

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

MÁRCIA INÊS SCHABARUM MIKUSKA

UMA PROPOSTA BASEADA EM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA  
*TIMETABLE* ESCOLAR COMPACTO

CURITIBA

2015

MÁRCIA INÊS SCHABARUM MIKUSKA

UMA PROPOSTA BASEADA EM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA  
*TIMETABLE* ESCOLAR COMPACTO

Dissertação apresentada como requisito parcial  
para a obtenção do grau de Mestre no Programa  
de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em  
Engenharia, Setores de Tecnologia e de Ciên-  
cias Exatas da Universidade Federal do Paraná  
Orientador: Prof. Dr. Sérgio Scheer  
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Roges Teixeira  
Góes

CURITIBA

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M636p Mikuska, Márcia Inês Schabarum

Uma proposta baseada em Algoritmo Genético para o Problema Timetable Escolar Compacto. Márcia Inês Schabarum Mikuska – Curitiba, 2015.  
103 p.

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Scheer  
Coorientador: Prof. Dr. Anderson Roges T. Góes  
Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, Área de Concentração Programação Matemática – Universidade Federal do Paraná.

1. Timetabling Problem. 2. Otimização. 3. Meta-heurística. 4. Algoritmo Genético. I. Scheer, Sérgio. II. Góes, Anderson Roges T. III. Universidade Federal do Paraná.

CDD – 511.8

Bibliotecária: Neide O. S. Paula – CRB-9/1477

TERMO DE APROVAÇÃO

MÁRCIA INÊS SCHABARUM MIKUSKA

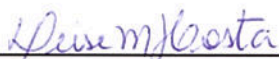
UMA PROPOSTA BASEADA EM ALGORITMO GENÉTICO PARA O PROBLEMA  
TIMETABLE ESCOLAR COMPACTO

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de mestre no Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia, da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



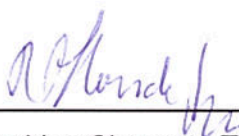
---

Prof. Dr. Sérgio Scheer  
Orientador - Membro do PPGMNE/UFPR.



---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Deise Maria Bertholdi Costa  
Membro do PPGMNE/UFPR



---

Prof. Dr. Rodrigo Clemente Thom de Souza  
Membro da UFPR – Campus Jandaia do Sul – PR.

Curitiba, 11 de dezembro de 2015

*Dedico este trabalho aos que acreditaram em mim  
quando muitos duvidavam.*

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos da Universidade Federal do Paraná pela oportunidade de realizar esta pesquisa.

Aos orientadores Prof. Dr. Sérgio Scheer e Prof. Dr. Anderson Roges Teixeira Góes pela compreensão e atenção dispensada nesta jornada.

Aos membros da banca, Profa. Dra. Deise Maria Bertholdi Costa e Prof. Dr. Rodrigo Thom Clemente de Souza pelas valiosas contribuições apresentadas a este trabalho.

À Escola Willy Janz, na pessoa do seu diretor, Professor Roberto Renner, pelos dados fornecidos e apoio na aplicação deste projeto.

Ao meu esposo Carlos Eurico Galvão Rosa, por todas as vezes que estive ao meu lado, e por sua fé e força presentes quando as minhas já se esgotaram.

Ao meu filho, Marcos Henrique, que desde sua presença em meu ventre já andava pelos caminhos da Universidade e da Matemática.

Aos meus pais Maria Christina e Cláudio, que diante de todo o limitante da vida, onde não puderam estar sequer em uma escola primária, mas fizeram o que estava em seu alcance para que eu pudesse chegar até aqui.

À todos amigos e colegas principalmente aqueles que mesmo longe se fazem presentes, em especial: Alessandra, Nelem, Danilo e Carlos Alberto.

Às minhas novas colegas de trabalho da Secretaria Acadêmica dos Cursos, no *Campus* Jandaia do Sul, que me acolheram com carinho nesta nova etapa profissional.

Aos professores da UFPR: Adriana Augusta Benigno dos Santos Luz, Anderson Roges Teixeira Góes, Deise Maria Bertholdi Costa, Elizabeth Wegner Karas, José Carlos Cifuentes, José Carlos Eidam, Liliana Madalena Gramanni, Luiz Antônio Ribeiro de Santana e Maria Tereza Carneiro Soares por serem mestres, exemplos a serem seguidos dentro e fora de sala de aula: a vocês a minha admiração por fazerem parte da minha formação.

Ao professor Emílio Eiji Kavamura pelo auxílio com a diagramação e formatação deste trabalho com uso de  $\text{\LaTeX}$ .

E, principalmente, aos “NÃOS” recebidos durante a jornada, pois eles me serviram para mostrar que a maior força está dentro de cada um.

*“Se eu vi mais longe, foi por estar  
sobre ombros de gigantes.”  
“Se fiz descobertas valiosas, foi mais por ter  
paciência do que qualquer outro talento.”  
(Isaac Newton)*

## RESUMO

O início do ano letivo é marcado por um desafio clássico a uma equipe pedagógica: montar a distribuição de aulas e turmas aos professores, um *Scholar Timetabling Problem*, atendendo necessidades apresentadas pelo corpo docente e garantindo que a carga horária semanal de cada disciplina seja cumprida em sua totalidade para as turmas. É comum, tanto em escolas públicas quanto particulares de pequeno e médio porte, que este trabalho ainda seja realizado manualmente por vários motivos: hábito; desconhecimento ou falta de habilidade com softwares pagos ou gratuitos; gosto pelo desafio ou por envolver custos que poderiam ser evitados. As variáveis do problema envolvem produtos entre as quantidades de professores, turmas, dias letivos na semana e aulas por dia, tornando o universo de possíveis soluções relativamente grande. Dependendo do método escolhido, o processo de busca de uma solução factível é desgastante, árduo e demanda considerável período de tempo normalmente escasso. O atendimento da disponibilidade dos dias em que ministram aulas é de extrema importância para os professores de pequenas escolas, que geralmente mantêm outros vínculos empregatícios. É preciso que janelas e aulas isoladas sejam minimizadas e, sendo possível, evitadas. Neste contexto a presente pesquisa visa construir uma interface que receba os dados do problema e, após validá-los, seja capaz de fornecer uma solução ao problema que seja factível e na qual a quantidade de janelas seja mínima. O uso de meta-heurística baseada em Algoritmo Genético neste processamento se dá pela eficiência com que este método se aproxima de soluções com boa qualidade. Foram utilizados dados reais de duas escolas de ensino fundamental de pequeno porte de região de Curitiba-PR para validar os processos desenvolvidos. Inicialmente se conjecturou que reduzindo o número de janelas nas grades horárias dos professores se conseguiria um horário concentrado no mínimo de dias necessários, satisfazendo as restrições apresentadas. A redução de janelas ocorreu devido à penalização destas situações durante a execução da meta-heurística, favorecendo soluções que apresentaram as menores quantidades de janelas. Foram obtidos horários concentrados dentro de um dia letivo, porém dispersos na semana dos professores com maior disponibilidade de dias. Os resultados obtidos demonstram que a redução de janelas é importante, mas não é suficiente para minimizar a quantidade de dias de trabalho.

**Palavras-chaves:** *Scholar Timetabling Problem*. Otimização. Meta-heurística. Algoritmo Genético.

## ABSTRACT

The beginning of the school year is marked by a classic challenge for a pedagogical team: assembling a distribution of classes to the teachers, a scholar timetabling problem, by meeting needs presented by the teaching staff and ensuring that the weekly duration of each discipline is fully accomplished for the classes. In both public and private schools, small or medium, it is still common to do this task manually for several reasons: habit; unfamiliarity or lack of skill with paid or free software; a taste for challenge or avoiding unnecessary costs. The variables of the problem involve products between the numbers of teachers, classes, school days a week and classes per day, making the universe of possible solutions relatively large. Depending on the chosen method, the process of searching for a feasible solution is exhausting, difficult and demands a considerable period of time usually scarce. Satisfying the days' availability is of utmost importance for the small schools teachers, who usually maintain other employment relationships. It is required that idle slots and isolated classes be minimized and, if possible, avoided. In this context, the present research aims to build an interface that receives the issue data and, after validating them, is able to provide a feasible solution to the problem, with a minimal amount of idle slots. The use of a metaheuristic based on Genetic Algorithms in this processing is given by the efficiency with which this method approximates to solutions with good quality. Real data from two small primary schools in the region of Curitiba-PR were used to validate the developed processes. Initially, it was conjectured that, by reducing the number of idle slots in the teachers' schedules, it would be possible to get a schedule concentrated on the minimum days needed, satisfying the presented constraints. The reduction of idle slots occurred due to the penalty of these situations during the metaheuristic execution, favoring solutions that had the lowest amounts of slots. Timetables without slots were obtained with lessons concentrated within a school day, yet dispersed in the week of the teachers with greater availability. The obtained results show that the reduction of slots is important, but not sufficient to minimize the number of workdays.

**Key-words:** Scholar Timetabling Problem. Optimization. Metaheuristics. Genetic Algorithm.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 1 – EXEMPLOS DE ALOCAÇÃO DIÁRIA COM JANELA E SEM JANELA . . . . .                                   | 21 |
| FIGURA 2 – ANÁLISE DA EXISTÊNCIA DE JANELAS . . . . .  | 37 |
| FIGURA 3 – ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE AG . . . . .   | 40 |
| FIGURA 4 – EXEMPLO DE INDIVÍDUO UTILIZADO . . . . .  | 41 |
| FIGURA 5 – EXEMPLO DE LISTAS ALEATÓRIAS USADAS . . . . .   | 42 |
| FIGURA 6 – FLUXOGRAMA DA PRIMEIRA GERAÇÃO . . . . .  | 43 |
| FIGURA 7 – FLUXOGRAMA DAS GERAÇÕES SUBSEQUENTES . . . . .  | 45 |
| FIGURA 8 – FLUXOGRAMA DO OPERADOR MUTAÇÃO EM UM INDIVÍDUO . . . . .  | 47 |
| FIGURA 9 – EXEMPLO DE TROCA DE HORÁRIO ENTRE PROFESSORES . . . . .   | 48 |
| FIGURA 10 – TELA INICIAL DA INTERFACE . . . . .  | 52 |
| FIGURA 11 – MENU “CADASTROS” . . . . .   | 53 |
| FIGURA 12 – CADASTRO DE DISCIPLINAS . . . . .  | 54 |
| FIGURA 13 – CADASTRO DE PROFESSORES . . . . .  | 55 |
| FIGURA 14 – CADASTRO DE DISPONIBILIDADES . . . . .   | 55 |
| FIGURA 15 – CADASTRO DE TURMAS . . . . .   | 56 |
| FIGURA 16 – CADASTRO DE CARGAS HORÁRIAS . . . . .  | 56 |
| FIGURA 17 – CADASTRO DE PARÂMETROS . . . . .   | 57 |
| FIGURA 18 – MENU EXECUTAR . . . . .  | 58 |
| FIGURA 19 – MENSAGEM DE ERRO EM VALIDAÇÃO DE HORÁRIO . . . . .   | 59 |
| FIGURA 20 – FORMULAÇÃO MATEMÁTICA . . . . .  | 60 |
| FIGURA 21 – MENU RELATÓRIOS . . . . .  | 61 |
| FIGURA 22 – GRÁFICOS DE QUANTIDADE DE JANELAS, POR NÚMERO DE ITERAÇÕES . . . . .                           | 63 |
| FIGURA 23 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA APLICADO EM 2014 . . . . .                                   | 64 |
| FIGURA 24 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE PORTUGUÊS 2 APLICADO EM 2014 . . . . .                                 | 64 |
| FIGURA 25 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA GERADO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .                        | 64 |
| FIGURA 26 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA GERADO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA . . . . .                  | 64 |
| FIGURA 27 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE PORTUGUÊS 2 GERADO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .                      | 65 |
| FIGURA 28 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE MÚSICA APLICADO EM 2014 . . . . .                                      | 65 |
| FIGURA 29 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE MÚSICA GERADO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .                           | 66 |
| FIGURA 30 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO GERADO PELA META-HEURÍSTICA . . . . . | 66 |

|  |    |
|--|----|
| FIGURA 31 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO APLICADO EM 2014 . . . . .                  | 66 |
| FIGURA 32 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO GERADO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA . . . . . | 67 |
| FIGURA 33 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO LINGO PARA O HORÁRIO PROPOSTO - ESCOLA 1 . . . . .                           | 67 |
| FIGURA 34 – MELHOR INDIVÍDUO EM RELAÇÃO À GERAÇÃO - ESCOLA 1 . . . . .   | 68 |
| FIGURA 35 – HORÁRIOS DOS PROFESSORES DE EDUCAÇÃO FÍSICA E INGLÊS GERADOS PELA META-HEURÍSTICA . . . . .          | 69 |
| FIGURA 36 – MELHOR INDIVÍDUO EM RELAÇÃO À GERAÇÃO - ESCOLA 2 . . . . .   | 70 |
| FIGURA 37 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO LINGO PARA O HORÁRIO PROPOSTO - ESCOLA 2 . . . . .                           | 71 |
| FIGURA 38 – HORÁRIOS DE PROFESSORES GERADOS SEM JANELAS . . . . .  | 71 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| TABELA 1 – QUANTIDADE DE AULAS (SEMANAIS) POR DISCIPLINA/TURMA - ESCOLA 1 . . . . .          | 23 |
| TABELA 2 – VÍNCULO ENTRE PROFESSORES QUE MINISTRAM ESSAS DISCIPLINAS E SUAS TURMAS . . . . . | 23 |
| TABELA 3 – QUANTIDADE DE AULAS (SEMANAIS) POR DISCIPLINA/TURMA - ESCOLA 2 . . . . .          | 24 |
| TABELA 4 – INDEXAÇÃO DE HORÁRIOS USADA EM (CALDEIRA; ROSA, 1997) .                           | 25 |
| TABELA 5 – QUANTIDADE DE RESTRIÇÕES POR GRUPO . . . . .                                      | 38 |
| TABELA 6 – COMPARAÇÃO ENTRE TERMINOLOGIA NATURAL E AG . . . . .                              | 40 |
| TABELA 7 – QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS E GERAÇÕES EM TRABALHOS PESQUISADOS . . . . .            | 51 |
| TABELA 8 – QUANTIDADE DE JANELAS POR PROFESSOR . . . . .                                     | 69 |

## LISTA DE ALGORITMOS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| Algoritmo 1 | FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO <i>FITNESS</i> NA META-HEURÍSTICA | 44 |
| Algoritmo 2 | FUNÇÃO PARA CONTAGEM DE JANELAS . . . . .                | 46 |
| Algoritmo 3 | PROCEDIMENTO PARA TENTATIVA DE TROCA DE HORÁRIOS         | 49 |

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

|       |  |
|-------|--|
| AG    | Algoritmos Genéticos   |
| CHD   | Carga Horária Diária   |
| CHS   | Carga Horária Semanal  |
| CPU   | <i>Central Processing Unit</i>                                 |
| GRASP | <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i>             |
| ILS   | <i>Iterated Local Search</i>                                   |
| ISBIM | Instituto Seminário Bíblico Irmãos Menonitas                   |
| LDB   | Lei de Diretrizes e Bases da educação nacional (Lei nº9394/96) |
| LINGO | <i>Language for Interactive General Optimizer</i>              |
| NP    | <i>Nondeterministic Polynomial time</i>                        |
| PATAT | <i>Practice and Theory on Automated Timetabling</i>            |
| PO    | Pesquisa Operacional   |
| RAM   | <i>Random Access Memory</i>                                    |
| VB    | <i>Visual Basic</i>  |

## SUMÁRIO

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b>INTRODUÇÃO</b>  | <b>15</b> |
| 1.1      | Objetivos  | 15        |
| 1.1.1    | Objetivo Geral   | 15        |
| 1.1.2    | Objetivos Específicos                                      | 15        |
| 1.2      | Proposta   | 16        |
| 1.3      | Estrutura do trabalho                                      | 17        |
| <b>2</b> | <b>O PROBLEMA <i>TIMETABLE</i> E O PROBLEMA REAL</b>       | <b>18</b> |
| 2.1      | Concentração de horários                                   | 21        |
| 2.2      | O Problema real específico                                 | 22        |
| 2.2.1    | Escola 1   | 22        |
| 2.2.2    | Escola 2   | 24        |
| <b>3</b> | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b>                               | <b>25</b> |
| 3.1      | Algoritmos Genéticos (AG)                                  | 25        |
| 3.2      | Programação Linear Inteira                                 | 28        |
| 3.3      | <i>Simulated Annealing</i>                                 | 29        |
| 3.4      | Outras Metodologias e comparações                          | 31        |
| 3.4.1    | Redes Neurais  | 31        |
| 3.4.2    | Enxame de abelhas  | 31        |
| 3.4.3    | <i>Greedy Randomized Adaptive Search Procedure</i> - GRASP | 31        |
| 3.4.4    | Programação com restrições / Satisfação de restrições      | 31        |
| 3.4.5    | Transferência Cíclica                                      | 32        |
| 3.4.6    | Algoritmo <i>Walk down jump up</i>                         | 32        |
| 3.4.7    | Hibridizações  | 33        |
| 3.5      | Considerações  | 33        |
| <b>4</b> | <b>ABORDAGENS PROPOSTAS NA PESQUISA</b>                    | <b>34</b> |
| 4.1      | Formulação Matemática – Método Exato                       | 34        |
| 4.1.1    | Análise da modelagem do problema real                      | 38        |
| 4.2      | Meta-heurística – Baseada em Algoritmos Genéticos          | 39        |
| <b>5</b> | <b>INTERFACE PARA APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA</b>         | <b>52</b> |
| 5.1      | Tela Inicial   | 52        |
| 5.2      | Menu “Cadastros”   | 53        |
| 5.2.1    | Cadastro de Disciplinas                                    | 54        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 5.2.2    | Cadastro de Professores e Disponibilidades . . . . .                                 | 54         |
| 5.2.3    | Cadastro de Turmas . . . . .   | 54         |
| 5.2.4    | Cadastro de Cargas Horárias . . . . .  | 54         |
| 5.2.5    | Cadastro de Parâmetros . . . . .   | 57         |
| 5.3      | Menu “Executar” . . . . .  | 58         |
| 5.3.1    | Validar Horário . . . . .  | 58         |
| 5.3.2    | Formulação LINGO . . . . .   | 60         |
| 5.3.3    | Alocação de Horários . . . . .   | 60         |
| 5.4      | Menu “Relatórios” . . . . .  | 60         |
| <b>6</b> | <b>RESULTADOS OBTIDOS . . . . .</b>  | <b>62</b>  |
| 6.1      | Escola 1 . . . . .   | 62         |
| 6.2      | Escola 2 . . . . .   | 68         |
| 6.3      | Considerações . . . . .  | 70         |
| <b>7</b> | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>  | <b>72</b>  |
|          | <b>Referências . . . . .</b>   | <b>74</b>  |
|          | <b>APÊNDICE A EXEMPLO DE INDIVÍDUO INICIAL GERADO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .</b> | <b>80</b>  |
|          | <b>APÊNDICE B HORÁRIO DA ESCOLA 1 OBTIDO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA . . . . .</b>    | <b>84</b>  |
|          | <b>APÊNDICE C HORÁRIO DA ESCOLA 1 OBTIDO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .</b>          | <b>87</b>  |
|          | <b>APÊNDICE D HORÁRIO DA ESCOLA 2 OBTIDO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA . . . . .</b>    | <b>91</b>  |
|          | <b>APÊNDICE E HORÁRIO DA ESCOLA 2 OBTIDO PELA META-HEURÍSTICA . . . . .</b>          | <b>94</b>  |
|          | <b>ANEXO A HORÁRIO IMPLEMENTADO NA ESCOLA 1 EM 2014 . . . . .</b>                    | <b>98</b>  |
|          | <b>ANEXO B HORÁRIO IMPLEMENTADO NA ESCOLA 2 EM 2013 . . . . .</b>                    | <b>102</b> |

# 1 INTRODUÇÃO

Ao planejar um período letivo, geralmente durante a semana pedagógica no começo do ano, cada instituição de ensino busca definir qual será o horário em que as disciplinas serão ministradas para cada turma. Nesta ocasião, os professores informam suas limitações de horários e condições necessárias para as aulas, como a existência ou proibição de aulas geminadas. Cabe aos responsáveis pela coordenação pedagógica o desafio, nem sempre possível, de encontrar uma solução na qual se cumpram essas disponibilidades atendendo a quantidade de aulas exigidas no currículo escolar. Para instituições particulares ressalta-se a necessidade de evitar janelas tanto quanto puder visto que, embora não sejam proibidas, podem ser vistas como custos desnecessários aos mantenedores por reter o professor no ambiente de trabalho sem exercício direto da docência. Segundo convenção trabalhista firmada entre o Sindicato dos Estabelecimentos Particulares de Ensino do Estado do Paraná e o Sindicato dos Professores no Estado do Paraná (SINEPE/PR; SINPROPAR, 2014), mais de uma janela na semana de um professor acarreta em pagamento deste tempo pela instituição.

Existem diversos *softwares*, dentre pagos e gratuitos, utilizados por algumas instituições. Na maioria das vezes a solução apresentada contém problemas como excesso de janelas ou agrupamento de muitas aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia para uma turma. Em algumas situações esses problemas podem prejudicar seriamente o aprendizado, como duas aulas seguidas de atividade física ou quatro das cinco aulas do dia serem de Matemática, devido ao cansaço mental gerado pela longa duração de uma abordagem de um mesmo tema. Por outro lado, ainda é muito comum que a resolução deste problema seja feita manualmente, principalmente em escolas particulares de pequeno porte e escolas públicas. A solução manual geralmente causa inconvenientes, conforme Poulsen e Bandeira (2013). Como esse processo envolve professores e coordenação, afetados diretamente pelo resultado, nem sempre é fácil obter um consenso sobre a qualidade da solução.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 Objetivo Geral

Desenvolver modelo matemático e apresentar uma proposta baseada em Algoritmo Genético (AG) para o problema *timetable* escolar compacto.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- Revisar a literatura relativa à resolução de *timetable*;

- Realizar estudos com enfoque no *timetable* compacto;
- Desenvolver modelo matemático para otimização do *timetable* compacto;
- Desenvolver uma proposta de otimização do *timetable* compacto baseada em AG;
- Utilizar bases de dados reais para comparar os resultados obtidos pelos métodos desenvolvidos com o horário efetivado nas instituições de origem dos dados.

