de horários constituem o fator que mais contribui para a existência de tantos estudos e trabalhos sobre esse problema na literatura. Hamawaki (2005) afirma que a implementação de um sistema de geração de grade de horários de finalidade geral é bastante improvável, pois, a despeito da existência de várias restrições comuns a todas as instituições educacionais, existem muitas que são próprias de cada instituição.

De acordo com Hamawaki (2005), Jat e Yang (2010), e Asiyaban e Mousavinasab (2013), essas restrições podem ser classificadas em dois grupos:

1. **Restrições fortes:** restrições que não podem ser violadas sob quaisquer circunstâncias. Se violadas, resultam em uma grade de horários inválida.
2. **Restrições fracas:** restrições que desejavelmente devem ser atendidas para otimizar os resultados. A violação dessas restrições resulta em grades horárias válidas, mas impacta a qualidade da solução. Quanto mais atendidas, melhor a qualidade da grade de horários.

Segundo Jat e Yang (2010) e Asiyaban e Mousavinasab (2013), são exemplos de restrições fortes:

- Choque de disciplinas: quaisquer duas disciplinas de uma mesma turma, em cursos de nível médio e técnico, ou de um mesmo período, em cursos de nível superior, não podem ter interferência temporal, isto é, não podem ser alocadas para o mesmo bloco de tempo.
- Choque de aulas para o professor: o número de aulas alocadas para um professor em qualquer horário não pode ser maior do que um, ou seja, não podem ser alocadas duas ou mais aulas de um mesmo professor em um mesmo horário.
- Choque de disponibilidade do professor: nenhuma aula de um professor pode ser alocada fora do seu período de disponibilidade.
- Choque de sala: nenhuma sala pode ter duas ou mais aulas alocadas para o mesmo horário.

- Choque de sala inapropriada: cada aula deve ser alocada em uma sala apropriada que possua equipamentos adequados e comporte a quantidade necessária de alunos.

Enquanto Asiyaban e Mousavinasab (2013) e Moreland (2015) consideram como exemplos de restrições fracas, dentre outras, as seguintes:

- Aula isolada: um aluno ou professor não pode possuir somente uma aula em um dia da semana.
- Horário de almoço: respeito de um horário vago, para o professor, imediatamente antes ou depois do horário de almoço (em torno de meio-dia).
- Máximo de aulas em um dia: nenhum estudante ou professor pode ter um número de aulas alocadas em um determinado dia maior que o valor predeterminado como o número máximo de aulas no dia.
- Dias consecutivos: as aulas de um professor ou de uma turma devem ser alocados em dias consecutivos.
- Descanso semanal: as aulas dos professores devem ser alocadas de modo que eles tenham um dia livre na semana.
- Janelas: a grade horária deve possuir o mínimo possível de horários vagos entre as aulas dos professores e dos alunos. Ou ainda, pode ser definido um número máximo de horários vagos que podem aparecer entre aulas de professores e entre as aulas de alunos.

Devido as peculiaridades do âmbito de algumas instituições de ensino, muitas vezes as restrições fracas, embora não precisem ser atendidas em sua totalidade (o que as tornariam fortes), necessitam de uma satisfação pelo menos parcial. Isto é, a violação total de um restrição fraca pode piorar tanto a qualidade de uma solução, que esta se torna inviável para a instituição, mesmo não apresentando nenhuma violação de restrições fortes. Desta forma, é necessário se alcançar um certo nível de atendimento para não gerar uma solução inviável ao contexto da instituição. Por exemplo, em muitas instituições de ensino, as janelas (horários vagos seguidos entre horários utilizados) nas grades de horários são consideradas aceitáveis desde que não sejam muito grandes. Isto é, um espaço de dois horários vagos entre dois horários de aulas de um professor pode ser aceitável, ao passo que um espaço de dez horários vagos seguidos entre dois horários de aulas do professor no mesmo dia, fazendo com que este tenha uma aula no início da manhã e outra no fim da tarde, pode ser inviável para o contexto de muitas instituições. Diante disso, a restrição de não conter janelas na grade horária, não precisa ser atendida em sua totalidade como uma restrição forte. Neste caso, podem existir janelas (pequenas) na grade de horários. No entanto, a violação exagerada dessa restrição, com a criação de janelas muito extensas, gera grades horárias inviáveis para a aplicação real ao ambiente de várias instituições, ainda que válidas para o problema de elaboração de grades horárias de uma forma geral.

### 2.1.2 Algoritmos genéticos

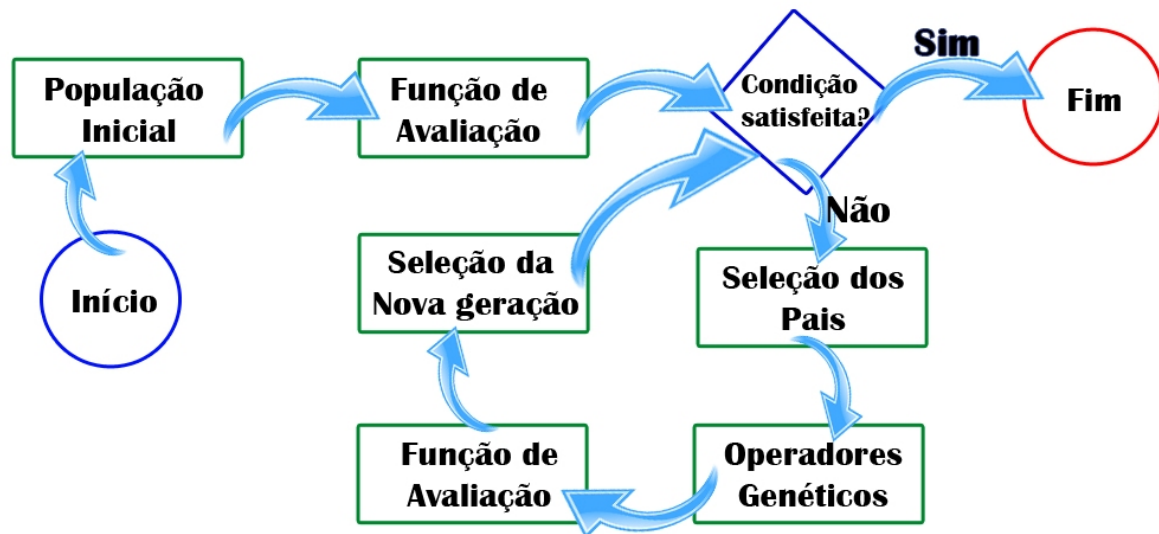
Os Algoritmos Genéticos podem ser vistos como modelos de aprendizagem, inspirados nos processos genético e evolutivo dos seres vivos, que podem ser usados para resolver problemas de busca e otimização (FERNANDES, 2005). Segundo Arroyo e Armentano (2002), se tratam de metaheurísticas, cujas as estratégias de busca permitem explorar várias regiões do espaço de soluções de cada vez. Computacionalmente, os indivíduos são representados por cromossomos que simulam o processo evolutivo. Assim, o Algoritmo Genético (AG) é uma técnica computacional comumente utilizada em problemas que possuem grande espaço de busca, onde se deseja aproximar soluções candidatas à solução ideal. Esta aproximação é feita através de uma função de avaliação. Mesmo que um AG encontre uma solução possível (solução candidata), que satisfaça as restrições impostas pelo problema, o mesmo permite continuar a busca rumo a uma solução ótima ou a um resultado ótimo global (LINDEN, 2012), (HOLLAND, 1992) e (OLIVEIRA, 2008).

Segundo Fernandes (2005), Linden (2012) e Coppin (2010) um AG pode ser implementado da seguinte forma (figura 1):

- a) Gera-se uma população inicial de indivíduos (ou cromossomos), com valores aleatórios;
- b) Avalia-se cada indivíduo da população através da função de avaliação;
- c) Se o critério de terminação for satisfeito, pare. Caso contrário, siga para etapa em d;
- d) Selecionam-se pares de indivíduos, com o objetivo de gerar filhos, através da recombinação (cruzamento). Essa seleção pode ser realizada privilegiando os indivíduos de maior adaptação;
- e) Realiza-se então a recombinação de cada par de indivíduos selecionados. Nessa operação, cada par origina dois novos indivíduos;
- f) Aplica-se a mutação em alguns genes de alguns indivíduos, sendo que cada mutação realizada em um cromossomo (de um indivíduo) gera um novo cromossomo;
- g) Calcula-se a função de avaliação para os novos indivíduos da população;
- h) A partir dos valores fornecidos pela função de avaliação, selecionam-se os indivíduos que passarão para a próxima geração. Retorna-se para a etapa em c.

A figura 1 ilustra o algoritmo descrito e nos fornece uma visão geral do processamento de um algoritmo genético. Vale ressaltar que o critério de terminação, ou a condição como é denominado na figura 1, pode ser tanto o ato de encontrar uma solução ótima quanto se chegar ao número máximo de gerações. A ausência deste último critério poderia fazer com que o algoritmo genético processasse infinitamente, uma vez que nem sempre é possível encontrar uma solução ótima.

Figura 1: Visão geral de um algoritmo genético



Fonte: elaborada pelo autor

#### 2.1.2.1 Representação do indivíduo

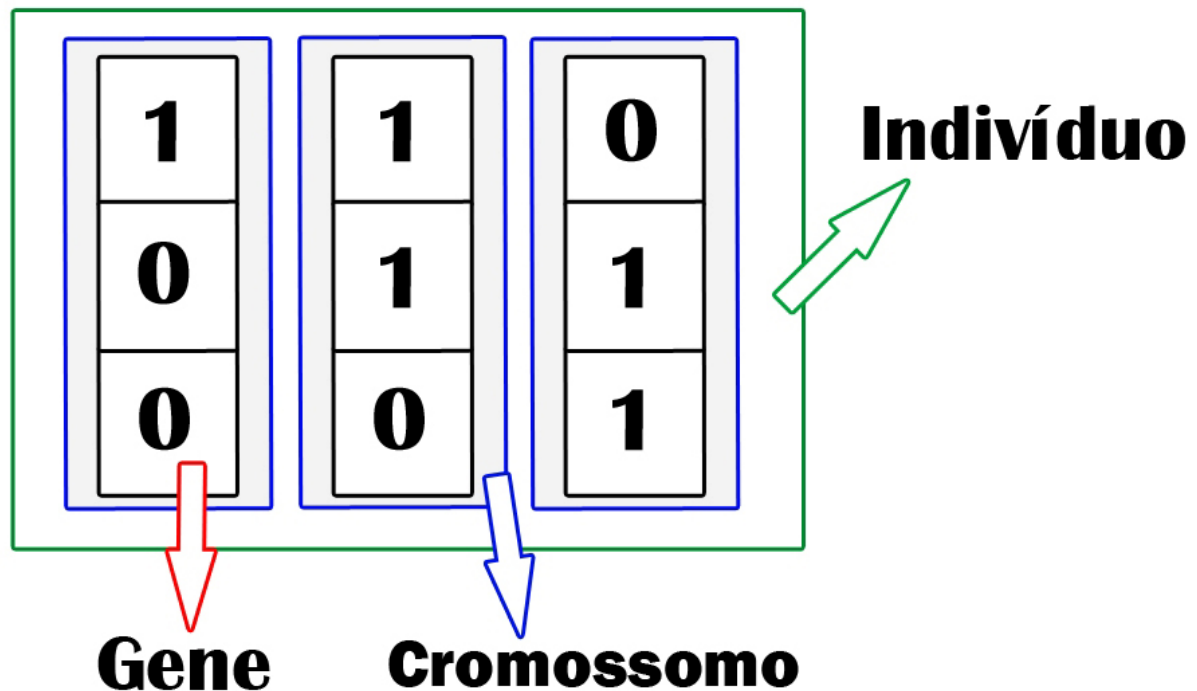
A representação de um indivíduo é uma das primeiras tarefas a se pensar quando se deseja implementar um Algoritmo Genético. Uma representação inadequada dos indivíduos pode dificultar a implementação do algoritmo, bem como o tornar lento e ineficaz.

Baseado no estudo da biologia, um cromossomo, tratado aqui indistintamente de célula, é formado por um conjunto de genes. Um gene é a propriedade básica de um AG. Ao conjunto de cromossomos chamamos de indivíduo. O conjunto de indivíduos é denominado população. A cada iteração do algoritmo dá-se o nome de época (ou geração), sendo que a população inicial se encontra na época 1, a próxima população selecionada na época 2 e assim por diante.

Diante disso, geralmente em um AG, é proposta a representação dos genes e dos cromossomos, sendo a representação do indivíduo conseguida através da união de vários cromossomos. De acordo com Linden (2012) a representação de um cromossomo deve ser a mais simples possível, contemplando implicitamente as restrições do problema e não abrangendo as soluções proibidas quando houver. Uma das formas mais simples de se representar um cromossomo é através da representação binária, primeiramente empregada por Holland (1975 apud LINDEN, 2012). Devido a sua simplicidade é frequentemente utilizada em vários problemas e bastante empregada para fins acadêmicos. Foi apresentada aqui para efeito de facilidade de compreensão por parte do leitor. Nesta representação, um gene atua como um número binário, ou seja, o gene pode conter o valor zero (0) ou o valor um (1). Logo, o cromossomo representa um conjunto de números binários (genes), conforme se vê na figura 2.

Um indivíduo, também apresentado na figura 2, corresponde a um conjunto de cromossomos, isto é, um conjunto de conjuntos de números binários. Este indivíduo representa

Figura 2: Representação binária de um indivíduo



Fonte: elaborada pelo autor

uma solução candidata para o problema. Por exemplo, poderíamos considerar o problema de se encontrar três números binários consecutivos, formados por três (3) algarismos. Neste exemplo, cada indivíduo seria formado por três números binários de 3 algarismos, sendo uma possível solução para o problema. Logo, o indivíduo que fosse formado por 3 números binários consecutivos seria uma solução ótima. Assim, a população de Algoritmo Genético com representação binária consiste em um conjunto de conjuntos de conjuntos de números binários, isto é, em um conjunto de indivíduos.

#### 2.1.2.2 Técnicas de Seleção

As técnicas de seleção são responsáveis por selecionar os indivíduos que serão submetidos aos operadores genéticos, bem como aqueles que formarão cada geração do algoritmo. Assim, tais técnicas são de fundamental importância para o algoritmo genético, uma vez que não selecionar adequadamente os indivíduos pode significar estar com a solução ótima em uma geração e descartá-la na próxima. Dentre as várias técnicas de seleção, duas que apresentam grande destaque e utilização na literatura são a técnica de elitismo e a técnica da roleta viciada.

##### 2.1.2.2.1 Elitismo

A técnica de elitismo refere-se, basicamente, à seleção dos melhores indivíduos de uma população. Segundo Linden (2012), a manutenção do melhor indivíduo de uma gera-

ção na próxima geração, assegura que o melhor indivíduo dessa próxima geração será, no mínimo, igual ou melhor que o melhor indivíduo da geração atual. Assim, após a realização dos operadores genéticos, todos os indivíduos da população, tanto os originais quanto os novos indivíduos gerados, são avaliados e ordenados em uma fila de acordo com a função de avaliação, de tal modo que os indivíduos melhor avaliados pela função fiquem nas primeiras posições da fila. Assim, o elitismo simplesmente seleciona os ocupantes das primeiras posições da fila. Esta técnica de seleção utiliza um valor numérico, denominado taxa de elitismo, que determinará a porcentagem da próxima população que será composta utilizando-se dela, ou seja, a porcentagem composta pelos melhores indivíduos da população atual.

#### 2.1.2.2.2 Seleção natural - Roleta Viciada

A princípio, pode-se pensar que a utilização do elitismo com taxa de elitismo igual a 100%, isto é, compor a próxima população totalmente com os melhores indivíduos da população atual, é a melhor opção de seleção de indivíduos. No entanto, o elitismo acelera a convergência genética, fazendo com que os indivíduos da população fiquem cada vez mais parecidos, dificultando a evolução da espécie.

Para resolver esse problema, utiliza-se também a seleção natural para compor a parte da nova população não preenchida pelo elitismo. A seleção natural é baseada no fato de que não só os melhores indivíduos podem contribuir para a evolução da espécie, sendo que um indivíduo com uma avaliação ruim na função de avaliação pode também possuir alguma característica (gene) importante para se alcançar a solução ótima.

Existem várias técnicas de implementação da seleção. Uma delas, conhecida por **roleta viciada**, é bastante utilizada e presente na literatura como, por exemplo, nos trabalhos de Coppin (2010) e Linden (2012). A técnica da roleta baseia-se na avaliação dos indivíduos, de forma a não selecionar diretamente os melhores, mas a oferecer a eles uma probabilidade maior de seleção, uma vez que acredita-se que de certa forma os indivíduos melhor avaliados pela função objetivo podem contribuir mais para a solução. Uma forma de implementação pode ser sugerida através das ideias apresentadas por Linden (2012). Nesta, inicialmente faz-se o somatório das avaliações de todos os indivíduos da população, obtendo-se um valor total (equação 2.1).

$$Total = \sum_{i=1}^t funcaoDeAvalicao(individuo_i) \quad (2.1)$$

O somatório da equação 2.1 varia de um (1) até o tamanho da população ( $t$  = tamanho da população). Então, calcula-se a probabilidade de cada indivíduo (equação 2.2) através da divisão do valor de sua avaliação pelo total (calculado pela equação 2.1).

$$Probabilidade(Individuo_i) = \frac{funcaoDeAvalicao(individuo_i)}{Total} \quad (2.2)$$

Cada indivíduo recebe uma quantidade de números, de 0 a 100, proporcional a sua probabilidade (equação 2.2). A quantidade de números de cada indivíduo é calculada pela

fórmula 2.3, considerando arredondamentos, e os números são atribuídos de forma aleatória (entre 0 e 100) excluindo-se os números já entregues a algum indivíduo. Por fim, sorteia-se um número aleatório, entre 0 e 100, simulando o giro de uma roleta. É selecionado o indivíduo que possuir aquele número, ou seja, aquela porção da roleta. De uma forma geral, todos possuem a possibilidade de ser escolhido, mas, como ressaltado por Linden (2012), quanto melhor o indivíduo maior a sua probabilidade de ser selecionado pela roleta.

$$QuantidadeDeNumeros(Individuo_i) = Probabilidade(Individuo_i) * 100 \quad (2.3)$$

#### 2.1.2.3 Geração da população inicial

A criação da população inicial é um ponto bem discutido na literatura. A prática mais básica e mais comumente utilizada é a criação da população inicial de forma aleatória. Segundo Fernandes (2005), a inicialização não aleatória da população, por meio de alguma técnica heurística ou de otimização, pode acelerar a convergência genética do algoritmo. A convergência genética ocorre quando todos os indivíduos de uma determinada população são iguais ou parecidos o suficiente a ponto de impedir a evolução dos mesmos, uma vez que os operadores genéticos não serão capazes de gerar novos indivíduos com características diferentes dos indivíduos originais devido à grande semelhança entre eles.

A convergência prematura do algoritmo deve ser evitada, pois pode conduzir a uma convergência para um ótimo local. Um valor ótimo local é o melhor (maior ou menor dependendo do problema) em uma determinada região tal qual uma variação discreta sempre levará a um valor inferior (LINDEN, 2012). Ao utilizar um AG para resolver um problema, o objetivo básico é realizar a convergência do algoritmo para o (ou um) ótimo global. O valor ótimo global é o melhor valor que pode ser alcançado em todo o espaço de busca, isto é, a solução ótima para o problema.

Ainda, Linden (2012) preconiza que a geração aleatória da população inicial, apresenta uma grande chance de cobrir uniformemente todo o espaço de busca, segundo a lei das probabilidades. Diante disso, vê-se que de um modo geral a criação da população inicial de forma aleatória é uma boa opção. Porém, como cada problema apresenta características específicas, nem sempre o que é melhor para a maioria, se mostra como a melhor técnica para todos. Para problemas que apresentam um espaço de busca excessivamente grande, pode ser uma boa ideia a utilização de uma técnica de otimização para a criação da população inicial, de forma a trazer mais informações predeterminadas sobre o problema para o algoritmo, reduzindo o espaço de busca. No entanto, para evitar a convergência genética prematura do algoritmo deve-se utilizar técnicas especiais na implementação dos operadores genéticos.

#### 2.1.2.4 Função de avaliação

A função de avaliação, também chamada de função de adaptação ou função objetivo, é um ponto fundamental de um Algoritmo Genético, pois é a responsável por trazer para o algoritmo as regras de negócio e restrições do problema (LINDEN, 2012). Uma abordagem

equivocada das regras e restrições de um problema certamente irá culminar em uma avaliação errônea dos indivíduos (soluções candidatas) impedindo a seleção adequada dos mesmos, e consequentemente, não possibilitando a evolução da população em direção à solução ótima. Isto é, uma função de avaliação inconsistente provavelmente tornará o AG inútil.

A ideia básica da função objetivo (equação 2.4) é retornar um número inteiro ou decimal, denominado *fitness*, que indica a adaptação do indivíduo, isto é, o quão saudável ele é. Mais tecnicamente, podemos dizer ainda que o *fitness* indica o quanto determinado indivíduo se aproxima (ou afasta) da solução ótima. Uma ideia básica de avaliação consiste em contar quantas restrições ou regras o indivíduo não atende, isto é, para cada regra (ou restrição) não atendida soma-se uma unidade ao *fitness* do indivíduo. Neste modo de avaliação, usa-se um raciocínio inverso do grau de adaptação: quanto menor o *fitness*, melhor o indivíduo. Assim, o indivíduo ótimo é aquele que possui *fitness* igual a zero (0), ou seja, atende todas as restrições. O raciocínio direto também é possível somando-se uma unidade ao *fitness* do indivíduo para cada restrição atendida. Neste caso, o melhor indivíduo seria aquele com o maior *fitness*.

Em certos problemas existem restrições com grau de importância, isto é, algumas restrições são mais importantes e devem ser atendidas primeiro que outras. Neste tipo de problema uma variação da ideia básica de avaliação citada anteriormente pode ser utilizada. Neste caso, pode ser atribuído um peso a cada restrição. Sendo que as restrições mais importantes possuem um peso maior. E para cada restrição atendida soma-se o peso da respectiva restrição ao *fitness* do indivíduo. Faz-se isso para cada cromossomo do indivíduo. O *fitness* pode ser obtido somando-se os pesos das restrições atendidas por todas os cromossomos e dividindo-se pelo número de cromossomos. Quanto maior o *fitness*, mais próximo da solução ótima (com todas as restrições atendidas) o indivíduo está.

$$FunçãoObjetivo(Indivíduo) = fitness \quad (2.4)$$

#### 2.1.2.5 Seleção dos Pais

A seleção dos indivíduos, denominados pais, que serão utilizados para a realização do operador genético de cruzamento se dá, de modo semelhante a seleção dos indivíduos da próxima geração, através da utilização das técnicas de elitismo e seleção natural, de acordo com a taxa de elitismo para determinar a porção dos pais selecionada por cada técnica. Após selecionados, os indivíduos pais são agrupados em pares e submetidos ao operador genético. Lucas (2002) afirma que a seleção dos pais é muito importante por ser responsável pela transferência de boas características entre os indivíduos de diferentes gerações.

De modo semelhante são selecionados os indivíduos que serão submetidos ao operador genético de mutação. Nesse processo, utiliza-se a taxa de mutação para determinar quantos indivíduos serão selecionados para gerar mutantes, bem como a taxa de elitismo que definirá, dentre o número de indivíduos selecionados, quantos serão provenientes do elitismo e quantos virão da seleção natural.

### 2.1.2.6 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos são as ferramentas utilizadas pelo AG para gerar novos indivíduos a partir dos indivíduos existentes em uma determinada população. São esses operadores genéticos os responsáveis por garantir a diversidade genética, impedindo que uma população possua todos os seus indivíduos idênticos (LINDEN, 2012). Isto faria com que o algoritmo se prenda em um ótimo local, não permitindo a evolução dos indivíduos em direção à solução ótima para o problema. De acordo com Coppin (2010), tais operadores são instrumentos do AG que permitem a investigação de áreas desconhecidas do espaço de busca.

Os **alelos** são formas alternativas de um mesmo gene, ou seja, os valores possíveis para um determinado gene. Na representação binária os alelos são 1 e 0. Já em uma representação mais complexa, por exemplo, um gene dia da semana letivo possui os alelos segunda-feira, terça-feira, quarta-feira, quinta-feira, sexta-feira e sábado, considerando que nunca haverá aula aos domingos. Os operadores genéticos trabalham alterando os alelos dos genes dos cromossomos dos indivíduos. Os principais operadores genéticos de um AG são o **cruzamento** e a **mutação** (COPPIN, 2010).

#### 2.1.2.6.1 Cruzamento (*Crossover*)

O operador de cruzamento possui certa relevância dentro de um Algoritmo Genético, pois, geralmente, é ele o responsável por permitir uma exploração rápida do espaço de busca. Este operador baseia-se em tomar dois indivíduos, denominados pais, e realizar uma mistura genética entre eles gerando novos indivíduos, denominados filhos. O cruzamento possui diversas técnicas de implementação (COPPIN, 2010). Como cada problema apresenta características próprias, é uma boa prática realizar a análise de qual técnica de implementação adotar. Serão discutidas três dessas técnicas: o cruzamento de ponto único, o cruzamento de dois pontos e o *Partially Matched Crossover*.