## 1.2 PROPOSTA

A proposta da presente pesquisa é analisar abordagens de Otimização desenvolvidas no campo da ciência conhecida como Pesquisa Operacional (PO) para encontrar uma solução que atenda razoavelmente ao problema específico, isto é, mesmo não tendo garantias de se obter a chamada “solução ótima”. Segundo Okishi e Souza (2013), a PO tem sido estudada desde 1947, quando George Dantzig desenvolveu o método SIMPLEX enquanto trabalhava para a Força Aérea Norte Americana desenvolvendo técnicas de otimização para problemas militares, com base em estudos desenvolvidos durante a II Guerra Mundial. Seu desenvolvimento foi amplamente beneficiado pelo surgimento do computador em 1951, expandindo-se de forma extraordinária. Gerado um modelo matemático do problema, se busca minimizar a quantidade de situações indesejadas e maximizar o atendimento das condições iniciais do problema utilizando técnicas de otimização. A inspiração original deste trabalho é a resolução do problema *timetable* real, detalhado no capítulo 2, sendo dada maior ênfase à minimização das janelas por se tratarem de instituições particulares.

Computacionalmente é comum o uso de meta-heurísticas para resolução de problemas de otimização considerados NP-difíceis<sup>1</sup>, visto que geralmente oferecem boas soluções com tempo de processamento menor do que as técnicas exatas. Blum e Roli (2003) definem meta-heurísticas como “estratégias de alto nível para explorar espaços de busca usando diferentes métodos”. Dentre as meta-heurísticas existentes foi escolhido se basear em AG neste trabalho. Trata-se de uma classe particular de algoritmos evolutivos que usa técnicas inspiradas na biologia, como: adaptação, mutação, seleção natural e *crossover*. Essa técnica tem sido muito aplicada pela eficiência na obtenção de soluções ótimas ou aproximadamente ótimas (GOLDBERG, 1989), o que motivou a escolha para este trabalho.

Para validação das técnicas empregadas de Modelagem Matemática e o algoritmo baseado em AG, são utilizadas bases de dados reais, referentes à duas distintas

<sup>1</sup> do inglês *NP-hard – Non-deterministic Polynomial-time hard*

escolas particulares de Educação Básica, de pequeno porte, situadas na região de Curitiba-PR.

A solução proposta visa concentrar os dias de permanência dos professores na escola, minimizando possíveis intervalos, isto é, horários em que o professor está na escola sem atribuição de aulas, as chamadas “janelas”. Estas geram custos à instituição e muitas vezes prejudicam o planejamento do professor que necessita trabalhar em outras instituições. Para o AG serão considerados indivíduos as propostas de solução do problema, inicialmente aleatórias. Todos os indivíduos passarão por mutações, a fim de que sejam selecionados os de melhor adaptação para compor as gerações seguintes, permitindo sucessivas melhorias na solução como um processo evolutivo.

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho inicia-se com a apresentação de uma descrição geral do problema no capítulo 2, seguida de uma revisão na literatura de casos e soluções semelhantes ao mesmo problema no capítulo 3. No capítulo 4 é abordada a modelagem matemática do problema e descrita a proposta de uso da meta-heurística inspirada no AG e na forma de resolução manual da situação. No capítulo 5 é apresentada a interface criada para recebimento dos dados e suas funções para execução da meta-heurística proposta. No capítulo 6 são exibidos e analisados alguns resultados obtidos pela meta-heurística.

## 2 O PROBLEMA *TIMETABLE* E O PROBLEMA REAL

O *timetable* consiste na atribuição de tarefas a serem executadas em escalas ou horários específicos por diferentes pessoas. Os casos mais comuns são: a distribuição de professores, cada qual com sua especialidade, para atender a um conjunto de turmas, o *Scholar Timetable Problem*; escala de motoristas, de enfermeiras, profissionais plantonistas, entre outros. Segundo Burke, Petrovic e Qu (2006), “inclui a programação de certo número de eventos (exames, cursos, encontros, entre outros) em um limitado número de períodos de tempo, enquanto satisfaz, tanto quanto o possível, o maior número de restrições requeridas”.

O problema de alocação de horários começou a ser estudado na década de 1960 por Appley (REIS; OLIVEIRA, 2001) e Gotlieb (COOPER; KINGSTON, 1996). Em 1995, devido ao interesse por parte dos pesquisadores, ocorreu a primeira conferência internacional específica sobre elaboração automatizada de horário (*Practice and Theory on Automated Timetabling — PATAT*), que ocorre a cada dois anos até os dias atuais.

O *timetable* é conceituado na área de computação como NP difícil. São agrupados nesta classificação problemas com tempo de resolução computacional alto e, no caso do *timetable*, isso ocorre pela grande quantidade de variáveis e restrições geradas na modelagem. Considerando a abordagem detalhada no capítulo 4, havendo  $h$  horários e  $p$  professores para ocupar estes horários, o número de variáveis  $v$  será  $h \cdot p$  e possíveis soluções é  $\binom{hp}{h} = \frac{(hp)!}{h!(hp-1)!}$ . Por exemplo, tendo 20 horários a serem ocupados por 9 professores, o número de variáveis do tipo (horário, professor) será  $20 \cdot 9 = 180$ . Destas 180 variáveis, apenas 20 terão valor “Verdadeiro”, indicando que o professor  $p$  ocupa o horário  $h$ . Com isso, são possíveis

$$\binom{180}{20} = \frac{180!}{20!(180-20)!} \approx 1,75 \cdot 10^{26} \text{ soluções distintas.}$$

Se houvesse mais que 20 variáveis ocupadas, pelo Princípio das Gavetas de Dirichlet ou Princípio da Casa dos Pombos, haveriam ao menos dois horários com mais de um professor atribuído para uma mesma turma, resultando no que chamamos de “choque de horários”. Havendo menos do que 20 horários ocupados, podemos garantir que algum dos horários está vago, o que também não é aceitável.

Conforme analisado por Góes, Costa e Steiner (2010), a maioria dos trabalhos desenvolvidos nesse ramo de pesquisa envolve o Ensino Superior, onde a grade horária semanal pode não ser completa, podendo ter intervalos entre as aulas. Isso resulta em

uma flexibilidade que não se atribui a Instituições de Educação Básica. Nestas, segundo Pillay (2013), este problema é descrito como compacto por não ter possibilidade de aulas livres e se torna mais complexo, pois a mudança de um professor de uma turma implicará na mudança de outro para esta turma.

Embora existam *softwares* disponíveis para a solução deste problema, ainda é comum encontrar situações em que a configuração da grade horária é feita de forma manual, muitas vezes por tentativa e erro. A escolha por esta forma de solução algumas vezes decorre do desconhecimento da existência das ferramentas, da falta de tempo para dedicar-se ao aprendizado destas, da persistência de práticas “comuns” e pelos eventuais custos para uso pleno da ferramenta computacional como licenças e registros. É necessário ponderar que nestes casos o processo de montagem da grade horária é tão desgastante que a primeira solução encontrada é colocada em prática, mesmo que esta solução não tenha uma qualidade boa. Assim, alunos e professores podem vir a ser pedagogicamente prejudicados com acúmulo de aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia. Além disso, há possíveis desvantagens aos professores como atribuições de aulas em dias não disponíveis ou indesejáveis, existência de janelas, deslocamento de mais dias que o necessário para ir a escola, entre outros.

As restrições do *timetable* geralmente são classificadas como:

- Restrições fortes: não podem ser violadas em hipótese alguma. São as que afetam a *viabilidade* da solução, como a atribuição de mais de uma turma para o mesmo professor em um mesmo horário.
- Restrições fracas: são desejáveis, mas não essenciais, para a resolução. São as que afetam a *qualidade* da solução, como a existência de aulas geminadas em algumas instituições.

Stefano e Tettamanzi (2001) ressaltam que a classificação de restrições como fortes ou fracas é arbitrária, sendo parte do problema particular. O que em um caso pode ser relevado, em outro problema pode tornar impraticável a solução. Um exemplo desta situação é considerar as janelas na grade de um professor: Em alguns casos, a janela inviabiliza o horário e, por isso, as restrições que envolvem janelas são tratadas como “fortes”. Já em um contexto no qual as janelas são toleráveis, estas mesmas restrições podem ser consideradas “fracas”.

Para o caso específico da presente pesquisa, descrito na seção 2.2, tendo como base os trabalhos de Colorni, Dorigo e Maniezzo (1998), Góes, Costa e Steiner (2010) e Pillay (2013), são tomadas como restrições fortes as seguintes considerações:

- As cargas horárias diária e semanal da turma devem ser satisfeitas. Colorni,

Dorigo e Maniezzo (1998) usam a expressão “horários descobertos” a serem evitados;

- A carga horária semanal do professor deve ser integralmente contemplada;
- A carga horária semanal de uma disciplina em cada turma deve ser satisfeita;
- Nenhuma disciplina poderá ter mais de um professor na mesma turma;
- Em cada horário não poderá ter mais que um professor na turma;
- Em cada horário o professor não poderá ministrar aulas para mais de uma turma.

Para o caso específico da presente pesquisa, as cargas horárias diária e semanal da turma são, respectivamente, 5 e 25 horas/aula. Todo este conjunto de situações restringe a escolha de uma solução. Qualquer solução final proposta que não atenda alguma das restrições apresentadas acima deve ser descartada, pois sua execução como grade horária é inviável.

Existem ainda outras situações a serem ponderadas. É preciso verificar se o horário proposto está de acordo com as especificações informadas pelo professor. Caso não haja disponibilidade do docente para o horário atribuído, a turma teria uma falha na grade, tornando-a inviável.

Para professores vinculados a apenas uma instituição, situação comum em instituições onde predominam regimes de Dedicção Exclusiva, a disponibilidade do professor decorre muitas vezes de sua preferência e execução de outras atividades intrínsecas ao cargo como preparação de aulas, orientação de alunos e pesquisas. Para estes é possível atribuir carga horária de orientação bem como carga horária de planejamento, a chamada hora-atividade, quando previstas pela instituição de ensino ou seus mantenedores. Góes (2005) lida com o caso das escolas do município de Araucária, nas quais a mantenedora impõe a concentração das horas-atividades em um mesmo dia, determinado pela disciplina específica do professor. A mantenedora usa esta concentração por área de conhecimento para reunir os professores das diversas escolas em cursos de aperfeiçoamento (GÓES, 2005). Por outro lado, para professores que lecionam em mais de uma instituição, o cumprimento da disponibilidade de horário é fundamental para que seja possível atender a seus compromissos.

Além das situações mencionadas anteriormente, existem as chamadas “restrições fracas”, cuja ocorrência não afeta a viabilidade da solução, mas sua qualidade. Neste caso, a solução apresentada pode ser executada, mas o bom andamento dos trabalhos pode ser prejudicado. São exemplos destas situações o excesso de aulas de uma mesma disciplina em uma mesma turma e um mesmo dia; a ocorrência de

aulas consecutivas de uma disciplina para uma turma, chamadas *aulas geminadas*; espaços de tempo entre aulas em que os professores ficam sem turmas, as chamadas *janelas* e a ocorrência de dias com apenas uma aula em todo período, as chamadas *aulas isoladas*.

A ocorrência de aulas geminadas pode ser definida por norma institucional ou pela preferência do professor, como pesquisado por Góes (2005), sendo mais comum o último caso. Entretanto um longo tempo contínuo da abordagem de um mesmo tema, ou ainda a sobrecarga de um mesmo tema ao longo do dia letivo é, muitas vezes, cansativo tanto para o aluno quanto para o profissional.

A existência de janelas pode ser desagradável para o docente especialmente em seus casos extremos, quando o professor é alocado para a primeira e a última aula de um dia. Nesta situação é inviável se ausentar ou assumir outro compromisso entre estas aulas. Além disto, do ponto de vista financeiro da instituição, a janela é contabilizada como tempo de trabalho remunerado ao docente, custo esse que deve ser preferencialmente evitado. Por outro lado, é habitual que este docente tenha vínculos empregatícios com mais de uma instituição em um mesmo turno, sem exclusividade, sendo sua logística pessoal determinada pelas grades estipuladas em cada local de trabalho e tornando muito rígida a disponibilidade de dias para ministrar a aula em cada escola.

Por fim, em muitas vezes, a ocorrência de janelas em alguns dias ocasiona a existência de aulas isoladas em outros dias da semana para completar a carga horária didática atribuída para as turmas, criando mais dificuldades ao docente com vários vínculos.

## 2.1 CONCENTRAÇÃO DE HORÁRIOS

A inspiração original deste trabalho é a resolução do problema *timetable* real descrito na seção 2.2. Por tratar-se de instituição particular, é dada maior ênfase à minimização das janelas, como afirmado acima. Analisando a grade diária de um professor  $p$ , é possível encontrar as situações exibidas na figura 1, considerando a existência de janelas no dia específico.

Figura 1 – EXEMPLOS DE ALOCAÇÃO DIÁRIA COM JANELA E SEM JANELA

| Professor: | PROF               | EDF/ER | Dias                 | Alocados:            | 4                    | Mínimo de            | dias: | 3 |
|------------|--------------------|--------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-------|---|
| Dias       | 2 <sup>a</sup>     |        | 3 <sup>a</sup>       | 4 <sup>a</sup>       | 5 <sup>a</sup>       | 6 <sup>a</sup>       |       |   |
| 1          | 9 <sup>o</sup> Ano |        | 6 <sup>o</sup> Ano B | 7 <sup>o</sup> Ano   | 8 <sup>o</sup> Ano   | 9 <sup>o</sup> Ano   |       |   |
| 2          | -----              |        | 6 <sup>o</sup> Ano A | 6 <sup>o</sup> Ano A | 6 <sup>o</sup> Ano B | 6 <sup>o</sup> Ano A |       |   |
| 3          | 7 <sup>o</sup> Ano |        | -----                | 6 <sup>o</sup> Ano B | 6 <sup>o</sup> Ano B | 9 <sup>o</sup> Ano   |       |   |
| 4          | -----              |        | -----                | 6 <sup>o</sup> Ano B | 7 <sup>o</sup> Ano   | -----                |       |   |
| 5          | 9 <sup>o</sup> Ano |        | 8 <sup>o</sup> Ano   | 8 <sup>o</sup> Ano   | -----                | -----                |       |   |

Fonte: A autora (2015)

O exemplo ilustrado pela figura 1 mostra duas colunas, 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup>, referentes à segunda-feira e terça-feira, em que o professor tem janelas simples e janela dupla.

Considerando este caso em particular, constata-se que as aulas que estão alocadas para segunda-feira poderiam ocupar os espaços vazios existentes na terça-feira e na quinta-feira, minimizando a quantidade de dias que o professor irá para a escola e as janelas em seu horário.

## 2.2 O PROBLEMA REAL ESPECÍFICO

Para efetivação das técnicas implementadas, inicialmente decidiu-se aplicá-las na geração da grade horária da Escola Willy Janz, neste trabalho denominada por Escola 1. Posteriormente, a fim de validar testes do *software* desenvolvido, também foram processados dados de outra instituição particular da qual não foi obtida autorização para divulgar o nome, sendo aqui denominada por Escola 2. Segue uma pequena descrição do contexto destas escolas.

### 2.2.1 Escola 1

A Escola Willy Janz é uma instituição de ensino particular, localizada no bairro Uberaba, cidade de Curitiba-PR, pertencente ao Instituto e Seminário Bíblico Irmãos Menonitas (ISBIM) de princípios cristãos que atende desde o maternal, Educação Infantil até o Ensino Fundamental II. A definição da grade horária se dá para o turno da manhã, no qual se concentram as turmas do Ensino Fundamental II.

Os dados utilizados são do ano de 2014, quando a escola adotou, para todas as turmas, a nomenclatura de “anos”. Com isso, o Ensino Fundamental II compreende as turmas do sexto ao nono ano. Pela demanda existente no momento em que foi feito o levantamento dos dados e atendendo às instalações físicas disponíveis, a escola ofertava duas turmas de sextos anos, uma de sétimo ano, uma de oitavo ano e uma de nono ano, conforme Tabela 1.

De acordo com a LDB (BRASIL, 1996) as disciplinas de Língua Portuguesa, Matemática, Ciências, História, Geografia, Educação Física e Artes pertencem à Base Nacional Comum, enquanto Música, Inglês e Ensino Bíblico compõem a parte diversificada.

Uma característica desta escola, por ser confessional, é a existência de um intervalo de dez minutos entre a primeira e a segunda aula denominado “Devocional”. Neste momento todas as turmas são convidadas a um momento de reflexão, espiritualidade e oração, cada qual em sua própria sala de aula, sob condução do professor, de acordo com os princípios da instituição. Por se tratar de evento diário com horário fixo pré-determinado, não causa nenhuma influência na distribuição de aulas para os professores de forma semelhante ao intervalo entre a terceira e quarta aula de cada dia.

Tabela 1 – QUANTIDADE DE AULAS (SEMANAIS) POR DISCIPLINA/TURMA - ESCOLA 1

| <i>Disciplina \Turmas (Anos)</i> | 6ºA | 6ºB | 7º | 8º | 9º |
|----------------------------------|-----|-----|----|----|----|
| Língua Portuguesa                | 6   | 6   | 5  | 5  | 5  |
| Matemática                       | 5   | 5   | 6  | 6  | 6  |
| Ciências                         | 3   | 3   | 3  | 3  | 3  |
| História                         | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |
| Geografia                        | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |
| Educação Física                  | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |
| Artes                            | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  |
| Inglês                           | 2   | 2   | 2  | 2  | 2  |
| Ensino Bíblico                   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  |
| Música                           | 1   | 1   | 1  | 1  | 1  |
| Carga Horária Semanal            | 25  | 25  | 25 | 25 | 25 |

FONTE: ESCOLA 1

Na tabela 1, pode-se observar que há diferença no número de aulas de Língua Portuguesa e Matemática entre as turmas. Esta foi uma opção da instituição de ensino para as turmas.

O vínculo entre professores e turmas e a carga horária semanal de cada professor é apresenta na Tabela 2.

Tabela 2 – VÍNCULO ENTRE PROFESSORES QUE MINISTRAM ESSAS DISCIPLINAS E SUAS TURMAS

| <i>Professor \Turmas (Anos)</i> | 6ºA | 6ºB | 7º | 8º | 9º | Carga Semanal |
|---------------------------------|-----|-----|----|----|----|---------------|
| P1 – Matemática                 | X   | X   |    |    | X  | 16            |
| P2 – Matemática                 |     |     | X  | X  |    | 12            |
| P3 – L. Portuguesa              | X   | X   |    |    |    | 12            |
| P4 – L. Portuguesa              |     |     | X  | X  | X  | 15            |
| P5 – Artes                      | X   | X   | X  | X  | X  | 5             |
| P6 – Geografia                  | X   | X   | X  | X  | X  | 10            |
| P7 – História                   | X   | X   | X  | X  | X  | 10            |
| P8 – Língua Inglesa             | X   | X   | X  | X  | X  | 10            |
| P9 – Ensino Bíblico             | X   | X   | X  | X  | X  | 5             |
| P9 – Educação Física            | X   | X   | X  | X  | X  | 10            |
| P10 – Música                    | X   | X   | X  | X  | X  | 5             |
| P11 – Ciências                  | X   | X   | X  | X  | X  | 15            |

FONTE: ESCOLA 1

Considerando que são ministradas 27 horas semanais para a disciplina de Língua Portuguesa e 28 horas semanais para Matemática somando todas as turmas, não é possível a um único professor assumi-las, o que não acontece com as demais disciplinas. Há um mesmo identificador para as disciplinas de Ensino Bíblico e Educação

Física por serem disciplinas ministradas por um mesmo professor.

Conforme explanado anteriormente, é preferível que os horários sejam concentrados com o máximo de dias fechados, ou seja, sem janelas. Outra ocorrência na instituição se refere à cerca de 2/5 dos professores da instituição que cursam pós-graduação *stricto sensu* e, com isso, também necessitam de dias específicos para ir assistir suas aulas, podendo ocorrer mudanças nestas disponibilidades de acordo com o calendário do programa escolhido, seja ele trimestral ou semestral.

### 2.2.2 Escola 2

A Escola 2 também é uma instituição da rede particular de ensino, localizada na região de Curitiba-PR, atendendo à Educação Infantil e Ensino Fundamental. Os dados que se aplicam ao presente estudo são referentes às quatro turmas de Ensino Fundamental II para as quais a escola conta com dez professores. Os dados utilizados são do ano de 2013, no qual a escola ainda adotava a nomenclatura de “séries”, na qual o Ensino Fundamental II compreendia as turmas de quinta à oitava série.

Uma simplificação em relação à Escola 1 é o fato de todos os professores terem vínculo com todas as turmas, isto é, cada disciplina, para todas as turmas, tem o mesmo professor. A carga horária semanal dos docentes da Escola 2 está discriminada na tabela 3.

Tabela 3 – QUANTIDADE DE AULAS (SEMANAIS) POR DISCIPLINA/TURMA - ESCOLA 2

| <i>Professor \ Turmas (Séries)</i> | 5 <sup>a</sup> | 6 <sup>a</sup> | 7 <sup>a</sup> | 8 <sup>a</sup> | Carga Semanal |
|------------------------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------|
| L. Portuguesa                      | 5              | 5              | 5              | 5              | 20            |
| Matemática                         | 4              | 4              | 4              | 4              | 16            |
| Ciências                           | 3              | 3              | 3              | 3              | 12            |
| Artes                              | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| Educação Física                    | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| Ensino Religioso                   | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| Geografia                          | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| História                           | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| Língua Inglesa                     | 2              | 2              | 2              | 2              | 8             |
| Espanhol                           | 1              | 1              | 1              | 1              | 4             |
| Carga Horária                      | 25             | 25             | 25             | 25             |               |

FONTE: ESCOLA 2

Os professores de Educação Física e Inglês, além das aulas para as 4 turmas de Ensino Fundamental II, também ministram duas aulas na última turma de Ensino Fundamental I, na nomenclatura à época, 4<sup>a</sup> série. Para atender esta demanda são solicitados dois horários das grades do Ensino Fundamental II destes professores, podendo inclusive ser janelas.

### 3 REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo são relatadas pesquisas sobre o tema realizadas em diversas partes do mundo, com diferentes abordagens envolvendo heurísticas e meta-heurísticas (SCHAERF, 1999; GÓES, 2005; PILLAY, 2013). É possível ver que mesmo com procedimentos e situações distintas, o objetivo é tornar viável a alocação de horários de modo a atender com qualidade as restrições especificadas. Sem pretensão de listar exaustivamente, são descritas algumas abordagens a seguir:

#### 3.1 ALGORITMOS GENÉTICOS (AG)

Abramson e Abela (1992) usam AG para a resolução do problema *timetable* para nove conjuntos de dados, com diferentes graus de dificuldade impostos pelas restrições de cada conjunto. A modelagem envolveu uma função custo a ser minimizada, tendo seu ótimo em 0. Um dos conjuntos analisados precisou de 42973 gerações para chegar ao custo zero.

Caldeira e Rosa (1997) tem por objetivo desenvolver um *software* que possa ser usado em escolas permitindo modificação de parâmetros. De forma semelhante a abordagem do presente trabalho, os horários da semana são contabilizados em sequência. São usados 50 horários, numerados de 0 a 49, para aulas de segunda a sexta-feira, das 08:00 às 18:00, alocando também horário variável entre 12:00 e 15:00 para almoço. A tabela 4 mostra a indexação usada.

Tabela 4 – INDEXAÇÃO DE HORÁRIOS USADA EM (CALDEIRA; ROSA, 1997)

| Horário       | 2 <sup>a</sup> | 3 <sup>a</sup> | 4 <sup>a</sup> | 5 <sup>a</sup> | 6 <sup>a</sup> |
|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 08:00 – 09:00 | 0              | 10             | 20             | 30             | 40             |
| 09:00 – 10:00 | 1              | 11             | 21             | 31             | 41             |
| 10:00 – 11:00 | 2              | 12             | 22             | 32             | 42             |
| 11:00 – 12:00 | 3              | 13             | 23             | 33             | 43             |
| 12:00 – 13:00 | 4              | 14             | 24             | 34             | 44             |
| 13:00 – 14:00 | 5              | 15             | 25             | 35             | 45             |
| 14:00 – 15:00 | 6              | 16             | 26             | 36             | 46             |
| 15:00 – 16:00 | 7              | 17             | 27             | 37             | 47             |
| 16:00 – 17:00 | 8              | 18             | 28             | 38             | 48             |
| 17:00 – 18:00 | 9              | 19             | 29             | 39             | 49             |

FONTE: (CALDEIRA; ROSA, 1997)

Fernandes et al. (1999b;1999a) apresentam estudos do uso de AG para alocação de horários e espaços físicos em escola de Ensino Médio em Portugal. São

apresentadas as ideias de mutação no melhor cromossomo<sup>1</sup>, criando cópias dos cromossomos selecionados pelo elitismo com mutação de apenas um gene, e de mutação no “gene mau”<sup>2</sup>, em que são recuperados os melhores cromossomos da geração anterior que não foram aproveitados. Nos testes efetuados, houve melhora de performance dos algoritmos.

Concilio (2000) usa o problema *timetable* como um dos casos propostos para solução com AG e expansão de código. Outro caso de estudo com solução semelhante é a distribuição de competidores em torneios onde cada participante deverá enfrentar todos os demais.

Stefano e Tettamanzi (2001) aplicam AG no horário de duas escolas públicas de Milão, na Itália. Há uma atenção especial para a formulação em termos de lógica *fuzzy*, tendo os horários classificados como “Disponível”, “Possível”, “Não preferível” e “Indisponível”. Na construção da função objetivo, a avaliação das restrições fracas somente é considerada se todas as restrições fortes tiverem sido atendidas.

Ribeiro Filho e Lorena (2001) propõem um AG Construtivo, no qual a população é formada por esquemas, recombinação entre esquemas, e tamanho dinâmico da população. É usada modelagem bi-objetiva, ou seja, com duas funções objetivo  $f$  e  $g$  para otimização. A função  $g$  obtém o máximo de possíveis conflitos entre colunas do esquema proposto e a função  $f$  desconta, deste valor máximo, o real valor de conflitos encontrados. A otimização é feita minimizando  $g - f$  e maximizando  $g$ . Os testes computacionais foram efetuados com dados de duas escolas brasileiras.

Yigit (2007) utiliza dados de escola técnica e vocacional da Turquia. Os alunos vão para escola técnica por quatro anos e para escola vocacional por três anos, sendo que na escola vocacional três dias por semana são reservados para estágio<sup>3</sup> em empresas, sem aulas alocadas nestas datas. A grade horária consiste em 12 *slots*<sup>4</sup> de 40 minutos por dia, começando às 08:00, com cinco minutos de intervalo entre as aulas, cinco dias por semana. A proposta de solução usa um algoritmo baseado em AG.

Nurmi e Kyngäs (2008) buscam transformar um *timetable* baseado em currículos em um problema *timetable* escolar clássico, com objetivo de resolver aqueles com soluções já encontradas para estes. Problemas *timetable* baseados em currículos foram usados na *2nd International Timetabling Competition* e consistem no agendamento de aulas para diversos curso universitários, dentro de um número limitado de salas e horários. Embora sejam substancialmente diferentes, os componentes mais

<sup>1</sup> Original: *Best Chromosome Mutation*

<sup>2</sup> Original: *Bad Genes Mutation*

<sup>3</sup> Original: *vocational training*

<sup>4</sup> Termo inglês referente a espaços para encaixes. No contexto do *timetable*, os horários a atribuir são *slots* e os professores são “encaixados” nestes horários.

importantes são os mesmos, permitindo a conversão. O algoritmo é basicamente um AG com um operador mutação, sendo uma versão melhorada de uma solução criada pelos autores dez anos antes. Na competição, o algoritmo obteve soluções factíveis para 12 dos 14 problemas, dentro do limite de tempo da competição estabelecido em 468 segundos por situação.

Beligiannis et al. (2008) usa algoritmo baseado em AG para solução de *timetable* na Grécia de uma forma mais objetiva que a prática corrente. Segundo os autores, a prática grega é iniciar o ano letivo com uma grade horária provisória e incompleta, sendo melhorada no decorrer dos primeiros meses do ano. Com isso, por um longo período de tempo a instituição não tem todos seus recursos em funcionamento e convive com desentendimentos e discussões entre os professores, devido a subjetiva compreensão de “qualidade” na solução do problema. A grade grega semanal é formada por sete horas de aula por dia, cinco dias por semana. Uma das restrições fracas do problema é a proibição de aulas geminadas e, se possível, a não repetição de aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia. Foram usados dados de 30 diferentes escolas da cidade de Patras.

Mohammadi e Lucas (2008) propõem uma solução baseada em coevolução, considerando o uso de AG como uma “poderosa ferramenta para o problema *timetable* que, pela complexidade intrínseca do problema se torna lento e complexo”. São ressaltadas as diferenças de sistemas educacionais entre países e, dentro de um mesmo sistema educacional, as desigualdades entre níveis de ensino que geram distintas categorias do problema *timetable*. No trabalho, os autores consideram “os mais populares sistemas de ensino” com duas instituições para os testes numéricos. Sugere-se dividir a complexidade em pequenos algoritmos simples e evolui-los coletivamente. Na coevolução, cada indivíduo é uma solução parcial do problema. A coevolução cooperativa, usada pelos autores, ocorre quando a evolução de diferentes indivíduos gera impacto construtivo entre eles (ENGELBRECHT, 2007, p. 128). Nesta perspectiva, o objetivo do algoritmo será um conjunto de indivíduos que juntos resolvam o problema da melhor maneira possível. Para usar essa abordagem, o *timetable* foi resolvido sob enfoque dos professores. Mohammadi e Lucas (2008) assumem os professores como “várias espécies existentes na população e cada uma destas espécies tem um tamanho de população fixo”. Para construir a solução, de cada uma das espécies é selecionado o indivíduo com melhor *fitness* individual e o conjunto destes indivíduos é a resposta ao problema.

Srdic et al. (2009) propõem um AG que utiliza computação paralela com granulação grossa, implementado usando OpenMPI para ser executado em um cluster *Beowulf*. Segundo Senger (2014), a granulação representa o tamanho da unidade de trabalho destinada aos processadores. A chamada granulação grossa é uma solução

empregada para aumentar o desempenho do processo computacional, sendo o trabalho separado em tarefas executadas concomitantemente. Neste panorama, a aplicação paralela é um conjunto de tarefas que realizam um trabalho específico interagindo entre si. Os testes do algoritmo proposto por Srndic et al. (2009) foram feitos com dados de uma escola primária croata. O *software* gerou uma solução atendendo todas as restrições fortes e a maioria das restrições fracas em menos de quatro minutos.

Góes, Costa e Steiner (2010) utilizam algoritmo baseado em AG para solução de *timetable* em escola da rede municipal de Araucária, Paraná. Naquele contexto era considerada como restrição definida pela mantenedora, no caso a Secretaria Municipal responsável, a proibição de aulas em dia escolhido pelo docente para hora-atividade. Trata-se de período remunerado reservado para preparação de aulas e correção de atividades propostas em aulas conquistado pela categoria. Preferências de horários específicos, como mais aulas nos primeiros horários, são definidos por pesos na função objetivo, privilegiando professores com mais tempo de docência.

Raghavjee e Pillay (2010a;2010b) usam AG para solução do *timetable* em escolas da África do Sul. Anteriormente, Raghavjee e Pillay (2008) haviam estudado a eficácia dos AG em dados de diversos países disponíveis, comparando abordagens e obtendo resultados em menos de um minuto. Por este estudo, Pillay (2013) faz uma grande busca sobre pesquisas em *timetable* pelo mundo.

Cirino, Santos e Delbem (2015) usam “AG compacto”: uma variação do AG que trata modelos probabilísticos de soluções como população. De um modelo inicial é retirada uma amostragem de soluções a serem confrontadas em torneio, aumentando no modelo as probabilidades de soluções semelhantes à vencedora. Este procedimento é usado para distribuição de espaços físicos para as aulas de uma universidade brasileira, que é um problema associado ao *timetable*. As restrições deste tipo de problema envolvem capacidade das salas e infraestrutura disponível.

### 3.2 PROGRAMAÇÃO LINEAR INTEIRA

Lawrie (1969) é um dos pioneiros em estudos utilizando programação linear para resolver *timetable*. São utilizados dados das “*comprehensive schools*” britânicas, que são instituições com currículo bastante amplo, contendo Inglês, Latim, Matemática, Biologia, Química, Física, História, Artes, Geografia, Música, Idiomas (Francês, Espanhol, Alemão), Comércio, Artesanato, Organização Econômica, Ciências Gerais, Estudos Modernos, Design de roupas e temas que ocupam “tempo minoritário” (Apreciação de Arte, Apreciação de Música/Aula de Canto, Educação Física e Ensino Religioso). Como o número de professores acaba sendo grande, e nem todos os alunos assistem todas as aulas simultaneamente, Lawrie (1969) propõe a divisão por departamentos, turmas e *layouts* de ensino.

Kotsko, Steiner e Machado (2003) utilizam programação linear, através do *software* LINGO 6.0, para resolver *timetable* de escola estadual no interior de Prudentópolis, Paraná, Brasil, limitando janelas e repetição de aulas em um mesmo dia para uma mesma turma. Como a escola era de difícil acesso, a minimização de dias que o professor precisava comparecer à escola se tornou fator relevante na resolução do problema.

Birbas, Daskalaki e Housos (2009) apresentam uma abordagem de Programação Inteira para resolver o *timetable* em escolas gregas, usando duas fases, em melhoria de resultado apresentado dez anos antes. Na primeira fase, os professores são alocados em períodos, de acordo com suas preferências e necessidades da instituição. Na segunda fase se resolve o problema *timetable* propriamente dito.

Boland et al. (2008) apresentam duas variações em uma formulação de programação inteira para a solução do *population and class timetabling problem*, considerada “a forma mais completa do *timetable* acadêmico”. Na primeira, são consideradas variáveis binárias para cada estudante. Após, as simetrias ocasionadas por estudantes com as mesmas escolhas são eliminadas. O problema populacional é subdividido em turmas e essas turmas tem seus *timetable* resolvidos. O método foi testado em dados do ano de 2002 em uma escola em Melbourne, Austrália.

Ribic e Konjicija (2010) apresentam uma abordagem em duas fases, ambas com programação inteira, para solução do *timetable* com dados de escolas croatas. Na primeira fase as aulas são alocadas em dias da semana e na segunda fase em horários dentro destes dias.

Santos et al. (2012) usam Programação Inteira mista para solução do *timetable* de escolas brasileiras. Na modelagem são propostas variáveis auxiliares para minimização de períodos ociosos aos professores. O algoritmo usa uma abordagem de separação Fenchel, na qual “inequações são separadas através da solução de problemas de programação linear contendo uma restrição para cada solução possível” (SANTOS et al., 2012).

### 3.3 SIMULATED ANNEALING

Segundo Laarhoven e Aarts (1987), a técnica *Simulated Annealing* consiste em simular o resfriamento de um conjunto de moléculas com alta vibração, isto é “quentes”. Neste estado há liberdade de movimentação, com tendências para deslocamentos aleatórios. Com o arrefecimento da massa, as ligações interpartículas forçam o agrupamento destas. Sem calor, não há vibração nem movimento de partículas, configurando o congelamento. Se esse resfriamento é muito rápido, há menor possibilidade de se obter uma solução de baixo custo do que o caso de resfriamento lento ou recozimento.

Cada configuração é avaliada em termos de energia do sistema. Será aceita uma nova configuração sempre que houver redução na energia do sistema. Caso haja aumento de energia, a configuração será aceita se a probabilidade deste aumento for menor do que o esperado a temperatura  $T$  do momento, sendo  $P(\Delta E) = e^{-\frac{\Delta E}{KT}}$ , onde  $K$  é a constante de Boltzmann.

Abramson (1991) aplica *Simulated Annealing* para a solução do problema *timetable*. Os elementos do *timetable* correspondem às partículas e o custo, função objetivo a ser minimizada, corresponde à energia. É feita uma primeira alocação aleatória, computados custo inicial e temperatura inicial. Para cada iteração são selecionados dois elementos a serem permutados, analisando o impacto da permuta na energia total do sistema. São levadas em consideração características como “aulas múltiplas” (geminadas), função objetivo com pesos para evidenciar restrições mais importantes, preferências por períodos e limitações do número de aulas em determinado dia. São feitos testes com dados de escolas australianas, usando algoritmos simples e algoritmos paralelos. Este trabalho foi estendido por Abramson, Krishnamoorthy e Dang (1998) para seis situações distintas.

Bai et al. (2006) propõem uma hiper-heurística com *Simulated Annealing* para solução do *timetable*. O objetivo é desenvolver uma abordagem genérica de otimização, reutilizável em várias instâncias e problemas distintos.

Melício, Caldeira e Rosa (2006) desenvolveram a ferramenta THOR<sup>5</sup> para solução do *timetable*, sendo utilizado com sucesso em mais de cem escolas portuguesas. A ferramenta cria uma solução inicial através de uma heurística de construção e busca a otimização com um algoritmo iterativo baseado em *Fast Simulated Annealing*.

Liu, Zhang e Leung (2009) apresentam uma nova estrutura de vizinhança, obtida através da realização de uma sequência de trocas entre pares de professores em *slots* de tempo, no lugar de movimentos com apenas um elemento. Nesta estrutura, é aplicado *Simulated Annealing* na otimização. São feitos testes com dados de escolas gregas disponibilizados por outros pesquisadores da área.

Poulsen e Bandeira (2012) utilizaram dados de uma escola brasileira de médio porte, para avaliar um modelo que possui essencialmente duas fases: Na primeira, denominada de “fase de construção”, executa um algoritmo guloso e randômico com intuito de apresentar uma solução inicial viável. E na segunda, chamada de “fase de melhoramento”, aplica-se um algoritmo baseado na meta-heurística *simulated annealing*, que perturba o espaço de soluções, permitindo que haja prejuízo à função de avaliação, e escape de ótimos locais, explorando um espaço maior de soluções, justamente para tentar encontrar uma solução melhor atendendo assim as restrições

---

<sup>5</sup> acrônimo de Tabelas HORárias

fracas.

## 3.4 OUTRAS METODOLOGIAS E COMPARAÇÕES

### 3.4.1 Redes Neurais

Carrasco e Pato (2004) buscam a solução do problema *timetable* usando Redes Neurais Artificiais, com duas simulações. Para comparar o comportamento computacional das heurísticas, foram utilizados dois conjuntos de dados de *timetable*: Um conjunto com cinco casos hipotéticos difíceis e de dimensões distintas, disponibilizado por pesquisadores na Internet<sup>6</sup> e outro conjunto com três casos reais obtidos de uma instituição universitária em Portugal.

### 3.4.2 Enxame de abelhas

Lara, Flores e Calderón (2008) utilizam a abordagem de enxame de abelhas para a solução do problema *timetable* em duas instituições de ensino superior do México. É citado que o trabalho também está relacionado com algoritmo memético: processo evolutivo que possua uma busca local como parte decisiva na evolução (MOSCATO; NORMAN, 1992).

### 3.4.3 Greedy Randomized Adaptive Search Procedure - GRASP

Moura e Scaraficci (2010) utilizam a abordagem GRASP para solução do problema *timetable* em uma escola de Santos, estado de São Paulo, que apresenta três grades distintas no mesmo turno: Duas delas tem cinco aulas por dia, iniciando às 07:30, sendo uma com intervalo antes do início do terceiro horário e outra ao final do terceiro horário. A terceira grade tem 6 aulas no dia, iniciando às 07:10. A solução precisa evitar que o professor esteja alocado em horários que se sobreponham parcialmente.

### 3.4.4 Programação com restrições / Satisfação de restrições

Meisels, Ell-sana' e Gudes (1994) usam representação de grafos para resolver o problema *timetable* como rede de restrições binárias<sup>7</sup>, analisando uma típica escola israelense. O grafo usado para a grade horária semanal é decomposto em subgrafos de grades horárias diárias para se chegar à solução.

Abbas e Tsang (2001) apresentam um caso de estudo de aplicação da programação com restrições para *timetable* de uma universidade no Líbano. Naquele

<sup>6</sup> <<http://mscmga.ms.ic.ac.uk/info.html>>

<sup>7</sup> Original: binary constraint networks

contexto, os alunos encaminham suas solicitações de pré-matrícula, indicando os cursos que pretendem assistir no semestre. O desafio é atender às restrições naturais do *timetable* (disponibilidades de sala, horário, professor), atendendo também ao máximo as solicitações dos estudantes.

Valouxis e Housos (2003) propõem um algoritmo de satisfação de restrições para o problema *timetable* de quatro escolas gregas, buscando a minimização de horários livres. Para melhorar a qualidade dos resultados obtidos após o procedimento terminar por ultrapassar o tempo máximo estipulado, é apresentada uma ideia de busca local por dias da grade, congelando alguns e buscando melhorias em outros.

Marte (2007) modela o problema de seis escolas alemãs para solução com Programação de restrições. O algoritmo proposto memoriza soluções rejeitadas e ajusta a estratégia de busca de acordo com a necessidade.

#### 3.4.5 Transferência Cíclica

Post, Ahmadi e Geertsema (2012) desenvolvem uma estrutura de vizinhança e um método de busca nesta vizinhança para resolver o *timetable* baseado em algoritmo de movimentos sequenciais e transferência cíclica. São usados dados diversos, disponibilizados na Internet,<sup>8</sup> que recebe contribuições de pesquisadores com melhorias nas soluções.

#### 3.4.6 Algoritmo *Walk down jump up*

Wilke e Killer (2010) apresentam o algoritmo *Walk down jump up*, tendo por objetivo solucionar problemas de estagnação na busca *Hill-Climbing*. O algoritmo proposto é de busca local baseada em trajetória e combina *Hill-Climbing*, um operador de salto e algoritmo do Grande Dilúvio. Para solucionar o *timetable* são executadas duas fases: Cria-se uma solução inicial e usa-se uma taxa de aceitação com decrescimento rápido para minimização. Em caso de estagnação em um mínimo local, define-se o limite de aceitação para muito além do valor de custo das soluções vizinhas, para que a busca pule para uma solução distante e caminhe para outro ponto de mínimo que seja melhor que o anterior. A analogia feita pelos autores é de um astronauta que caminha pela superfície da lua em busca da cratera mais profunda: ao chegar no fundo de uma cratera (mínimo local), ele sai desta (“pula fora” - *jump up*) e busca outra que seja mais profunda, comparando os resultados. Foram feitos testes de *timetable* com dados de escolas alemãs.

---

<sup>8</sup> <<http://www.utwente.nl/ctit/hstt/>>

### 3.4.7 Hibridizações

Ciscon et al. (2006) apresentam um modelo híbrido de AG com busca *Hill-Climbing* aplicado em escola estadual de Minas Gerais, com 7 turmas e 17 professores. A hibridização tem por objetivo melhorar a eficiência do AG.

Andrade (2014) aplica modelo matemático de Programação Linear Inteira Binária, Busca Local e *Iterated Local Search* (ILS) para escolas da rede municipal de Araucária-PR.

## 3.5 CONSIDERAÇÕES

Na presente pesquisa é utilizada indexação de horários semelhante à Caldeira e Rosa (1997). Do mesmo modo que Nurmi e Kyngäs (2008) e Góes, Costa e Steiner (2010), o AG desta pesquisa usa apenas o operador mutação conforme descrito na seção 4.2 adiante.

Em síntese, pela amostra de trabalhos aqui apresentada, fica evidenciada a relevância da resolução do *timetable* em diversas partes do mundo, com diferentes técnicas para atender seus contextos. A meta desta pesquisa é resolver a situação descrita na seção 2.2 com ênfase na concentração de horários dos docentes utilizando as abordagens apresentadas no próximo capítulo.

## 4 ABORDAGENS PROPOSTAS NA PESQUISA

A busca desta pesquisa é por uma solução ao problema *timetable* com uso dos resultados existentes na área de PO. Neste capítulo são apresentadas as estratégias para obter uma proposta de solução: formulação matemática e algoritmo baseado em AG. Foi desenvolvida uma interface em Visual Basic 2010 (VB 10.0) para estas abordagens, que é apresentada no capítulo 5.