Para uma maior familiarização do leitor com o ambiente do problema enfrentado, uma vez introduzidos os conceitos básicos, utiliza-se, geralmente, a partir daqui uma representação um pouco mais complexa e mais próxima de uma representação de AG para o problema de geração de grade de horários. Nesta representação um cromossomo (célula) é formado por quatro genes: dia da semana, horário, disciplina (e professor) e sala. Cada um de seus genes com alelos distintos, não simplesmente 0 e 1. Vale ressaltar que esta não é a representação utilizada de fato no desenvolvimento do presente trabalho. Assim, para questão de exemplificação são utilizados os dois indivíduos da figura 3 como os pais selecionados. A técnica de seleção dos pais é descrita posteriormente.

Na figura 3 são utilizadas cores diferentes para a representação dos genes dos cromossomos do Pai 1 e do Pai 2 buscando facilitar o entendimento da ação do operador de cruzamento em suas diferentes técnicas de implementação. Para exemplificação, foi selecionado apenas um cromossomo de cada pai para realização do cruzamento, como se pode ver na figura 4, e mostrado apenas a geração de um cromossomo de cada filho (figuras 5 e 6). Na prática, geralmente são selecionados vários pares de cromossomos para participarem do cruzamento e gerados vários cromossomos até formarem um indivíduo filho completo.

Figura 3: Indivíduos selecionados como pais

| <b>Pai 1</b>          |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Segunda-Feira</b>  | <b>Terça-Feira</b>    | <b>Terça-Feira</b>    |
| <b>7:00 - 7:50</b>    | <b>8:40 - 9:30</b>    | <b>8:40 - 9:30</b>    |
| <b>Física / José</b>  | <b>Inglês / Paulo</b> | <b>Física / José</b>  |
| <b>Sala 1</b>         | <b>Sala 2</b>         | <b>Sala 2</b>         |
| <b>Cromossomo p11</b> | <b>Cromossomo p12</b> | <b>Cromossomo p13</b> |

| <b>Pai 2</b>          |                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Quarta-Feira</b>   | <b>Segunda-Feira</b>  | <b>Segunda-Feira</b>  |
| <b>7:00 - 7:50</b>    | <b>7:00 - 7:50</b>    | <b>7:00 - 7:50</b>    |
| <b>Química / João</b> | <b>Inglês / Paulo</b> | <b>Física / José</b>  |
| <b>Sala 1</b>         | <b>Sala 2</b>         | <b>Sala 1</b>         |
| <b>Cromossomo p21</b> | <b>Cromossomo p22</b> | <b>Cromossomo p23</b> |

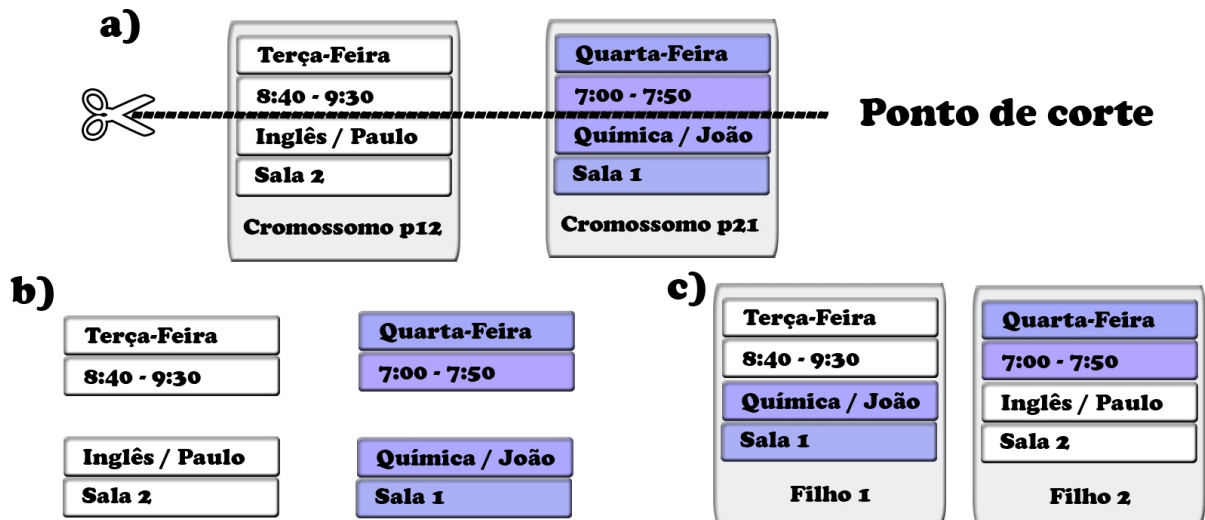
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 4: Cromossomos selecionados

|                       |                       |
|-----------------------|-----------------------|
| <b>Terça-Feira</b>    | <b>Quarta-Feira</b>   |
| <b>8:40 - 9:30</b>    | <b>7:00 - 7:50</b>    |
| <b>Inglês / Paulo</b> | <b>Química / João</b> |
| <b>Sala 2</b>         | <b>Sala 1</b>         |
| <b>Cromossomo p12</b> | <b>Cromossomo p21</b> |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 5: Cruzamento de ponto único



a) Ponto de corte selecionado. b) Pedacos que resultaram do corte dos cromossomos. c) Um cromossomo do filho 1 e um cromossomo do filho 2 gerados pela intercalação das partes em b).

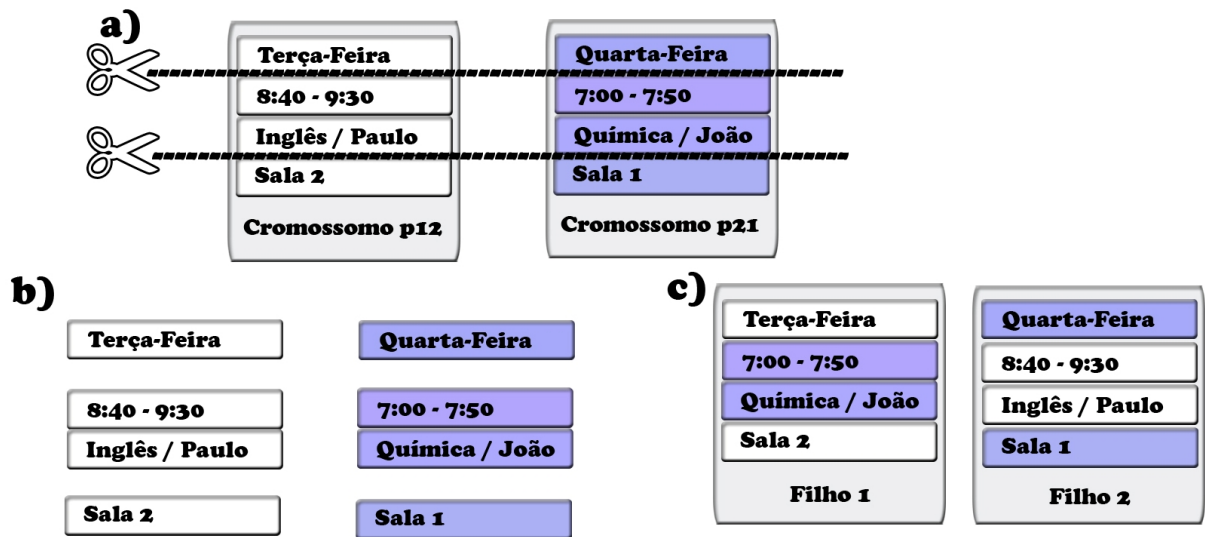
Fonte: elaborada pelo autor

De acordo com Linden (2012), a técnica básica consiste em tomar os dois pais selecionados e seccionar seus cromossomos em uma posição fixa, denominada ponto de corte, dividindo-os em duas partes. Os cromossomos dos filhos serão formados intercalando os pedaços obtidos, sendo que ambos descendentes herdam características (genes) de cada um dos pais. Essa técnica é denominada **cruzamento de ponto único** (figura 5).

Uma variação dessa técnica se baseia na utilização de um ponto de corte aleatório, ou seja, a cada cruzamento um número aleatório indicaria a posição onde os cromossomos dos pais seriam seccionados (COPPIN, 2010). Analogamente, outra técnica, conhecida por **cruzamento de dois pontos** (figura 6), consiste em selecionar dois pontos de corte de forma a seccionar os cromossomos dos pais em três partes. Como se vê na figura 6, o cromossomo de um filho é formado por duas partes de um pai e uma de outro, enquanto o cromossomo do outro indivíduo filho é formado pelas partes restantes. (LINDEN, 2012).

Em alguns casos, dependendo da representação do cromossomo, não é possível a realização de trocas diretas como nos operadores de cruzamentos tratados até agora. Um exemplo clássico acontece quando os cromossomos devem respeitar algum tipo de ordem. Existem muitos operadores de cruzamento para cromossomos ordenados, um dos que se destacam é o **Partially Matched Crossover** (PMX). Sastry, Goldberg e Kendall (2005) afirmam que além de sempre gerar soluções válidas, o operador PMX também preserva a ordem dentro dos indivíduos. No PMX, dois pais são selecionados aleatoriamente e dois pontos de corte são gerados também de forma aleatória. Os alelos dentro dos dois pontos de corte de um pai são trocados de posição com os alelos correspondentes àqueles mapeados pelo outro pai. Voltando a uma representação mais geral, um exemplo pode ser observado na figura 7. No pai

Figura 6: Cruzamento de dois pontos



a) Dois pontos de corte selecionados. b) Pedacos que resultaram do corte dos cromossomos. c) Um cromossomo do filho 1 e um cromossomo do filho 2 gerados pela intercalação das partes separadas em b, sendo que duas partes do cromossomo p12 do pai 1 são herdadas pelo cromossomo do filho 1 enquanto somente uma parte do cromossomo p21 do pai 2 é herdada. E o contrário pode ser observado no cromossomo do filho 2.

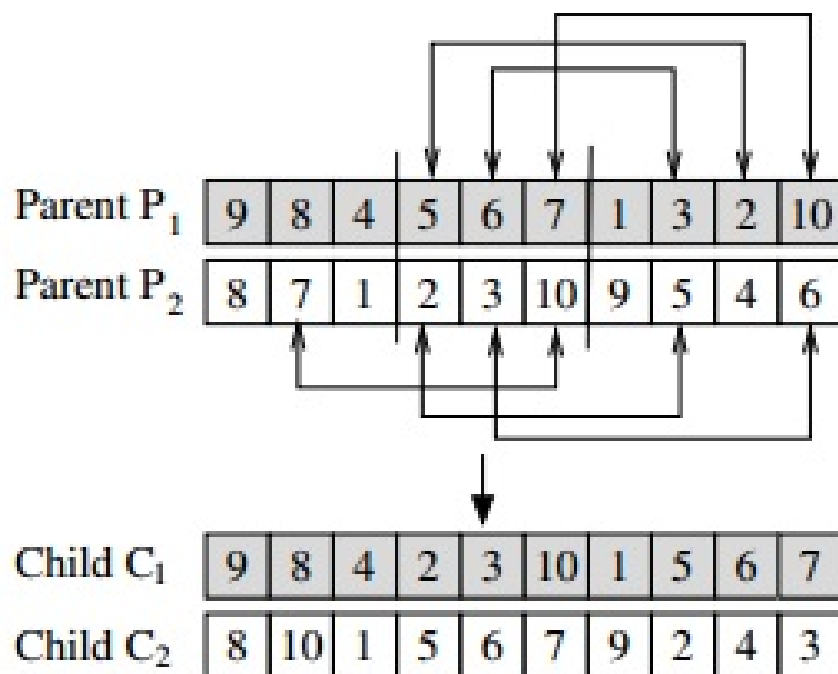
Fonte: elaborada pelo autor

$P_1$ , o primeiro gene dentro dos dois pontos de corte, 5, é mapeado para o gene 2 no pai  $P_2$ . Portanto, os genes 5 e 2 trocam de posição em  $P_1$ . Da mesma forma, os genes 6 e 3, bem como 10 e 7 são trocados de posição para criar o filho  $C_1$ . (SASTRY; GOLDBERG; KENDALL, 2005, tradução nossa).

#### 2.1.2.6.2 Mutação

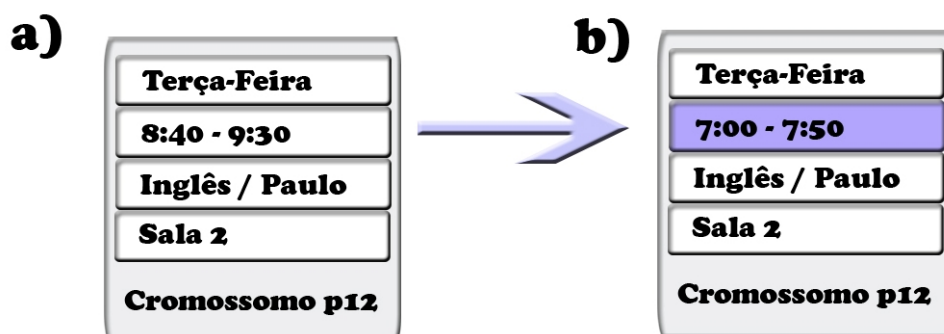
A mutação, segundo Coppin (2010), é um operador unário, isto é, aplicado em apenas um cromossomo de um indivíduo por vez, gerando um novo cromossomo. Esse operador, em sua forma mais simples também nomeada mutação em um ponto, consiste em realizar a alteração de apenas um gene, sorteado aleatoriamente, de um cromossomo dentro de um indivíduo, como se pode ver na figura 8. Existem muitas variações de implementação desse operador. Uma delas consiste na utilização de uma taxa de mutação de indivíduos e uma taxa de mutação cromossômica. A primeira refere-se à quantidade de indivíduos que sofrerão mutação, e a segunda, a quantidade de cromossomos dentro de cada indivíduo onde será aplicado o operador. E ainda, pode ser utilizada uma probabilidade de mutação genética que determinará a quantidade de genes do cromossomo que passará pela mutação. Para garantir uma maior exploração do espaço de busca, cada gene receberá uma probabilidade de forma aleatória e essa será comparada com a probabilidade de mutação: se for maior, o gene sofre mutação, caso contrário, o gene é simplesmente duplicado no novo cromossomo.

Figura 7: Partially Matched Crossover (PMX)



Fonte: (SASTRY; GOLDBERG; KENDALL, 2005)

Figura 8: Mutação simples



a) Cromossomo selecionado. b) Mutação com alteração de apenas um gene selecionado.

Fonte: elaborada pelo autor

De acordo com Fernandes (2005), pode-se pensar que o operador de cruzamento é mais importante que o operador de mutação, uma vez que proporciona uma rápida exploração do espaço de busca. Porém esse último garante que nenhum ponto do espaço de busca tenha probabilidade zero para ser examinado. Além disso, o operador de mutação é de fundamental importância para se trazer novas características para os indivíduos, ajudando a fazer com que o algoritmo não se prenda em um ótimo local e possa convergir para a solução ótima.

#### 2.1.2.7 Seleção dos indivíduos para a próxima geração

Analogamente ao processo de seleção dos indivíduos que serão utilizados nos operadores genéticos, as técnicas de elitismo e seleção natural são aplicadas para a seleção dos indivíduos que comporão a próxima geração. Mais uma vez, a taxa de elitismo é utilizada para indicar quantos indivíduos serão selecionados pelo elitismo e quantos serão provenientes das técnicas de seleção natural.

### 2.1.3 Heurística de Melhoramento

Heurísticas, de um modo geral, são buscas com informação, que utilizam conhecimentos específicos sobre o problema para encontrar soluções de forma mais eficiente do que a busca cega (sem informação ou exaustiva) (PRATI, 2010). Schopf et al. (2004) afirma que os métodos heurísticos buscam, em um tempo computacional aceitável, uma solução viável para o problema, sendo esta não necessariamente a melhor. Geralmente, o conhecimento sobre o problema é representado por meio de uma estimativa ou estratégia. Assim, as heurísticas são, normalmente, empregadas em problemas cuja aquisição da solução ótima é computacionalmente custosa quando aferida por métodos exatos, aqueles que realizam o teste de todas as alternativas possíveis, resultando sempre em uma solução ótima do problema, se ela existir.

Dessa forma, Oliveira e Carravilla (2002) afirmam que os algoritmos heurísticos podem ser classificados em três tipos:

- **Construtivos:** produzem uma solução, passo a passo, através da adição de novas partes a cada iteração de acordo com um conjunto de regras predeterminadas.
- **de Melhoramento:** a partir de uma solução viável qualquer, buscam melhorá-la através de sucessivas pequenas modificações.
- **Compostos:** formados por uma fase construtiva seguida de uma fase de melhoramento.

Arroyo e Armentano (2002) se referem às heurísticas de melhoramento como heurísticas de busca local ou de busca em vizinhança. Segundo os autores supraditos, tais heurísticas iniciam com uma solução completa do problema, e constroem uma vizinhança desta solução, através de uma regra de movimento que modifica a solução inicial. Busca-se, assim, uma solução que possua uma avaliação melhor que a solução inicial, de forma sucessiva, com o objetivo de se encontrar um ótimo local (ARROYO; ARMENTANO, 2002). Por exemplo, uma heurística de melhoramento, aplicada ao problema de elaboração de grade horária, poderia atuar sobre uma grade de horários, já criada e viável, realizando algumas trocas de horários, buscando

reduzir as janelas da grade ou respeitar o horário de almoço dos alunos e professores. Normalmente, existem critérios de parada, predeterminados, para impedir que as tentativas de trocas sejam executadas infinitamente.

## 2.2 Estado da Arte

Durante as últimas décadas, muitos trabalhos abordando, dentro do contexto computacional, o problema de automatização do processo de geração da grade de horários tem sido publicados em conferências e periódicos. As primeiras pesquisas conhecidas com foco sobre a elaboração automatizada de horários acadêmicos ocorreram na década de 1960, com os trabalhos de Appleby, Blake e Newman (1961) e Gotlieb (1963).

Appleby, Blake e Newman (1961), baseados no processo manual de criação de grade de horários para instituições de ensino médio, desenvolveram programas para realização do mesmo processo de forma automática em um computador através basicamente de métodos de tentativa e erro.

Gotlieb (1963) elaborou o problema de geração de grade de horários para professores e turmas através da consideração de cada aula era composta por um grupo de alunos, um professor e um número de vezes que esta seria lecionada. Tanto Gotlieb (1963) quanto Appleby, Blake e Newman (1961) estavam interessados na apresentação de uma solução viável para o problema de geração de grade de horários, não apresentando como foco a busca por soluções ótimas (ou otimizadas) e o atendimento de restrições fracas como se propõe no presente trabalho.

A consideração da disponibilidade dos professores, que é fundamental para o contexto da maioria das instituições de ensino, foi introduzida por Csima (1965) e Even, Itai e Shamir (1976). Csima (1965) demonstrou que o problema de Gotlieb (1963) está na classe de problemas polinomiais (classe P) quando os professores estão inicialmente disponíveis em todos os horários, ou seja, neste caso existe um algoritmo que resolve o problema com um consumo de tempo no pior caso limitado por uma função polinomial com o número de variáveis determinado pela número de instâncias no problema (FEOFILOFF, 2015). Even, Itai e Shamir (1976) provaram que se trata de um problema NP-completo se cada professor possuir a possibilidade de estar inicialmente indisponível em algum subconjunto aleatório de horários, isto é, nesta situação é classificado como um dos mais difíceis problemas polinomiais não determinísticos, aqueles onde não se pode encontrar uma solução em tempo polinomial, mas é possível realizar, em tempo polinomial, a verificação se uma solução candidata é de fato uma solução (FEOFILOFF, 2015).

O problema de geração automática de grade horária para cursos de ensino médio e de universidades é explorado desde 1995 pela *Practice and Theory of Automated Timetabling* – PATAT, uma das maiores conferências internacionais sobre o problema. Na última edição da PATAT (em 2014) foram apresentados várias palestras sobre diversos tipos de grade de horários, tais como horário de funcionários, horários de transporte, horários de cursos de ensino médio, horários de cursos de universidade, horários de transporte aéreo, dentre outros. Esta

edição contava com várias linhas de pesquisa como, por exemplo, em tecnologias utilizadas na solução do problema, como inteligência artificial, pesquisa operacional, computação paralela e distribuída, computação evolucionária, e outros (PATAT2014, 2014). Adicionalmente, esta edição da PATAT gerou o livro editado por Özcan, Burke e McCollum (2014). Nele foram publicados 76 artigos, dentre os quais:

1. Seis (6) possuem foco nas grades horárias de cursos de ensino médio.
2. Quatro (4) apresentam foco nas grades horárias de cursos de faculdades e universidades.
3. Um (1), dentre os do item anterior, demonstra foco em aplicar algoritmos genéticos (AG) na resolução do problema de geração de grade horária de universidades.

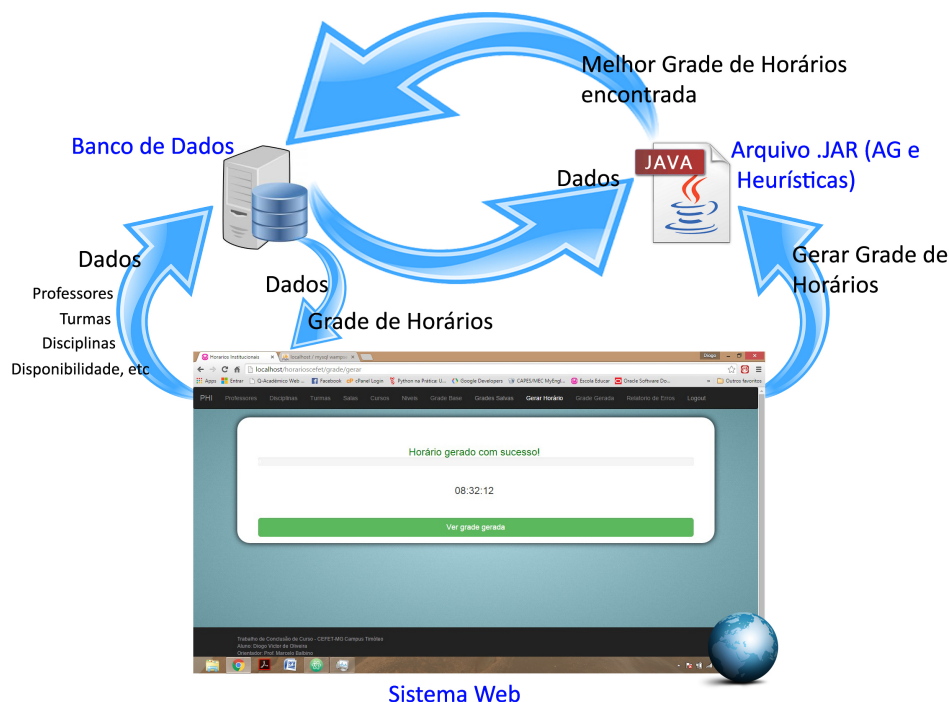
Vale ressaltar, que a classificação acima foi realizada apenas com base nos títulos dos artigos. Entretanto, através de uma análise um pouco mais detalhada dos 10 artigos supracitados, é possível perceber que nenhum destes trabalhos tinham como foco a satisfação do conjunto de restrições normalmente exigido por instituições, como a abordada neste estudo, que trabalham com cursos de nível superior e técnico simultaneamente.

Ainda, soluções para geração automática de grade de horários para instituições de ensino superior específicas através do uso de algoritmos genéticos são desenvolvidas por Ramos (2002), Hamawaki (2005) e Freitas et al. (2014). Bem como, um sistema que usa algoritmo genético para resolver o problema de uma específica instituição de ensino de nível médio é apresentado por Netto (2011).

Uma modificação no algoritmo genético tradicional aplicado na solução do problema de geração automática de grade de horários de universidades é proposta por Asiyaban e Mousavinasab (2013). Neste trabalho, o cálculo da adequação das soluções em relação a satisfação de restrições fracas é especificado através da utilização de lógica nebulosa (*fuzzy*) devido a natureza ambígua dessas restrições. Além disso, é utilizada a técnica de múltiplas populações com a intenção de reduzir o tempo para se alcançar a solução ótima. Asiyaban e Mousavinasab (2013) apresentam ainda um comparativo da performance do algoritmo genético comum, um algoritmo de busca local comum e o algoritmo genético proposto, sendo o último considerado melhor. O trabalho supracitado apresenta como uma limitação o fato de somente considerar as seguintes restrições fracas:

1. A designação de cada curso a um professor que é especialista na área do curso.
2. O respeito ao número máximo e mínimo de horas aulas para cada aluno por dia.
3. A obtenção da grade de horário para cada turma em dias consecutivos.
4. Alocação das aulas do curso no turno matutino. (ASIYABAN; MOUSAVINASAB, 2013, tradução nossa)

Figura 9: Sistema PHI - Estrutura



*O sistema inicialmente proposto por Ferreira (2015) é formado por uma interface web que se comunica com um banco de dados MySQL e um arquivo JAR gerador de grades horárias.*

Fonte: elaborada pelo autor

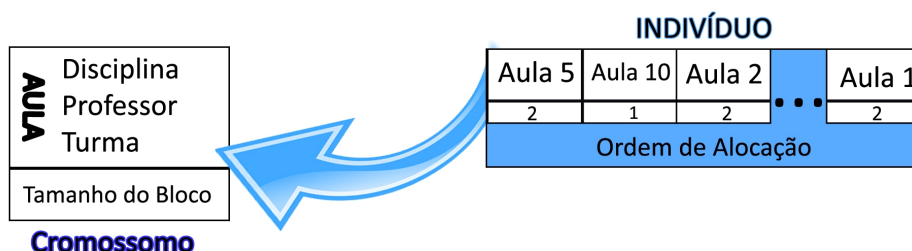
Desse modo, nenhum dos trabalhos supracitados aplica-se simultaneamente para a solução de geração automática de grades de horários para ambas instituições de ensino superior e médio (ou técnico), nem atendem de forma satisfatória o conjunto de restrições fracas impostas por tal contexto. Assim, estes não satisfazem a situação da instituição objeto de estudo.