### 4.1 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA – MÉTODO EXATO

A essência da solução do problema é definir se um professor, vinculado a uma turma, está lecionando ou está livre em um determinado dia e horário, atendendo a determinadas restrições.

Como para cada professor, turma, dia e horário temos apenas as opções “Sim” e “Não” como resposta, podemos modelar a situação como um problema de Programação Linear Inteira Binária. A interface desenvolvida gera este modelo com suas restrições e função objetivo descritos nesta seção para solução em método exato com uso do *software* LINGO (*Language for Interactive General Optimizer*), versão 13.0.

A função objetivo, que relaciona as variáveis  $x_{ptda}$  associada à presença do professor  $p$  na turma  $t$  dia  $d$  e aula  $a$ , é:

$$Z = \text{Max} \sum_p \sum_t \sum_d \sum_a p_{pda} \cdot x_{ptda} - \Phi \quad (4.1)$$

sendo  $p \in \{1, 2, \dots, \text{número de professores}\}$ ;  $t \in \{1, 2, \dots, \text{número de turmas}\}$ ;  $d \in \{1, 2, \dots, \text{número de dias na semana}\}$  e  $a \in \{1, 2, \dots, \text{número de aulas por dia}\}$ . São pesos desta função os valores  $p_{pda}$  atribuídos à disponibilidade do professor  $p$  no dia  $d$  e aula  $a$  e à escolha do professor em ter seu horário concentrado ou não.

A questão da disponibilidade se deve ao fato de haver professores com restrições de horários em determinados dias, como ter disponível apenas as últimas ou apenas as primeiras aulas. Caso o professor não tenha disponibilidade em um dia todo, considera-se que não tem disponibilidade em nenhum dos horários daquele dia. A escolha da concentração de horários atende a professores que definem sua disponibilidade como “possibilidade de atribuir aulas em qualquer dia, desde que seja o menor número de dias possível”. É um caso diferente de professores que tem quantidade de horários livres idêntica à carga horária semanal total.

A função  $\Phi$  contabiliza as penalidades obtidas no não atendimento de restrições

fracas, sendo:

$$\Phi = \sum_p pen_p \cdot \left( \left( \sum_d DT_{pd} \right) - MDT_p \right) \quad (4.2)$$

A não minimização da quantidade de dias de trabalho tem como penalidade um valor proporcional à diferença entre o número de dias trabalhados e o mínimo de dias necessários. O fator de proporcionalidade é a constante  $pen_p$  que faz referência à escolha do professor  $p$  por concentração de horários. As variáveis binárias  $DT_{pd}$  indicam a alocação de horários do professor  $p$  no dia  $d$  e  $MDT_p$  o mínimo de dias necessários de trabalho do professor  $p$  calculado com base em sua Carga Horária Semanal.

As principais restrições do problema seguem modeladas conforme Góes, Costa e Steiner (2010) e Pillay (2013) (4.3 a 4.7), com acréscimo das modelagens referentes à concentração de horários detalhada neste trabalho (4.8 e 4.9) e ao controle de janelas, inspirada em Andrade (2014) (4.10):

$$\sum_p \sum_a x_{ptda} = \#A, \quad \forall t, \forall d \quad (4.3)$$

$$\sum_d \sum_a x_{ptda} = CHS_{pt}, \quad \forall p, \forall t \quad (4.4)$$

$$\sum_a x_{ptda} \leq CHD_{ptd}, \quad \forall p, \forall t, \forall d \quad (4.5)$$

$$\sum_p x_{ptda} = 1, \quad \forall t, \forall d, \forall a \quad (4.6)$$

$$\sum_t x_{ptda} \leq 1, \quad \forall p, \forall d, \forall a \quad (4.7)$$

$$\left( \sum_t \sum_a x_{ptda} \right) \leq \#A \cdot DT_{pd}, \quad \forall p, \forall d \quad (4.8)$$

$$\sum_d DT_{pd} = MDT_p, \quad \forall p \quad (4.9)$$

$$\sum_{a=1}^{\#a-1} \left[ \left( \sum_t x_{ptda} \right) \cdot \left( \sum_t x_{ptd(a+1)} \right) \right] = (CH_{pd} - DT_{pd}), \quad \forall p, \forall d \quad (4.10)$$

sendo  $\#A$  o número de aulas por dia;  $CHS_{pt}$  a Carga Horária Semanal do professor  $p$  na turma  $t$ ;  $CHD_{ptd}$  a Carga Horária Diária do professor  $p$  na turma  $t$  no dia  $d$  e  $CH_{pd}$  a Carga Horária Diária do professor  $p$  no dia  $d$  em todas as turmas.

As restrições (4.3) atendem à restrição da carga horária diária da turma. Subentende-se que sendo atendida a carga horária diária em todos os dias, isto é, todos os dias da semana estão com o número correto de aulas, então a carga horária semanal da turma também estará satisfeita. Os grupos (4.4) e (4.5) de restrições garantem que serão contempladas respectivamente a carga horária semanal e a carga horária diária. O grupo de equações (4.6) garante que em cada turma haja

apenas um professor por horário. A garantia de que cada professor estará em no máximo uma turma por horário se deve ao cumprimento das restrições do grupo (4.7). A concentração do horário é consequência do atendimento das restrições dos grupos (4.8) e (4.9), detalhadas a seguir. A minimização de janelas se dará pelo atendimento do grupo (4.10). O atendimento a estas restrições garante viabilidade e qualidade para a solução proposta.

Os valores de cargas horárias diárias das disciplinas são calculados com base na carga horária semanal atribuída à disciplina, de acordo com (4.11):

$$CHD_{ptd} = (CHS_{pt} \setminus 2) + (CHS_{pt} \bmod 2) \quad (4.11)$$

A primeira parcela da soma é a divisão inteira da  $CHS_{pt}$  por 2 e a segunda parcela é o resto da mesma divisão. Esse procedimento faz com que o professor tenha suas aulas distribuídas na semana em ao menos dois dias. Os valores de  $MDT_p$  são calculados em função da carga horária semanal total do professor ( $CHS_p$ ) e do número  $\#A$  de aulas por dia, através da relação:

$$MDT_p = \begin{cases} CHS_p \setminus \#A, & \text{se } CHS_p \bmod \#A = 0 \\ (CHS_p \setminus \#A) + 1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad \forall p \quad (4.12)$$

Como exemplos, em uma grade de 5 aulas por dia ( $\#A = 5$ ) um professor que tenha  $CHS_p = 10$  terá  $MDT_p = 2$  dias, pois  $10 \bmod 5 = 0$  e  $10 \setminus 5 = 2$ . Outro professor que tenha  $CHS_p = 16$  precisará de 4 dias de trabalho, pois  $16 \bmod 5 = 1 \neq 0$  e  $(16 \setminus 5) + 1 = 3 + 1 = 4$ .

Tendo em vista as considerações de concentração de horários (subseção 2.1), são propostos os grupos de equações (4.8) e (4.9) para modelar a situação exposta. O somatório  $\sum_t \sum_a x_{ptda}$  retorna o total de aulas atribuídas para cada professor  $p$  e dia  $d$ . Este valor sempre será menor do que o número  $\#A$  de aulas no dia e a variável  $DT_{pd}$  assumirá valor "1" caso alguma aula tenha sido atribuída ao professor neste dia ou "0" caso contrário. Desta forma será atendida a respectiva restrição do grupo (4.8). É possível que  $DT_{pd} = 1$  e o somatório seja zero, o que não viola nenhuma restrição do grupo (4.8). Porém, neste caso, são somados dias além do necessário e haverá restrição do grupo (4.9) violada. Estas são atendidas apenas se a soma dos dias trabalhados for igual ao mínimo de dias necessários calculado em (4.12).

Por fim, para a análise da existência de janelas, o atendimento da restrição (4.10) segue um procedimento semelhante ao usado em Andrade (2014) para localizar aulas geminadas. Aqui, o raciocínio está adaptado para a localização de janelas. Na modelagem do problema, a variável  $x_{ptda}$  refere-se a alocação do professor  $p$  na turma  $t$ , dia  $d$ , aula  $a$ . Para verificar se o professor  $p$  tem ocupado o horário correspondente

ao dia  $d$ , aula  $a$  em alguma turma, avalia-se o valor de  $\sum_t x_{ptda}$ , com possibilidade de ocorrência das seguintes situações:

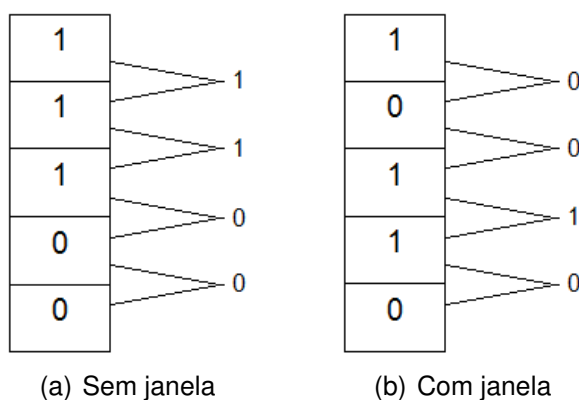
- Se  $\sum_t x_{ptda} = 0$ , o professor  $p$  está livre no horário correspondente;
- Se  $\sum_t x_{ptda} = 1$ , o professor  $p$  está ocupado com uma turma no horário correspondente;
- Se  $\sum_t x_{ptda} > 1$ , o professor  $p$  está atribuído a mais de uma turma, configurando choque de turmas no horário correspondente e violando restrição do grupo (4.7).

Para verificar a existência de janela na grade do professor, fazemos o produto entre o resultado de  $\sum_t x_{ptda}$  e o resultado do horário seguinte  $\sum_t x_{ptd(a+1)}$  em um mesmo dia, obtendo:

- $\sum_t x_{ptda} \cdot \sum_t x_{ptd(a+1)} = 1$  se o professor  $p$  estiver com ambas as aulas  $a$  e  $a + 1$  ocupadas com apenas uma turma em cada horário, ou;
- $\sum_t x_{ptda} \cdot \sum_t x_{ptd(a+1)} = 0$  se o professor  $p$  estiver com alguma das aulas  $a$  e  $a + 1$  desocupadas.

As colunas da figura 2 representam dias de trabalho de um professor. Os valores das células são os valores do somatório por horário. Também estão ilustrados os produtos entre horários consecutivos, considerando os casos descritos.

Figura 2 – ANÁLISE DA EXISTÊNCIA DE JANELAS



Fonte: A autora (2015)

Existe a possibilidade de que o produto seja maior do que 1, quando um horário estiver com choque de turma e o horário seguinte também estiver ocupado. Esta

situação poderá “cumprir” a presente restrição, porém violará a do grupo (4.7) e, por este motivo, não é feito tratamento especial para este caso.

A soma dos valores dos produtos resulta na quantidade de aulas atribuídas no dia menos um ( $CH_{pd} - 1$ ), caso exista alguma aula atribuída no dia e não tenha nenhuma janela. Se não houver nenhuma aula neste dia, o resultado do somatório deverá ser 0. Por este motivo, no grupo (4.10) o termo que aparece no segundo membro da equação é  $CH_{pd} - DT_{pd}$ , devido aos valores que a variável  $DT_{pd}$  assume para atender às restrições (4.8).

#### 4.1.1 Análise da modelagem do problema real

Considerando apenas a formulação apresentada, o problema apresenta um número considerável de variáveis e restrições para qualquer uma das bases. Para o maior caso em estudo, Escola 1, são 11 professores que lecionam para cinco turmas. Como são cinco aulas por dia ( $\#A = 5$ ) em cinco dias da semana ( $\#D = 5$ ) temos  $11 \cdot 5 \cdot 5 \cdot 5 = 1375$  variáveis. Já na Escola 2, são 10 professores e 4 turmas, resultando em  $10 \cdot 4 \cdot 5 \cdot 5 = 1000$  variáveis. Quanto às restrições, podemos ver o quantitativo por grupos na Tabela 5 em relação a cada uma das bases de dados.

Tabela 5 – QUANTIDADE DE RESTRIÇÕES POR GRUPO

| <i>Restrição</i>    | <i>Quantidade</i> |                 |
|---------------------|-------------------|-----------------|
|                     | <i>Escola 1</i>   | <i>Escola 2</i> |
| 4.3                 | 25                | 20              |
| 4.4                 | 55                | 40              |
| 4.5                 | 275               | 200             |
| 4.6                 | 125               | 100             |
| 4.7                 | 275               | 250             |
| 4.8                 | 55                | 50              |
| 4.9                 | 11                | 10              |
| 4.10                | 55                | 50              |
| Total de Restrições | 876               | 720             |

FONTE: A autora (2015)

Uma solução será considerada viável apenas se possuir exatamente um valor “1” para cada conjunto turma, dia, aula, indicando qual professor atenderá esta configuração, e todos os demais valores “0”, pois não são aceitos mais do que um professor em uma configuração. Com isso estamos atendendo a exigência de que cada turma tenha um professor em todos os seus dias e horários. Isso resulta em um espaço de busca de  $\binom{1375}{125} \approx 3 \cdot 10^{180}$  possíveis soluções no caso da Escola 1

e  $\binom{1000}{100} \approx 6 \cdot 10^{139}$  possíveis soluções no caso da Escola 2. Pelo alto número de combinações, o tempo computacional para verificar este espaço de busca das soluções é muito grande. Tomando um exemplo hipotético, um supercomputador efetuando cerca de  $33,68 \cdot 10^{15}$  cálculos por segundo (BBC Brasil, 2014), que pudesse avaliar uma solução para cada um dos  $33,68 \cdot 10^{15}$  cálculos por segundo, levaria respectivamente quase de  $3 \cdot 10^{153}$  e  $6 \cdot 10^{112}$  milênios!

#### 4.2 META-HEURÍSTICA – BASEADA EM ALGORITMOS GENÉTICOS

A proposta inicial para a pesquisa em questão se baseou em Góes, Costa e Steiner (2010), que utilizam uma meta-heurística tendo como fundamentação principal os AG. Os autores justificam que a meta-heurística é baseada em AG visto que utilizam apenas o operador mutação e que cada população é composta de um único indivíduo, permanecendo os demais fatores, como cálculo de *fitness* e seleção na “evolução”.

Para cada contexto, o termo “Evolução” tem seu próprio significado. Tomando um sentido biológico, que é o contexto no qual se inspira o sentido computacional, “‘Evolução’ é um processo de otimização no qual o objetivo é melhorar a habilidade de um organismo (ou sistema) para sobreviver em ambientes competitivos e alterados dinamicamente.” (ENGELBRECHT, 2007, p. 127) A computação evolutiva refere-se a solução de problemas usando modelos computacionais de processos evolucionários, como seleção natural, sobrevivência do mais adaptado e reprodução (ENGELBRECHT, 2007). Pode ser classificada como sendo uma estratégia de solução concebida para resolver problemas genéricos e operar em espaços não-lineares e não-estacionários. É aceito o fato de que não é garantida eficiência total na obtenção da solução, entretanto pode-se conseguir uma boa aproximação para a solução ótima, considerando que o tempo computacional aumenta a uma taxa menor que exponencial (CONCILIO, 2000). Algumas situações que ocorrem na natureza foram estudadas e compiladas para a computação - Inteligência Artificial. Exemplo delas são os AG, Busca Local, Nuvem de Partículas e Enxame de Abelhas. Vê-se pelos exemplos apenas em *timetable* citados no capítulo 2.

O trabalho em Inteligência Artificial com AG foi iniciado por J. Holland em 1975 (HOLLAND, 1992), onde foram formalizados e explicados matematicamente os processos de adaptação em sistemas naturais e desenvolvidos sistemas artificiais simulados computacionalmente mantendo as características encontradas de forma natural em sistemas naturais. Foram mantidas, inclusive, as operações de *crossover*, que é a troca de informações entre cromossomos de indivíduos selecionados, e mutação, que consiste na alteração de informações de um cromossomo.

Apesar de inicialmente não terem sido propostos para trabalhar com problemas

de otimização, AG tem sido muito aplicados a esse ramo de pesquisa. Alguns termos comuns em AG estão na Tabela 6.

Tabela 6 – COMPARAÇÃO ENTRE TERMINOLOGIA NATURAL E AG

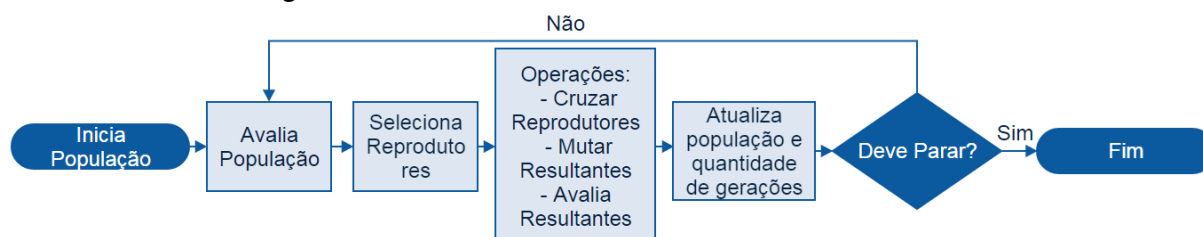
| Natural    | AG   |
|------------|--|
| População  | Conjunto de soluções do problema                       |
| Indivíduo  | Solução do problema                                    |
| Cromossomo | String, sequência de caracteres, que compõe a solução. |
| Gene       | Característica   |
| Alelo      | Valor da característica                                |

FONTE: ADAPTADO DE (GOLDBERG, 1989)

Hamawaki (2005) defende o uso de AG por serem muito eficientes para busca de soluções ótimas, ou aproximadamente ótimas, com aplicação em muitos problemas, devido às limitações encontradas em métodos tradicionais exatos, tendo aqueles a capacidade de identificar e explorar os fatores ambientais e convergir para as soluções ótimas em níveis globais.

A funcionalidade dos AG começa com a inicialização da população com cálculos de aptidão, seleção, reprodução e mutação. Segundo Goldberg (1989), em sistemas naturais, um ou mais cromossomos são combinados para formar a “receita genética” para a construção e operação de algum organismo. Indivíduos progenitores têm seus cromossomos combinados para geração de novos indivíduos. Nos AG, a aplicação das operações descritas em diversos indivíduos cria uma nova população, ou nova geração, a qual deverá ter uma aproximação melhor da solução do problema em comparação com a população anterior. Para a população inicial atribui-se aleatoriamente valores ao gene de cada cromossomo, que podem ser representados de forma binária, inteira ou real. A aptidão de um indivíduo da população é medida por meio de uma função objetivo, também chamada de *fitness*. Em geral são utilizados como critérios de parada do algoritmo a aptidão do melhor indivíduo em conjunto com a limitação do número de gerações. A figura 3 ilustra o funcionamento do AG.

Figura 3 – ESTRUTURA E FUNCIONAMENTO DE AG



Fonte: A autora (2015)

Para o presente trabalho são considerados indivíduos as possíveis grades horárias semanais de cada turma, como a figura 4. Um exemplo completo de indivíduo utilizado está no apêndice A. Um indivíduo é considerado viável quando atende as restrições fortes. Um conjunto dessas soluções do problema é considerado população.

Figura 4 – EXEMPLO DE INDIVÍDUO UTILIZADO

Iteração: 4      Geração: 2      Indivíduo: 18

| Turma: 6º Ano A |            | 3ª          | 4ª          | 5ª         | 6ª         |
|-----------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Dias            | 2ª         |             |             |            |            |
| 1               | PROF CIE   | PROF HIS    | PROF MUS    | PROF ING   | PROF ING   |
| 2               | PROF CIE   | PROF CIE    | PROF EDF/ER | PROF GEO   | PROF HIS   |
| 3               | PROF POR 1 | PROF EDF/ER | PROF GEO    | PROF MAT 1 | PROF POR 1 |
| 4               | PROF POR 1 | PROF EDF/ER | PROF ART    | PROF MAT 1 | PROF POR 1 |
| 5               | PROF POR 1 | PROF POR 1  | PROF POR 1  | PROF MAT 1 | PROF MAT 1 |

| Turma: 6º Ano B |             | 3ª          | 4ª          | 5ª         | 6ª         |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Dias            | 2ª          |             |             |            |            |
| 1               | PROF EDF/ER | PROF MAT 1  | PROF POR 1  | PROF MAT 1 | PROF HIS   |
| 2               | PROF GEO    | PROF HIS    | PROF MUS    | PROF ING   | PROF ING   |
| 3               | PROF CIE    | PROF GEO    | PROF EDF/ER | PROF POR 1 | PROF MAT 1 |
| 4               | PROF CIE    | PROF POR 1  | PROF POR 1  | PROF POR 1 | PROF MAT 1 |
| 5               | PROF MAT 1  | PROF EDF/ER | PROF ART    | PROF CIE   | PROF POR 1 |

| Turma: 7º Ano |            | 3ª          | 4ª          | 5ª         | 6ª         |
|---------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|
| Dias          | 2ª         |             |             |            |            |
| 1             | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER | PROF GEO    | PROF POR 2 | PROF MAT 2 |
| 2             | PROF ART   | PROF EDF/ER | PROF MAT 2  | PROF POR 2 | PROF MAT 2 |
| 3             | PROF POR 2 | PROF HIS    | PROF MUS    | PROF ING   | PROF ING   |
| 4             | PROF POR 2 | PROF CIE    | PROF EDF/ER | PROF MAT 2 | PROF HIS   |
| 5             | PROF CIE   | PROF CIE    | PROF POR 2  | PROF GEO   | PROF MAT 2 |

| Turma: 8º Ano |            | 3ª         | 4ª          | 5ª          | 6ª         |
|---------------|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| Dias          | 2ª         |            |             |             |            |
| 1             | PROF POR 2 | PROF GEO   | PROF EDF/ER | PROF EDF/ER | PROF POR 2 |
| 2             | PROF MAT 2 | PROF POR 2 | PROF CIE    | PROF MAT 2  | PROF GEO   |
| 3             | PROF MAT 2 | PROF CIE   | PROF MAT 2  | PROF MAT 2  | PROF HIS   |
| 4             | PROF ART   | PROF HIS   | PROF MUS    | PROF ING    | PROF ING   |
| 5             | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF EDF/ER | PROF MAT 2  | PROF CIE   |

| Turma: 9º Ano |             | 3ª         | 4ª       | 5ª          | 6ª         |
|---------------|-------------|------------|----------|-------------|------------|
| Dias          | 2ª          |            |          |             |            |
| 1             | PROF MAT 1  | PROF POR 2 | PROF HIS | PROF CIE    | PROF MAT 1 |
| 2             | PROF MAT 1  | PROF GEO   | PROF GEO | PROF MAT 1  | PROF MAT 1 |
| 3             | PROF MAT 1  | PROF POR 2 | PROF CIE | PROF EDF/ER | PROF POR 2 |
| 4             | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF CIE | PROF EDF/ER | PROF POR 2 |
| 5             | PROF ART    | PROF HIS   | PROF MUS | PROF ING    | PROF ING   |

Fonte: A autora (2015)

As disciplinas são representadas por seus professores a fim de contemplar situações em que um mesmo professor é responsável por mais de uma disciplina. A cada professor é associada uma sigla, que pode ser uma abreviatura do nome ou uma generalização, como no presente caso. Para os cálculos, é atribuído um valor de “1” até a quantidade de professores, no caso onze para a Escola 1 e dez para a Escola 2. Exemplo do problema da Escola 1 é o professor das disciplinas de Educação Física e de Ensino Religioso, representado pela sigla “PROF EDF/ER”: trata-se de um mesmo professor responsável pelas duas disciplinas. Nos cálculos, este professor recebe o código “3” e as variáveis  $x_{3tda}$  são referentes a ele. Na geração do arquivo final, é resgatada a sigla através do valor para impressão, como mostra a figura 4. Para o professor citado, a escolha entre uma das duas disciplinas sob sua responsabilidade poderá ser feita após obter a solução, de acordo com a posição da aula no dia. Uma aula mais próxima ao início do turno pode ser destinada ao Ensino Religioso enquanto a Educação Física ocupa aulas alocadas mais ao final do turno, como a 4ª feira na

turma de 8º ano da figura 4.