Finalmente, um sistema de elaboração de horários acadêmicos para o CEFET-MG foi desenvolvido por Ferreira (2015). O próprio autor intitulou o sistema de Programa de Horários Institucionais (PHI). De um modo geral, o PHI é formado por três partes principais que se comunicam entre si: uma interface web, um banco de dados e um arquivo JAR (*Java Archive*). A estrutura do PHI é demonstrada na figura 9.

A **interface web** foi desenvolvida para descentralizar a coleta e a visualização de dados. Assim, é possível, por exemplo, que os professores definam suas disponibilidades de forma distribuída e que os elaboradores de horários visualizarem tais disponibilidades e as grades geradas através de qualquer dispositivo conectado a rede mundial de computadores. A interface web permite também a realização do cadastro de todas as entidades envolvidas no sistema (professor, disciplina, turma, sala, etc).

O **banco de dados** foi modelado em MySQL e é responsável por guardar todos os

Figura 10: Representação de indivíduo utilizada



Um indivíduo é formado por um conjunto de cromossomos (blocos de aulas) ordenados em sequência de alocação.

Fonte: elaborada pelo autor

dados do sistema. Assim, todos os dados coletados pela interface web são enviados e armazenados no banco de dados, bem como todos os dados visualizados em tal interface são recuperados desse banco.

O **arquivo JAR** representa um programa, desenvolvido em JAVA, e é o responsável pela geração da grade horária propriamente dita. Esse arquivo JAVA é executado por um comando enviado pelo usuário através da interface web. Antes de iniciar a geração, o programa solicita ao banco de dados todos os dados necessários, que foram incluídos e alterados através da interface web. Então, ele utiliza esses dados no processo de construção de uma grade horária adequada e, ao fim, retorna a melhor grade de horários encontrada para o banco de dados, de modo que tal grade seja salva. Desse modo, a grade pode ser visualizada posteriormente através da interface web.

Ferreira (2015) propõe uma solução utilizando-se das técnicas de algoritmos genéticos juntamente com uma heurística construtiva para buscar uma solução ótima. Ambos, o AG e a heurística, são implementados dentro do arquivo JAR. O algoritmo genético é aplicado na qualificação das grades horárias e na busca da ordem em que as aulas deverão ser alocadas no quadro de horários, enquanto a heurística construtiva é responsável por alocar adequadamente essas aulas. A representação do indivíduo utilizada por Ferreira (2015) é exposta na figura 10. Nela, uma aula é uma estrutura composta por um professor, uma disciplina e uma turma. Os cromossomos representam blocos de aulas, uma vez que as aulas normalmente são alocadas em conjuntos (pares, por exemplo). Assim, um cromossomo é formado por uma aula e o tamanho do determinado bloco, isto é, a quantidade de instâncias daquela aula que ele possui para alocar em horários seguidos. Desse modo, um indivíduo constitui-se de um conjunto de cromossomos organizados em ordem de alocação.

A função objetivo apresentada por Ferreira (2015) calcula a adaptação (*fitness*) dos indivíduos considerando basicamente o número de choques de professores, turmas, disciplinas e salas (restrições fortes), bem como a quantidade atendida da preferência dos professores (restrição fraca). Em tal função de avaliação para cada restrição violada um valor é somado ao *fitness* do indivíduo. Mais especificamente, no trabalho de Ferreira (2015), a violação de

um restrição forte tem um valor de penalização igual a dez mil (10000) pontos, enquanto a penalização por cada preferência não atendida vale um ponto. Neste modo de avaliação, usa-se um raciocínio inverso e o melhor indivíduo possível de ser encontrado seria aquele que possui *fitness* igual a zero (0), ou seja, atende todas as restrições. Vale ressaltar que este indivíduo, muitas vezes, pode ser uma utopia, não existindo no espaço de busca real do problema.

Quanto aos operadores genéticos, Ferreira (2015) propõem a utilização de um operador de cruzamento e seis operadores de mutação. O operador de cruzamento adotado foi o *Partially Matched Crossover* (PMX), que é descrito na seção 2.1.2.6.1. Os operadores de mutação são os seguintes:

- mutação simples, conforme descrito na seção 2.1.2.6.2, e mutação alterando a ordem de 5 e de 20 aulas sorteadas aleatoriamente;
- mutação que coloca todas as aulas que não puderam ser alocadas no princípio da ordem de alocação;
- mutação que coloca as aulas que não puderam ser alocadas em posições aleatórias anteriores às delas;
- mutação que coloca a primeira aula que não pode ser alocada em uma posição aleatória anterior à dela.

A heurística construtiva apresentada por Ferreira (2015) aloca os blocos de aulas considerando a interferência que tal alocação terá para os demais blocos de aulas ainda não alocados. Assim, teoricamente, para cada bloco de aulas, a heurística analisa cada horário e sala possíveis calculando o quanto a alocação do corrente bloco de aulas em cada bloco de horários e salas possíveis interferiria na alocação dos demais blocos. Tal heurística sempre seleciona o bloco de horários com a menor interferência. Por exemplo, suponhamos que possuímos dois blocos de aulas para alocar: um bloco de Matemática, composto por duas aulas, e um bloco de Física, também de tamanho dois. Ambos os blocos só podem ser alocados na sala s1. O bloco de Matemática possui quatro horários possíveis, os quais chamaremos h1, h2, h5, h6. Já o bloco de Física só pode ser alocado nos horários h1 e h2. Consideremos agora que o bloco de Matemática será alocado primeiro. Ao calcular a interferência do horário h1, a heurística verificará que se uma aula de Matemática for alocada em h1 não será possível alocar uma das duas aulas de Física, já que elas só possuem os horários h1 e h2 de disponibilidade. Assim, o método heurístico reconhece que o horário h1 é crucial para Física e sua interferência no bloco de Física é altíssima. Ao calcular a interferência em h2, a heurística observará a mesma situação. Agora, ao analisar os horários h5 e h6, o método heurístico perceberá que a interferência desses horários na alocação do bloco de Física é muito menor (ou até mesmo nenhuma) e determinará que a alocação das duas aulas de Matemática seja realizada nos referidos horários, enquanto o bloco de Física será alocado posteriormente nos horários h1 e h2.

O exemplo anterior se trata de uma situação simplificada com a presença de apenas duas disciplinas. Em um cenário real, centenas de aulas compartilhando vários dos recursos

disponíveis tornam a situação muito mais complexa. Na prática, Ferreira (2015) baseia-se no número de disponibilidades e utiliza a equação 2.5 para o cálculo da importância (ou interferência) de um dia, horário e sala para as aulas. O conjunto espaço-temporal formado por um dia, horário e sala é nomeado *slot* e quanto maior a importância de um *slot*, maior a interferência na alocação das outras aulas se ele for escolhido. Ainda, de acordo com a equação 2.5, quanto maior o número de horários disponíveis para uma aula, menor a importância de um certo *slot* para aquela determinada aula. Na verdade, o que a heurística faz é identificar todos os *slots* disponíveis para uma aula e calcular a importância de cada um desses *slots* para as demais aulas que também possuem aqueles *slots* (mesma sala e horário) em sua disponibilidade ou que possuam o mesmo professor ou turma da aula em análise. É realizada a soma das importâncias do *slot* para cada aula, exceto a aula que está sendo alocada, resultando na importância final do *slot*. Então, a heurística seleciona os *slots* menos importantes para as demais aulas.

$$I(S, A) = K^{-(D_A-1)} \quad (2.5)$$

Onde:

- $I(S,A)$ : é a importância do *slot* S para a aula A.
- K: é uma constante, base exponencial definida parametricamente.
- $D_A$ : é o número de *slots* disponíveis para a aula A.

A constante K é o valor que determina o quanto varia a importância de um *slot*, ao se variar a quantidade de *slots* disponíveis para a aula. Tal constante pode determinar, por exemplo, se um *slot*, que é razoavelmente importante para um vasto conjunto de aulas, é mais importante que outro *slot*, que é crucial para, somente, uma aula. Quanto maior o valor da constante K, maior a variação e mais difícil é para um *slot*, mais ou menos importante para várias aulas, superar, em importância, um outro *slot* muito importante, mesmo que somente para uma aula. Em seu trabalho, Ferreira (2015) utiliza K com o valor igual a 10.

Para a contagem do número de *slots* disponíveis para cada aula, Ferreira (2015) utiliza uma estrutura de dados semelhante à uma tabela onde as colunas representam as aulas, com um professor, uma disciplina e uma turma, enquanto as linhas representam os *slots*, com um dia da semana, um horário e uma sala. Para facilitar o entendimento, exibimos na tabela 1 uma demonstração simplificada da estrutura de dados utilizada por Ferreira (2015), considerando a alocação do bloco de duas aulas de Matemática do nosso último exemplo. Nela, cada coluna representa a disponibilidade de uma aula. As linhas S1 à S8 representam os *slots*. A linha T representa a quantidade de instâncias daquela aula que devem ser alocadas, enquanto a linha D relata a quantidade de *slots* disponíveis para cada aula. O símbolo D representa que o *slot* está disponível para a aula, ao passo que o símbolo I significa a indisponibilidade do *slot* para a aula. Como possuímos apenas duas aulas e as instâncias da aula de Matemática estão sendo alocadas, a coluna Importância exibe o somatório do cálculo da importância do referido

*slot*, através da equação 2.5 com K igual a dez, para as demais aulas, neste caso, somente a aula de Física.

Tabela 1: Tabela de disponibilidade na alocação da aula de Matemática - Cálculo da Importância

| Slot/Aulas                                                   | Aula <sub>Mat</sub> | Aula <sub>Física</sub> | $\sum$ Importância |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|------------------------|--------------------|
| <b>S1</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>1</sub>s<sub>1</sub></sub> | D                   | D                      | 0,1                |
| <b>S2</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>2</sub>s<sub>1</sub></sub> | D                   | D                      | 0,1                |
| <b>S3</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>3</sub>s<sub>1</sub></sub> | I                   | I                      | -                  |
| <b>S4</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>4</sub>s<sub>1</sub></sub> | I                   | I                      | -                  |
| <b>S5</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>5</sub>s<sub>1</sub></sub> | D                   | I                      | 0                  |
| <b>S6</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>6</sub>s<sub>1</sub></sub> | D                   | I                      | 0                  |
| <b>S7</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>7</sub>s<sub>1</sub></sub> | I                   | I                      | -                  |
| <b>S8</b> <sub>d<sub>1</sub>h<sub>8</sub>s<sub>1</sub></sub> | I                   | I                      | -                  |
| T                                                            | 2                   | 2                      |                    |
| D                                                            | 4                   | 2                      |                    |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Na tabela 1, podemos perceber que a aula de Matemática possui quatro *slots* disponíveis (com o símbolo D na primeira coluna), sendo necessário o cálculo de apenas quatro importâncias (ou interferências). Assim, o valor da importância de cada um dos quatro *slots* disponíveis são inicializados com o valor 0. Então, calcula-se e soma-se a importância de cada um desses *slots* para as demais aulas. O *slot* S1 é formado pelo dia  $d_1$ , o horário  $h_1$  e a sala  $s_1$  e também está disponível para a aula de Física. Logo, através da equação 2.5 é possível calcular a importância de S1 para a aula de Física. Analogamente, podemos calcular a importância de S2 para a aula de Física. Como não existem mais aulas a serem alocadas, a importância total de ambos os *slots* S1 e S2 corresponderá ao cálculo da importância do respectivo *slot* para a aula de Física somente. Adicionalmente, como os *slots* S5 e S6 não estão disponíveis para nenhuma outra aula, além da aula de Matemática, seus respectivos valores de importância permanecem em zero. Como mencionado anteriormente, os resultados dos cálculos de importância de cada um dos quatro *slots* disponíveis podem ser visualizados na coluna Importância da tabela supramencionada. Finalmente, a heurística construtiva de Ferreira (2015), identificará que os *slots* S5 e S6 (contendo os horários  $h_5$  e  $h_6$  respectivamente) são os de menor importância para a aula de Física e alocará as 2 aulas de Matemática em S5 e S6, como esperado.

Os experimentos apresentaram resultados com uma convergência para soluções viáveis de forma rápida e uma estabilização nas soluções em tempo razoável para a simulação do cenário da instituição, em relação as restrições consideradas pelo sistema. Dessa forma, vale destacar que Ferreira (2015) realizou um trabalho promissor voltado para o contexto da instituição estudada neste trabalho. Ele apresentou uma considerável contribuição ao implementar um sistema que contemple cursos de nível superior e técnico concomitantemente, bem como atende as restrições fortes do problema e tenta atender o máximo, que ele pode, da preferência de horários dos professores (restrição fraca).

No entanto, na prática o sistema implementado por Ferreira (2015) não considera ques-

tões específicas, como por exemplo o grande espaço entre aulas de um mesmo professor em um mesmo dia, as quais inviabilizam a utilização da grade gerada no contexto específico e real do CEFET-MG. De um modo geral, o sistema produz soluções viáveis para o problema de geração automática de grades de horários, ao atender às restrições fortes, mas inviáveis para a aplicação real ao contexto da instituição objeto de estudo, por não atender as restrições fracas impostas por tal contexto.

Diante disso, não foi encontrado na literatura um estudo completo sobre a geração automatizada de grade de horários que atenda satisfatoriamente as restrições fracas exigidas pelo problema abordado, considerando simultaneamente cursos de nível superior e técnico. Ou seja, não foi encontrado um trabalho que satisfaça as necessidades da instituição objeto de estudo, de modo que esta possa substituir seu processo manual de confecção de grades de horários.

## 3 Resultados

*“Você nunca sabe que resultados virão da sua ação.  
Mas se você não fizer nada, não existirão resultados”.*  
Mahatma Gandhi

Este capítulo apresenta os resultados obtidos através da realização do presente trabalho. Assim, ele descreve as restrições e melhorias levantadas através das entrevistas não-estruturadas com professores da instituição abordada, bem como a implementação do novo processo de geração de grades horárias e a nova versão do sistema propriamente dita. Adicionalmente, este capítulo aborda também os experimentos realizados durante o trabalho. Por fim, é realizada uma análise dos resultados obtidos.

### 3.1 Restrições e Melhorias Impostas pelo Contexto do CEFET-MG

Esta seção descreve as restrições e melhorias levantadas através das entrevistas não-estruturadas realizadas com professores da instituição abordada. Tais entrevistas permitiram, entre outras coisas, o levantamento das restrições fracas cujo o atendimento seja desejável em uma grade real, bem como a determinação de melhorias a serem realizadas no sistema como um todo.

Esse levantamento inicial de dados foi realizado totalmente voltado para o ambiente da instituição objeto de estudo, sendo fundamental para o desenvolvimento de um sistema de geração de grades horárias que se adeque as particularidades apresentadas pelo contexto do CEFET-MG.

#### 3.1.1 Restrições Levantadas

Como mencionado anteriormente, através das entrevistas foram levantadas restrições fracas cuja a não consideração afeta e piora tanto a qualidade da grade horária gerada que esta se torna impossibilitada de ser utilizada de maneira real no contexto da instituição objeto de estudo. Tais restrições são:

1. Produzir uma grade horária mais condensada (sem janelas) possível para o professor.
2. Gerar uma grade horária mais condensada (sem janelas) possível para o aluno (ou turma), tentando preservar turnos livres.
3. Gerar uma grade horária sem choques entre disciplinas de períodos adjacentes no curso superior.
4. Gerar uma grade horária com no máximo seis aulas seguidas para um determinado professor em um mesmo dia e no máximo dez aulas por dia (ainda que não sejam seguidas).

5. Gerar uma grade horária com no máximo dez aulas por dia para turmas do ensino técnico e oito aulas em um mesmo dia para turmas do ensino superior.

Adicionalmente, as entrevistas destacaram outras restrições fracas que podem aumentar, ainda mais, a qualidade dos resultados, as quais são:

1. Evitar a presença de aulas isoladas.
2. Reconhecer horários de reunião dos professores, de forma a saber que aulas não podem ser alocadas em tais horários, mas a alocação de aulas em horários adjacentes a estes é favorável.
3. Respeitar um intervalo de 50 minutos para a turma após aulas de educação física.
4. Respeitar um intervalo de 50 minutos exatamente antes ou depois do horário de almoço (12:15h às 13:00h).
5. Alocar os horários de disciplinas com sub-turmas de modo a manter as duas sub-turmas ocupadas em determinado horário para cursos do ensino técnico.
6. Balancear a grade de horários, de forma a não possuir dias com um número muito pequeno de aulas, enquanto outros dias possuem números muito grandes de aulas.
7. Respeitar o intervalo de tempo entre a noite de um dia e a manhã do dia seguinte: nenhum professor pode ter aula no último horário noturno de um dia e no primeiro horário matutino do dia seguinte.

### 3.1.2 Melhorias do Sistema

Nas entrevistas também foram definidas melhorias a serem realizadas no atual sistema de geração de horários do CEFET-MG Campus Timóteo. Estas melhorias são muito importantes para a aplicação do programa no contexto real da instituição. Elas têm como objetivo o aumento da usabilidade do sistema, fazendo com que ele possa ser operado por qualquer elaborador de horários sem a necessidade da interferência do desenvolvedor do software. Tais melhorias (ver apêndice A) podem ser resumidas em:

1. Implementar uma função que permita fixar o horário, dando possibilidade ao operador de liberar algumas aulas/disciplinas a fim de refazer o horário, preservando o que está fixado;
2. Desenvolver uma função de construção manual do horário, onde o operador poderá fazer pequenas mudanças no horário, sem precisar usar a função gerar horário;
3. Gerar um relatório de erros, caso o programa não consiga alocar todos os blocos de aulas. O relatório deve relatar todas as aulas que não foram alocadas, indicando o professor, a turma e a disciplina de cada uma delas;

4. Desenvolver uma interface de configuração, onde o usuário elaborador de horários possa alterar as principais variáveis de configuração do sistema, como por exemplo, os pesos das características estudadas, o tamanho da população do AG, a quantidade de gerações, etc;
5. Criar a possibilidade de realização do salvamento de grades horárias, para que seja possível realizar testes e gerar novas grades sem perder as grades salvas. É desejável que seja possível salvar pelo menos três grades;
6. Implementar a exportação da grade de horários gerada para um arquivo que possa ser utilizado externamente ao sistema;
7. Melhorar o cadastramento de professores, permitindo também um cadastramento de um usuário para cada professor através de uma interface gráfica, realizando a ligação entre o professor e as credenciais (usuário e senha) e liberando acesso ao sistema de forma automática;
8. Ampliar o sistema de controle de disponibilidade dos professores, permitindo à estes o cadastramento de seus horários de reuniões. Assim, o sistema deve entender que os horários de reuniões não devem ser utilizados, mas é desejável a utilização de horários adjacentes a eles, uma vez que os professores já se encontram na instituição para as reuniões.

### 3.2 Geradores de Grade Horária: Algoritmo Genético e Heurísticas

Esta seção descreve a implementação do algoritmo genético (AG) e da heurística de melhoramento desenvolvidos neste trabalho, bem como a nova equação proposta para o cálculo da importância de um horário para as aulas, o qual é realizado pela heurística construtiva. Eles constituem o ponto central do novo processo de geração de grades horárias e da adaptação do trabalho de Ferreira (2015).

O processo de adaptação do sistema desenvolvido por Ferreira (2015) consiste de uma combinação entre ideias encontradas na literatura, novas ideias propostas pelo autor e ideias provenientes das entrevistas não-estruturadas realizadas com os funcionários da instituição. Dessarte, tal processo traduz-se basicamente na modificação do algoritmo genético e da equação da heurística construtiva propostos por Ferreira (2015) e na implementação de uma heurística de melhoramento para ser utilizada juntamente ao AG modificado. Mais especificamente, a adaptação inclui:

#### • Algoritmo Genético

1. Criação de novos operadores genéticos de mutação que considerem as características das novas restrições.
2. Modificação da função objetivo para que esta calcule o nível de adaptação dos indivíduos através de um sistema de qualificação de grades de horários que avalie as novas restrições proposta neste trabalho.

- **Heurística Construtiva**

1. Realização da adaptação da equação responsável pelo cálculo da importância de um conjunto dia, horário e sala para uma aula. A nova equação busca melhorar a performance da heurística construtiva no processo de alocação de horários.

- **Heurística de Melhoria**

1. Desenvolvimento de uma heurística de melhoria que busca otimizar a grade horária gerada, ou, pelo menos, aumentar sua garantia de qualidade, através de pequenas transformações de forma a alcançar um maior nível de atendimento das novas restrições fracas.

### 3.2.1 Implementação do Algoritmo Genético

Esta seção descreve a implementação do algoritmo genético (AG) desenvolvido nesse trabalho. O AG proposto inclui novos operadores de mutação e uma nova função objetivo, composta por um sistema de qualificação de grades horárias, que busca atender para as restrições levantadas nas entrevistas. A representação do indivíduo utilizada neste projeto (figura 10) é a mesma utilizada por Ferreira (2015).

### 3.2.2 Operadores Genéticos

Foram criados dois novos operadores genéticos de mutação com o objetivo de intensificar a exploração do espaço de busca e melhorar a performance do algoritmo genético em relação as novas restrições abordadas. Esses operadores otimizam os resultados através da geração de indivíduos (soluções) mais adaptados ao atendimento das restrições fracas levantadas, especialmente das janelas das turmas e professores.

O primeiro operador de mutação avalia a grade horária das turmas quanto a penalização referente às janelas presentes. Então, este operador genético seleciona a turma com a maior penalização pelas janelas em sua grade de horários. Logo após, um novo indivíduo é gerado através de uma clonagem do indivíduo que está sendo submetido ao operador de mutação. Neste novo indivíduo mutante, cada aula da mencionada turma é movida duas posições para frente na ordem de alocação das aulas, de modo a serem alocadas mais cedo (figura 11). Assim, a cada geração, o presente operador gera um indivíduo que aloca mais cedo as aulas da turma que mais possui janelas em sua grade horária, oferecendo a essas aulas uma gama maior de horário possíveis a serem utilizados na alocação, bem como a possibilidade de uma alocação de horários com menos janelas (ou janelas menores) para a turma selecionada.

Analogamente, o segundo operador de mutação gera um indivíduo que aloca previamente as aulas do professor que possui a maior penalização pelas janelas em seu horário. Vale ressaltar que, tanto para turmas quanto para professores, no caso de uma aula já ocupar a segunda posição de alocação ela será movida somente uma casa para frente, se tornando a primeira aula a ser alocada, bem como se a aula já for a primeira, ela simplesmente permanecerá em sua posição.

Figura 11: Operador de mutação proposto



*Operador genético de mutação proposto. A aula 2 representa uma aula da turma ou do professor com a maior penalização em janelas e é movida duas posições para frente.*

Fonte: elaborada pelo autor

### 3.2.3 Função Objetivo

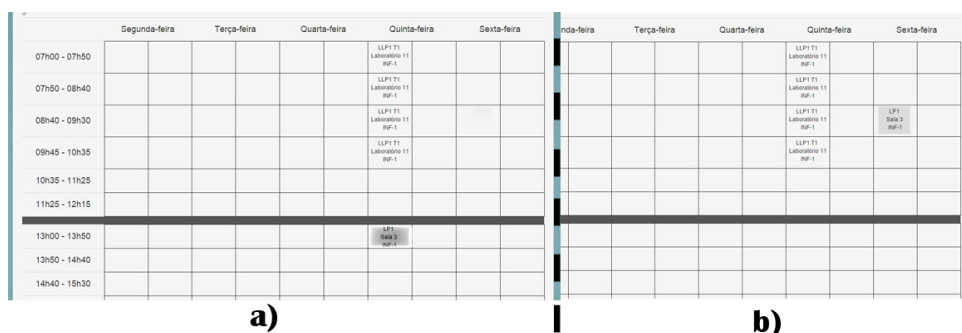
No corrente projeto a função objetivo apresentada por Ferreira (2015), descrita na seção 2.2, é ampliada de forma a considerar as novas restrições fracas. Como veremos adiante, tal ampliação resultou em um sistema de qualificação configurável pelo usuário que permite ao AG atribuir valores negativos ao *fitness* dos indivíduos. Assim, no AG proposto, o melhor indivíduo não necessariamente é aquele com *fitness* igual a zero, mas sim o indivíduo com o menor *fitness* encontrado. Isto é, quanto menor o valor calculado pela função objetivo, maior a adaptação do indivíduo.