Para criar uma nova geração de indivíduos é necessário o uso dos operadores genéticos. No trabalho de Góes, Costa e Steiner (2010) foi utilizada apenas a mutação como operador genético a fim de obter indivíduos mais adaptados, por isso os autores intitulam seu trabalho como meta-heurística baseada em AG. O procedimento de cruzamento *crossover* gera uma quantidade muito grande de indivíduos inviáveis. Com a mutação, no entanto, é possível recuperar informações perdidas de gerações anteriores.

A geração inicial neste trabalho se deu da seguinte forma:

1. Cria-se uma lista aleatória de professores, considerado o grau de dificuldade do horário do professor, ou seja, a diferença entre a quantidade de horários disponibilizados pelo docente e sua carga horária semanal a cumprir. Será seguida esta lista para atribuição;
2. Para cada professor, criam-se listas aleatórias de turmas e horários para sequência de alocação, sendo os horários calculados de acordo com a sua dificuldade, isto é, a diferença entre a quantidade de professores disponíveis e as turmas a serem atendidas neste horário. As listas geradas com dados da Escola 1 estão ilustradas na figura 5.

Figura 5 – EXEMPLO DE LISTAS ALEATÓRIAS USADAS

| Professores X Turmas |             |        |          |          |        |          |          |
|----------------------|-------------|--------|----------|----------|--------|----------|----------|
| Posição              | Professor   | Dispon |          |          |        |          |          |
| 1                    | PROF CIE    | 0      | 6º Ano A | 8º Ano   | 9º Ano | 7º Ano   | 6º Ano B |
| 2                    | PROF MAT 1  | 0      | 9º Ano   | 8º Ano   | 7º Ano | 6º Ano A | 6º Ano B |
| 3                    | PROF MAT 2  | 0      | 6º Ano A | 9º Ano   | 7º Ano | 8º Ano   | 6º Ano B |
| 4                    | PROF ING    | 0      | 8º Ano   | 6º Ano B | 9º Ano | 7º Ano   | 6º Ano A |
| 5                    | PROF POR 1  | 8      | 9º Ano   | 8º Ano   | 7º Ano | 6º Ano A | 6º Ano B |
| 6                    | PROF POR 2  | 10     | 6º Ano A | 8º Ano   | 7º Ano | 9º Ano   | 6º Ano B |
| 7                    | PROF EDF/ER | 10     | 8º Ano   | 6º Ano B | 9º Ano | 7º Ano   | 6º Ano A |
| 8                    | PROF GEO    | 10     | 9º Ano   | 8º Ano   | 7º Ano | 6º Ano A | 6º Ano B |
| 9                    | PROF HIS    | 15     | 6º Ano A | 9º Ano   | 7º Ano | 8º Ano   | 6º Ano B |
| 10                   | PROF ART    | 20     | 6º Ano A | 6º Ano B | 7º Ano | 8º Ano   | 9º Ano   |
| 11                   | PROF MUS    | 20     | 8º Ano   | 6º Ano B | 9º Ano | 7º Ano   | 6º Ano A |

| Professores X Horários |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Professor              | 01  | 02  | 03  | 04  | 05  | 06  | 07  | 08  | 09  | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  |
| PROF ART               | 303 | 305 | 405 | 505 | 302 | 304 | 403 | 301 | 205 | 503 | 605 | 504 | 404 | 501 | 502 | 401 | 402 | 604 | 603 | 201 | 602 | 601 | 204 | 202 | 203 |
| PROF CIE               | 302 | 405 | 305 | 303 | 505 | 501 | 504 | 503 | 404 | 304 | 205 | 403 | 401 | 402 | 301 | 605 | 502 | 201 | 602 | 601 | 203 | 604 | 202 | 204 | 603 |
| PROF EDF/ER            | 302 | 305 | 405 | 505 | 303 | 301 | 502 | 501 | 403 | 504 | 605 | 401 | 205 | 503 | 304 | 402 | 404 | 202 | 203 | 604 | 603 | 602 | 201 | 601 | 204 |
| PROF GEO               | 305 | 303 | 405 | 302 | 505 | 404 | 501 | 402 | 304 | 504 | 301 | 205 | 605 | 502 | 401 | 403 | 503 | 601 | 604 | 201 | 202 | 203 | 204 | 603 | 602 |
| PROF HIS               | 405 | 303 | 505 | 302 | 305 | 503 | 205 | 605 | 404 | 504 | 304 | 501 | 301 | 402 | 401 | 502 | 403 | 604 | 601 | 202 | 602 | 203 | 603 | 201 | 204 |
| PROF ING               | 302 | 305 | 405 | 505 | 303 | 301 | 502 | 501 | 403 | 504 | 605 | 401 | 205 | 503 | 304 | 402 | 404 | 202 | 203 | 604 | 603 | 602 | 201 | 601 | 204 |
| PROF MAT 1             | 305 | 303 | 405 | 302 | 505 | 404 | 501 | 402 | 304 | 504 | 301 | 205 | 605 | 502 | 401 | 403 | 503 | 601 | 604 | 201 | 202 | 203 | 204 | 603 | 602 |
| PROF MAT 2             | 405 | 303 | 505 | 302 | 305 | 503 | 205 | 605 | 404 | 504 | 304 | 501 | 301 | 402 | 401 | 502 | 403 | 604 | 601 | 202 | 602 | 203 | 603 | 201 | 204 |
| PROF MUS               | 302 | 305 | 405 | 505 | 303 | 301 | 502 | 501 | 403 | 504 | 605 | 401 | 205 | 503 | 304 | 402 | 404 | 202 | 203 | 604 | 603 | 602 | 201 | 601 | 204 |
| PROF POR 1             | 305 | 303 | 405 | 302 | 505 | 404 | 501 | 402 | 304 | 504 | 301 | 205 | 605 | 502 | 401 | 403 | 503 | 601 | 604 | 201 | 202 | 203 | 204 | 603 | 602 |
| PROF POR 2             | 303 | 305 | 302 | 505 | 405 | 401 | 301 | 205 | 402 | 403 | 504 | 503 | 304 | 502 | 605 | 501 | 404 | 202 | 204 | 601 | 201 | 604 | 203 | 603 | 602 |

Fonte: A autora (2015)

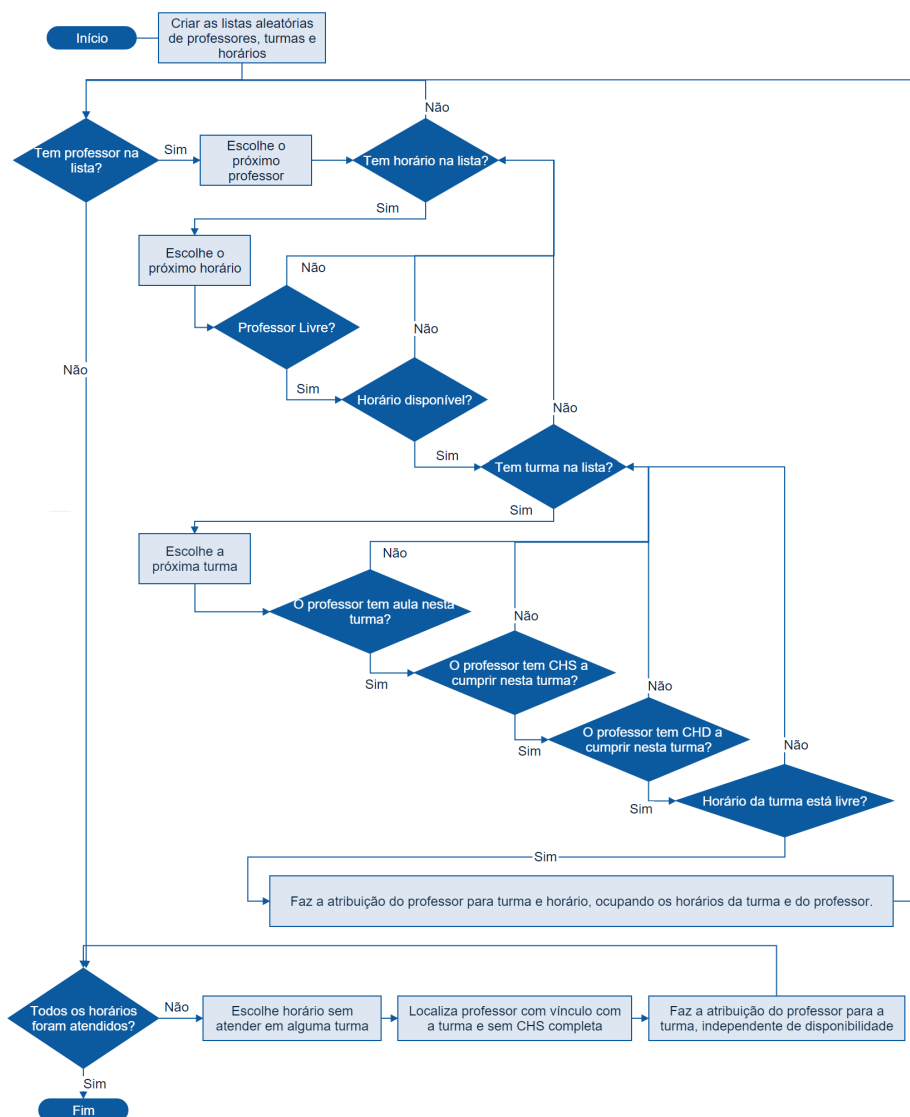
3. Para cada turma e cada horário, nas respectivas ordens aleatórias definidas para o professor, verifica-se a disponibilidade do professor no horário. Havendo disponibilidade, analisa-se o vínculo do professor com a turma da

sequência. Havendo o vínculo, verificam-se as cargas horárias semanal e diária da turma para o professor e se o horário da turma ainda está livre. Sendo favoráveis todas estas avaliações, atribui o horário selecionado da turma para o professor em questão. Aplica-se este procedimento em todos os dias e todas as turmas, evitando assim choques de horários.

4. Repetem-se os passos anteriores até esgotar a listagem de professores.
5. Caso ainda não tenha sido contemplada a carga horária semanal de alguma turma, haverá algum professor que também não terá completado sua carga horária. Localizam-se estes professores e faz-se a designação de aula permitindo o conflito de horários.

A figura 6 ilustra o processo de criação de um indivíduo da geração inicial.

Figura 6 – FLUXOGRAMA DA PRIMEIRA GERAÇÃO



Nesta geração inicial não é possível garantir a adaptabilidade dos indivíduos pois há a possibilidade de que restrições sejam violadas. Estas situações são corrigidas através das mutações definidas por heurísticas de melhoramento.

Criada uma geração, o próximo passo é avaliá-la, obtendo seu valor de *fitness* que busca quantificar a qualidade do indivíduo. O cálculo do *fitness* é obtido pelo algoritmo 1.

---

**Algoritmo 1:** FUNÇÃO PARA CÁLCULO DO *FITNESS* NA META-HEURÍSTICA

---

**Entrada:**  $x_{ptda}$ , informação sobre concentrar horários

**Saída:** *fitness*

**início**

```

fitness := 0;
para cada professor p faça
    //Definimos um valor para o fator c, relativo à
    //concentração de horário.
    se concentrar horário do professor p então c := 20;
    senão c := 10;
    para cada turma t faça
        para cada dia d faça
            para cada aula a faça
                //Soma se houver atribuição
                se  $x_{ptda} = 1$  então fitness := fitness +  $p_{pda} \cdot c$  ;
            fim
        fim
    fim
    //Penalizar dias em excesso
    se  $\sum_d DT_{pd} > MDT_p$  então
        fitness := fitness -  $5 \cdot VD \cdot (DT_{pd} - MDT_p)$  ;
    fim
fim
    //Penalizar janelas de acordo com a quantidade
    para cada tamanho de janela i faça
        fitness := fitness -  $VD \cdot (i^2 + 1) \cdot qtde\_janelas(i)$ ;
    fim
    //Penalizar restrições não atendidas de acordo com a
    //quantidade
    para cada tipo de restrição j faça
        fitness := fitness -  $VD \cdot qtde\_falhas\_restricoes(j)$  ;
    fim
fim

```

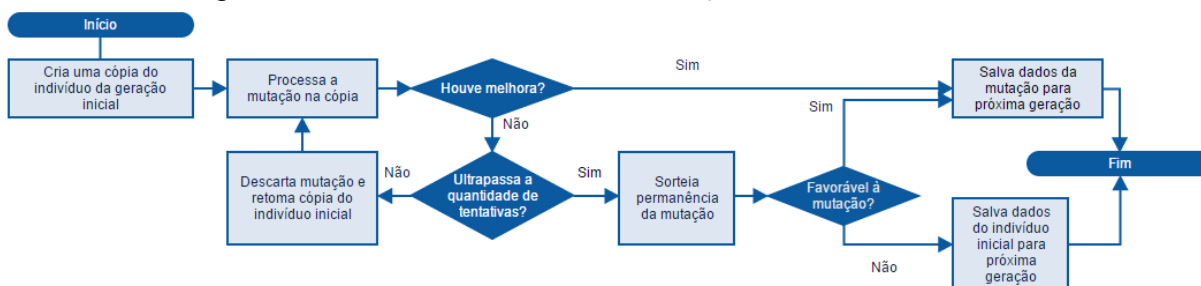
---

Os valores  $p_{pda}$ ;  $DT_{pd}$  e  $MDT_p$  no algoritmo 1 são os mesmos que aparecem no

método exato. O fator  $c$  faz com que seja dada mais ênfase aos horários do professor que solicita concentração. Para que as penalidades e as atribuições com disponibilidade sejam da mesma ordem de grandeza, é definida um fator  $VD$  de penalidades. O valor desta constante é o mesmo de um peso  $p_{pda}$  em que o professor  $p$  informa disponibilidade do dia  $d$ , aula  $a$ . O cálculo de  $qtde\_janelas(i)$  segue o algoritmo 2 (p.46). O cálculo de  $qtde\_falhas\_restricoes(j)$  analisa cada restrição estabelecida, contando as que não são atendidas com os valores definidos para  $X_{pda}$ .

Avaliada a população inicial, são gerados novos indivíduos. As novas gerações seguem o esquema apresentado na figura 7, com uso do operador mutação. Este operador trabalhará na correção das violações de restrições como ter ultrapassado a carga horária diária por turma ou ter mais dias de trabalho que o minimamente necessário e conflito de horários. Góes, Costa e Steiner (2010) elaboram uma lista com os erros existentes nos indivíduos. Neste mesmo raciocínio a mutação aplicada no presente trabalho ocorre da seguinte forma:

Figura 7 – FLUXOGRAMA DAS GERAÇÕES SUBSEQUENTES



Fonte: A autora (2015)

1. Calcula-se a quantidade de restrições violadas, incluindo a quantidade de atribuições feitas indevidamente, ou seja, em horário sem disponibilidade de professor. Registram-se todos os horários que estão envolvidos com alguma restrição violada.
2. Se o valor calculado é zero, todas as restrições foram satisfeitas e todos os horários são atendidos. Segue com este indivíduo para o cálculo da próxima geração.
3. Caso contrário, escolhe-se um dos horários registrados, com a respectiva violação de restrição e realiza uma intervenção que corrija o problema, até que a quantidade de erros diminua ou, depois de um valor pré-definido de execuções, ao menos se mantenha.

As intervenções mencionadas tratam-se de rotinas específicas de melhoria que envolvem trocas de aulas desenvolvidas para cada uma das violações

---

**Algoritmo 2: FUNÇÃO PARA CONTAGEM DE JANELAS**


---

**Função:**  $qtde\_janelas(i)$  **tipo** inteiro ;

**Entrada:**  $x_{ptda}$ ,  $i$  (tamanho da janela)

**Saída:**  $qtde$

//As janelas podem ser simples (1 aula), duplas (2 aulas), triplas (3 aulas), etc.

**início**

$qtde := 0;$

**para cada professor  $p$  faça**

**para cada dia  $d$  faça**

**para cada aula  $a$ , exceto primeira e última faça**

**se**  $\sum_t x_{ptd(a-1)} \neq 0$  **e**  $\sum_t x_{ptda} = 0$  **então**

//Se a aula anterior está ocupada e esta não, inicia uma janela.

$j := 1;$

**enquanto**  $\sum_t x_{ptd(a+j)} = 0$  **faça**  $j := j + 1;$

**se**  $j = i$  **então**

//Encontrada uma janela de tamanho  $i$ .

**se**  $a + j \neq \#A$  **então**

//Parou antes da última aula. É janela.

$qtde := qtde + 1;$

**senão**

**se**  $\sum_t x_{ptd(a+j)} \neq 0$  **então**

//Parou na última aula que está ocupada. É janela.

$qtde := qtde + 1;$

//Se parar na última aula e estiver vazia, há uma concentração nos horários iniciais. Não é janela.

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

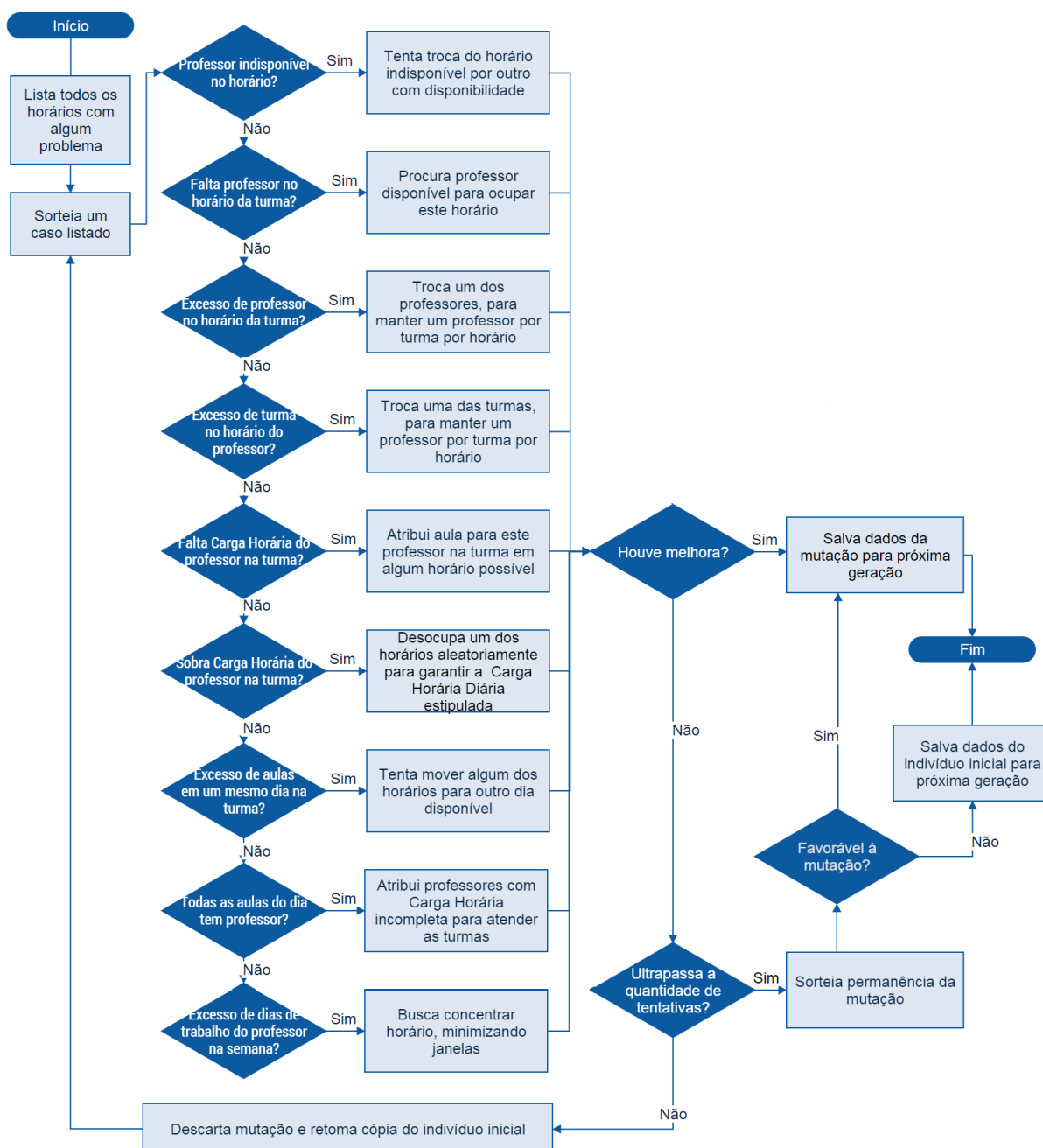
**retorna**  $qtde;$

**fim**

---

apresentadas. Um exemplo destas rotinas é o procedimento que, dado uma combinação professor  $p$ , turma  $t$ , dia  $d$ , aula  $a$  que não pode ser mantida, busca outro professor que possa assumir esta combinação e atribui outro horário para o primeiro professor. A figura 8, que ilustra o operador mutação, indica os problemas encontrados e os melhoramentos efetuados.