Inicialmente, levantou-se a ideia de se penalizar as janelas das turmas e dos professores. Então, foram implementadas funções que detectam janelas, tanto das turmas quanto dos professores, e seus tamanhos (quantidade de horários seguidos que formam as janelas). Dessa forma, cada janela é avaliada de acordo com seu tamanho, sendo que essa avaliação retorna uma quantidade de pontos que é adicionada ao *fitness* do indivíduo como forma de penalização.

No entanto, tal prática de penalizar janelas acabou por gerar muitas aulas isoladas, uma vez que aulas isoladas não formam janelas. Por exemplo, como podemos ver na figura 12, que mostra o horário ilustrativo de um professor do curso técnico de informática, a aula de LP1 que outrora estava alocada no horário de 13:00h às 13:50h da quinta-feira formando uma janela de tamanho dois (2) foi transladada para o horário de 8:40h às 9:30h na sexta-feira. Tal mudança eliminou a janela, mas criou um horário isolado na sexta-feira. Muitas vezes é mais interessante para o professor esperar 2:30h de horários vagos em um dia do que ter que retornar à instituição no dia seguinte para lecionar apenas uma aula de 50 minutos.

Logo, foi estudada então a ideia de não apenas penalizar características ruins, mas também bonificar características boas encontradas nas grades de horários. Desse modo, procurando-se combater o surgimento de tantos horários isolados, foi desenvolvido um método de bonificação de blocos de horários seguidos para professores e turmas. É como se estivessemos dizendo ao algoritmo genético que janelas são ruins, mas blocos de horários seguidos são bons e, conseqüentemente, aulas isoladas também são ruins. Assim, o AG passou a avaliar os horários de turmas e professores quanto a quantidade e o tamanho dos blocos de

Figura 12: Horário isolado



A penalização das janelas acabou gerando muitos horários isolados. Um exemplo típico é apresentado nesta figura, onde um único horário foi deslocado de um dia para o outro a fim de desfazer uma janela de tamanho 2.

Fonte: elaborada pelo autor

horários seguidos, sendo que quanto maior a quantidade de horários seguidos em um dia, melhor seria a grade horária. O valor retornado pelo método de avaliação de blocos de horários era subtraído do *fitness* do indivíduo como forma de bonificação.

O método de bonificação de blocos de horários também acabou gerando problemas. Primeiro, tal método fez com que as grades de horários ficassem repletas de blocos de horários muito grandes. Por exemplo, na figura 13, que mostra o horário de um professor do curso de Engenharia de Computação, é possível observar que foi alocado um bloco com dez (10) horários seguidos para o professor na sexta-feira. Observou-se então a necessidade de uma limitação no tamanho do bloco que seria bonificado, limite esse definido através das entrevistas. Em segundo lugar, o método gerou a alocação seguida de muitas aulas da mesma disciplina no mesmo dia, o que torna a grade bastante cansativa tanto para professores quanto para turmas.

Para solucionar o problema supramencionado, foi estudada a ideia de se penalizar grandes números de aulas da mesma disciplina no mesmo dia. Dessa forma, buscava-se manter os blocos de horários seguidos, mas compostos por aulas diferentes. Como as aulas normalmente são alocadas em blocos de duas aulas seguidas, a penalização ocorre por blocos de aulas alocados no mesmo dia.

Outro problema identificado através das entrevistas foi o fato de as aulas estarem sendo alocadas em parte de um turno e em parte de outro turno ao invés de ocupar somente um turno. Por exemplo, como podemos observar na figura 14, as aulas de CALC1 ocupam uma parte do turno matutino, enquanto as aulas de GAAV ocupam dois horários do turno vespertino. O desejável seria um horário como o da sexta-feira, da mesma figura, ocupando somente um turno, isto é, seria desejável que as aulas de GAAV fossem trazidas para o turno matutino ou as aulas de CALC1 fossem alocadas no turno vespertino. Como forma de evitar o acontecimento desse problema foi desenvolvido um método de bonificação de turnos livres. Dessa forma as grades de horários que apresentam turnos livres são melhores avaliadas pela

Figura 13: Blocos de horários excessivamente grandes

|               | Segunda-feira           | Terça-feira | Quarta-feira            | Quinta-feira | Sexta-feira                      |
|---------------|-------------------------|-------------|-------------------------|--------------|----------------------------------|
| 07h00 - 07h50 |                         |             |                         |              |                                  |
| 07h50 - 08h40 |                         |             |                         |              |                                  |
| 08h40 - 09h30 |                         |             | CSD<br>Sala 108<br>EC-6 |              | CSD<br>Sala 108<br>EC-6          |
| 09h45 - 10h35 |                         |             | CSD<br>Sala 108<br>EC-6 |              | CSD<br>Sala 108<br>EC-6          |
| 10h35 - 11h25 |                         |             |                         |              | IAE<br>Sala 113<br>EC-8          |
| 11h25 - 12h15 |                         |             |                         |              | IAE<br>Sala 113<br>EC-8          |
| 13h00 - 13h50 |                         |             |                         |              | LCSD<br>Sala 114<br>EC-6         |
| 13h50 - 14h40 |                         |             |                         |              | LCSD<br>Sala 114<br>EC-6         |
| 14h40 - 15h30 |                         |             |                         |              | IACP<br>Laboratório 11<br>INF-3  |
| 15h45 - 16h35 |                         |             |                         |              | IACP<br>Laboratório 11<br>INF-3  |
| 16h35 - 17h25 | CSD<br>Sala 108<br>EC-6 |             |                         |              | LIACP<br>Laboratório 11<br>INF-3 |
| 17h25 - 18h15 | CSD<br>Sala 108<br>EC-6 |             |                         |              | LIACP<br>Laboratório 11<br>INF-3 |
| 18h20 - 19h10 |                         |             |                         |              |                                  |

*A bonificação de blocos de horários seguidos acabou gerando vários blocos de horários excessivamente grandes.*

Fonte: elaborada pelo autor

função objetivo.

Entretanto, posteriormente foi analisado que situações semelhantes às apresentadas na figura 14 com as aulas de CALC1 e GAAV eram favoráveis à instituição. Era como se fosse criado um novo turno, iniciando-se no fim do turno matutino e encerrando-se no início do turno vespertino. Dessa forma, o método de bonificação de turnos livres foi ampliado, de modo a bonificar também os horários livres presentes no início do turno matutino e no fim do turno vespertino. Assim, o método define o tamanho da bonificação de acordo com a quantidade de horários livres, sendo que esta contagem é realizada no turno matutino a partir do primeiro horário em ordem crescente, enquanto que no turno vespertino inicia-se do último horário do turno em ordem decrescente. O turno totalmente livre recebe bonificação máxima.

Por exemplo, ainda na figura 14, considerando que os turnos matutino e vespertino são formados por seis horários, o método supradito identificaria o turno matutino de quinta-feira como um turno de tamanho 4. Já o turno vespertino, do mesmo dia, seria avaliado como um turno de tamanho 3 quanto aos horários livres. Neste caso, turnos como o matutino de quarta-feira ou o vespertino de sexta-feira seriam avaliados como turnos de tamanho 6 e receberiam bonificações máximas.

Finalmente, após a implementação de métodos de bonificação e penalização de fatores relacionados as restrições, observou-se a necessidade de uma quantificação da importân-



### 3.2.4 Sistema de Qualificação

O sistema de qualificação de grades de horários desenvolvido neste trabalho é implementado junto à função objetivo do AG com o intuito de permitir a ele qualificar mais eficientemente as soluções encontradas com base em valores predefinidos pelos usuários do software. Tal sistema de qualificação está baseado em cinco conceitos fundamentais, os quais são: **tamanhos, máximos, níveis, pontos e pesos**.

Em primeiro lugar, o **tamanho** de uma característica está diretamente relacionado a quantidade de horários envolvidos em tal instância da característica. Assim, o tamanho de uma janela (tanto de professores quanto de turmas) corresponde à quantidade de horários vagos dentro de tal janela. O tamanho de um bloco corresponde à quantidade de horários que compõem o bloco. O tamanho da característica de blocos aulas da disciplina no mesmo dia é representando pela quantidade de tal blocos. Já o tamanho de um turno livre representa o número de horários livres no início ou fim do respectivo turno, de acordo com o funcionamento descrito na seção anterior. O cálculo do tamanho da característica é feito pela contagem simples dos horários (ou blocos de horários, no caso de aulas no mesmo dia) envolvidos, de acordo com a característica.

O **máximo** de uma característica é o valor de tamanho que resultará na qualificação máxima para a característica. No caso de uma característica de bonificação, o máximo representa o tamanho ideal para a característica, resultando na bonificação máxima permitida pelo sistema. Já em uma característica de penalização, tal conceito simboliza a pior situação aceitável da característica, levando-a a penalização máxima. O valor máximo de cada característica é determinado pelo usuário através da tela de configurações do sistema (Apêndice A).

Os **níveis** representam quão próximos do valor ideal (máximo) estão os valores de tamanho encontrados na avaliação dos indivíduos para cada característica examinada. Esse conceito se baseia em um importante fator levantado nas entrevistas: o fato de que os máximos desejáveis (ou permitidos) de cada característica são variáveis. Por exemplo, no caso da bonificação para blocos de horários seguidos, observou-se que um bloco de seis horários seguidos para os professores é o ideal, enquanto que para as turmas o melhor seria grades com blocos de dez horários seguidos. Dessa forma, um bloco de seis horários para um professor não deve ser bonificado da mesma forma que um bloco de seis horários para uma turma. Como o bloco de tamanho seis é o valor ótimo para o professor, ele deve ser bonificado como tal, enquanto o bloco de seis horários para a turma deve receber uma bonificação menor, ao passo que o valor ideal seria um bloco de tamanho dez. Assim o valor de tamanho avaliado para cada característica encontrada gera uma penalização ou bonificação de acordo com o seu nível de importância em relação ao valor máximo para aquela característica.

O cálculo do nível é demonstrado na equação 3.1. Ela é o meio utilizado pelo sistema para categorizar as grades, mapeando um valor numérico (tamanho) em uma classificação (nível). Esta equação foi elaborada pelo autor buscando-se definir uma classificação baseada em uma relação padronizada entre o tamanho e o máximo das características. Inicialmente, o método de detecção de uma característica estudada, identifica tal característica na grade

e determina o seu tamanho (tamanho da janela, tamanho do bloco, quantidade de blocos de aulas da mesma disciplina no dia ou quantidade de horários livres em um turno). Tal tamanho é dividido pelo valor máximo (*max*) da característica. O valor desta divisão será sempre um número entre 0 e 1 (quando maior do que um, é substituído pelo valor um). Desse modo, o valor supradito é multiplicado por 10 (equação 3.1) resultando sempre em um nível entre 0 e 10 (11 níveis possíveis de classificação).

$$Nível = \left( \frac{tamanho}{max} \right) \times 10; \quad (3.1)$$

A título de exemplo, considerando a situação anterior, um bloco de tamanho seis para a turma seria classificado como nível 6, enquanto para um professor seria um bloco de nível 10. Como é possível ver a seguir, cada nível está relacionado a uma quantidade padronizada de qualificação, sendo que quanto maior o nível, maior a penalização ou bonificação.

Os **pontos** são basicamente os valores que determinarão quanto será acrescentado (penalização) ou subtraído (bonificação) do *fitness* do indivíduo. Como mencionado na seção 2.2, no trabalho de Ferreira (2015), a violação de uma restrição forte tem um valor de penalização igual a dez mil (10000) pontos. No presente projeto, com base no fato mencionado, definiu-se que o máximo de penalização, por dia, da violação de uma restrição fraca seria em torno da metade de uma penalização para restrições fortes. Assim, a violação total de uma restrição fraca resultaria em uma penalização em torno de cinco mil (5000) pontos. Por exemplo, uma grade de horários que em um determinado dia da semana apresentasse a grade de um professor somente com uma aula no primeiro horário do dia (7:00h às 7:50h) e outra no último horário do dia (21:50h às 22:40h) apresentaria uma janela com o tamanho máximo. A penalização para esse dia, nesse caso, seria em torno de cinco mil pontos. Analogamente, as bonificações seguem o mesmo padrão e retornam um valor de bonificação máximo próximo ao valor de cinco mil pontos. Ainda, o usuário pode aumentar ou reduzir indiretamente, dentro do intervalo entre 0 e 10000, este valor máximo de qualificação de cada característica através da definição dos pesos.

Desse modo, como existem 11 níveis possíveis para serem qualificados, foi estudada a escolha de uma função com crescimento exponencial que receba valores entre 0 e 10 e retorne números entre 0 e 5000. O fato da função ser exponencial faz com que os níveis mais altos sejam qualificados de forma muito mais severa que os níveis mais baixos, fazendo com que o AG reconheça que uma janela nível 10, por exemplo, é muito mais do que 10 vezes pior que uma janela nível 1.

Diante disso, após a análise de algumas equações exponenciais, definiu-se a função 3.2 como a responsável pelo cálculo dos pontos de qualificação. Tal função foi escolhida por apresentar uma adequada distribuição de valores entre 0 e 5000 ao receber valores entre 0 e 10. Na tabela 2 é possível verificar a distribuição de valores da função 3.2 através da pontuação para cada um dos onze níveis. Ainda, podemos observar que os pontos de qualificação são diretamente dependentes do nível (equação 3.1) da característica encontrada, bem como é possível perceber como o crescimento exponencial faz com que o AG qualifique os níveis

Tabela 2: Valores possíveis de pontuação

| Nível | Pontos |
|-------|--------|
| 0     | 0      |
| 1     | 2      |
| 2     | 8      |
| 3     | 24     |
| 4     | 64     |
| 5     | 160    |
| 6     | 384    |
| 7     | 896    |
| 8     | 2048   |
| 9     | 4608   |
| 10    | 5000   |

Fonte: Elaborada pelo autor.

maiores com valores muito maiores.

$$Pontos = \begin{cases} 2^{Nível} \times Nível, & \text{se } 0 \leq Nível < 10 \\ 5000, & \text{se } Nível \geq 10 \end{cases} \quad (3.2)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Finalmente, os **pesos** são valores, predefinidos e configuráveis pelos usuários dos sistema (assim como os máximos), que determinam o grau de importância de cada característica relacionada às restrições fracas. Eles ajustam a quantidade de pontos que será de fato acrescentada ou subtraída ao *fitness* do indivíduo.

Dessa forma, ao definirmos, por exemplo, que o peso de penalização das janelas das turmas é de 0.9 (ou 90%), enquanto o peso das janelas dos professores é de 0.45 (ou 45%), estamos dizendo ao algoritmo que presenças de janelas nas grades das turmas devem ser mais penalizadas do que a presença de janelas nas grades dos professores. Nesse caso, ao se encontrar uma janela de nível 6 na grade de uma turma devemos penalizar aquela grade com um valor que seja o dobro do valor de penalização pela detecção de uma janela de nível 6 na grade de um professor. É como se disséssemos para o AG que janelas nas grades dos professores são ruins, mas janelas na grade das turmas são duas vezes pior. Ou ainda, é como se definíssemos que é desejável que 90% das janelas das turmas sejam eliminadas, enquanto a eliminação de 45% das janelas dos professores é suficiente. Assim, o algoritmo seria levado a priorizar a eliminação de janelas nas grades horárias das turmas.

Como os pesos são predeterminados pelos usuários (elaboradores de horários), eles são apenas utilizados pelo sistema. Assim, antes dos pontos calculados pela função 3.2 serem somados ou subtraídos ao *fitness* do indivíduo, eles são multiplicados pelo respectivo peso da característica avaliada resultando no valor final de qualificação da característica encontrada (3.3). O valor de qualificação de cada característica encontrada é somado, no caso de uma

penalização, ou subtraído, no caso de uma bonificação, ao *fitness* do indivíduo.

$$\text{Valor de Qualificação}_{ci} = \text{pontos}_{ci} * \text{peso}_{ci}; \quad (3.3)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Assim, o cálculo do grau de adaptação de uma grade horária se torna um processo padronizado e bem definido. O *fitness* do indivíduo inicia-se com o valor zero (0) e recebe a soma das penalizações básicas propostas por Ferreira (2015), como podemos ver de maneira sucinta na equação 3.4.

$$\text{Fitness} = \text{PenalizaçãoRestriçãoForte} + \text{PenalizaçãoPreferênciaNãoAtendida}; \quad (3.4)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Logo após, o valor de *fitness* calculado até agora (*fitness* anterior) é somado ao valor de qualificação de cada característica de penalização encontrada gerando um novo valor de *fitness*, como é representado de forma na equação 3.5.

$$\text{Fitness} = \text{Fitness}_{anterior} + \sum_{i=0}^{\text{numCPen}} \text{pontos}_{pi} * \text{peso}_{pi}; \quad (3.5)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Então, o valor de qualificação de cada característica de bonificação encontrada é subtraído do *fitness* atual do indivíduo. De uma forma mais geral, podemos considerar que o somatório das qualificações de todas as características de bonificação é subtraído do corrente *fitness* da grade horária (equação 3.6).

$$\text{Fitness} = \text{Fitness}_{anterior} - \sum_{i=0}^{\text{numCBonif}} \text{pontos}_{bi} * \text{peso}_{bi}; \quad (3.6)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Por fim, reunindo todo o processo mencionado acima, a equação do *fitness* do indivíduo pode ser representada, de uma forma geral, pelo equação 3.7, onde a variável *Fitness<sub>ant</sub>* se refere ao *fitness* calculado pela equação 3.4, como proposto inicialmente por Ferreira (2015), o primeiro somatório representa o valor de qualificação de todas as penalizações e o segundo somatório o valor de qualificação de todas as bonificações.

$$\text{Fitness} = \text{Fitness}_{ant} + \sum_{i=0}^{\text{numCPen}} \text{pontos}_{pi} * \text{peso}_{pi} - \sum_{i=0}^{\text{numCBonif}} \text{pontos}_{bi} * \text{peso}_{bi}; \quad (3.7)$$

Fonte: Elaborada pelo autor

Diante disso, temos uma expansão no processo de qualificação do AG, buscando-se uma maior precisão em tal processo. Agora, o AG não se resume mais a simplesmente dizer se uma restrição foi violada ou não, mas também a definir o grau de violação. Assim, não é suficiente, por exemplo, determinar se foi encontrada uma janela na grade, mas é preciso também identificar qual o tamanho e o nível de tal janela. É como se fossem criados estados intermediários entre ter uma janela e não ter uma janela, sendo possível identificar se a janela é, por exemplo, uma janelinha, uma janela, um janelão, uma super janela, etc.

### 3.2.5 Novo Cálculo de Importância na Heurística Construtiva

O presente trabalho propõem também uma modificação da equação utilizada pela heurística construtiva no cálculo da importância de um *slot* para uma aula. Primeiramente, como descrito na seção 2.2, Ferreira (2015) define um *slot* como o conjunto formado por um dia da semana, um horário e uma sala. A heurística construtiva proposta por Ferreira (2015) escolhe o *slot* onde será alocada cada aula por meio do cálculo da importância, para as demais aulas, de cada *slot* possível. Para calcular a importância de um *slot* para uma aula ele utiliza a equação 2.5, a qual é exponencial e tem como variável o número de *slots* disponíveis para determinada aula. Esta equação apresenta bons resultados, mas é muito suscetível à provocar alocações inadequadas.

Considere, por exemplo, a tabela 3. Esta tabela representa a estrutura de dados utilizada por Ferreira (2015) para realizar o cálculo da importância de cada *slot*, como descrito na seção 2.2. Nela, cada coluna representa a disponibilidade de uma aula. As linhas S1 à S9 representam os *slots* (um dia da semana, um horário e uma sala). A linha T representa a quantidade de instâncias daquela aula que devem ser alocadas, enquanto a linha D relata a quantidade de *slots* disponíveis para cada aula. O símbolo D representa que o *slot* está disponível para a aula, ao passo que o símbolo I significa a indisponibilidade do *slot* para a aula.

Tabela 3: Tabela de disponibilidade das aulas

| Slot/Aulas                  | Aula1 | Aula2 | Aula3 |
|-----------------------------|-------|-------|-------|
| <b>S1</b> <sub>d1h1s1</sub> | D     | D     | D     |
| <b>S2</b> <sub>d1h2s1</sub> | D     | D     | I     |
| <b>S3</b> <sub>d1h3s1</sub> | D     | D     | I     |
| <b>S4</b> <sub>d1h4s1</sub> | D     | D     | I     |
| <b>S5</b> <sub>d1h5s1</sub> | D     | D     | I     |
| <b>S6</b> <sub>d1h6s1</sub> | D     | D     | I     |
| <b>S7</b> <sub>d1h7s1</sub> | D     | I     | D     |
| <b>S8</b> <sub>d1h8s1</sub> | D     | I     | D     |
| <b>S9</b> <sub>d1h9s1</sub> | I     | I     | D     |
| T                           | 2     | 6     | 1     |
| D                           | 8     | 6     | 4     |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Imaginemos agora que a precisamos alocar as duas instâncias da Aula1. Pela heurística construtiva de Ferreira (2015), como as aulas Aula2 e Aula3 também possuem disponibilidade no *slot* S1, a importância de tal *slot* será a soma da importância de S1 para a Aula2 (0,00001) com a importância de S1 para a Aula3 (0,001), ambas calculadas através da equação 2.5, com K igual a dez (10). Como o *slot* S3 está disponível somente para a Aula2, além da aula em análise, a importância desse *slot* corresponde apenas a própria importância de S3 para a Aula2. Como o *slot* S9 não está disponível para a aula que está sendo alocada, ele é desconsiderado nos cálculos. Assim, calculando a importância de cada um dos oito *slots* disponíveis para a Aula1, chegamos aos resultados expostos na tabela 4.

Tabela 4: Alocação das instâncias da Aula1 - Importância

| Slot/Aulas                  | Aula1 | Aula2 | Aula3 | $\Sigma$ Importância |
|-----------------------------|-------|-------|-------|----------------------|
| <b>S1</b> <sub>d1h1s1</sub> | D     | D     | D     | 0,00101              |
| <b>S2</b> <sub>d1h2s1</sub> | D     | D     | I     | 0,00001              |
| <b>S3</b> <sub>d1h3s1</sub> | D     | D     | I     | 0,00001              |
| <b>S4</b> <sub>d1h4s1</sub> | D     | D     | I     | 0,00001              |
| <b>S5</b> <sub>d1h5s1</sub> | D     | D     | I     | 0,00001              |
| <b>S6</b> <sub>d1h6s1</sub> | D     | D     | I     | 0,00001              |
| <b>S7</b> <sub>d1h7s1</sub> | D     | I     | D     | 0,001                |
| <b>S8</b> <sub>d1h8s1</sub> | D     | I     | D     | 0,001                |
| <b>S9</b> <sub>d1h9s1</sub> | I     | I     | D     | -                    |
| T                           | 2     | 6     | 1     |                      |
| D                           | 8     | 6     | 4     |                      |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Através da tabela 4 podemos observar que a heurística desenvolvida por Ferreira (2015) iria selecionar dois dentre os *slots* S2, S3, S4, S5 e S6 por apresentarem a menor importância para as demais aulas. A alocação das instâncias da Aula1 em qualquer um dos *slots* supramencionados tornará os *slots* escolhidos indisponíveis para as demais disciplinas. Assim, como a Aula2 necessita alocar 6 instâncias de aula e só possui 6 *slots* disponíveis, a escolha de qualquer *slot* dentre os de menor importância fará com que a Aula2 tenha mais instâncias para alocar do que *slots* disponíveis. Isto é, a alocação de instâncias da Aula1 em um dos *slots* S2, S3, S4, S5 ou S6 levará a Aula2 a não conseguir alocar todas as suas instâncias de aula.

Dessa forma, podemos perceber claramente que a melhor opção de alocação para as duas instâncias da Aula1 seriam os *slots* S7 e S8, uma vez que tal alocação não impediria as demais aulas de alocarem todas as suas instâncias de aulas. A heurística construtiva proposta por Ferreira (2015) não consegue perceber essa situação, pois ela considera somente o número de *slots* disponíveis para cada aula, desprezando a quantidade de instâncias de aula que cada uma delas necessita alocar, informação que é importantíssima para o processo de alocação de aulas.

Assim, este trabalho propõe a equação 3.8 para o cálculo da importância de um *slot* para uma aula. Ela se trata de uma alteração da equação 2.5 proposta por Ferreira (2015), de forma a considerar também o número de instâncias que cada aula precisa alocar. Assim,

sugerimos a utilização da divisão entre o número de *slots* disponíveis e o número de instâncias que precisam ser alocadas, ao invés do uso somente do primeiro como variável da equação.

$$I(S, A) = K^{-\left(\frac{D_A}{T_A} - 1\right)} \quad (3.8)$$

Onde:

- $I(S,A)$ : é a importância do *slot* S para a aula A.
- K: é uma constante, base exponencial definida parametricamente.
- $D_A$ : é o número de *slots* disponíveis para a aula A.
- $T_A$ : é o número de instâncias de aula que a aula A precisa alocar.