Figura 8 – FLUXOGRAMA DO OPERADOR MUTAÇÃO EM UM INDIVÍDUO



Fonte: A autora (2015)

As mudanças de atribuição de horários solicitadas pelas melhorias são feitas por um procedimento específico para tentativa de trocas de horários. As heurísticas de melhoramento são responsáveis por identificar um conjunto professor-turma-dia-aula

a ser trocado, eventualmente sugerindo um novo horário para esse professor ocupar. Caso a busca seja por diminuir a carga horária em algum dia arbitrário, é possível solicitar a troca de um dos horários deste dia e explicitar ao procedimento que seja evitado alterar para outro horário do mesmo dia, vetando sua escolha.

Em um exemplo de uma possível permuta entre professores, há necessidade de trocar o horário do professor de Ciências da segunda aula de terça-feira ( $h_0$ ) para a quarta aula da quinta-feira ( $h_1$ ) na Turma 1. No  $h_1$  a turma 1 está com aula de Geografia e o professor de Geografia tem  $h_0$  ocupado na turma 2. Na turma 2, o  $h_1$  é ocupado pelo professor de Matemática, que tem livre o  $h_0$ . Assim, são efetuadas as seguintes trocas:

- Na turma 1 Ciências passa de  $h_0$  para  $h_1$  e Geografia passa de  $h_1$  para  $h_0$ ;
- Na turma 2 Geografia passa de  $h_0$  para  $h_1$  e Matemática passa de  $h_1$  para  $h_0$ .

O procedimento leva em conta se os professores envolvidos tem livre o horário a ser ocupado. A figura 9 ilustra a situação descrita e o algoritmo 3 é um esboço deste procedimento, no qual é contemplada a possibilidade de até quatro professores envolvidos, o que se mostrou suficiente nos testes realizados.

Figura 9 – EXEMPLO DE TROCA DE HORÁRIO ENTRE PROFESSORES

| ANTES DA TROCA<br>TURMA 1 |            |            |            |            | DEPOIS DA TROCA<br>TURMA 1 |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| 2a feira                  | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   | 2a feira                   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| DEVOCIONAL                | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL                 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
|                           | CIÊ        |            |            |            |                            | GEO        |            |            |            |
| INTERVALO                 | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO                  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
|                           |            |            | GEO        |            |                            |            |            | CIÊ        |            |

| TURMA 2    |            |            |            |            | TURMA 2    |            |            |            |            |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   | 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
|            | GEO        |            |            |            |            | MAT        |            |            |            |
| INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
|            |            |            | MAT        |            |            |            |            | GEO        |            |

Fonte: A autora (2015)

---

**Algoritmo 3: PROCEDIMENTO PARA TENTATIVA DE TROCA DE HORÁRIOS**


---

**Entrada:** professor, turma, dia e aula a sair. *Opcionais:* horário sugerido e veto ao mesmo dia

**Saída:** Quantidade de Envolvidos

**início**

**enquanto**  $qtde = 0$  **faça**

$qtde := 0;$

$p(0) :=$  professor que sai;

$t(0) :=$  turma na qual ocorre a troca;

$h(0) :=$  dia e aula que  $p(0)$  atualmente ocupa;

**se** *tem horário sugerido* **então**

$h(1) :=$  horário sugerido;

**senão**

$h(1) :=$  horário aleatório em que  $p(0)$  está livre;

**fim**

$p(1) :=$  professor que ocupa  $h(1)$  em  $t(0);$

**se**  $p(1)$  *está livre em*  $h(0)$  **então**

        Efetua Troca:  $p(0) \rightarrow h(1)$  e  $p(1) \rightarrow h(0);$

**retorna**  $qtde := 2;$

**senão**

**se** *Aleatório e poucas tentativas* **então** Tenta novo  $h(1);$

**senão** prossegue;

$t(1) :=$  turma na qual  $p(1)$  ocupa  $h(0);$

$p(2) :=$  professor que ocupa  $h(1)$  em  $t(1);$

**se**  $p(2)$  *está livre em*  $h(0)$  **então**

            Efetuem Trocas:

            Em  $t(0)$ :  $p(0) \rightarrow h(1)$  e  $p(1) \rightarrow h(0);$

            Em  $t(1)$ :  $p(1) \rightarrow h(1)$  e  $p(2) \rightarrow h(0);$

**retorna**  $qtde := 3;$

**senão**

$t(2) :=$  turma na qual  $p(2)$  ocupa  $h(0);$

$p(3) :=$  professor que ocupa  $h(1)$  em  $t(2);$

**se**  $p(3)$  *está livre em*  $h(0)$  **então**

                Efetuem Trocas:

                Em  $t(0)$ :  $p(0) \rightarrow h(1)$  e  $p(1) \rightarrow h(0);$

                Em  $t(1)$ :  $p(1) \rightarrow h(1)$  e  $p(2) \rightarrow h(0);$

                Em  $t(2)$ :  $p(2) \rightarrow h(1)$  e  $p(3) \rightarrow h(0);$

**retorna**  $qtde := 4;$

**senão**

                Procura outro  $p(0)$

**fim**

**fim**

**fim**

**fim**

**retorna**  $qtde$

---

Na realização das mutações, é possível que se criem algumas soluções não factíveis, como choques de horários ocorridos com um professor ao fazer a mutação com outro, alocação de aula criando aula geminada indesejável, entre outros. É o uso do algoritmo baseado em AG que nos permite inferir que estes erros serão minimizados, pois a existência deles influencia negativamente o *fitness* do indivíduo, tornando menos provável sua sobrevivência nas gerações seguintes.

A sobrevivência de um indivíduo em uma população no contexto dos AG segue alguns métodos de seleção, para verificar se o indivíduo deve integrar a nova geração. Um dos métodos é a seleção biclassista na qual, segundo Carvalho e Yamakami (2008), a cada geração é preservada  $P\%$  dos melhores indivíduos e  $(100 - P)\%$  dos piores indivíduos da população. Outro método bastante utilizado é o modelo elitista, onde apenas os  $P\%$  dos melhores indivíduos permanecem na população. Sendo a população uma possível solução para o problema deste trabalho, foi utilizado o seguinte método de seleção, considerando um fator de aceitação percentual  $f$  previamente definido:

- 1°. Após a geração de uma população, calcula-se o *fitness* de cada indivíduo, registrando se o indivíduo com melhor *fitness* é da população atual ou da população anterior. O indivíduo (gerador vs gerado) que tiver maior *fitness* será chamado “eleito”;
- 2°. Caso menos de  $f\%$  dos indivíduos da geração atual sejam eleitos, ou seja, em  $f\%$  das turmas houve piora na designação dos professores, é ignorada toda a geração, sendo mantidos os progenitores;
- 3°. Caso a nova população tenha mais de  $(100 - f)\%$  de eleitos, toda a nova geração passa para a geração seguinte;
- 4°. Se nenhum dos dois critérios acima foi atendido, isto é, a quantidade de melhores indivíduos da nova geração estiver entre  $f\%$  e  $(100 - f)\%$  do total, os eleitos formarão a nova geração.

No caso específico foi utilizado  $f = 20$ . Com isso, gerações com menos de 20% de melhorias foram descartadas, gerações com mais de 80% de melhorias assumiram totalmente o lugar da geração anterior e as demais gerações passaram seus indivíduos eleitos para a geração seguinte.

Estes passos são repetidos até um número pré-definido de gerações, ou atendimento de algum critério de parada. Ribeiro Filho e Lorena (2001) mencionam no pseudo-algoritmo  $g_{max}$  como número máximo de gerações informado no início do algoritmo, mas não especifica o valor usado nos testes. Stefano e Tettamanzi (2001) relatam ter obtido a primeira solução factível apenas após a geração 2.001, interrompendo a execução na geração 10.200 quando o grau de satisfação de restrições fracas parou de

melhorar. Nurmi e Kyngäs (2008) tem o tempo estipulado pela competição como critério de parada (468 segundos). Na tabela 7 estão listadas as quantidades de indivíduos e o número de gerações estabelecidos em alguns trabalhos sobre AG.

Tabela 7 – QUANTIDADE DE INDIVÍDUOS E GERAÇÕES EM TRABALHOS PESQUISADOS

| Trabalho                      | Número de Indivíduos | Número [máximo] de Gerações |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Abramson e Abela (1992)       | 100                  | 100                         |
| Caldeira e Rosa (1997)        | 60                   | < 30.000                    |
| Fernandes et al. (1999a)      | 40                   | 105.000                     |
| Stefano e Tettamanzi (2001)   | 100                  | 10.200                      |
| Wilke, Gröbner e Oster (2002) | 40                   | 100.000                     |
| Beligiannis et al. (2008)     | 25                   | 10.000                      |
| Mohammadi e Lucas (2008)      | dinâmico             | 40.000                      |
| Srndic et al. (2009)          | 99                   | 1.000                       |

Fonte: A autora (2015)

Neste trabalho, foi assumido como critério de parada o número de gerações, variável durante os testes. Na interface, a ser explorada no capítulo 5, este é um parâmetro que pode ser alterado pelo usuário. Assim como Góes, Costa e Steiner (2010), a presente solução ao problema tem forte inspiração na resolução manual, porém tem sua execução gerenciada pelo AG, buscando o aumento na qualidade da solução.

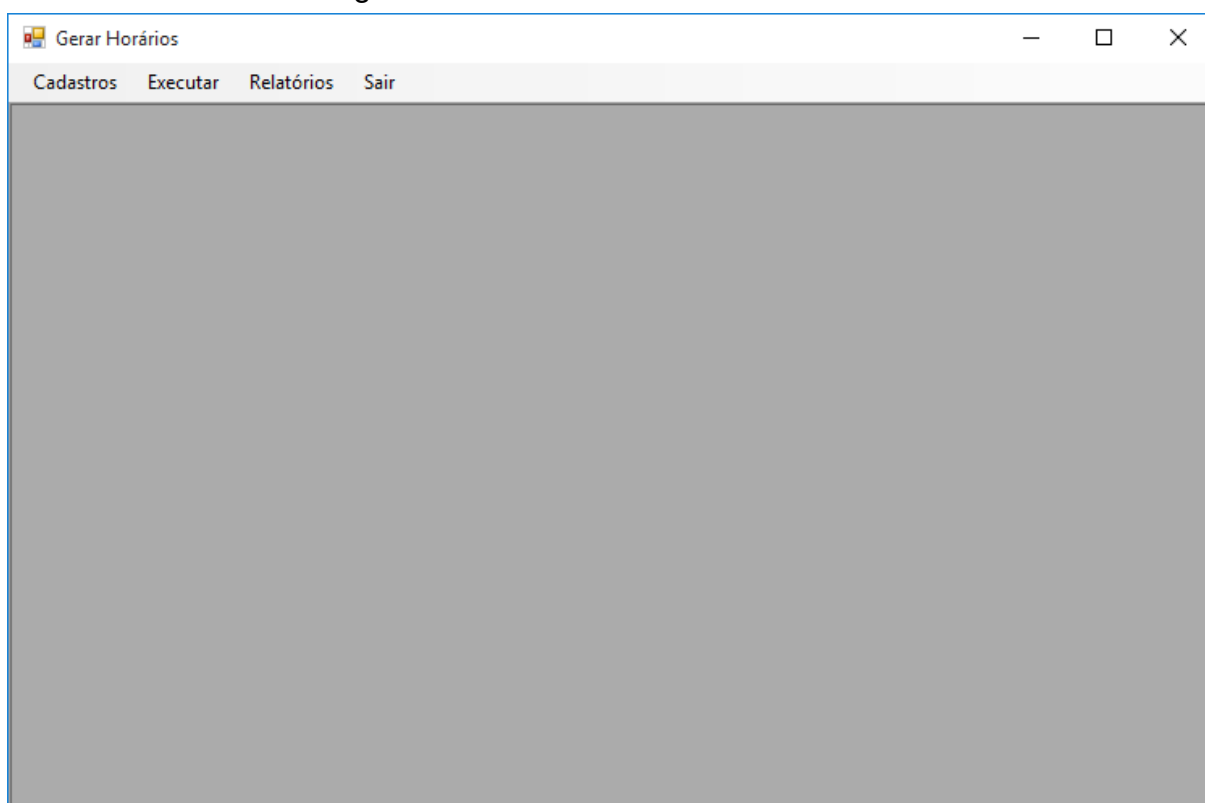
## 5 INTERFACE PARA APLICAÇÃO DA META-HEURÍSTICA

Como mencionado anteriormente, foi necessário desenvolver um *software* para receber os dados do problema específico e, a partir destes dados, gerar arquivo com as restrições e função objetivo para solução da formulação matemática proposta, além de processar a meta-heurística com geração dos horários e registrar informações para análise de desempenho. A linguagem escolhida para o desenvolvimento desta interface foi o VB, pela qualidade da interface gerada.

### 5.1 TELA INICIAL

A primeira tela (fig. 10) permite acesso aos menus da interface. Ela permanece aberta durante toda execução e está programada para não aceitar ações nela enquanto outra janela da interface estiver em operação.

Figura 10 – TELA INICIAL DA INTERFACE



Fonte: A autora (2015)

Contém as seguintes funcionalidades:

- Cadastros: Abre o menu “Cadastros”. Atalho de teclado: Alt+C.

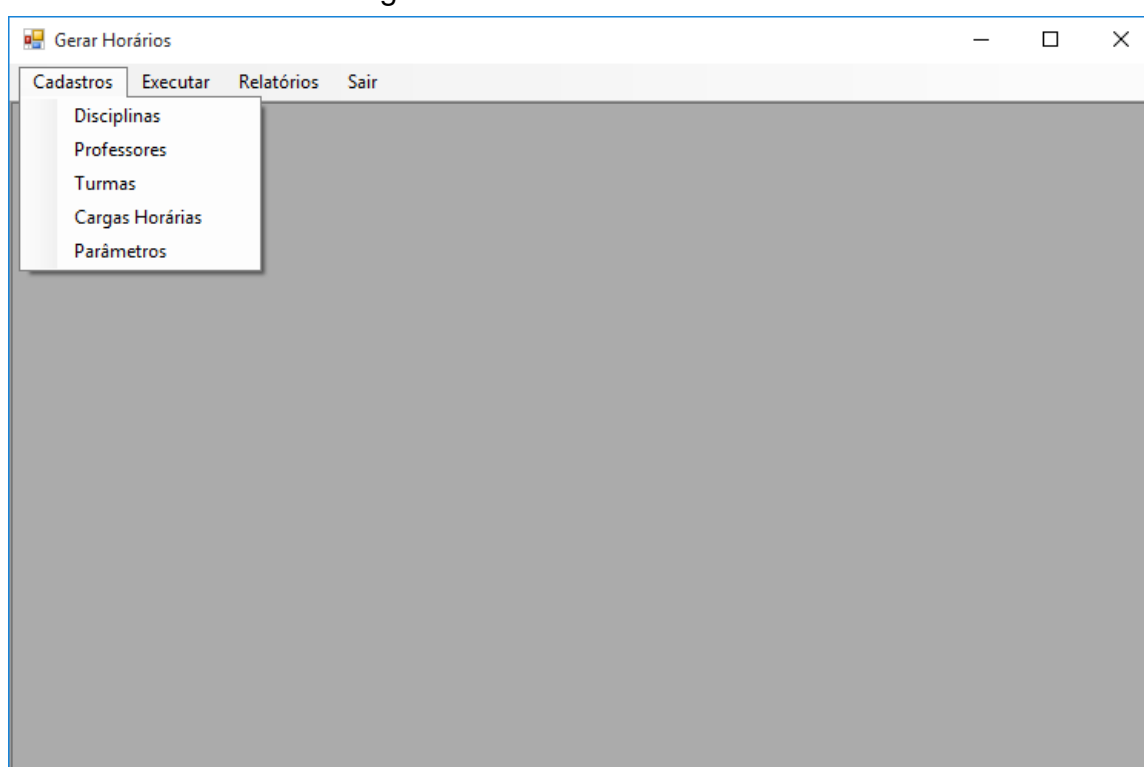
- Executar: Abre o menu “Executar”. Atalho de teclado: Alt+E.
- Relatórios: Abre o menu “Relatórios”. Atalho de teclado: Alt+R.
- Sair: Encerra a execução da interface.

A seguir, são detalhados os menus disponíveis.

## 5.2 MENU “CADASTROS”

Neste menu (fig. 11) são acessíveis telas para lançamento de informações referentes ao problema a solucionar.

Figura 11 – MENU “CADASTROS”



Fonte: A autora (2015)

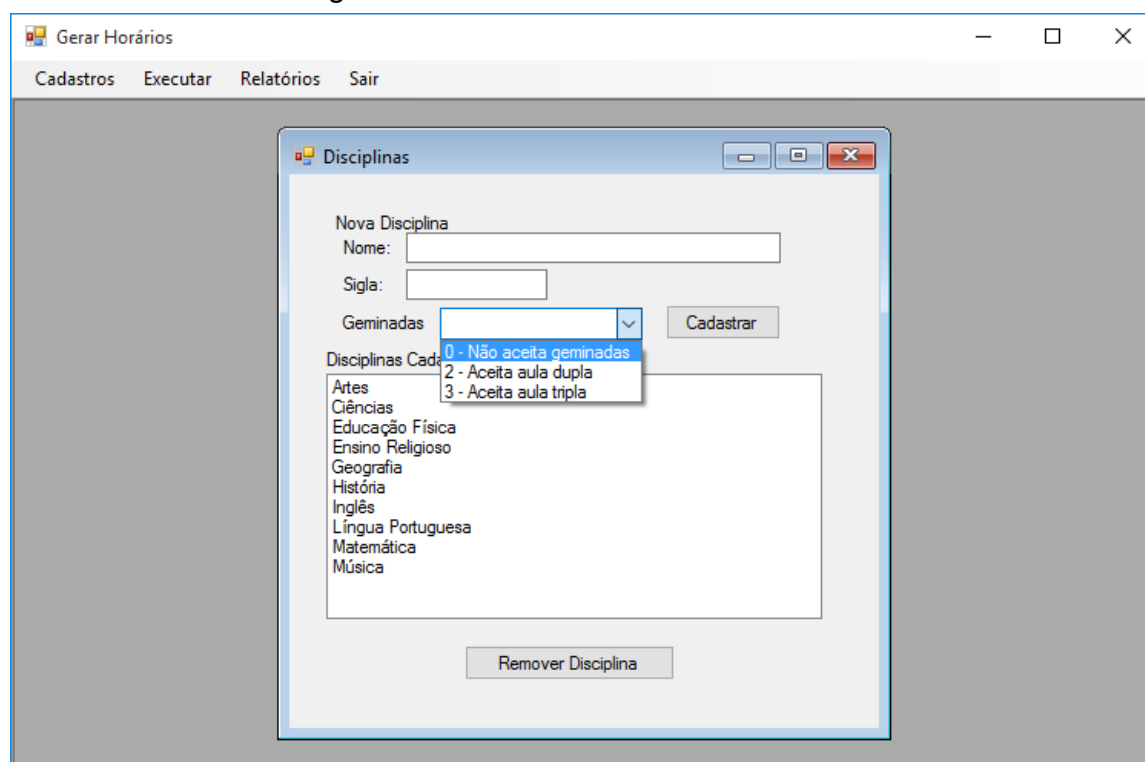
As funcionalidades deste menu, detalhadas na sequência, são:

- Disciplinas. Atalho de teclado: Alt+C+D;
- Professores. Atalho de teclado: Alt+C+P;
- Turmas. Atalho de teclado: Alt+C+U;
- Cargas Horárias;
- Parâmetros.

### 5.2.1 Cadastro de Disciplinas

Esta tela (fig. 12) permite o lançamento das disciplinas ofertadas, bem como a informação sobre a possibilidade de aulas geminadas na disciplina específica. Caso seja necessário, é possível remover uma disciplina previamente cadastrada selecionando-a na listagem e clicando no botão “Remover disciplina”.

Figura 12 – CADASTRO DE DISCIPLINAS



Fonte: A autora (2015)

### 5.2.2 Cadastro de Professores e Disponibilidades

As figuras 13 e 14 exibem as abas da tela que permite o cadastro de dados dos docentes. Na aba “Dados” (fig. 13) é cadastrado o docente e na aba “Disponibilidade” (fig. 14) é possível marcar quais são os horários que o docente tem disponibilidade para lecionar. Os dados de disponibilidade são carregados do banco de dados após a escolha do professor na lista.

### 5.2.3 Cadastro de Turmas

Permite que as turmas sejam cadastradas na base de dados (fig. 15).

### 5.2.4 Cadastro de Cargas Horárias

Nesta tela (fig. 16) são definidos os professores responsáveis por disciplina, o vínculo entre professores e turmas, e a CHS da disciplina em uma determinada turma.

Figura 13 – CADASTRO DE PROFESSORES

Gerar Horários

Cadastros Executar Relatórios Sair

Professores

Dados Disponibilidade

Nome:

Cadastrar

Professores Cadastrados

- PROF ART
- PROF CIE
- PROF EDF/ER
- PROF GEO
- PROF HIS
- PROF ING
- PROF MAT 1
- PROF MAT 2
- PROF MUS
- PROF POR 1
- PROF POR 2

Remover Professor

Fonte: A autora (2015)

Figura 14 – CADASTRO DE DISPONIBILIDADES

Gerar Horários

Cadastros Executar Relatórios Sair

Professores

Dados Disponibilidade

Professor: PROF EDF/ER

|          | 2ª Feira                            | 3ª Feira                            | 4ª Feira                            | 5ª Feira                            | 6ª Feira                            |
|----------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Aula 01  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Aula 02  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Aula 03  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Aula 04  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Aula 05  | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |
| Dia Todo | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

Máx de Aulas por dia

Ocupar qualquer dia, com concentração dos horários

Cadastrar Disponibilidade

Fonte: A autora (2015)

Figura 15 – CADASTRO DE TURMAS

Gerar Horários

Cadastros Executar Relatórios Sair

Turmas

Incluir/Excluir

Nova Turma

Turma:

Sigla:  Cadastrar

Turmas Cadastradas

6º ano  
7º ano  
8º ano  
9º ano

Remover Turmas

Fonte: A autora (2015)

Figura 16 – CADASTRO DE CARGAS HORÁRIAS

Gerar Horários

Cadastros Executar Relatórios Sair

Carga Horária Semanal

Incluir CHS e Docente Excluir

Turma:

Disciplina:

Professor:

Carga Horária Semanal:

Cadastrar/Alterar

CHS Cadastradas

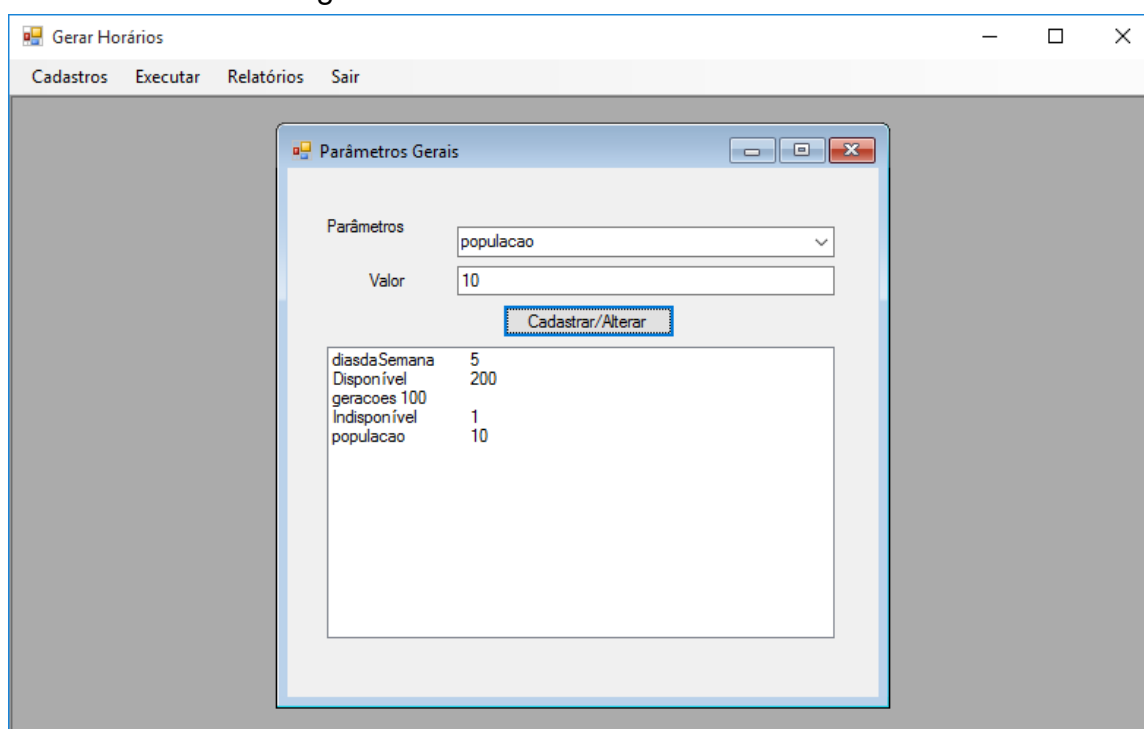
|     |                   |             |   |   |
|-----|-------------------|-------------|---|---|
| 6ªA | Língua Portuguesa | PROF POR    | 1 | 6 |
| 6ªA | Matemática        | PROF MAT    | 1 | 5 |
| 6ªA | Ciências          | PROF CIE    |   | 3 |
| 6ªA | Inglês            | PROF ING    |   | 2 |
| 6ªA | História          | PROF HIS    |   | 2 |
| 6ªA | Educação Física   | PROF EDF/ER |   | 2 |
| 6ªA | Geografia         | PROF GEO    |   | 2 |
| 6ªA | Artes             | PROF ART    |   | 1 |
| 6ªA | Ensino Religioso  | PROF EDF/ER |   | 1 |
| 6ªA | Música            | PROF MUS    |   | 1 |

Fonte: A autora (2015)

### 5.2.5 Cadastro de Parâmetros

Alguns valores são necessários para a execução da meta-heurística. Prezando por uma boa utilização, o lançamento destes valores em banco de dados, e não dentro do código, permite alterações destes valores sem necessidade de uma nova compilação. Entretanto, como estes valores influenciam em tamanhos de vetores alocados na memória, após cada atualização de parâmetros, a interface é reiniciada, atualizando os valores internos aos parâmetros informados. A figura 17 apresenta um exemplo com valores que podem ser atribuídos aos parâmetros.

Figura 17 – CADASTRO DE PARÂMETROS



Fonte: A autora (2015)

São parâmetros passíveis de alteração:

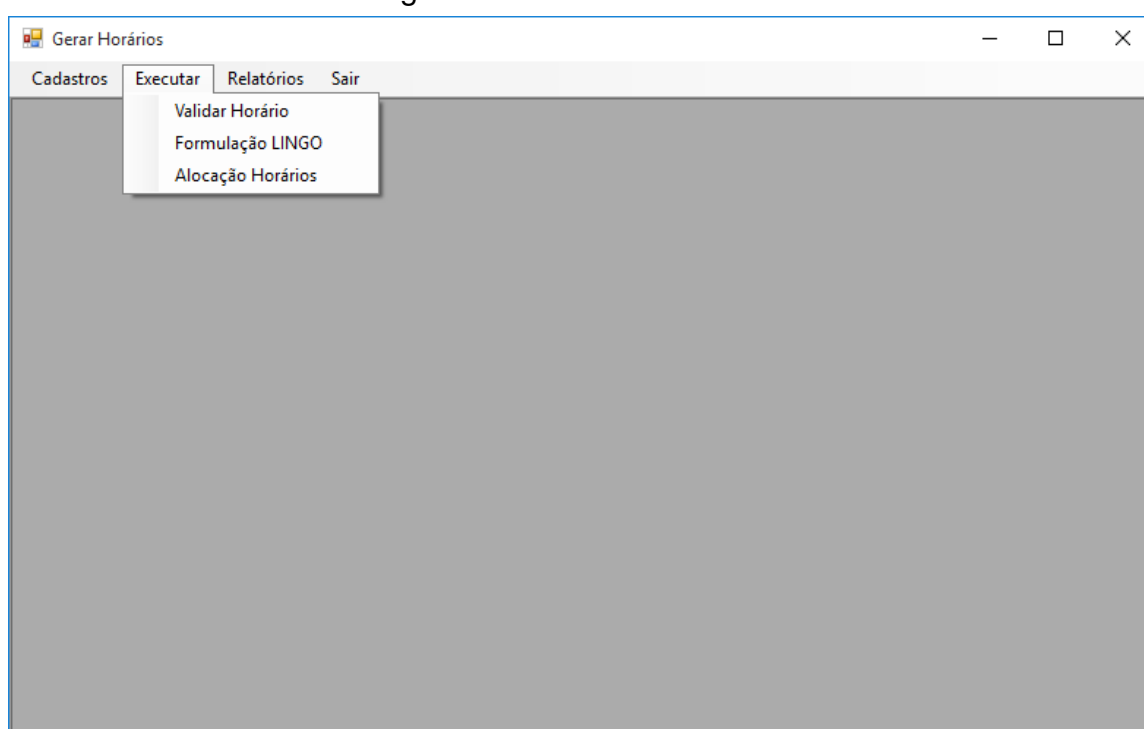
- *Diasdasemana*: Para atender situações em que se considera o sábado como dia letivo (seis dias na semana) ou não (cinco dias na semana);
- *Disponível*: Peso utilizado na função objetivo referente a disponibilidade de um docente em determinado dia e horário. Também será o valor de referência das penalidades pelo não atendimento de restrições fracas;
- *Geracoes*: Número de gerações consideradas pela meta-heurística. É o critério de parada do programa.

- *Indisponível*: Analogamente ao “Disponível”, é o peso utilizado na função objetivo referente a indisponibilidade de um docente em determinado dia e horário;
- *populacao*: Quantidade de indivíduos a serem calculados por geração;

### 5.3 MENU “EXECUTAR”

Neste menu (fig. 18) estão disponíveis as seguintes rotinas de processamento de dados:

Figura 18 – MENU EXECUTAR



Fonte: A autora (2015)

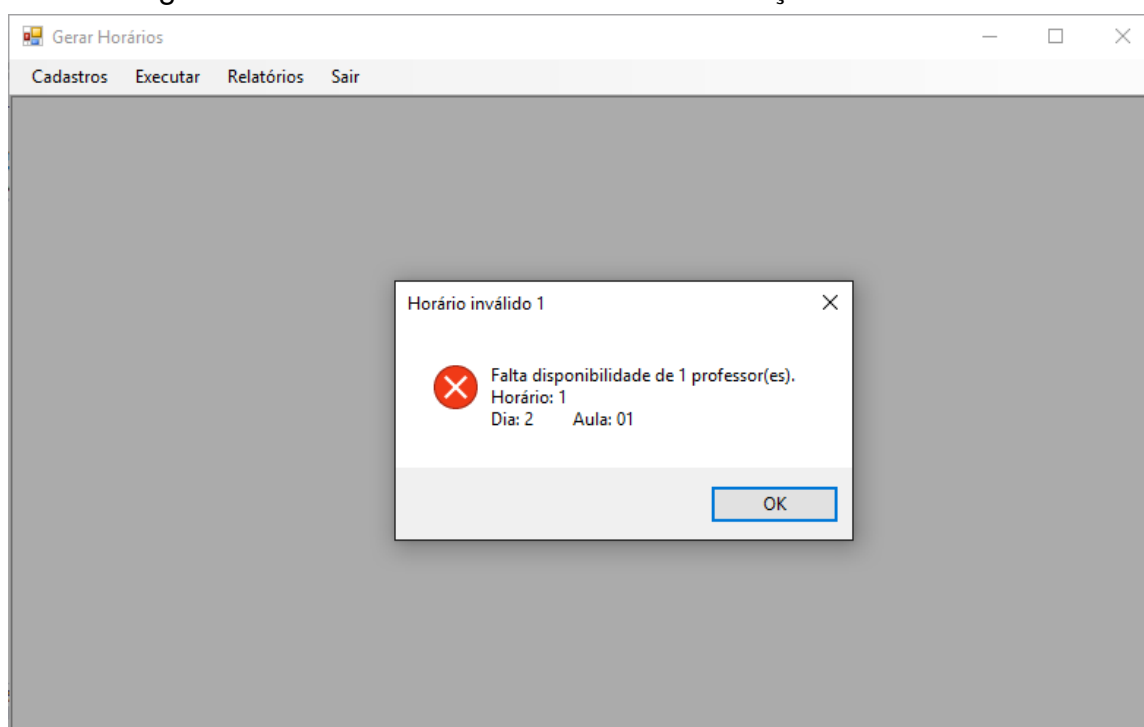
- Validar Horário
- Formulação LINGO
- Alocação de Horários

#### 5.3.1 Validar Horário

Antes de gerar o modelo exato ou de executar a alocação de horários, é preciso verificar se as informações cadastradas são suficientes para atender o problema. É possível pedir a validação do horário através desta funcionalidade. Caso, durante uma execução da interface, seja solicitada a geração do modelo exato ou a alocação de

horários sem validação anterior, as rotinas de geração e de alocação acionam a rotina de validação antes de executar. Se os dados apresentarem alguma inconsistência que impeça a geração do horário, é informado ao usuário o problema para corrigir. O erro apresentado na figura 19, por exemplo, informa que o número de professores disponíveis é menor do que a quantidade de turmas cadastradas.

Figura 19 – MENSAGEM DE ERRO EM VALIDAÇÃO DE HORÁRIO



Fonte: A autora (2015)

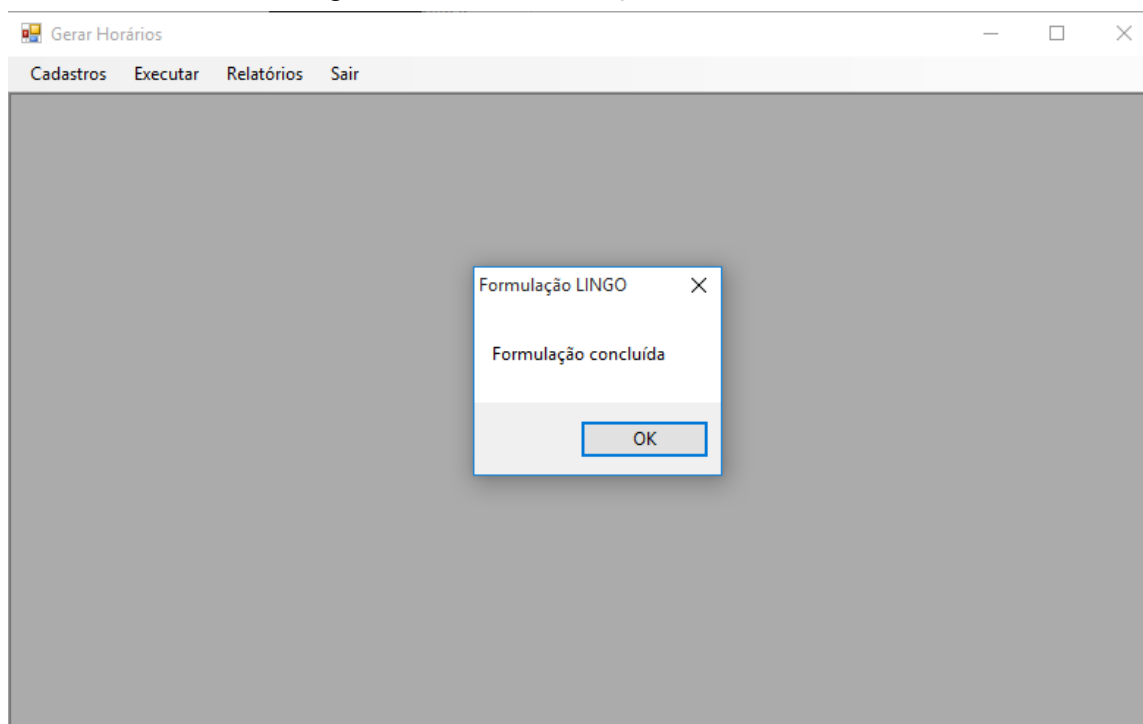
São verificados:

- Se, para cada horário, existe quantidade de professores disponíveis suficiente para atender as turmas;
- Se, para cada turma, algum dos professores disponíveis no horário tem vínculo com essa turma, a fim de evitar, por exemplo, que tendo 5 professores para 4 turmas nenhum destes tenha vínculo com uma das turmas;
- Se os professores informaram disponibilidade suficiente para atender sua própria carga horária semanal;
- Se a soma das cargas horárias das disciplinas cadastradas totaliza a quantidade prevista de horários.

### 5.3.2 Formulação LINGO

Fornece um arquivo contendo a formulação matemática gerada pelos dados informados para ser processada no LINGO (fig. 20). Esta funcionalidade permite que seja possível efetuar comparações entre o resultado da formulação matemática e a solução gerada pela meta-heurística. Os arquivos são salvos com data e hora de criação no nome.

Figura 20 – FORMULAÇÃO MATEMÁTICA



Fonte: A autora (2015)

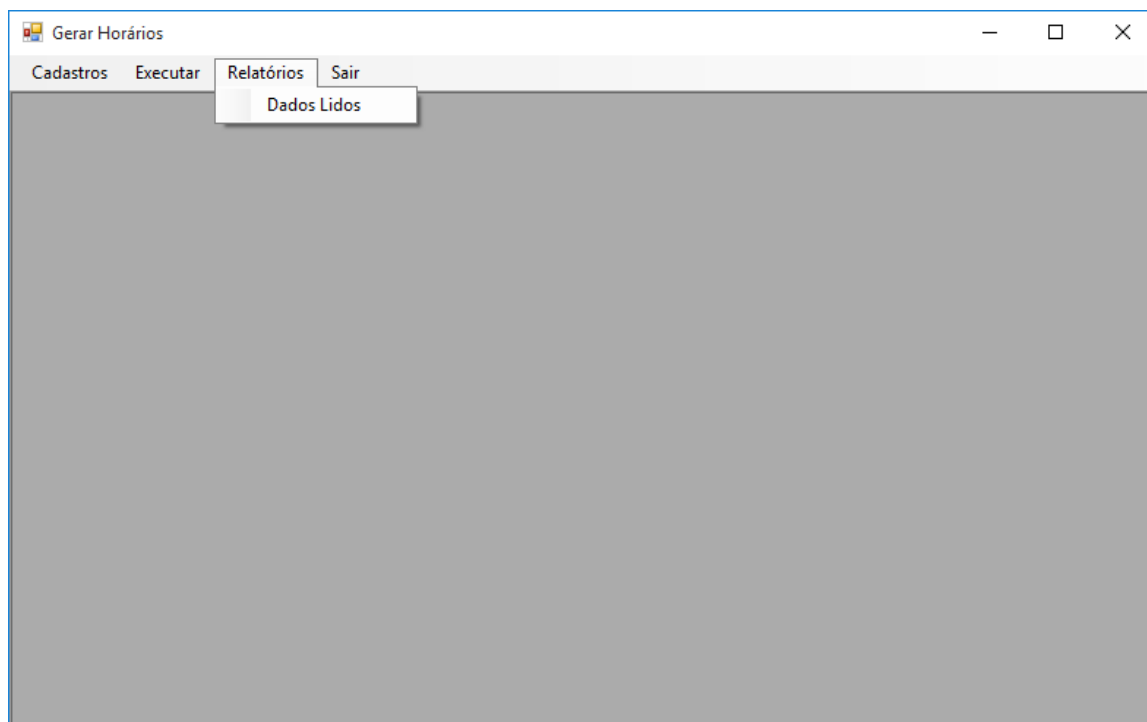
### 5.3.3 Alocação de Horários

É a execução da meta-heurística propriamente dita. As soluções são salvas em arquivos no formato *.txt*.

## 5.4 MENU "RELATÓRIOS"

Permite a criação de arquivo no formato *.txt* com os dados informados (fig. 21).

Figura 21 – MENU RELATÓRIOS



Fonte: A autora (2015)

## 6 RESULTADOS OBTIDOS

Os testes foram efetuados com configurações de horários da Escola 1 no ano de 2014 e da Escola 2 no ano de 2013. Para verificar a factibilidade dos problemas é usada formulação matemática para processamento no *software* LINGO. A interface desenvolvida gerou arquivos com as respectivas formulações dos casos de estudo. O processamento dos arquivos foi feito em microcomputador com processador Intel Core™ i3-3217, CPU 1.8 GHz, 4,0 GB de memória RAM, obtendo solução ótima. A proposta de uso da meta-heurística pretende melhorar a qualidade desta solução através de eventuais relaxamentos das restrições fracas, que não a inviabilizem. A proposta original do trabalho visa focar na minimização de janelas para obter concentração de horários e minimização dos dias a se trabalhar.

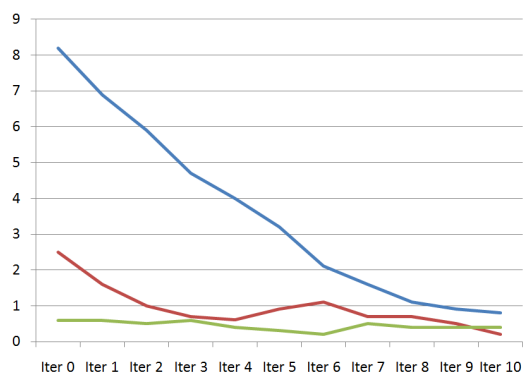
Os gráficos da figura 22 mostram a quantidade média de janelas no processamento da meta-heurística, considerando gerações com dez indivíduos cada. Os gráficos apresentados não são de uma mesma execução, ou seja, não são sequenciais. Neles constata-se uma grande redução nas quantidades de janelas já nas primeiras iterações, diminuindo a medida que a quantidade de iterações aumenta.

### 6.1 ESCOLA 1

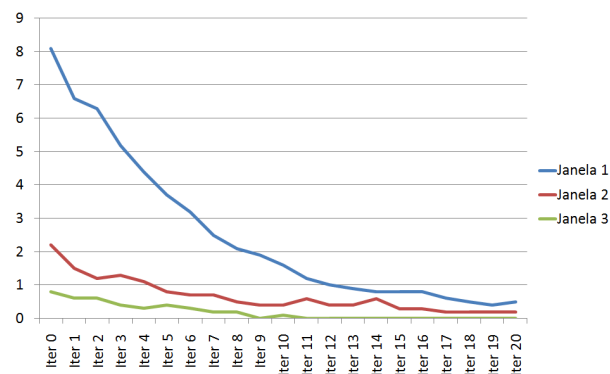
A grade da Escola 1 em 2014, que é uma das bases de dados usadas nas simulações deste trabalho, teve uma solução obtida por meio de uma versão *demo* de um *software* comercial implementada na prática (Anexo A). Ainda assim, para obter alguns aspectos de melhorias na solução apresentada pelo *software*, foram feitas intervenções manuais. Apesar de apresentar as considerações que seguem, o horário aplicado foi considerado satisfatório tanto para os docentes, quanto para a instituição, atendendo à quesitos pedagógicos e da gestão de recursos, tendo em vista as janelas apresentadas. Ao analisar este horário obtido pelo *software* comercial, disponível no Anexo A, verifica-se a existência de janelas de tipo simples nas grades dos professores de Geografia e Português 2, conforme figuras 23 e 24 respectivamente.