Através da utilização da equação 3.8, ao invés da equação 2.5, é possível calcular os valores de importância dos *slots* expostos na tabela 5. Como no trabalho de Ferreira (2015), foi utilizada a constante K com valor igual a dez (10). Na tabela mencionada, podemos observar que a nova equação permite à heurística identificar que os *slots* S2, S3, S4, S5 e S6 são fundamentais para a Aula2, fazendo com que ela escolha os *slots* S7 e S8 para a alocação das instâncias da Aula1. Assim, através da modificação proposta procuramos melhorar a capacidade de alocação da heurística construtiva, de forma a contribuir para a construção de grades horárias de maior qualidade.

Tabela 5: Alocação das instâncias da Aula1 - Novo cálculo de Importância

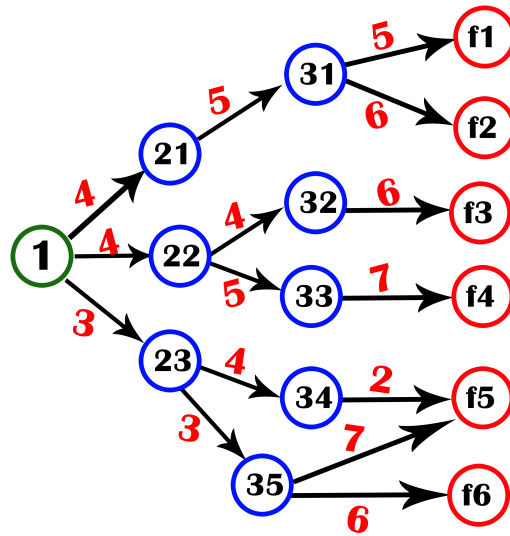
| Slot/Aulas                  | Aula1 | Aula2 | Aula3 | $\sum$ Importância |
|-----------------------------|-------|-------|-------|--------------------|
| <b>S1</b> <sub>d1h1s1</sub> | D     | D     | D     | 1,001              |
| <b>S2</b> <sub>d1h2s1</sub> | D     | D     | I     | 1                  |
| <b>S3</b> <sub>d1h3s1</sub> | D     | D     | I     | 1                  |
| <b>S4</b> <sub>d1h4s1</sub> | D     | D     | I     | 1                  |
| <b>S5</b> <sub>d1h5s1</sub> | D     | D     | I     | 1                  |
| <b>S6</b> <sub>d1h6s1</sub> | D     | D     | I     | 1                  |
| <b>S7</b> <sub>d1h7s1</sub> | D     | I     | D     | 0,001              |
| <b>S8</b> <sub>d1h8s1</sub> | D     | I     | D     | 0,001              |
| <b>S9</b> <sub>d1h9s1</sub> | I     | I     | D     | -                  |
| T                           | 2     | 6     | 1     |                    |
| D                           | 8     | 6     | 4     |                    |

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.2.6 Heurística de melhoramento

Como toda heurística, a heurística construtiva proposta por Ferreira (2015), ainda com a modificação deste trabalho, não garante que o resultado alcançado seja ótimo, uma vez que heurísticas são estimativas e não analisam todas as opções possíveis. Dessa forma, como parte final da técnica proposta, foi desenvolvida uma heurística de melhoramento, ou busca

Figura 15: Grafo - representação da montagem de grade horária



*Grafo representando o processo de montagem de uma grade horária. Nó inicial em verde representa a grade vazia, nós intermediários em azul simbolizam a grade parcialmente montada e os nós finais em vermelho representam a grade totalmente montada. As arestas representam alocações e seus respectivos pesos simbolizam os valores de interferência de cada alocação.*

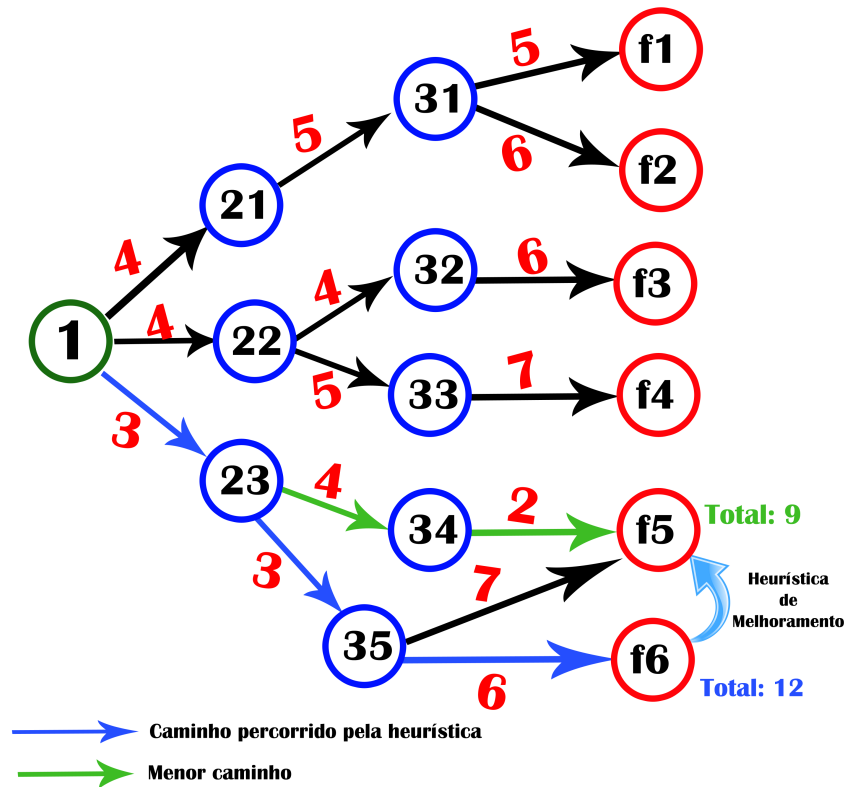
Fonte: elaborada pelo autor

local, procurando-se aumentar a garantia de que o indivíduo encontrado ao final da execução do AG é o melhor indivíduo, ou o mais próximo da solução ótima, em determinada região.

Para facilitar o entendimento, podemos representar a montagem de uma grade horária como um problema de encontrar o menor caminho em um grafo (figura 15). Nesse caso podemos considerar que o nó inicial (em verde) representa a grade de horários vazia, cada nó intermediário (em azul) representa a grade parcialmente disposta e os nós finais (em vermelho) representam grades horárias totalmente preenchidas. Cada aresta simboliza a alocação de um bloco de aulas em um bloco de horários, blocos esses que também podem possuir tamanho um. Assim, todos os nós com distância de uma aresta do nó inicial possuem um bloco de aulas alocado, os nós com distância dois possuem dois blocos alocados e assim por diante. Para finalizar nossa representação, o peso de cada aresta representa a interferência da realização da alocação simbolizada pela referida aresta para os demais blocos de aulas que serão alocados.

Nessa representação, a heurística proposta por Ferreira (2015), descrita na seção 2.2, funcionaria como um algoritmo de *Dijkstra* simplificado que em cada nó calcula o peso de cada uma das arestas possíveis e seleciona o menor peso para percorrer, porém não salvando nenhuma informação sobre os nós ou pesos de arestas já percorridos. Escolher sempre a aresta com menor peso é uma boa estimativa para se encontrar o menor caminho, mas como toda estimativa nem sempre resulta no menor de todos os caminhos (solução ótima).

Figura 16: Heurística de melhoramento



O caminho percorrido pela heurística de menor interferência é destacado em azul (com total igual à 12), enquanto o menor caminho é destacado em verde (com total igual à 9). A heurística de melhoramento busca, através de pequenas modificações na grade encontrada, visitar grades vizinhas e confirmar se a grade inicialmente elaborada é realmente a melhor na região de seus vizinhos mais próximos.

Fonte: elaborada pelo autor

Por exemplo, considerando o grafo representado na figura 15, a figura 16 nos mostra que o método heurístico que considera sempre o menor peso (ou a menor interferência) percorreria o caminho em azul, alcançando no final uma grade com um custo (ou penalização) total de 12 pontos. Na mesma figura podemos perceber que o menor caminho (solução ótima), em verde, seria conseguido escolhendo-se o nó 23 a segunda menor interferência.

Com podemos ver na figura 16, através de pequenas mudanças a heurística de melhoramento proposta por este trabalho procura visitar grades vizinhas da grade encontrada pelo AG garantindo que a solução encontrada seja realmente a melhor daquela região ou, em caso contrário, identificando um melhor vizinho para substituir a grade encontrada.

Por fim, quanto à heurística de melhoramento, este trabalho apresenta um foco maior na apresentação da ideia da utilização de tal heurística junto ao AG no processo de geração de grades horárias do que na implementação da heurística propriamente dita. Assim, o presente projeto optou pelo desenvolvimento de uma heurística de melhoramento simples que analisa somente as janelas dos professores. Inicialmente, a heurística proposta determina se existem

horários disponíveis dentre os horários que compõem as janelas dos professores. Então, é realizada uma tentativa de mudar o horário de um bloco de aulas alocado fora da janela, de forma a alocá-lo nos horários disponíveis dentro da janela, reduzindo, ou talvez eliminando, tal janela. Com isso espera-se encontrar um indivíduo com uma penalização reduzida quanto as janelas dos professores (melhor *fitness*), ou comprovar que o indivíduo, inicialmente encontrado, é melhor do que um de seus vizinhos mais próximos, já que as mudanças o distanciaram da solução ideal.

### 3.3 PHI 2: Sistema de Geração de Grade Horária

O presente trabalho realizou uma grande adaptação do trabalho de Ferreira (2015) e, conseqüentemente, do sistema PHI (Programa de Horários Institucionais), resultando em uma nova versão do software, a qual nomearemos **PHI 2**. Esta seção descreve a nova versão implementada.

O PHI 2 contempla importantes melhorias na interface web e no arquivo JAR. Embora identificadas algumas pequenas melhorias possíveis, foi decidido pela não alteração da estrutura do banco de dados do sistema para facilitar a implantação da nova versão no servidor da instituição.

As mudanças na parte web do sistema tem como base as melhorias do sistema levantadas nas entrevistas (seção 3.1.2) e quase sempre implicaram em alterações no arquivo JAR, de modo que o programa reconheça e utilize os dados provenientes das novas funcionalidades. Desse modo, quanto ao sistema web, o PHI 2 apresenta:

- Interface, propriamente dita, com uma melhora nas cores, sombreamento, interatividade dos menus e inclusão de mensagens de retorno das operações, aumentando a usabilidade e tornando o sistema mais amigável ao usuário.
- Inclusão de uma interface de configurações. Através dessa nova tela, o usuário pode definir e alterar todos os pesos e valores máximos de cada característica penalizada ou bonificada pelo sistema (como mencionado na seção 3.2.4). Adicionalmente, tal interface permite, de forma fácil, a configuração do algoritmo genético, definindo-se fatores bases como o tamanho da população, número de gerações, taxas de elitismo e mutação, consideração de horários de almoço, dentre outras. Finalmente, esta melhoria apresenta também a possibilidade de trabalhar com outras importantes configurações do sistema em geral, tais como, definir o número de threads utilizadas.
- Possibilidade de realização do salvamento e carregamento para visualização de até 3 grades horárias. No sistema PHI, a cada vez que uma nova grade era gerada, a grade anterior era excluída e totalmente substituída pela nova.
- Inclusão do relatório de erros. Quando o arquivo JAR não consegue gerar uma grade de horários com a alocação de todas as aulas desejadas, o programa JAVA se comunica com o sistema gerando um relatório de erros com informações sobre as disciplinas, turmas e professores das aulas não alocadas. O relatório também identifica as aulas que

ao se realizar a interseção dos horários de disponibilidade do professor e da turma não apresentam horários possíveis de alocação antes mesmo do início da execução do AG e das heurísticas. Neste caso, o sistema gera o relatório com a lista das aulas que são impossíveis de serem alocadas e interrompe a execução, esperando que o usuário faça as modificações necessárias nas disponibilidades. Por fim, o relatório de erros pode ser visualizado de forma clara e organizada através da interface web.

- Interface de definição e alteração da grade base. A grade base representa a parte da grade horária que já está definida. Assim, as aulas alocadas na grade base estarão fixadas (congeladas) na grade final, não sendo consideradas durante o processo de geração da nova grade horária. A grade base é definida e alterada pelo usuário elaborador de horários através da interface web. Desse modo, o usuário pode fixar algumas aulas em determinados horários desejáveis ou até montar uma grade horária completa manualmente, com o grande auxílio do sistema que impede automaticamente alocações de aulas que gerem choques de restrições fortes. Adicionalmente, o usuário pode ainda carregar uma das grades salvas para a grade base e liberar (descongelar) apenas algumas aulas para serem alocadas pelo sistema em um novo horário.
- Cadastro de professores como usuários. No sistema PHI, o usuário elaborador deveria cadastrar um professor pela interface web, sem usuário e senha. Então, ele deveria pedir a um administrador do banco de dados que realizasse o cadastramento de um usuário e senha e estabelecesse a ligação dessas credenciais com o professor recém inserido no banco de dados. O administrador do banco deveria, por sua vez, realizar esse processo, que pela estrutura do banco de dados se torna passível de erros que podem comprometer todo sistema, manualmente, sem nenhuma interface provida pelo sistema. O sistema PHI 2, oferece ao próprio usuário (elaborador de horários) a possibilidade do cadastro de professores com usuário de *login*, gerando uma senha padrão e realizando todo o processo de conexão das credenciais ao professor, de forma automática.
- Inclusão da possibilidade de seleção da opção de reunião na interface de definição da disponibilidade de horários de cada professor. Dessa forma, o sistema não utiliza esses horários e os considera como alocados ao professor, sendo contabilizados nos blocos de horários e não incluídos na análise das janelas.
- Exportação da grade horária gerada em formato PDF, de forma a ser utilizada pelos usuários externamente ao sistema. Foi escolhido o formato PDF por ele ser o formato atual utilizado na divulgação da grade horária no site da instituição.

As alterações no arquivo JAR correspondem a implementação do algoritmo genético, do novo cálculo de importância na heurística construtiva e da heurística de melhoramento propostos na seção 3.2. Em outras palavras, o algoritmo genético, a heurística construtiva e a heurística de melhoramento foram totalmente implementados dentro do arquivo JAR, fazendo com que o sistema gere uma grade horária que considere todas as novas questões e restrições levantadas no projeto.

Diante disso, a nova versão do sistema abrange todas as melhorias levantadas através das entrevistas não-estruturadas, bem como aborda a maioria das restrições propostas, que podem ser consideradas direta ou indiretamente através das configurações do software. Como exceção, quanto às restrições, temos:

- O sistema não considera a questão de choques entre disciplinas de períodos adjacentes no curso superior;
- O sistema não permite a definição de uma quantidade máxima de aulas (não sendo seguidas) por dia;
- O sistema não permite a definição de uma quantidade máxima de aulas seguidas, em um dia, para turmas ou professores do curso técnico, diferente da quantidade máxima definida para o curso superior.
- O sistema também não aborda o atendimento de um intervalo de cinquenta minutos após aulas de educação física.

### 3.4 Experimentos

Durante a implementação do sistema PHI 2 foram realizados vários testes de unidade e integração para ajustar e garantir o correto funcionamento de cada componente individualmente e do sistema após a inclusão dos componentes. Com a nova versão do sistema desenvolvida, foram projetados novos experimentos a fim de verificar e legitimar o correto funcionamento do *software*. Esta seção descreve os experimentos realizados após a implementação do sistema. Os testes foram arquitetados em três grupos, de acordo com a finalidade de análise e as variáveis observadas.

Apesar da divisão, os testes de todos os grupos foram realizados sob uma base comum de dados. Desta forma, foi utilizada uma cópia reduzida da base de dados real do CEFET-MG Campus Timóteo, visando a simulação do cenário real da instituição. Os dados utilizados são correspondentes ao segundo semestre de 2015. Assim, os experimentos foram feitos considerando a disponibilidades e preferências reais de professores, turmas e salas dentro do seguinte contexto:

- 1 curso de informática de nível técnico integrado e 1 curso de Engenharia de Computação de nível superior;
- 13 turmas, sendo 3 do curso técnico de informática e 10 do curso superior;
- 126 disciplinas;
- 27 salas;
- 287 aulas;

Na verdade, o CEFET-MG Campus Timóteo possui 4 cursos, sendo Edificações, Informática e Química de nível técnico e Engenharia de Computação de nível superior. A motivação da escolha da utilização somente dos cursos de Informática e Engenharia de Computação ocorre devido ao grande compartilhamento de recursos (professores e salas) entre esses dois cursos, sendo que este compartilhamento entre os outros cursos ou entre esses dois cursos e os outros é bem menor.

Adicionalmente, a tabela 6 mostra os valores de configuração que foram mantidos fixos em todos os testes realizados. Como podemos ver nesta tabela, os valores da taxa de mutação e da taxa de elitismo são fixados, respectivamente, em 100% e 10%. A taxa de mutação empregada foi de 100% para aumentar a exploração do espaço de busca. A utilização de 10% como o valor da taxa de elitismo tem a finalidade de evitar a convergência prematura da população para um ótimo local, permitindo que mesmo os indivíduos que não são tão bem avaliados tenha a oportunidade de trazer características novas para a população. Essas novas características permitem uma exploração de novas regiões dentro do espaço de busca.

Tabela 6: Valores de configuração fixos em todos os testes

| Nome                                | Valor |
|-------------------------------------|-------|
| Taxa de Elitismo                    | 10%   |
| Taxa de Mutação                     | 100%  |
| Número de Threads                   | 8     |
| Respeitar Horário de Almoço         | Sim   |
| Utilizar Heurística de Melhoramento | Sim   |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Finalmente, os testes também foram todos executados em um computador com processador Intel(R) Core(TM) i5-2450M com 2.5 GHz de frequência, 6 GB de memória RAM e o sistema operacional Windows 8 Pro (64 bits).

#### 3.4.1 Experimentos do grupo 1

O primeiro grupo de experimentos é composto por 8 testes e foi projetado com duas finalidades principais:

- Analisar o impacto da quantidade de indivíduos e do número máximo de gerações do AG sobre o tempo de execução do arquivo de geração de grades horárias e a qualidade das grades de horários geradas.
- Verificar a capacidade da heurística de melhoramento de encontrar uma solução melhor do que a proposta inicialmente pelo AG e a heurística construtiva.

Para tal, foi executado o seguinte projeto. Inicialmente, foram selecionados valores aleatórios de pesos e máximos para cada característica de penalização e bonificação (tabela 7). Os valores sorteados são mantidos fixos para todos os testes desse grupo.

Tabela 7: Grupo 1 - Pesos e máximos selecionados aleatoriamente

| Característica                   | Peso | Máximo |
|----------------------------------|------|--------|
| Janela - Professores             | 90%  | 9      |
| Janela - Turmas                  | 100% | 10     |
| Aulas mesmo dia - Disciplina     | 70%  | 4      |
| Blocos de horários - Professores | 80%  | 7      |
| Blocos de horários - Turmas      | 70%  | 8      |
| Turno Livre                      | 50%  | 7      |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Então, os testes foram realizados com os valores da tabela 7 e diversas combinações de valores do número máximo de gerações e quantidade de indivíduos da população do AG. Foi considerado o valor máximo de 300 gerações e 100 indivíduos, pois estes foram o valores indicado por Ferreira (2015) como valores adequados para a resolução do problema com qualidade. Assim, para cada teste realizado era medido o tempo gasto na geração da grade horária, bem como o *fitness* do indivíduo inicialmente encontrado pelo AG e a heurística construtiva, o *fitness* do indivíduo gerado através da heurística de melhoramento (*Fitness HM*) e o tempo de execução gasto por tal heurística para realizar seu trabalho. Os resultados dos experimentos do grupo 1 são demonstrados na tabela 8, logo abaixo.

Tabela 8: Grupo 1 - Testes realizados

| NGerações | NInd | Fitness     | Fitness HM  | Tempo (h:m:s) | Tempo HM (s) |
|-----------|------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| 50        | 50   | -49331.1851 | -51010.1821 | 01:54:36      | 14           |
| 50        | 100  | -59132.9879 | -12942.5879 | 04:11:44      | 9            |
| 100       | 50   | -53951.3956 | -6862.3956  | 03:36:28      | 11           |
| 100       | 100  | -78578.5879 | -20610.5879 | 07:48:33      | 9            |
| 200       | 50   | -61749.1868 | -18365.9791 | 08:19:32      | 17           |
| 200       | 100  | -68114.3822 | -47110.1821 | 16:38:22      | 10           |
| 300       | 50   | -68206.9957 | -16034.3957 | 10:52:33      | 11           |
| 300       | 100  | -71313.9791 | -13664.3868 | 24:44:08      | 18           |

**NGerações** = número de Gerações; **NInd** = número de indivíduos; **Fitness** = *fitness* da grade inicialmente encontrada pelo AG e a heurística construtiva; **Fitness HM** = *fitness* com a heurística de melhoramento; **Tempo** = tempo gasto para a geração da grade horária; **Tempo HM** = tempo em segundos gasto pela heurística de melhoramento.

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.4.2 Experimentos do grupo 2

Os experimentos do grupo 2 foram projetados com a finalidade de se analisar o impacto dos pesos e máximos do sistema de qualificação sobre a grade horária gerada. Assim como o primeiro grupo, o presente grupo é formado por 8 testes, sendo que cada teste é realizado somente uma vez.

Para estes testes, o AG foi configurado com os valores da tabela 9, os quais foram mantidos fixos. Então, foi realizada a variação dos valores dos pesos e dos máximos de cada

característica de qualificação. O tempo médio gasto na geração da grade horária de cada teste foi, aproximadamente, 8 horas.

Tabela 9: Grupo 2 - Configuração do Algoritmo Genético

| Configuração                | Valor |
|-----------------------------|-------|
| Número de Indivíduos        | 100   |
| Número de Gerações          | 100   |
| Taxa de Elitismo            | 10%   |
| Taxa de Mutação             | 100%  |
| Respeitar Horário de Almoço | Sim   |

Fonte: Elaborada pelo autor.

Em um primeiro momento, os máximos das características foram determinados com base em informações coletadas nas entrevistas. Neste momento, os pesos foram avaliados individualmente, mantendo somente um peso ativo com o valor de 100% por vez, sendo que todos os outros recebiam o valor de 0%.

Finalmente, os pesos foram fixados de acordo com informações coletadas nas entrevistas e os máximos foram alternados entre valores pequenos e grandes para cada característica. A definição do que representa um valor máximo grande ou pequeno depende muito da característica. Por exemplo, na característica aulas de uma disciplina no dia, o valor máximo representa a quantidade de blocos de aulas da disciplina que devem ser alocados no mesmo dia para que ocorra a penalização máxima. Assim, o valor 4 é considerado alto, uma vez que nenhuma disciplina possui 4 ou mais blocos para serem alocados. Os experimentos do segundo grupo são demonstrados na tabela 10. Tais experimentos foram acompanhados por uma análise visual das grades geradas.

Tabela 10: Grupo 2 - Testes realizados

| Janelas |    |       |    | Blocos |    |       |    | Bloco/Aulas no dia |   | Turno Livre |   |
|---------|----|-------|----|--------|----|-------|----|--------------------|---|-------------|---|
| Prof    |    | Turma |    | Prof   |    | Turma |    | Disciplina         |   | Turma       |   |
| P       | M  | P     | M  | P      | M  | P     | M  | P                  | M | P           | M |
| 100%    | 10 | 0%    | 10 | 0%     | 6  | 0%    | 10 | 0%                 | 2 | 0%          | 7 |
| 0%      | 10 | 100%  | 10 | 0%     | 6  | 0%    | 10 | 0%                 | 2 | 0%          | 7 |
| 0%      | 10 | 0%    | 10 | 100%   | 6  | 0%    | 10 | 0%                 | 2 | 0%          | 7 |
| 0%      | 10 | 0%    | 10 | 0%     | 6  | 100%  | 10 | 0%                 | 2 | 0%          | 7 |
| 0%      | 10 | 0%    | 10 | 0%     | 6  | 0%    | 10 | 100%               | 2 | 0%          | 7 |
| 0%      | 10 | 0%    | 10 | 0%     | 6  | 0%    | 10 | 0%                 | 2 | 100%        | 7 |
| 90%     | 10 | 100%  | 10 | 80%    | 10 | 80%   | 10 | 80%                | 4 | 60%         | 7 |
| 90%     | 2  | 100%  | 2  | 80%    | 2  | 80%   | 2  | 80%                | 1 | 60%         | 1 |

**P** = peso; **M** = máximo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.4.3 Experimentos do grupo 3

Os experimentos do terceiro grupo tem por objetivo analisar a capacidade do sistema em gerar grades horárias que possam ser utilizadas no contexto real da instituição. Tal grupo é composto por 4 testes com a duração média de 24 horas cada um (tempo gasto na geração da grade horária).

Tabela 11: Grupo 3 - Testes realizados

| Janelas |    |       |    | Blocos |   |       |    | Bloco/Aulas no dia |   | Turno Livre |   |
|---------|----|-------|----|--------|---|-------|----|--------------------|---|-------------|---|
| Prof    |    | Turma |    | Prof   |   | Turma |    | Disciplina         |   | Turma       |   |
| P       | M  | P     | M  | P      | M | P     | M  | P                  | M | P           | M |
| 90%     | 10 | 100%  | 10 | 80%    | 6 | 80%   | 10 | 80%                | 2 | 60%         | 7 |
| 90%     | 10 | 100%  | 10 | 60%    | 6 | 60%   | 10 | 80%                | 2 | 40%         | 7 |
| 90%     | 10 | 100%  | 10 | 40%    | 6 | 40%   | 10 | 80%                | 2 | 30%         | 7 |
| 90%     | 8  | 100%  | 8  | 40%    | 6 | 40%   | 10 | 80%                | 2 | 30%         | 7 |

*P* = peso; *M* = máximo.

Fonte: Elaborada pelo autor.

Para estes testes, foram utilizados os valores de 300 gerações e 100 indivíduos no AG, de forma a permitir que o algoritmo faça uma análise maior do espaço de busca. Assim, para a definição dos pesos e máximos do sistema de qualificação, inicialmente, foram consideradas informações coletadas nas entrevistas. Então, foram realizadas alterações nas configurações de acordo com os resultados observados. Os experimentos realizados neste último grupo são expostos na tabela 11. Vale ressaltar que estes experimentos testam a capacidade do software em atender as necessidades da instituição, mas que um estudo aprofundado sobre o ajuste adequado dos pesos seria imprescindível para alcançar melhores resultados.

## 3.5 Análise dos resultados

Esta seção apresenta uma análise dos resultados do trabalho descritos neste capítulo. Os resultados das entrevistas, relatados na seção 3.1, são autoexplicativos e o sistema exposto na seção 3.3 é avaliado pelos experimentos da seção 3.4. Assim, apesar de ser apresentada uma análise dos resultados em geral, é considerado aqui um maior foco na abordagem da análise dos resultados dos experimentos descritos na seção anterior.

Quanto às entrevistas realizadas, o sistema contempla todas as melhorias levantadas e aborda a maioria das restrições identificadas. As exceções são citadas na seção 3.3. Podemos ressaltar, por exemplo, a impossibilidade de se configurar uma quantidade máxima de aulas por dia para turmas do ensino superior diferente da quantidade máxima definida para turmas do nível técnico. O sistema também não considera a questão de choques entre disciplinas de períodos adjacentes no curso superior. No entanto, pode ser realizada uma tentativa paliativa de solução destes fatos através da definição da disponibilidade de cada turma separadamente. Ainda, o sistema não aborda a questão do intervalo de 50 minutos após aulas de educação física.

Os experimentos do primeiro grupo apresentaram características interessantes. Primeiramente, podemos observar na tabela 8 (e na figura 17) a presença de, e somente de, valores negativos no *fitness* dos indivíduos. Tal fato, pode ser explicado pela escolha aleatória dos valores de configuração. Por exemplo, quanto ao valor máximo de blocos de aulas de uma disciplina no mesmo dia, o valor de 4 blocos de aulas, como mencionado anteriormente, é um valor elevado. Uma vez que nenhuma disciplina possui 4 blocos de aulas a serem alocados, a penalização por blocos de aulas no mesmo dia acaba se tornando mais branda. Ainda, como blocos de horários tanto para professores quanto para turmas são muito mais comuns de se encontrar nas grades do que janelas, uma vez que as aulas são alocadas em blocos, a bonificação pelos blocos encontrados, normalmente, é muito superior à penalização pelas janelas. Desse modo, o valor que é subtraído ao *fitness* do indivíduo é muito maior que o valor adicionado pelas penalizações, levando a grade horária a possuir um *fitness* negativo.

Portanto, é muito comum que o AG proposto trabalhe com valores de *fitness* negativos pelo fato do algoritmo utilizar um sistema de qualificação, composto por penalizações e bonificações, totalmente configurável pelo usuário. Existem certas configurações que levam a presença de valores negativos de qualificação. O usuário poderia, por exemplo, definir todos os pesos das características de penalização com o valor zero, deixando os pesos das características de bonificação com valores maiores do que zero. Dessa forma, como a penalização por restrições fortes é muito pequena ou inexistente nos melhores indivíduos, em determinado momento, teríamos apenas valores sendo subtraídos ao *fitness* do indivíduo. Consequentemente, o AG seria forçado a trabalhar com valores de qualificação inferiores à zero. Os experimentos em geral, demonstraram que a utilização de pesos superiores à 50% para as características de bonificação tendem a qualificar indivíduos com valores negativos.

No entanto, de um modo geral, os valores negativos não atrapalham a busca pela solução ótima, pois, conforme mencionado na seção 3.2, o AG proposto seleciona o indivíduo com o menor *fitness* dentre os encontrados. Como as configurações não são alteradas durante um mesmo processo de geração da grade horária, a bonificação, apesar de maior que a penalização, será realizada na mesma medida para todos os indivíduos. Assim, por mais que tal bonificação leve o *fitness* dos indivíduos para valores negativos, os valores somados pelas penalizações ainda farão a diferença. Por exemplo, suponhamos que dois indivíduos foram bonificados de tal forma que o *fitness* de um recebeu o valor -50000 e do outro o valor de -48000. Assim, até agora, o primeiro indivíduo está sendo o melhor pelo fato de ter sido mais bonificado pelo AG ( $-50000 < -48000$ ). No entanto, consideremos agora que o segundo indivíduo apresente janelas bem menores que o primeiro, sendo penalizado com o valor de 1000 pontos, enquanto o primeiro recebe uma penalização de 5000 pontos. Ao se realizar as penalizações, somando-se os devidos valores, o primeiro indivíduo terá um *fitness* final de -45000, enquanto o segundo terá um *fitness* de -47000. Logo, o segundo indivíduo, que apresenta menores janelas, será selecionado pelo AG como o melhor.

Adicionalmente, os experimentos do grupo 1, assim como os experimentos em geral, demonstraram que, normalmente, quanto maior o número de gerações e indivíduos na população do AG, maior o tempo gasto para a geração da grade de horários e maior a qualidade da grade gerada. Tal resultado era esperado, pois quanto maior o número de gerações e in-

divíduos, maior a região explorada pelo AG dentro do espaço de busca. No entanto, algumas exceções podem ser destacadas.

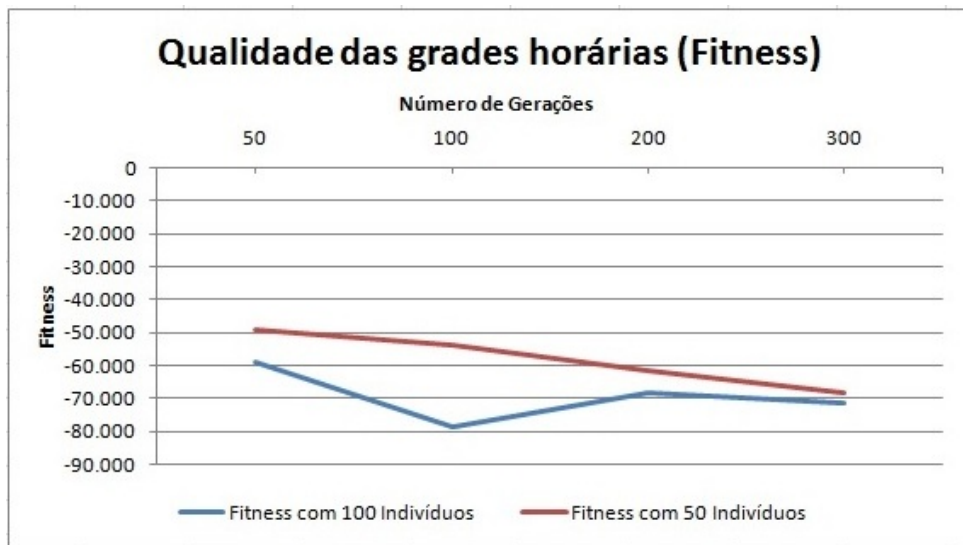
Quanto a qualidade da grade gerada, na tabela 8, podemos observar que o melhor *fitness* encontrado através dos testes realizados nesse grupo, foi obtido utilizando-se o valor mediano de 100 gerações juntamente com o valor de 100 indivíduos. Tal fato apresenta duas justificativas principais. A primeira, se refere ao fato de os operadores genéticos fazerem uso da aleatoriedade na geração de novos indivíduos. Assim, tal casualidade pode levar um operador genético a produzir o indivíduo ótimo já nas gerações iniciais, fazendo com que as demais gerações sirvam simplesmente para confirmar que aquele é o melhor indivíduo. A outra justificativa pode ser o fato de que o número de indivíduos tenha uma maior influência na qualidade dos resultados do que o número de gerações.

A figura 17 exibe um gráfico estabelecendo a relação entre o número de gerações e indivíduos do AG e o *fitness* do melhor indivíduo encontrado pelo AG, de acordo com os dados da tabela 8. Primeiramente, é possível verificar nesta figura que a utilização de uma população com 100 indivíduos no AG, gerou resultados melhores do que uma população com apenas 50 indivíduos, considerando o mesmo número de gerações. Isto é, todas as vezes em que o número de indivíduos é aumentado de 50 para 100, com o número de gerações constante, ocorre uma melhora no *fitness* do indivíduo. Ainda, podemos ver que a melhora de *fitness* mais acentuada ocorre ao mudarmos o número de indivíduos de 50 para 100, mantendo-se o número de gerações em 100 (maior distância entre as duas linhas no gráfico).

Apesar das exceções, percebemos que para uma mesma configuração, ao se aumentar o número de indivíduos e gerações, o AG tem uma tendência a encontrar melhores valores de *fitness*, mas sempre em torno de um valor de estabilização. No caso da figura 17, por exemplo, é possível notar o valor de estabilização em torno de -70000.

O tempo gasto para a geração da grade horária pode ser visto como o tempo consumido pelo AG para percorrer o espaço de busca, carregando uma população com um certo número de indivíduos por um determinado número de gerações. Quanto a esse critério, a figura 18 mostra um gráfico estabelecendo a relação entre o número de gerações e indivíduos do AG e o tempo gasto para a geração da grade horária. Assim, semelhante à análise do gráfico anterior, podemos observar que o aumento do número de indivíduos de 50 para 100, com o número de gerações constante, sempre gera um aumento considerável no tempo de execução do sistema. Podemos perceber também, através da inclinação das retas, que o aumento do número de gerações, mantendo-se o número de indivíduos constante, resulta em um aumento mais acentuado, no tempo gasto, quando o número de indivíduos é igual a cem (100). Neste caso, como esperado, o aumento de tempo mais enfático ocorre quando se aumenta o número de indivíduos de 50 para 100 com o número de gerações constante em 300. Ainda, para este critério não foi notado um valor de estabilização, sendo que quanto maior o número de indivíduos e gerações, maior a tendência de aumento do tempo gasto para a geração da grade de horários.

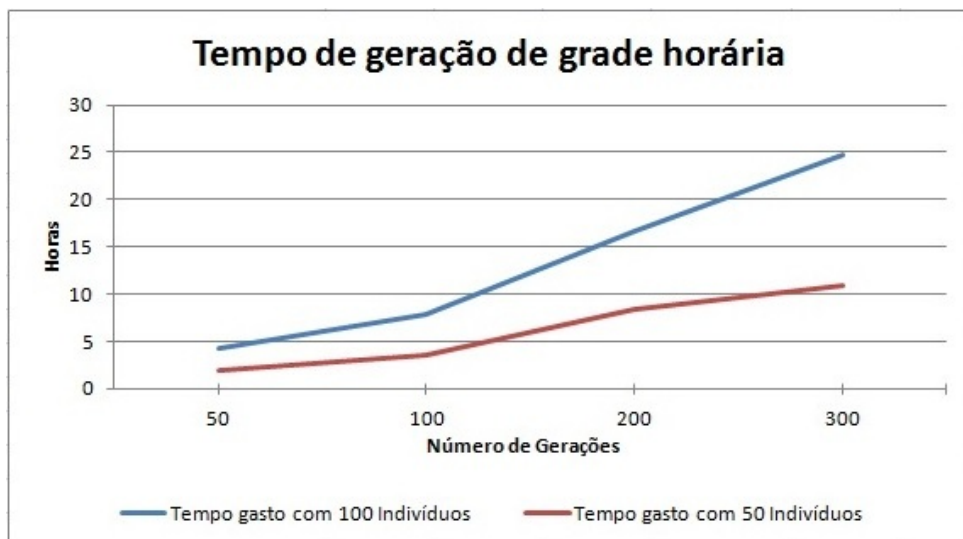
Quando comparado à primeira versão quanto a qualidade, o sistema desenvolvido apresenta grades horárias de maior qualidade para o contexto da instituição estudada. Sendo

Figura 17: Qualidade das grades geradas (*Fitness*)

O gráfico exibe o fitness dos melhores indivíduos encontrados pelo AG utilizando 50 e 100 indivíduos em sua população, de acordo com os experimentos da tabela 8. Assim, exibe-se a relação entre o fitness e o número de gerações e indivíduos do AG.

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 18: Tempo de geração de grades horárias



O gráfico exibe o tempo gasto na geração de grades horárias de acordo com os experimentos da tabela 8, estabelecendo a relação com o número de gerações e indivíduos do AG.

Fonte: elaborada pelo autor

considerada a comparação visual das grades horárias, pois a nova versão faz uso de um sistema de qualificação totalmente diferente, impedindo a comparação entre o *fitness* dos indivíduos. Alguns exemplos de grades horárias geradas pela nova versão do sistema, o PHI 2, podem ser visualizadas no apêndice B. Já o apêndice C, apresenta exemplos de grades geradas, sobre a mesma base de dados, utilizando a versão inicial do sistema PHI. Ao considerarmos o tempo de execução gasto no processo de geração das grades horárias, podemos observar um grande aumento, de até dez vezes, em algumas situações, em relação ao tempo apresentado por Ferreira (2015), na versão desenvolvida por este trabalho. Tal aumento de tempo pode ser explicado principalmente pelos seguintes fatores:

- Maior quantidade de restrições avaliadas na segunda versão, aumentando a quantidade de processamento realizada pelo sistema.
- Realização de testes em uma máquina com configurações de hardware inferiores às configurações da máquina utilizada por Ferreira (2015). Testes realizados com a primeira versão do sistema PHI, na máquina utilizada nos testes da segunda versão, indicaram o tamanho de tal inferioridade. Tais testes demoraram em média 12:30h para gerar a grade horária, utilizando 100 indivíduos e 300 gerações nas configurações do AG. Com a utilização de 100 indivíduos com apenas 100 gerações no AG, os testes apontaram um tempo médio de 4:20h. Isto é, ao realizarmos testes na mesma máquina a diferença de até dez vezes mais no tempo gasto, se reduz para uma diferença de duas vezes mais somente. Em outras palavras, quando executados na mesma máquina, a nova versão do sistema gastou um tempo de geração da grade horária, no máximo, duas vezes maior que a primeira versão do PHI.
- Novas interações com arquivos durante o processo de geração da grade horária, buscando-se oferecer um *feedback* para o usuário através da interface web.

Os experimentos do primeiro grupo também avaliaram a heurística de melhoramento. Na tabela 8, é possível observar que tal heurística foi capaz de encontrar um vizinho melhor que o indivíduo inicialmente proposto pelo AG e a heurística construtiva apenas em um dos oito testes realizados. Ainda, tal fato ocorreu quando utilizados a menor combinação de número de gerações e indivíduos do AG, isto é, quando o AG explorou a menor região do grupo. No entanto, esse fato não deixa de comprovar a capacidade de otimização da heurística proposta. Contudo, por ser uma heurística de melhoramento simples, percebemos que ela apresenta uma maior capacidade de otimização dos resultados apenas sob grades horárias que não são muito bem qualificadas pelo AG. Ainda, como ponto positivo, a heurística apresenta um tempo médio de execução de 12 segundos, o que é desprezível perto do tempo de geração da grade horária.

Os experimentos do grupo 2 avaliaram a influência dos pesos e máximos do sistema de qualificação sobre a grade horária gerada. Por se tratar de grades horárias muito extensas, os resultados não são exibidos, mas todos os testes são passíveis de serem refeitos. A análise visual das grades geradas nos permite identificar pontos importantes.

De um modo geral, quanto maior o peso e menor o valor máximo de uma característica de penalização, maior a pontuação de penalização atribuída a uma ocorrência da característica. Consequentemente, maior também será o esforço do AG para impedir tais ocorrências. No caso das bonificações, quanto maior o peso e menor o valor máximo, maior também a pontuação de bonificação por uma ocorrência da característica. No entanto, no caso dos blocos de horários de professores e turmas, o valor máximo também atua limitando o tamanho dos blocos. Assim, quanto maior o valor máximo, maior o tamanho desejável dos blocos de horários. Já no caso da bonificação de turnos livres, a redução do valor máximo implica na aceitação e busca por turnos parcialmente livres. Por exemplo, no CEFET-MG os turnos matutino e vespertino são formados por 6 horários, enquanto o turno noturno é formado por 5 horários. Desse modo, definir o valor máximo para a bonificação de turno livres com o valor 6, significa informar ao AG que o turno totalmente livre deve receber bonificação máxima, enquanto um turno com 1 horário ocupado em seu início ou fim deve gerar uma penalização um pouco menor para tal turno, e assim por diante. Neste caso, ao se definir tal valor máximo com o valor 5, estaríamos dizendo ao AG para bonificar de forma máxima um turno mesmo que ele possua um horário ocupado em seu início ou fim. Um turno totalmente livre e um turno com um horário ocupado seria bonificado da mesma forma. Assim, ao se reduzir ainda mais o valor máximo, permite-se um número maior de horários ocupados no início ou fim do turno, de acordo com o funcionamento do sistema de qualificação descrito na seção 3.2. Ainda, definir um valor máximo maior que o número de horários em um turno é um modo de impedir que turnos livres recebam pontuações máximas de bonificação.

Quanto a utilização individual de cada peso, observamos os resultados esperados. A utilização somente dos pesos das janelas dos professores ou das turmas, com os demais pesos zerados, geraram bons resultados quanto às janelas. O AG realizou um grande trabalho de eliminação de janelas, mas acabou gerando outros problemas como discutidos na seção 3.2. Por exemplo, foi possível identificar muitos horários isolados (como na figura 12), blocos de horários enormes (figura 13) e muitas aulas de uma disciplina em um dia.

Analogamente, a definição somente dos pesos de bonificação de blocos de horários de professores ou turmas gerou uma grande quantidade de blocos de horários na grade, normalmente, com tamanhos de acordo com o valor máximo configurado. No entanto, foi visível a presença de outros problemas, como janelas entre os blocos e muitas aulas de uma disciplina em um dia. A utilização do peso de blocos de aulas de uma disciplina no dia com o valor de 100%, com os outros pesos zerados, fez com que o máximo de 2 blocos permitido fosse respeitado em todos os casos. No entanto, algumas disciplinas apresentaram 2 blocos de aulas alocados no mesmo dia. O fato poderia ser analisado e melhorado manualmente pelo elaborador.

A utilização somente da bonificação de turnos livres foi uma das influências mais brandas. Ainda assim, era possível se identificar turnos livres na grade gerada e, quando estes não eram possíveis, uma utilização do fim do turno matutino e do início do vespertino, de modo a deixar os turnos parcialmente livres e ainda tentar manter a grade mais condensada (com horários próximos uns dos outros). Um fato observado é que a bonificação supramencionada, estimulou o AG a gerar blocos de horários, uma vez que, normalmente, para um turno ficar

livre, outro turno tem que ser ocupado por completo.

Finalmente, os experimentos do terceiro grupo demonstraram que com um ajuste adequado dos pesos é possível obter a geração de uma grade balanceada e de alta qualidade. Ainda, apesar de não terem sido realizados testes específicos para a heurística construtiva, é oportuno frisar que a adequação do cálculo de importâncias de tal heurística provavelmente contribui no aumento da qualidade das grades geradas, alocando mais adequadamente as aulas diante de certos impasses. Vale ressaltar que, na maioria das vezes, foram observados pequenos detalhes cabíveis de melhorias. No entanto, como o sistema PHI 2 oferece a possibilidade da realização de alterações manuais, o elaborador sempre pode estar realizando o ajuste fino da grade gerada.

É importante destacar também que não cabe uma comparação de *fitness* entre os testes realizados nos grupos 2 e 3, pois toda vez que os pesos e máximos são alterados muda-se o sistema de qualificação. Assim, uma mesma grade que recebe uma determinada qualificação com uma certa configuração, pode receber uma qualificação muito maior ou muito menor ao se alterar os pesos e máximos. Ainda, é importante destacar que a grade gerada é muito dependente do cenário abordado. Pode ocorrer, por exemplo, de uma certa configuração gerar grades ótimas para um cenário (conjunto de disciplinas, professores, turmas, salas, disponibilidades, preferências), e esta mesma configuração não conseguir gerar nem uma grade viável para outros cenários. Inclusive, existem cenários para os quais é impossível realizar a alocação de todas as disciplinas. Entretanto, o ajuste das configurações e, algumas vezes, das disponibilidades podem levar diferentes cenários à possuírem alta qualidade nos resultados.

## 4 Conclusão

*“Eu trocaria toda a minha tecnologia  
por uma tarde com Sócrates”.*  
Steve Jobs

Este trabalho abordou o desenvolvimento de um sistema de geração de grades horárias através da utilização de um algoritmo genético e uma heurística de melhoramento. O sistema ainda inclui a heurística construtiva proposta por Ferreira (2015) com uma modificação em sua equação base do processo de alocação de aulas. Assim, o software se trata de uma nova versão do sistema proposto por Ferreira (2015) e busca atender a uma série de restrições e melhorias que limitavam a primeira versão, impedindo-a de ser utilizada no contexto real da instituição.

De um modo geral, o sistema abrange todas as melhorias levantadas através das entrevistas não-estruturadas, bem como aborda a maioria das restrições propostas, que podem ser atendidas direta ou indiretamente através das configurações do software. Os experimentos realizados apresentaram resultados satisfatórios tanto nas grades horárias geradas, propriamente ditas, quanto na resposta do sistema de qualificação em relação as mudanças em sua configuração.

Quando comparado à primeira versão quanto a qualidade, o sistema desenvolvido apresenta grades horárias de maior qualidade para o contexto da instituição estudada. Sendo considerada a comparação visual das grades horárias, uma vez que não convém compará-las quanto ao *fitness* dos indivíduos, pois a nova versão faz uso de um sistema de qualificação totalmente diferente. No entanto, ao considerarmos o tempo de execução gasto no processo de geração das grades horárias, podemos observar um grande aumento, de até dez vezes em algumas situações, na versão desenvolvida por este trabalho. Tal aumento de tempo pode ser explicado principalmente pela maior quantidade de restrições abordadas pela nova versão, pela realização dos testes em uma máquina com configurações de hardware inferiores às configurações da máquina utilizada na primeira versão e pela inclusão de interações com arquivos durante o processo de geração da grade. Já a comparação ao atual processo manual de elaboração de grades horárias, nos permite observar que a nova versão consegue gerar grades horárias com qualidade semelhante em um tempo cerca de sete vezes menor.

Assim, a nova versão do sistema de geração de grades horárias satisfaz algumas limitações da versão anterior, mas também apresenta suas próprias limitações. Logo, podemos destacar que as principais limitações do sistema são:

- A não abordagem de algumas restrições levantadas. O sistema não considera a questão de choques entre disciplinas de períodos adjacentes no curso superior, nem permite a definição de uma quantidade máxima de aulas seguidas, em um dia, de turmas ou professores para o curso técnico diferente da quantidade máxima definida para o curso

superior. O sistema também não aborda o atendimento de um intervalo de cinquenta minutos após aulas de educação física.

- O grande intervalo de tempo gasto para a geração de grades horárias quando utilizados elevados números de indivíduos e gerações no AG.
- A falta de realização de testes sob o cenário completo e atual da instituição.

Adicionalmente, acredita-se que a maior contribuição deste trabalho seja o desenvolvimento de um algoritmo genético e um sistema de qualificação totalmente configuráveis pelo usuário. Desse modo, o usuário pode definir e modificar o contexto da instituição no software, identificando quais restrições são mais importantes no atual cenário. Tal feito, permite inclusive que o sistema seja utilizado em outras instituições, as quais podem levar seus respectivos cenários para dentro do sistema através das configurações. Além dessa contribuição, podemos destacar também:

- A adequação do cálculo base do processo de alocação de aulas realizado pela heurística construtiva.
- A proposta da utilização de uma heurística de melhoramento junto ao algoritmo genético como forma de aumentar a garantia de se ter encontrado a melhor solução.
- O levantamento de restrições fracas relevantes para uma instituição de ensino.
- Experimentos que comprovam a influência de cada parâmetro configurável, demonstrando algumas relações existentes entre certos parâmetros.

Diante disso, podemos concluir que este trabalho desenvolveu uma nova versão do sistema de geração de grades de horários do CEFET-MG Campus Timóteo que atende satisfatoriamente as restrições e melhorias levantadas, qualificando e alocando mais adequadamente as grades horárias, permitindo que a instituição estudada substitua seu atual processo manual.

## 4.1 Trabalhos futuros

Nesta seção são descritas algumas propostas de trabalhos futuros que visam dar continuidade e expandir o presente trabalho, melhorando os resultados alcançados. Dentre tais sugestões, podemos destacar:

- A realização de um estudo sobre o ajuste adequado dos valores de configuração, tais como os pesos e máximos do sistema de qualificação.
- A implementação de uma heurística de melhoramento mais complexa que considere mais restrições fracas, além das janelas dos professores, e que promova mudanças mais profundas de forma a aumentar a certeza de seleção da melhor grade horária.

- A aplicação de técnicas que permitam a redução do tempo de geração das grades horárias, sem reduzir a qualidade dos resultados.
- O desenvolvimento de uma adaptação da heurística construtiva proposta por Ferreira (2015), de modo que esta tente considerar as restrições levantadas nesse trabalho durante o processo de alocação. Isto pode fazer com que o sistema encontre melhores soluções ou encontre as soluções em um menor tempo, mas apresenta também um grande risco de afetar negativamente as grades geradas.

# Referências

APPLEBY, J. S.; BLAKE, D. V.; NEWMAN, E. A. Techniques for producing school timetables on a computer and their application to other scheduling problem. *The Computer Journal*, Vol. 3, p. 237, 1961. Citado nas páginas 13, 15 e 34.

ARROYO, J. E. C.; ARMENTANO, V. A. Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatoria multiobjetivo. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2002. Acesso em: 11 mar. 2016. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000256530&fd=y>>. Citado nas páginas 22 e 33.

ASIYABAN, S.; MOUSAVINASAB, Z. University course timetabling using multi-population genetic algorithm guided with local search and fuzzy logic. *International Journal of Computers & Technology*, p. 3043–3050, 2013. Acesso em: 08 Set. 2015. Disponível em: <<http://cirworld.org/journals/index.php/ijct/article/view/3169>>. Citado nas páginas 13, 14, 20, 21 e 35.

COPPIN, B. Inteligência artificial. LTC, 2010. 636p. Citado nas páginas 22, 25, 28, 30 e 31.

CSIMA, J. Investigations on a time-table problem. In: SCHOOL OF GRADUATE STUDIES, UNIVERSITY OF TORONTO. *Ph.D. thesis*. [S.l.], 1965. Citado na página 34.

EVEN, S.; ITAI, A.; SHAMIR, A. On the complexity of timetable and multicommodity flow problems. *SIAM Journal on Computing* 5, p. 691–703, 1976. Citado nas páginas 14 e 34.

FEOFILOFF, P. Complexidade: problemas np-completos. *Análise de Algoritmos*, Departamento de Ciência da Computação - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, [S.l.], 2015. Online; Acesso em: 28 out. 2015. Disponível em: <[http://www.ime.usp.br/~pf/analise\\_de\\_algoritmos/aula/NPcompleto.html](http://www.ime.usp.br/~pf/analise_de_algoritmos/aula/NPcompleto.html)>. Citado nas páginas 13 e 34.

FERNANDES, A. M. d. R. Inteligência artificial: noções gerais. VisualBooks, [S.l.], 2005. Citado nas páginas 22, 26 e 33.

FERREIRA, D. V. M. Aplicação de algoritmos genéticos na elaboração de horários institucionais: o estudo de caso do cefet-mg campus timóteo. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Timóteo, 2015. Citado nas páginas 6, 7, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 46, 51, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 63, 69, 72 e 74.

FREITAS, C. C. et al. Uma ferramenta baseada em algoritmos genéticos para a geração de tabela de horário escolar. 2014. Acesso em: 11 out. 2015. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/265922481\\_Uma\\_Ferramenta\\_Baseada\\_em\\_Algoritmos\\_Genticos\\_para\\_a\\_Gerao\\_de\\_Tabela\\_de\\_Horrio\\_Escolar](http://www.researchgate.net/publication/265922481_Uma_Ferramenta_Baseada_em_Algoritmos_Genticos_para_a_Gerao_de_Tabela_de_Horrio_Escolar)>. Citado nas páginas 14 e 35.

GOTLIEB, C. The construction of class-teacher 'timetables. In: POPPLEWELL, C.M. (ED.), 1963, Amsterdam, North-Holland. *Proceedings of the IFIP Congress*. [S.l.]: Publishing Co., 1963. Citado nas páginas 13 e 34.

HAMAWAKI, C. D. L. Geração automática de grade horária usando algoritmos genéticos: O caso da faculdade de engenharia elétrica da ufu. Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Elétrica, Novembro 2005. Acesso em: 05 out. 2015. Disponível em:

<[http://www.bdtu.ufu.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=230](http://www.bdtu.ufu.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=230)>. Citado nas páginas 13, 14, 20 e 35.

HOLLAND, J. H. Genetic algorithms, computer programs that "evolve" in ways that resemble natural selection can solve complex problems even their creators do not fully understand. Scientific American, [S.l], p. 66, Julho, 1992. Citado na página 22.

JAT, S. N.; YANG, S. A hybrid genetic algorithm and tabu search approach for post enrolment course timetabling. Springer Science; LLC, Novembro, 2010. Online; Acesso em: 31 out. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10951-010-0202-0>>. Citado nas páginas 13, 18, 19 e 20.

LINDEN, R. Algoritmos genéticos. Editora Ciência Moderna, Rio de Janeiro, 2012. Citado nas páginas 15, 22, 23, 24, 25, 26, 28 e 30.

LUCAS, D. C. Algoritmos genéticos: uma introdução. Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS, Março, 2002. Acesso em: 30 out. 2015. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~alvares/INF01048IA/ApostilaAlgoritmosGeneticos.pdf>>. Citado na página 27.

MATTOS, P. L. C. L. de. A entrevista não-estruturada como forma de conversação: razões e sugestões para sua análise. Revista de administração pública, Agosto, 2005. Acesso em: 07 nov. 2015. Disponível em: <[http://cmaspublishing.ihmc.us/rid=1HXT2LHJX-JPHT4Y-78M/MATTOS-Pesq.NA\\_oEstruturada2005.pdf](http://cmaspublishing.ihmc.us/rid=1HXT2LHJX-JPHT4Y-78M/MATTOS-Pesq.NA_oEstruturada2005.pdf)>. Citado na página 17.

MORELAND, B. Hard and soft timetabling constraints – not only a working timetable but a great timetable! LinkedIn Pulse, Setembro, 2015. Online. Acesso em: 2 nov. 2015. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/hard-soft-timetabling-constraints-only-working-great-ben-moreland>>. Citado na página 21.

NETTO, F. S. Aplicação de algoritmos genéticos na elaboração de horários escolares: o estudo do caso inteliway. 2011. Acesso em: 03 out. 2015. Disponível em: <<http://www.anpad.org.br/admin/pdf/ADI1563.pdf>>. Citado nas páginas 14 e 35.

OLIVEIRA, D. N. Identificando regras de transição de autômato celular probabilista via algoritmo genético em sistemas epidemiológicos. Universidade Mackenzie, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica., 2008. Dissertação de Mestrado. Citado na página 22.

OLIVEIRA, J. F.; CARRAVILLA, M. A. Metodologias de apoio à decisão. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto - FEUP, p. 32, 2002. Acesso em: 03 nov. 2015. Disponível em: <<https://web.fe.up.pt/~mac/ensino/docs/MAD20012002/OptComb3.pdf>>. Citado nas páginas 14 e 33.

PATAT2014, C. 10th international conference on the practice and theory of automated timetabling. 2014. Online; Acesso em: 09 out. 2015. Disponível em: <<http://www.patatconference.org/patat2014/>>. Citado na página 35.

PRATI, R. C. Inteligência artificial: Busca heurística. Universidade Federal do ABC (UFABC), Departamento de Ciência da Computação, Agosto 2010. Acesso em: 10 mar. 2016. Disponível em: <<http://professor.ufabc.edu.br/~ronaldo.prati/InteligenciaArtificial/busca3.pdf>>. Citado na página 33.

RAMOS, P. de S. Sistema automático de geração de horários para a ufla utilizando algoritmos genéticos. Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência da Computação, Dezembro 2002. Acesso em: 07 out. 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/9244/1/MONOGRAFIA\\_Sistema\\_automático\\_de\\_geraç~ao\\_de\\_horários\\_para\\_a\\_UFLA\\_utilizando\\_algoritmos\\_genéticos.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/9244/1/MONOGRAFIA_Sistema_automático_de_geraç~ao_de_horários_para_a_UFLA_utilizando_algoritmos_genéticos.pdf)>. Citado nas páginas 14 e 35.

SASTRY, K.; GOLDBERG, D.; KENDALL, G. *Genetic Algorithms*. 2005. Acesso em: 26 jan. 2016. Disponível em: <<http://www.cs.nott.ac.uk/~pszgk/papers/introsch4.pdf>>. Citado nas páginas 30 e 32.

SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, Kluwer Academic Publishers, p. 3043–3050, 1999. Acesso em: 30 Out. 2015. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1006576209967>>. Citado na página 19.

SCHOPF, E. C. et al. Avaliação de heurísticas de melhoramento e da metaheurística busca tabu para solução de prv. Centro de Eletrônica e Tecnologia - Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 2004. Acesso em: 03 nov. 2015. Disponível em: <<http://www.inf.ufrgs.br/~cschepke/graduacao/AvaliacaoDeHeurísticasDeMelhoramentoETabu.pdf>>. Citado na página 33.

ÖZCAN, E.; BURKE, E. K.; MCCOLLUM, B. Proceedings of the 10th international conference on the practice and theory of automated timetabling. In: PRACTICE AND THEORY OF AUTOMATED TIMETABLING, 10., 2014, York, Reino Unido. *Proceedings of the 10th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling*. [S.l.]: PATAT, 2014. Citado na página 35.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Melhorias do Sistema

Figura 19: Interface de Configurações

The interface is titled 'Configurações' and includes a navigation bar at the top with links: PHI 2, Professores, Disciplinas, Turmas, Salas, Cursos, Níveis, Grade Base, Grades Salvas, Gerar Horário, Grade Gerada, Configurações, Relatório de Erros, and Logout. Below the title bar are two buttons: 'Salvar' (Save) and 'Restaurar Padrão' (Restore Default).

**Pesos (Weights):** This section contains three sliders, each with a 'Restrição forte' (Strong Restriction) checkbox and a 'Max' value input field.

- Janelas (Professores):** Slider range 0-100, current value 80, Max input: 8.
- Janelas (Turmas):** Slider range 0-100, current value 75, Max input: 8.
- Aulas (disciplina) no mesmo dia:** Slider range 0-100, current value 80, Max input: 1.

**Bônus (Bonuses):** This section contains three sliders, each with a 'Max' value input field.

- Bloco de Horários (Professor):** Slider range 0-100, current value 50, Max input: 6.
- Bloco de Horários (Turma):** Slider range 0-100, current value 60, Max input: 10.
- Turno Livre (Turma):** Slider range 0-100, current value 70, Max input: 7.

**Restrições Adicionais (Additional Constraints):** This section contains three checkboxes:

- ☐ Intervalo de Horários Noite/Dia
- ☒ Respeitar Horário de Almoço
- ☐ Heurística de Melhoramento

**Configurações Gerais (General Settings):** This section contains two sliders, two input fields, and a checkbox.

- Algoritmo Genético:**
  - Taxa de Elitismo:** Slider range 0-100, current value 10.
  - Taxa de Mutação:** Slider range 0-100, current value 100.
  - Número de Indivíduos:** Input field with value 100.
  - Número de Gerações:** Input field with value 300.
- Sistema:**
  - Número de Threads:** Input field with value 8.
  - ☐ Executando gerador de Horário

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 20: Interface de Montagem e Alterações Manuais da Grade

Grade

Preencher grade base com horários salvos
Limpar grade base

Grade para:

Turma

Turma

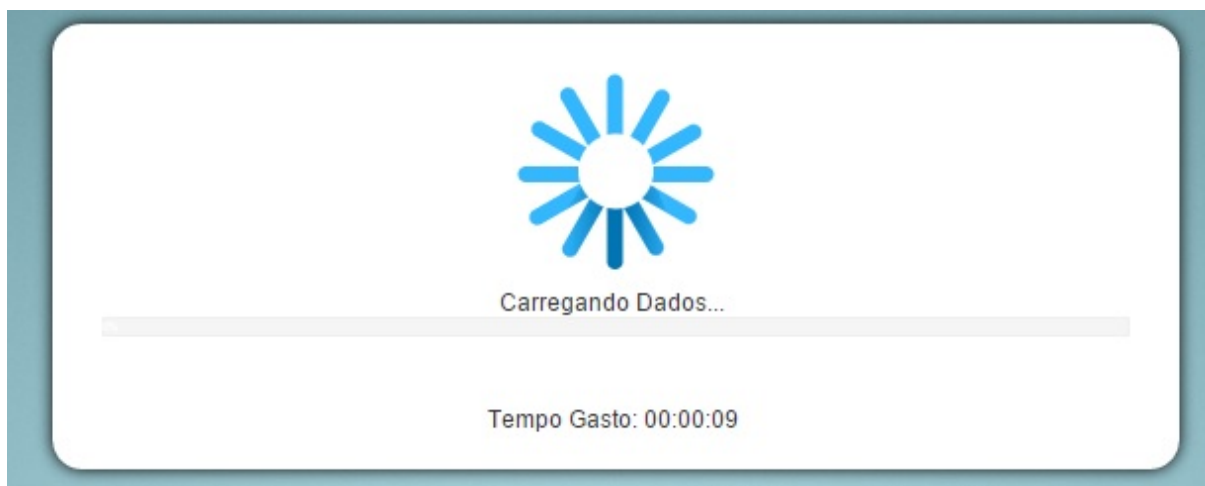
INF-1

0

|               | Segunda-feira | Terça-feira | Quarta-feira | Quinta-feira | Sexta-feira |
|---------------|---------------|-------------|--------------|--------------|-------------|
| 07h00 - 07h50 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 07h50 - 08h40 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 08h40 - 09h30 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 09h45 - 10h35 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 10h35 - 11h25 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 11h25 - 12h15 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
|               |               |             |              |              |             |
| 13h00 - 13h50 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 13h50 - 14h40 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 14h40 - 15h30 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 15h45 - 16h35 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 16h35 - 17h25 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 17h25 - 18h15 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
|               |               |             |              |              |             |
| 18h20 - 19h10 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 19h10 - 20h00 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 20h00 - 20h50 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 21h00 - 21h50 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |
| 21h50 - 22h40 | Adicionar     | Adicionar   | Adicionar    | Adicionar    | Adicionar   |

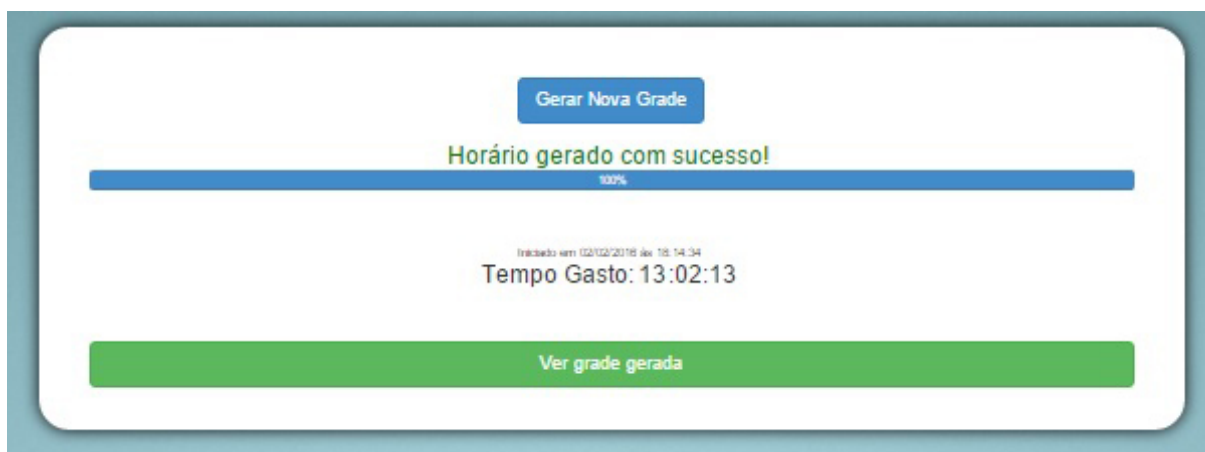
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 21: Interface de Geração de Grades Horárias com Feedback para o usuário



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 22: Interface de Geração de Grades Horárias - Grade gerada com sucesso



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 23: Interface de Geração de Grades Horárias - Falha ao gerar a grade



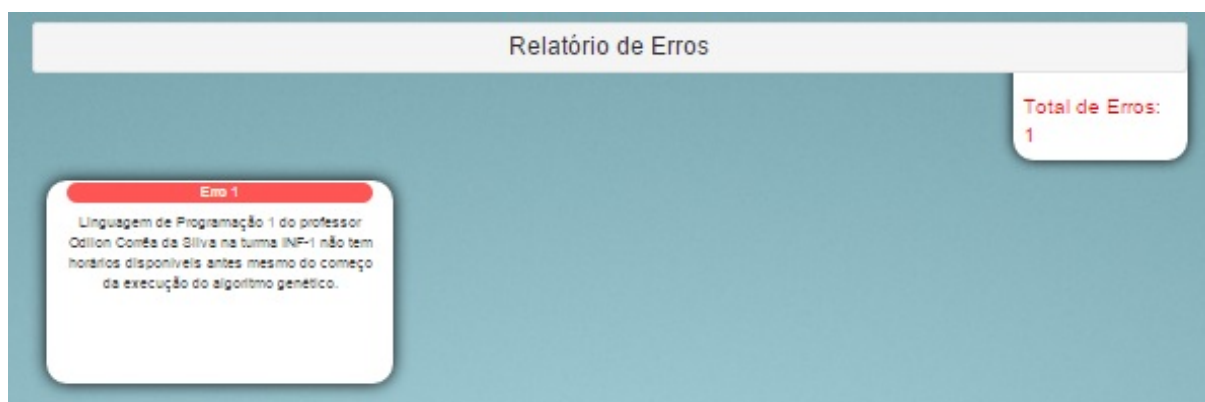
Fonte: elaborada pelo autor

Figura 24: Interface de Relatório de Erros - sem erros



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 25: Interface de Relatório de Erros com 1 erro



Fonte: elaborada pelo autor

Figura 26: Interface de Salvamento de Grades Horárias



Grade

Exportar Grade (PDF) Salvar Grade

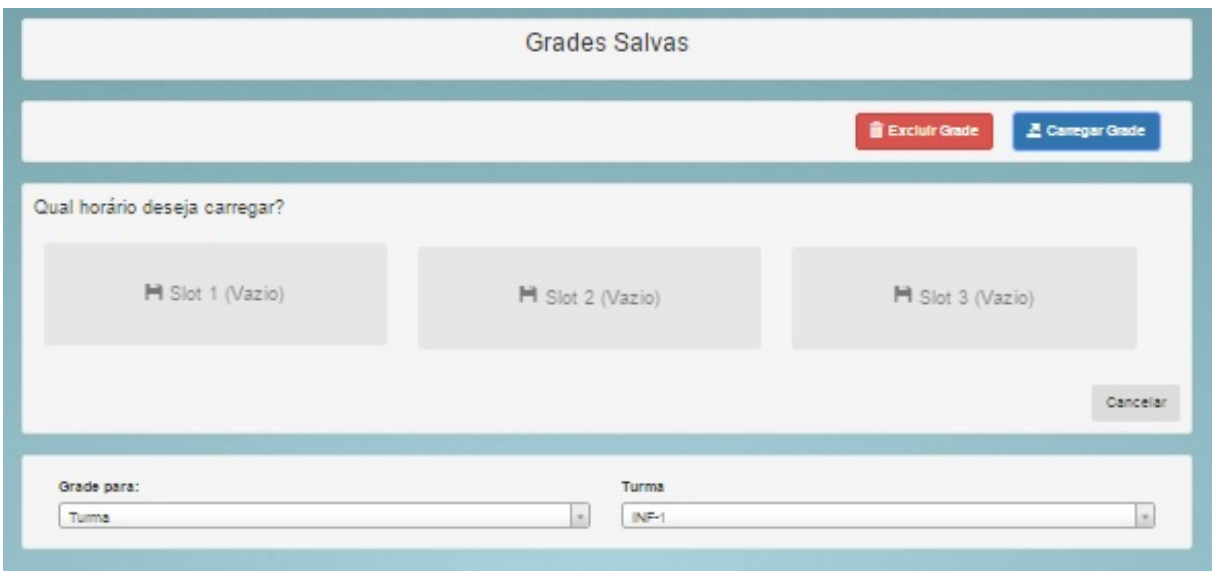
Onde deseja salvar o horário temporário?

Slot 1 Slot 2 Slot 3

Cancelar

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 27: Interface de Carregamento de Grades Horárias



Grades Salvas

Excluir Grade Carregar Grade

Qual horário deseja carregar?

Slot 1 (Vazio) Slot 2 (Vazio) Slot 3 (Vazio)

Cancelar

Grade para: Turma Turma

INF-1

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 28: Interface de Inserção de Disponibilidade com a opção de reuniões

|                                |               |              |              |              |              |
|--------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| Total de Horários Disponíveis: |               |              |              |              | 58           |
| Qtd. aulas por dia:            | 12            | 12           | 10           | 12           | 12           |
|                                | Segunda-feira | Terça-feira  | Quarta-feira | Quinta-feira | Sexta-feira  |
| 07h00 - 07h50                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 07h50 - 08h40                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 08h40 - 09h30                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 09h45 - 10h35                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 10h35 - 11h25                  | Disponível    | Disponível   | Reunido      | Disponível   | Disponível   |
| 11h25 - 12h15                  | Disponível    | Disponível   | Reunido      | Disponível   | Disponível   |
| 13h00 - 13h50                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 13h50 - 14h40                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 14h40 - 15h30                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 15h45 - 16h35                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 16h35 - 17h25                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 17h25 - 18h15                  | Disponível    | Disponível   | Disponível   | Disponível   | Disponível   |
| 19h10 - 20h00                  | Indisponível  | Indisponível | Indisponível | Indisponível | Indisponível |
| 20h00 - 20h50                  | Indisponível  | Indisponível | Indisponível | Indisponível | Indisponível |
| 21h00 - 21h50                  | Indisponível  | Indisponível | Indisponível | Indisponível | Indisponível |
| 21h50 - 22h40                  | Indisponível  | Indisponível | Indisponível | Indisponível | Indisponível |

Fonte: elaborada pelo autor

# APÊNDICE B – Grades Geradas com o Sistema PHI 2

Figura 29: INFO-1

|               | Segunda-feira                                                    |                                           | Terça-feira                                 |  | Quarta-feira                     |  | Quinta-feira                        |  | Sexta-feira                                                      |                                           |
|---------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|---------------------------------------------|--|----------------------------------|--|-------------------------------------|--|------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| 07h00 - 07h50 | EMP<br>João Batista<br>Sala 10                                   |                                           | RED1<br>Cíndia Mara<br>Sala de<br>Línguas 2 |  | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10 |  | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 10 |  | LLP1 T2<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10 |
| 07h50 - 08h40 | EMP<br>João Batista<br>Sala 10                                   |                                           | RED1<br>Cíndia Mara<br>Sala de<br>Línguas 2 |  | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10 |  | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 10 |  | LLP1 T2<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10 |
| 08h40 - 09h30 | ACE<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10                         |                                           | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 10      |  | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10    |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10      |  | HIST1<br>Leandro Braga<br>Sala 10                                |                                           |
| 09h45 - 10h35 | LACE T2<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10                     |                                           | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 10      |  | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10    |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10      |  | HIST1<br>Leandro Braga<br>Sala 10                                |                                           |
| 10h35 - 11h25 | LACE T2<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10                     |                                           | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10            |  |                                  |  |                                     |  | LP1<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software     |                                           |
| 11h25 - 12h15 |                                                                  |                                           |                                             |  |                                  |  |                                     |  |                                                                  |                                           |
| 13h00 - 13h50 | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10                                    |                                           | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10         |  |                                  |  |                                     |  | GEO1<br>Romeirito<br>Valeriano<br>Sala 10                        |                                           |
| 13h50 - 14h40 | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10                                    |                                           | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10         |  |                                  |  |                                     |  | GEO1<br>Romeirito<br>Valeriano<br>Sala 10                        |                                           |
| 14h40 - 15h30 |                                                                  |                                           | QUIM1<br>Isabela Araújo<br>Sala 10          |  |                                  |  |                                     |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10                                   |                                           |
| 15h45 - 16h35 | LLP1 T1<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | ART T2<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10 | QUIM1<br>Isabela Araújo<br>Sala 10          |  |                                  |  |                                     |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10                                   |                                           |
| 16h35 - 17h25 | LLP1 T1<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | ART T2<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10 |                                             |  |                                  |  |                                     |  | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10                              |                                           |
| 17h25 - 18h15 |                                                                  |                                           |                                             |  |                                  |  |                                     |  |                                                                  |                                           |
| 18h20 - 19h10 |                                                                  |                                           |                                             |  |                                  |  |                                     |  |                                                                  |                                           |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 30: INFO-2

|               | Segunda-feira                                                 |                                                       | Terça-feira                                                   |                                                       | Quarta-feira                                                              |                                                | Quinta-feira                                                              |                                              | Sexta-feira                                    |  |
|---------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T2<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Línguas 1 |                                                               |                                                       | LLP2 T2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LBO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | GEO2<br>Romário<br>Valeriano<br>Sala 11                                   |                                              |                                                |  |
| 07h50 - 08h40 | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T2<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Línguas 1 | PORT2<br>Aurelio Takao<br>Sala 11                             |                                                       | LLP2 T2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LBO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | GEO2<br>Romário<br>Valeriano<br>Sala 11                                   |                                              |                                                |  |
| 08h40 - 09h30 | MAT2<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 11                           |                                                       | PORT2<br>Aurelio Takao<br>Sala 11                             |                                                       | HIST2<br>Riler Barbosa<br>Sala 11                                         |                                                | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LEDA T2<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 11 |                                                |  |
| 09h45 - 10h35 | MAT2<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 11                           |                                                       | SO T2<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Línguas 1 | HIST2<br>Riler Barbosa<br>Sala 11                                         |                                                | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LEDA T2<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 11 | LBO T2<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 |  |
| 10h35 - 11h25 | SO<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Sala 11                           |                                                       | SO T2<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Línguas 1 | LP2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 11                                   |                                                | FIS2<br>Mirela de<br>Sala 11                                              |                                              | LBO T2<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 |  |
| 11h25 - 12h15 |                                                               |                                                       |                                                               |                                                       |                                                                           |                                                |                                                                           |                                              |                                                |  |
| 13h00 - 13h50 | EDA<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 11                      |                                                       | QUIM2<br>Isabela Araújo<br>Sala 11                            |                                                       |                                                                           |                                                | FIS2<br>Mirela de<br>Sala 11                                              |                                              |                                                |  |
| 13h50 - 14h40 | EDU FIS<br>Milaine Gomes<br>Sala 11                           |                                                       | QUIM2<br>Isabela Araújo<br>Sala 11                            |                                                       |                                                                           |                                                | FIS2<br>Mirela de<br>Sala 11                                              |                                              |                                                |  |
| 14h40 - 15h30 | EDU FIS<br>Milaine Gomes<br>Sala 11                           |                                                       | BIO2<br>Felipe Almeida<br>Sala 11                             |                                                       |                                                                           |                                                | PS T2<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2             | LEDA T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 11 |                                                |  |
| 15h45 - 16h35 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |                                                       | BIO2<br>Felipe Almeida<br>Sala 11                             |                                                       |                                                                           |                                                | PS T2<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2             | LEDA T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 11 |                                                |  |
| 16h35 - 17h25 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |                                                       | MAT2<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 11                           |                                                       |                                                                           |                                                |                                                                           |                                              |                                                |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 31: INFO-3

|               | Segunda-feira                                           | Terça-feira                                   | Quarta-feira                                         | Quinta-feira                                               | Sexta-feira                                           |
|---------------|---------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| 07h00 - 07h50 |                                                         | ING3<br>Adriana Sales<br>Sala de<br>Línguas 1 | PW<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Computação 5 |                                                            |                                                       |
| 07h50 - 08h40 | MAT3<br>Lidia Vidal<br>Sala 13                          | ING3<br>Adriana Sales<br>Sala de<br>Línguas 1 | PW<br>Odilon Comêa<br>Laboratório de<br>Computação 5 | RC<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 1 |                                                       |
| 08h40 - 09h30 | MAT3<br>Lidia Vidal<br>Sala 13                          | HIST3<br>Riler Barbosa<br>Sala 13             |                                                      | RC<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 1 |                                                       |
| 09h45 - 10h35 | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13                 | HIST3<br>Riler Barbosa<br>Sala 13             | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 13                       | RED3<br>Aurelio Takao<br>Sala 13                           |                                                       |
| 10h35 - 11h25 | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13                 | SOC<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 13        | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 13                       | RED3<br>Aurelio Takao<br>Sala 13                           |                                                       |
| 11h25 - 12h15 |                                                         | SOC<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 13        | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13              |                                                            |                                                       |
| 13h00 - 13h50 | EDU FID<br>Barbara Braga<br>Sala 13                     |                                               |                                                      | QUIM3<br>Isabela Araújo<br>Sala 13                         |                                                       |
| 13h50 - 14h40 | EDU FID<br>Barbara Braga<br>Sala 13                     | PORT3<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala 13        |                                                      | QUIM3<br>Isabela Araújo<br>Sala 13                         | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3 |
| 14h40 - 15h30 | LIACP<br>Viviane Cota<br>Laboratório de<br>Computação 1 | PORT3<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala 13        |                                                      | IACP<br>Viviane Cota<br>Sala 13                            | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3 |
| 15h45 - 16h35 | LIACP<br>Viviane Cota<br>Laboratório de<br>Computação 1 |                                               |                                                      | IACP<br>Viviane Cota<br>Sala 13                            | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3 |
| 16h35 - 17h25 |                                                         |                                               |                                                      |                                                            |                                                       |
| 17h25 - 18h15 |                                                         |                                               |                                                      |                                                            |                                                       |
| 18h20 - 19h10 |                                                         |                                               |                                                      |                                                            |                                                       |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 32: EC-1

|               | Segunda-feira                                                    |  | Terça-feira                    |  | Quarta-feira                   |  | Quinta-feira                                            |  | Sexta-feira |  |
|---------------|------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|---------------------------------------------------------|--|-------------|--|
| 07h00 - 07h50 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 07h50 - 08h40 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 08h40 - 09h30 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 09h45 - 10h35 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 10h35 - 11h25 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 11h25 - 12h15 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 13h00 - 13h50 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 13h50 - 14h40 | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3                                   |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 4 |  | LPC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Computação 5 |  |             |  |
| 14h40 - 15h30 | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3                                   |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 4 |  | LPC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Computação 5 |  |             |  |
| 15h45 - 16h35 | PC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                          |  |             |  |
| 16h35 - 17h25 | PC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                          |  |             |  |
| 17h25 - 18h15 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 18h20 - 19h10 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 19h10 - 20h00 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |
| 20h00 - 20h50 |                                                                  |  |                                |  |                                |  |                                                         |  |             |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 33: EC-2

|               | Segunda-feira                                                             |                                                                               | Terça-feira |  | Quarta-feira                                                              |  | Quinta-feira                                                                  |  | Sexta-feira                    |  |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|--|---------------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | FIS1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |             |  | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 3                                     |  |                                                                               |  |                                |  |
| 07h50 - 08h40 | FIS1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |             |  | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 3                                     |  |                                                                               |  |                                |  |
| 08h40 - 09h30 | FIS1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |             |  | LPC2 T2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 4                                                |  |                                |  |
| 09h45 - 10h35 | FIS1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |             |  | LPC2 T2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 4                                                |  |                                |  |
| 10h35 - 11h25 | MD<br>João Batista<br>Sala 3                                              |                                                                               |             |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3                                            |  | LSDC T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 11h25 - 12h15 | MD<br>João Batista<br>Sala 3                                              |                                                                               |             |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3                                            |  | LSDC T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 13h00 - 13h50 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 13h50 - 14h40 | LPC2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T2<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |             |  | PC2<br>Douglas Nunes<br>Sala 3                                            |  |                                                                               |  |                                |  |
| 14h40 - 15h30 | LPC2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T2<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |             |  | PC2<br>Douglas Nunes<br>Sala 3                                            |  |                                                                               |  |                                |  |
| 15h45 - 16h35 | SDC<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 3                                   |                                                                               |             |  | MD<br>João Batista<br>Sala 3                                              |  |                                                                               |  |                                |  |
| 16h35 - 17h25 | SDC<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 3                                   |                                                                               |             |  | MD<br>João Batista<br>Sala 3                                              |  |                                                                               |  |                                |  |
| 17h25 - 18h15 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 18h20 - 19h10 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 19h10 - 20h00 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 20h00 - 20h50 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 21h00 - 21h50 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |
| 21h50 - 22h40 |                                                                           |                                                                               |             |  |                                                                           |  |                                                                               |  |                                |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 34: EC-4

|               | Segunda-feira                                            | Terça-feira                        | Quarta-feira                                               | Quinta-feira                                         | Sexta-feira                                             |
|---------------|----------------------------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| 07h00 - 07h50 |                                                          |                                    |                                                            |                                                      | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4                           |
| 07h50 - 08h40 |                                                          | REGO<br>Leandro Braga<br>Sala 4    |                                                            |                                                      | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4                           |
| 08h40 - 09h30 |                                                          | REGO<br>Leandro Braga<br>Sala 4    |                                                            |                                                      | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                     |
| 09h45 - 10h35 |                                                          | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4      |                                                            |                                                      | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                     |
| 10h35 - 11h25 |                                                          | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4      |                                                            | FIS EXP 2 T2<br>Weber Henry<br>Laboratório de Física |                                                         |
| 11h25 - 12h15 |                                                          |                                    |                                                            | FIS EXP 2 T2<br>Weber Henry<br>Laboratório de Física |                                                         |
| 13h00 - 13h50 | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                      | AOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Sala 4 | LAED2<br>Claudio Portes<br>Laboratório de Eng. de Software |                                                      | LP<br>Odilon Contes<br>Sala 4                           |
| 13h50 - 14h40 | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                      | AOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Sala 4 | LAED2<br>Claudio Portes<br>Laboratório de Eng. de Software | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de Física | LP<br>Odilon Contes<br>Sala 4                           |
| 14h40 - 15h30 | LAOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Laboratório de Computação 5 | AOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Sala 4 |                                                            | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de Física | LLP<br>Odilon Contes<br>Laboratório de Eng. de Software |
| 15h45 - 16h35 | LAOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Laboratório de Computação 5 | AOC2<br>Leonardo Lacerda<br>Sala 4 |                                                            |                                                      | LLP<br>Odilon Contes<br>Laboratório de Eng. de Software |
| 16h35 - 17h25 | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4                         | TEPCOLR<br>Josimar Jaime<br>Sala 4 |                                                            | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4                     |                                                         |
| 17h25 - 18h15 | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4                         | TEPCOLR<br>Josimar Jaime<br>Sala 4 |                                                            | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4                     |                                                         |
| 18h20 - 19h10 |                                                          |                                    |                                                            |                                                      |                                                         |

Fonte: elaborada pelo autor

# APÊNDICE C – Grades Geradas com o Sistema PHI (primeira versão)

Figura 35: INFO-1

|               | Segunda-feira                                |                                                                  | Terça-feira                                  |  | Quarta-feira                     |  | Quinta-feira                            |  | Sexta-feira                                                  |  |
|---------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--|----------------------------------|--|-----------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 10          |                                                                  |                                              |  | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10 |  | GEO1<br>Romeiro<br>Valeriano<br>Sala 10 |  | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10                    |  |
| 07h50 - 08h40 | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 10          |                                                                  | RED1<br>Círcula Mara<br>Sala de<br>Línguas 2 |  | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10 |  | GEO1<br>Romeiro<br>Valeriano<br>Sala 10 |  | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10                    |  |
| 08h40 - 09h30 | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10                |                                                                  | RED1<br>Círcula Mara<br>Sala de<br>Línguas 2 |  | PORT1<br>Luiz Antônio<br>Sala 10 |  | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10           |  | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10                    |  |
| 09h45 - 10h35 | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10                |                                                                  | EMP<br>João Batista<br>Sala 10               |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10   |  | FIS1<br>João Paulo<br>Sala 10           |  | ART T1<br>Guilherme<br>Augusto<br>Sala 10                    |  |
| 10h35 - 11h25 |                                              |                                                                  | EMP<br>João Batista<br>Sala 10               |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10   |  |                                         |  | LP1<br>Odilon Contê<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  |
| 11h25 - 12h15 |                                              |                                                                  |                                              |  |                                  |  |                                         |  |                                                              |  |
| 13h00 - 13h50 |                                              |                                                                  | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10          |  |                                  |  |                                         |  | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10                          |  |
| 13h50 - 14h40 | LACE T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10 | LLP1 T1<br>Odilon Contê<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | BIO1<br>Tatiane Ferreira<br>Sala 10          |  |                                  |  | QUIM1<br>Isabela Araújo<br>Sala 10      |  |                                                              |  |
| 14h40 - 15h30 | LACE T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10 | LLP1 T1<br>Odilon Contê<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |                                              |  |                                  |  | QUIM1<br>Isabela Araújo<br>Sala 10      |  |                                                              |  |
| 15h45 - 16h35 | LACE T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10 |                                                                  | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 10       |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10   |  | HIST1<br>Leandro Braga<br>Sala 10       |  |                                                              |  |
| 16h35 - 17h25 | LACE T1<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10 |                                                                  | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 10       |  | MAT1<br>Júlio Cesar<br>Sala 10   |  | HIST1<br>Leandro Braga<br>Sala 10       |  | ACE<br>Aiceblades<br>Fernando<br>Sala 10                     |  |
| 17h25 - 18h15 |                                              |                                                                  |                                              |  |                                  |  |                                         |  |                                                              |  |
| 18h20 - 19h10 |                                              |                                                                  |                                              |  |                                  |  |                                         |  |                                                              |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 36: INFO-2

|               | Segunda-feira                                                 |  | Terça-feira                                                               |  | Quarta-feira                                                  |                                                        | Quinta-feira                                   |                                              | Sexta-feira                               |  |
|---------------|---------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | MAT2<br>Lilian Givisiez<br>Sala 11                            |  | EDU R18<br>Milaine Gomes<br>Sala 11                                       |  | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maliza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Linguas 1 | MAT2<br>Lilian Givisiez<br>Sala 11             |                                              | PORT2<br>Aurelio Takao<br>Sala 11         |  |
| 07h50 - 08h40 | MAT2<br>Lilian Givisiez<br>Sala 11                            |  | EDU R18<br>Milaine Gomes<br>Sala 11                                       |  | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maliza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Linguas 1 | HIST2<br>Riley Barbosa<br>Sala 11              |                                              | PORT2<br>Aurelio Takao<br>Sala 11         |  |
| 08h40 - 09h30 |                                                               |  | BIO2<br>Felipe Almeida<br>Sala 11                                         |  | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maliza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Linguas 1 | HIST2<br>Riley Barbosa<br>Sala 11              |                                              |                                           |  |
| 09h45 - 10h35 |                                                               |  | BIO2<br>Felipe Almeida<br>Sala 11                                         |  | SO T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 3 | RED2 T1<br>Maliza<br>Aparecida<br>Sala de<br>Linguas 1 | FIG2<br>Mirela de<br>Sala 11                   |                                              |                                           |  |
| 10h35 - 11h25 |                                                               |  | FIG2<br>Mirela de<br>Sala 11                                              |  | LP2<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 11                       |                                                        | FIG2<br>Mirela de<br>Sala 11                   |                                              |                                           |  |
| 11h25 - 12h15 |                                                               |  |                                                                           |  |                                                               |                                                        |                                                |                                              |                                           |  |
| 13h00 - 13h50 | EDA<br>Alceblades<br>Fernando<br>Sala 11                      |  | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  |                                                               |                                                        | LBD T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | LEDA T1<br>Alceblades<br>Fernando<br>Sala 11 | QUIM2<br>Isabela Araújo<br>Sala 11        |  |
| 13h50 - 14h40 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |  | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  |                                                               |                                                        | LBD T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | LEDA T1<br>Alceblades<br>Fernando<br>Sala 11 | QUIM2<br>Isabela Araújo<br>Sala 11        |  |
| 14h40 - 15h30 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |  | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  |                                                               |                                                        | LBD T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | LEDA T1<br>Alceblades<br>Fernando<br>Sala 11 | GEO2<br>Romeirito<br>Valeriano<br>Sala 11 |  |
| 15h45 - 16h35 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |  | LLP2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |  |                                                               |                                                        | LBD T1<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório 11 | LEDA T1<br>Alceblades<br>Fernando<br>Sala 11 | GEO2<br>Romeirito<br>Valeriano<br>Sala 11 |  |
| 16h35 - 17h25 | PS T1<br>Delsymar<br>Botega<br>Laboratório de<br>Computação 2 |  |                                                                           |  |                                                               |                                                        | BD<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Sala 11            |                                              |                                           |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 37: INFO-3

|               | Segunda-feira                                              |  | Terça-feira                                  |  | Quarta-feira                            |  | Quinta-feira                                          |  | Sexta-feira                                             |  |
|---------------|------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------|--|-----------------------------------------|--|-------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | MAT3<br>Lidia Vidal<br>Sala 13                             |  | PORT3<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala 13       |  | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 13          |  |                                                       |  |                                                         |  |
| 07h50 - 08h40 | MAT3<br>Lidia Vidal<br>Sala 13                             |  | PORT3<br>Maiza<br>Aparecida<br>Sala 13       |  | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 13          |  | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3 |  | LIACP<br>Viviane Cota<br>Laboratório de<br>Computação 1 |  |
| 08h40 - 09h30 | RC<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 1 |  | SOC<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 13       |  |                                         |  | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3 |  | LIACP<br>Viviane Cota<br>Laboratório de<br>Computação 1 |  |
| 09h45 - 10h35 | RC<br>Ezequiel<br>Mendes<br>Laboratório de<br>Computação 1 |  | SOC<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 13       |  | RED3<br>Aurelio Takao<br>Sala 13        |  | HIST3<br>Riler Barbosa<br>Sala 13                     |  |                                                         |  |
| 10h35 - 11h25 | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 13                        |  | ING3<br>Adriana Sales<br>Sala de<br>Língua 1 |  | RED3<br>Aurelio Takao<br>Sala 13        |  | HIST3<br>Riler Barbosa<br>Sala 13                     |  |                                                         |  |
| 11h25 - 12h15 | EDU FIS<br>Barbara Braga<br>Sala 13                        |  | ING3<br>Adriana Sales<br>Sala de<br>Língua 1 |  |                                         |  |                                                       |  |                                                         |  |
| 13h00 - 13h50 |                                                            |  |                                              |  |                                         |  | PW<br>Odilon Corrêa<br>Laboratório de<br>Computação 5 |  |                                                         |  |
| 13h50 - 14h40 | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13                    |  |                                              |  |                                         |  | PW<br>Odilon Corrêa<br>Laboratório de<br>Computação 5 |  |                                                         |  |
| 14h40 - 15h30 | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13                    |  |                                              |  | LP3<br>Luciano<br>Nascimento<br>Sala 13 |  |                                                       |  | SEM<br>Márcio Assis<br>Laboratório de<br>Computação 3   |  |
| 15h45 - 16h35 |                                                            |  |                                              |  |                                         |  | IACP<br>Viviane Cota<br>Sala 13                       |  | QUIM3<br>Isabela Araújo<br>Sala 13                      |  |
| 16h35 - 17h25 |                                                            |  |                                              |  |                                         |  | IACP<br>Viviane Cota<br>Sala 13                       |  | QUIM3<br>Isabela Araújo<br>Sala 13                      |  |
| 17h25 - 18h15 |                                                            |  |                                              |  |                                         |  |                                                       |  |                                                         |  |
| 18h20 - 19h10 |                                                            |  |                                              |  |                                         |  |                                                       |  |                                                         |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 38: EC-1

|               | Segunda-feira                  |  | Terça-feira                    |  | Quarta-feira                   |  | Quinta-feira                                                     |  | Sexta-feira                                                       |  |
|---------------|--------------------------------|--|--------------------------------|--|--------------------------------|--|------------------------------------------------------------------|--|-------------------------------------------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 07h50 - 08h40 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 08h40 - 09h30 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 09h45 - 10h35 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 10h35 - 11h25 |                                |  |                                |  |                                |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                                   |  | LPC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  |
| 11h25 - 12h15 |                                |  |                                |  |                                |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                                   |  | LPC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  |
| 13h00 - 13h50 |                                |  |                                |  |                                |  | PC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  |                                                                   |  |
| 13h50 - 14h40 |                                |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | PC1<br>Lucas Pantuza<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados |  |                                                                   |  |
| 14h40 - 15h30 | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                                   |  |                                                                   |  |
| 15h45 - 16h35 | GAA/<br>João Batista<br>Sala 3 |  |                                |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3                                   |  |                                                                   |  |
| 16h35 - 17h25 |                                |  |                                |  | CALC1<br>Julio Cesar<br>Sala 3 |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 17h25 - 18h15 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 18h20 - 19h10 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 19h10 - 20h00 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |
| 20h00 - 20h50 |                                |  |                                |  |                                |  |                                                                  |  |                                                                   |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 39: EC-2

|               | Segunda-feira                                                             |                                                                               | Terça-feira                           |  | Quarta-feira                          |  | Quinta-feira                            |  | Sexta-feira                    |  |
|---------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|-----------------------------------------|--|--------------------------------|--|
| 07h00 - 07h50 | FIB1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |
| 07h50 - 08h40 | FIB1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3                                     |                                                                               |                                       |  | MD<br>João Batista<br>Sala 3          |  |                                         |  |                                |  |
| 08h40 - 09h30 | LPO2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados | MD<br>João Batista<br>Sala 3          |  | MD<br>João Batista<br>Sala 3          |  | SDC<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 3 |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 09h45 - 10h35 | LPO2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados | MD<br>João Batista<br>Sala 3          |  |                                       |  | SDC<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Sala 3 |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 10h35 - 11h25 | LPO2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 3 |  | FIB1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3 |  |                                         |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 11h25 - 12h15 | LPO2 T1<br>Luciano<br>Nascimento<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software | LSDC T1<br>Alcebiades<br>Fernando<br>Laboratório de<br>Sistemas<br>Embarcados | FIL<br>Rivaldo<br>Mangueira<br>Sala 3 |  | FIB1<br>Anderson<br>Augusto<br>Sala 3 |  |                                         |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 13h00 - 13h50 |                                                                           |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |
| 13h50 - 14h40 |                                                                           |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |
| 14h40 - 15h30 |                                                                           |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |
| 15h45 - 16h35 |                                                                           |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |
| 16h35 - 17h25 | PC2<br>Douglas Nunes<br>Sala 3                                            |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 17h25 - 18h15 | PC2<br>Douglas Nunes<br>Sala 3                                            |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  | CALC2<br>Júlio Cesar<br>Sala 3 |  |
| 18h20 - 19h10 |                                                                           |                                                                               |                                       |  |                                       |  |                                         |  |                                |  |

Fonte: elaborada pelo autor

Figura 40: EC-4

|               | Segunda-feira                         | Terça-feira                                                    | Quarta-feira                          | Quinta-feira                                                 | Sexta-feira                                                      |
|---------------|---------------------------------------|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 07h00 - 07h50 |                                       |                                                                |                                       |                                                              |                                                                  |
| 07h50 - 08h40 |                                       |                                                                |                                       |                                                              |                                                                  |
| 08h40 - 09h30 |                                       |                                                                |                                       | RERG<br>Leandro Braga<br>Sala 4                              |                                                                  |
| 09h45 - 10h35 |                                       |                                                                |                                       | RERG<br>Leandro Braga<br>Sala 4                              |                                                                  |
| 10h35 - 11h25 | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4   | TEPCOLR<br>Josimar Jaime<br>Sala 4                             | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4         | LLP<br>Odilon Corêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |                                                                  |
| 11h25 - 12h15 | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4   | TEPCOLR<br>Josimar Jaime<br>Sala 4                             | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4         | LLP<br>Odilon Corêa<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |                                                                  |
| 13h00 - 13h50 | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4      | LP<br>Odilon Corêa<br>Sala 4                                   | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4      |                                                              | LAED2<br>Claudio Portes<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |
| 13h50 - 14h40 | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4      | LP<br>Odilon Corêa<br>Sala 4                                   | AED2<br>Claudio Portes<br>Sala 4      |                                                              | LAED2<br>Claudio Portes<br>Laboratório de<br>Eng. de<br>Software |
| 14h40 - 15h30 | AOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Sala 4 | LAOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Laboratório de<br>Computação 5 |                                       | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de<br>Física      |                                                                  |
| 15h45 - 16h35 | AOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Sala 4 | LAOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Laboratório de<br>Computação 5 |                                       | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de<br>Física      |                                                                  |
| 16h35 - 17h25 | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4         | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                            | AOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Sala 4 | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de<br>Física      |                                                                  |
| 17h25 - 18h15 | FIS3<br>Weber Henry<br>Sala 4         | CALC4<br>Lilian Glivisiez<br>Sala 4                            | AOC2<br>Leonardo<br>Lacerda<br>Sala 4 | FIS EXP 2 T1<br>Weber Henry<br>Laboratório de<br>Física      |                                                                  |
| 18h20 - 19h10 |                                       |                                                                |                                       |                                                              |                                                                  |

Fonte: elaborada pelo autor