No problema com estes dados, uma das primeiras situações a chamar atenção foi a questão de mínimo de dias trabalhados, calculada pela fórmula 4.12 em relação à disponibilidade do professor de Geografia. O cálculo considera a carga horária semanal do professor dividida pelo número de aulas por dia, obtendo o mínimo de dias necessários. Porém o citado professor tinha disponibilidade apenas de quatro aulas por dia, preferindo evitar a última aula. Como não era essencial para o professor, mas uma preferência pessoal, foi aceito que fosse alocada a última aula da sexta-feira

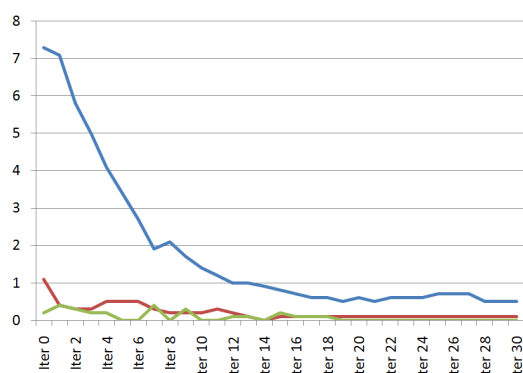
Figura 22 – GRÁFICOS DE QUANTIDADE DE JANELAS, POR NÚMERO DE ITERAÇÕES



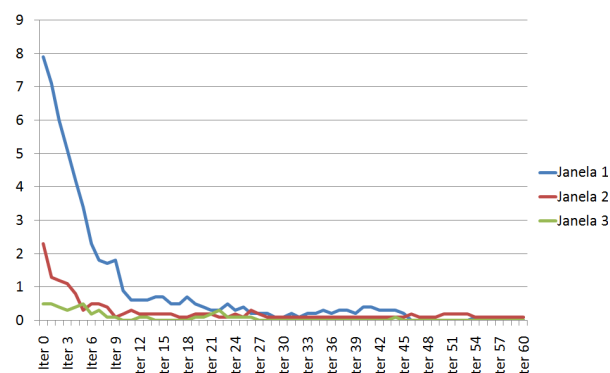
(a) 10 iterações



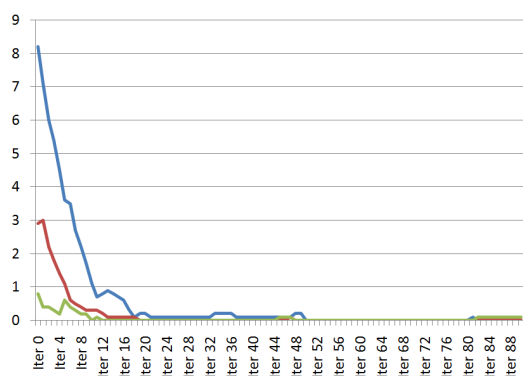
(b) 20 iterações



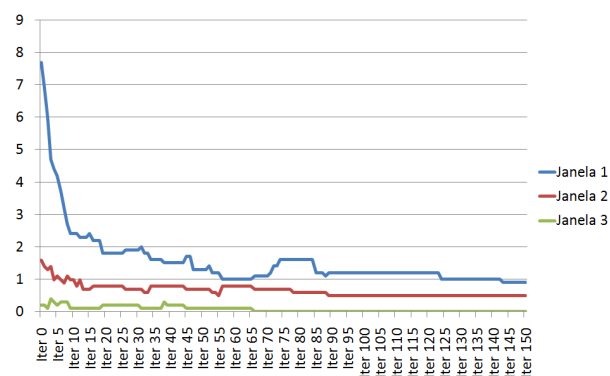
(c) 30 iterações



(d) 60 iterações



(e) 90 iterações



(f) 120 iterações

Fonte: A autora (2015)

no horário implantado. A solução obtida pela meta-heurística não atendeu ao pedido de evitar aula nos últimos horários ocupando a quinta aula da quarta-feira, porém retirando a janela que havia (figura 25). Fato semelhante de alocação também ocorreu no resultado da formulação matemática, como mostra a figura 26.

Figura 23 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA APLICADO EM 2014

| HORÁRIO DE AULAS - GEOGRAFIA |            |            |            |            |            |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                      | 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| 07:30 – 08:18                | 9º Ano     | ---        | 9º Ano     | ---        | 8º Ano     |
| 08:18 – 08:28                | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                | 6º Ano A   | ---        | 6º Ano A   | ---        | 7º Ano     |
| 09:16 – 10:04                | 7º Ano     | ---        | 6º Ano B   | ---        | 8º Ano     |
| 10:04 – 10:24                | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |
| 11:12 – 12:00                | ---        | ---        | ---        | ---        | 6º Ano B   |

Fonte: Escola 1

Figura 24 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE PORTUGUÊS 2 APLICADO EM 2014

| HORÁRIO DE AULAS - PORTUGUÊS |            |            |            |            |            |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                      | 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| 07:30 – 08:18                | 7º Ano     | 9º Ano     | ---        | 8º Ano     | ---        |
| 08:18 – 08:28                | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                | 8º Ano     | 8º Ano     | ---        | ---        | ---        |
| 09:16 – 10:04                | ---        | 7º Ano     | ---        | 8º Ano     | ---        |
| 10:04 – 10:24                | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                | 9º Ano     | 7º Ano     | 7º Ano     | 9º Ano     | ---        |
| 11:12 – 12:00                | 9º Ano     | 9º Ano     | 8º Ano     | 7º Ano     | ---        |

Fonte: Escola 1

Figura 25 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA GERADO PELA META-HEURÍSTICA

Professor: PROF GEO      Dias Alocados: 3      Mínimo de dias: 2

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª    |
|------|-------|----------|----------|----------|-------|
| 1    | ----- | 6º Ano A | 8º Ano   | -----    | ----- |
| 2    | ----- | 6º Ano B | 7º Ano   | 9º Ano   | ----- |
| 3    | ----- | 6º Ano A | 7º Ano   | 6º Ano B | ----- |
| 4    | ----- | -----    | 8º Ano   | -----    | ----- |
| 5    | ----- | -----    | 9º Ano** | -----    | ----- |

Fonte: A autora (2015)

Figura 26 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE GEOGRAFIA GERADO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

PROF GEO

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª       | 5ª    | 6ª    |
|------|-------|----------|----------|-------|-------|
| 1    | ----- | 9º ano   | 7º ano   | ----- | ----- |
| 2    | ----- | 6º ano B | 6º ano B | ----- | ----- |
| 3    | ----- | 6º ano A | 7º ano   | ----- | ----- |
| 4    | ----- | 9º ano   | 8º ano   | ----- | ----- |
| 5    | ----- | 8º ano   | 6º ano A | ----- | ----- |

Fonte: A autora (2015)

A resolução com a meta-heurística conseguiu eliminar a janela do professor de

Português 2 conforme a figura 27.

Figura 27 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE PORTUGUÊS 2 GERADO PELA META-HEURÍSTICA

| Professor: PROF POR 2 |        | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 3 |       |
|-----------------------|--------|------------------|--------|-------------------|-------|
| Dias                  | 2ª     | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª    |
| 1                     | 8º Ano | 7º Ano           | -----  | -----             | ----- |
| 2                     | 7º Ano | 8º Ano           | -----  | -----             | ----- |
| 3                     | 9º Ano | 7º Ano           | -----  | 9º Ano            | ----- |
| 4                     | 9º Ano | 9º Ano           | 7º Ano | 7º Ano            | ----- |
| 5                     | 8º Ano | 9º Ano           | 8º Ano | 8º Ano            | ----- |

Fonte: A autora (2015)

O caso do professor de Geografia, sendo a restrição uma escolha pessoal desejável porém com possibilidade de não atendimento, mostra a sensibilidade com a situação necessária para lidar com a subjetividade das restrições do *timetable*. Uma situação como esta não poderia acontecer com outros professores, como os de Matemática 2, que tem todos os demais horários preenchidos em outras instituições de ensino, ou de Ciências e Português 1, então alunos de programas de pós-graduação.

Outro horário peculiar é o do professor de Música, ilustrado na figura 28.

Figura 28 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE MÚSICA APLICADO EM 2014

| HORÁRIO DE AULAS - MÚSICA |            |            |            |            |            |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                   | 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| 07:30 – 08:18             | ---        | ---        | 6º Ano A   | ---        | ---        |
| 08:18 – 08:28             | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16             | ---        | 9º Ano     | 7º Ano     | ---        | ---        |
| 09:16 – 10:04             | ---        | 8º Ano     | ---        | 6º Ano B   | ---        |
| 10:04 – 10:24             | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12             | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |
| 11:12 – 12:00             | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |

Fonte: Escola 1

No contexto do problema, o professor responsável pelas aulas de Música permitia uma maior liberdade para alocações de seus horários. Isso acontecia pois o professor, em comum acordo com a instituição, ofertava aulas de musicalização (canto ou instrumentos) na sala de música da escola. A aceitação de horários aparentemente desfavoráveis para ajudar na montagem e viabilidade da grade horária, era recompensada com a possibilidade de encaixe de alunos particulares nesses intervalos, geralmente alunos da própria escola em período contrário ao seu turno escolar. A análise desta proposta pela meta-heurística também deixou esta flexibilidade (figura 29). Outras grades foram geradas pedindo concentração deste professor, porém este evento causava impacto negativo na concentração do horário dos demais docentes.

Figura 29 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE MÚSICA GERADO PELA META-HEURÍSTICA

| Professor: PROF MUS |       | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 1 |          |
|---------------------|-------|------------------|--------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | ----- | -----            | 9º Ano | -----             | 6º Ano A |
| 2                   | ----- | -----            | -----  | -----             | 8º Ano   |
| 3                   | ----- | -----            | -----  | -----             | -----    |
| 4                   | ----- | -----            | -----  | -----             | -----    |
| 5                   | ----- | 7º Ano           | -----  | 6º Ano B          | -----    |

Fonte: A autora (2015)

Na solução apresentada pela meta-heurística com o melhor *fitness*, o horário do professor das disciplinas de Ensino Religioso e Educação Física não apresentou concentração de dias trabalhados. São três aulas semanais em cada turma, totalizando 15 aulas na semana, podendo ocupar apenas três dias. O que ocorreu foi a concentração das aulas dentro dos dias, eliminando as janelas. Isso se deve à forma com que o problema foi modelado, enfatizando a minimização das janelas, e ao modo de busca da meta-heurística pela solução. Sem essa concentração, a carga horária semanal foi distribuída nos cinco dias da semana (figura 30). Em contrapartida, o horário implementado pela instituição e o obtido pela formulação matemática efetuam essa concentração (figuras 31 e 32).

Figura 30 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO GERADA PELA META-HEURÍSTICA

| Professor: PROF EDF/ER |          | Dias Alocados: 5 |        | Mínimo de dias: 3 |        |
|------------------------|----------|------------------|--------|-------------------|--------|
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª     |
| 1                      | -----    | 8º Ano           | -----  | -----             | 7º Ano |
| 2                      | -----    | 6º Ano A         | 9º Ano | -----             | 9º Ano |
| 3                      | 7º Ano   | 6º Ano B         | 9º Ano | -----             | 8º Ano |
| 4                      | 6º Ano A | 6º Ano B         | -----  | 6º Ano A          | 8º Ano |
| 5                      | 6º Ano B | -----            | -----  | -----             | 7º Ano |

Fonte: A autora (2015)

Figura 31 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO APLICADO EM 2014

| HORÁRIO DE AULAS - ED. FÍSICA / ENS. RELIGIOSO |            |            |            |            |            |
|--|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário  | 2a feira   | 3a feira   | 4a feira   | 5a feira   | 6a feira   |
| 07:30 – 08:18                                  | ---        | 6º Ano A   | 7º Ano     | 6º Ano A   | ---        |
| 08:18 – 08:28                                  | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                                  | ---        | 7º Ano     | 8º Ano     | 7º Ano     | ---        |
| 09:16 – 10:04                                  | ---        | 6º Ano A   | 8º Ano     | 6º Ano B   | ---        |
| 10:04 – 10:24                                  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                                  | ---        | 9º Ano     | 9º Ano     | 8º Ano     | ---        |
| 11:12 – 12:00                                  | ---        | 6º Ano B   | 9º Ano     | 6º Ano B   | ---        |

Fonte: Escola 1

Figura 32 – HORÁRIO DO PROFESSOR DE EDUCAÇÃO FÍSICA/ENSINO RELIGIOSO GERADO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

| PROF | EDF/ER   | 2ª | 3ª    | 4ª       | 5ª    | 6ª       |
|------|----------|----|-------|----------|-------|----------|
| 1    | 9º ano   |    | ----- | 6º ano A | ----- | 8º ano   |
| 2    | 6º ano A |    | ----- | 8º ano   | ----- | 8º ano   |
| 3    | 9º ano   |    | ----- | 7º ano   | ----- | 6º ano B |
| 4    | 6º ano B |    | ----- | 6º ano B | ----- | 7º ano   |
| 5    | 6º ano A |    | ----- | 9º ano   | ----- | 7º ano   |

Fonte: A autora (2015)

O horário resultante da formulação matemática, disponível no apêndice B, consegue concentrar os dias trabalhados e apresenta horário sem janelas. Possui como valor da função objetivo 6.160.380, como mostra a figura 33. A única restrição não atendida na solução apresentada é a já abordada indisponibilidade do professor de Geografia em ministrar aulas nos últimos horários. A modelagem exata possui tempo computacional baixo e resultado compacto. Entretanto vale lembrar que o *software* em questão não é gratuito e para efetuar corretamente sua modelagem é necessário possuir conhecimento de modelagem matemática para problemas de programação linear.

Figura 33 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO LINGO PARA O HORÁRIO PROPOSTO - ESCOLA 1

|                                |          |          |  |
|--------------------------------|----------|----------|--|
| Global optimal solution found. |          |          |  |
| Objective value:               |          | 6160380. |  |
| Objective bound:               |          | 6160380. |  |
| Infeasibilities:               |          | 0.000000 |  |
| Extended solver steps:         |          | 1        |  |
| Total solver iterations:       |          | 127634   |  |
| Model Class:                   |          | PILP     |  |
| Total variables:               | 1305     |          |  |
| Nonlinear variables:           | 0        |          |  |
| Integer variables:             | 1305     |          |  |
| Total constraints:             | 1322     |          |  |
| Nonlinear constraints:         | 0        |          |  |
| Total nonzeros:                | 8915     |          |  |
| Nonlinear nonzeros:            | 0        |          |  |
| Variable                       | Value    |          |  |
| X010101                        | 0.000000 |          |  |
| X010102                        | 0.000000 |          |  |

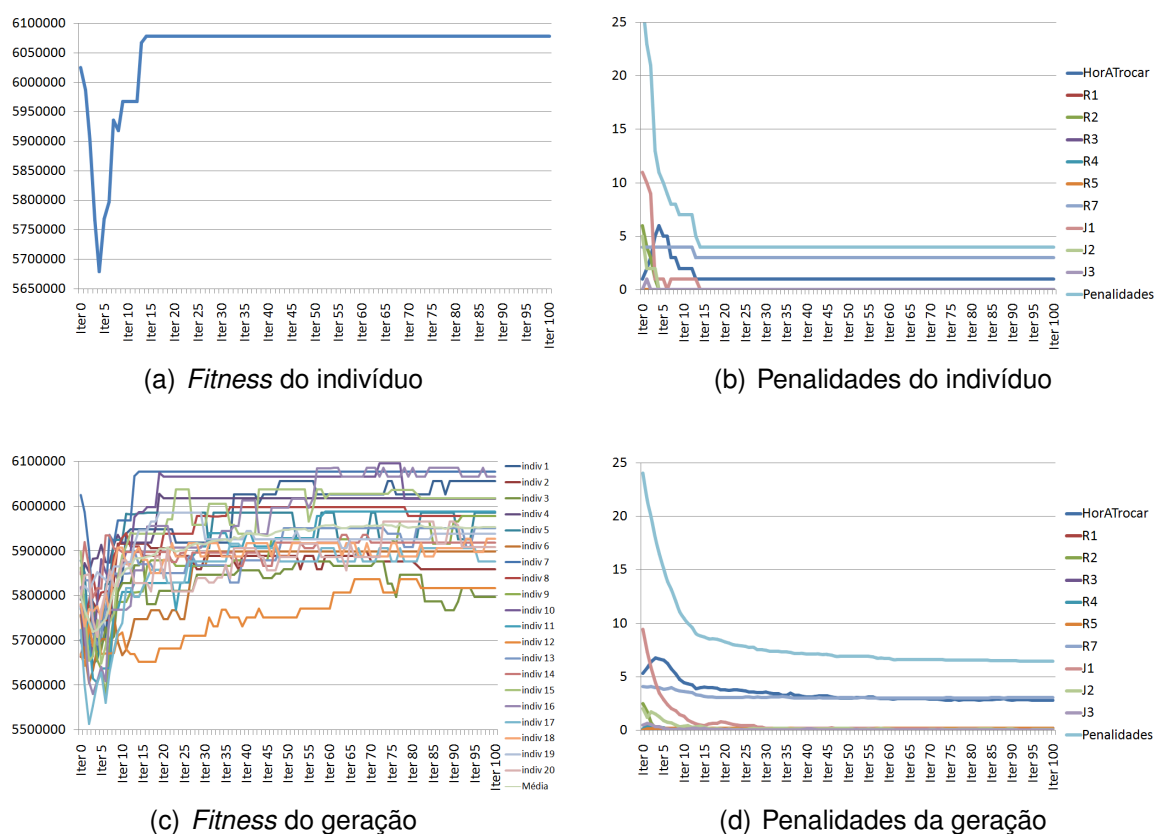
|                        |              |                            |      |
|------------------------|--------------|----------------------------|------|
| Solver Status          |              | Variables                  |      |
| Model Class:           | PILP         | Total:                     | 1305 |
| State:                 | Global Opt   | Nonlinear:                 | 0    |
| Objective:             | 6.16038e+006 | Integers:                  | 1305 |
| Infeasibility:         | 0            | Constraints                |      |
| Iterations:            | 127634       | Total:                     | 1322 |
|                        |              | Nonlinear:                 | 0    |
| Extended Solver Status |              | Nonzeros                   |      |
| Solver Type:           | B-and-B      | Total:                     | 8915 |
| Best Obj:              | 6.16038e+006 | Nonlinear:                 | 0    |
| Obj Bound:             | 6.16038e+006 | Generator Memory Used (K)  |      |
| Steps:                 | 1            | 1467                       |      |
| Active:                | 0            | Elapsed Runtime (hh:mm:ss) |      |
|                        |              | 00:00:25                   |      |
| Update Interval:       | 2            | Interrupt Solver           |      |
|                        |              | Close                      |      |

Fonte: A autora (2015)

A meta-heurística usa uma solução inicial aleatória, a partir da qual, através de melhoramentos, obtém-se uma resposta aceitável. O indivíduo que representa a melhor solução encontrada pela meta-heurística, disponível no apêndice C, foi escolhido por apresentar *fitness* no valor de 6.078.190, o melhor em todas as gerações da execução, e menor número de penalidades se comparado aos demais indivíduos de sua geração, como ilustrado na figura 34. Para se chegar a este indivíduo específico

foram executadas 100 gerações, com 20 indivíduos cada uma. O tempo aproximado foi de onze horas e trinta minutos. Para chegar ao atual estado do algoritmo foram feitas aproximadamente 700 execuções, cada qual com seus parâmetros como pesos, quantidade de gerações e de indivíduos por geração, desde o desenvolvimento, a adaptação ao uso de banco de dados, refinamento e aprimoramento do mesmo.

Figura 34 – MELHOR INDIVÍDUO EM RELAÇÃO À GERAÇÃO - ESCOLA 1



Fonte: A autora (2015)

## 6.2 ESCOLA 2

O horário aplicado pela Escola 2, disponível no anexo B, possui ao todo 7 janelas simples distribuídas entre 6 professores. A solução obtida da modelagem matemática (Apêndice D) apresenta 8 janelas simples e uma janela dupla, distribuídas entre 7 docentes. Já a melhor solução encontrada pela meta-heurística (Apêndice E) possui duas janelas simples e uma janela dupla, distribuídas entre 3 professores. Com isso a meta-heurística apresenta uma melhor solução em termos de minimização da quantidade de janelas em comparação aos outros horários. A tabela 8 apresenta os quantitativos de janelas por professor considerados o horário aplicado, o gerado pela formulação matemática e o melhor indivíduo obtido pela meta-heurística.

Tabela 8 – QUANTIDADE DE JANELAS POR PROFESSOR

| <i>Professores</i> | <i>Horários</i> |                      |                        |
|--------------------|-----------------|----------------------|------------------------|
|                    | <i>Aplicado</i> | <i>Formulação</i>    | <i>Meta-Heurística</i> |
| Artes              | 0               | 1 simples            | 1 dupla                |
| Ciências           | 1 simples       | 1 simples            | 1 simples              |
| Ed. Física*        | 1 simples       | 1 simples            | 0                      |
| Ens. Religioso     | 1 simples       | 1 simples            | 0                      |
| Espanhol           | 1 simples       | 0                    | 0                      |
| Geografia          | 0               | 1 dupla              | 1 simples              |
| História           | 1 simples       | 1 simples            | 0                      |
| Inglês*            | 2 simples       | 2 simples            | 0                      |
| Matemática         | 0               | 0                    | 0                      |
| Português          | 0               | 0                    | 0                      |
| Total de janelas   | 7 simples       | 7 simples<br>1 dupla | 2 simples<br>1 dupla   |

Fonte: A autora (2015)

Como citado anteriormente, as janelas ou horários vagos dos professores de Educação Física e Inglês são ocupadas por turma do Ensino Fundamental I e, por esse motivo, não são penalizadas. Nos resultados obtidos pela meta-heurística, os horários destes professores ficaram concentrados, podendo ser destinado ao atendimento desta turma os horários livres de cada professor, conforme figura 35.

Figura 35 – HORÁRIOS DOS PROFESSORES DE EDUCAÇÃO FÍSICA E INGLÊS GERADOS PELA META-HEURÍSTICA

| Professor: PROF EDF |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |          |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | ----- | -----            | ----- | 6ª Série          | 5ª Série |
| 2                   | ----- | -----            | ----- | 7ª Série          | 6ª Série |
| 3                   | ----- | -----            | ----- | 8ª Série          | 8ª Série |
| 4                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 5ª Série |
| 5                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 7ª Série |

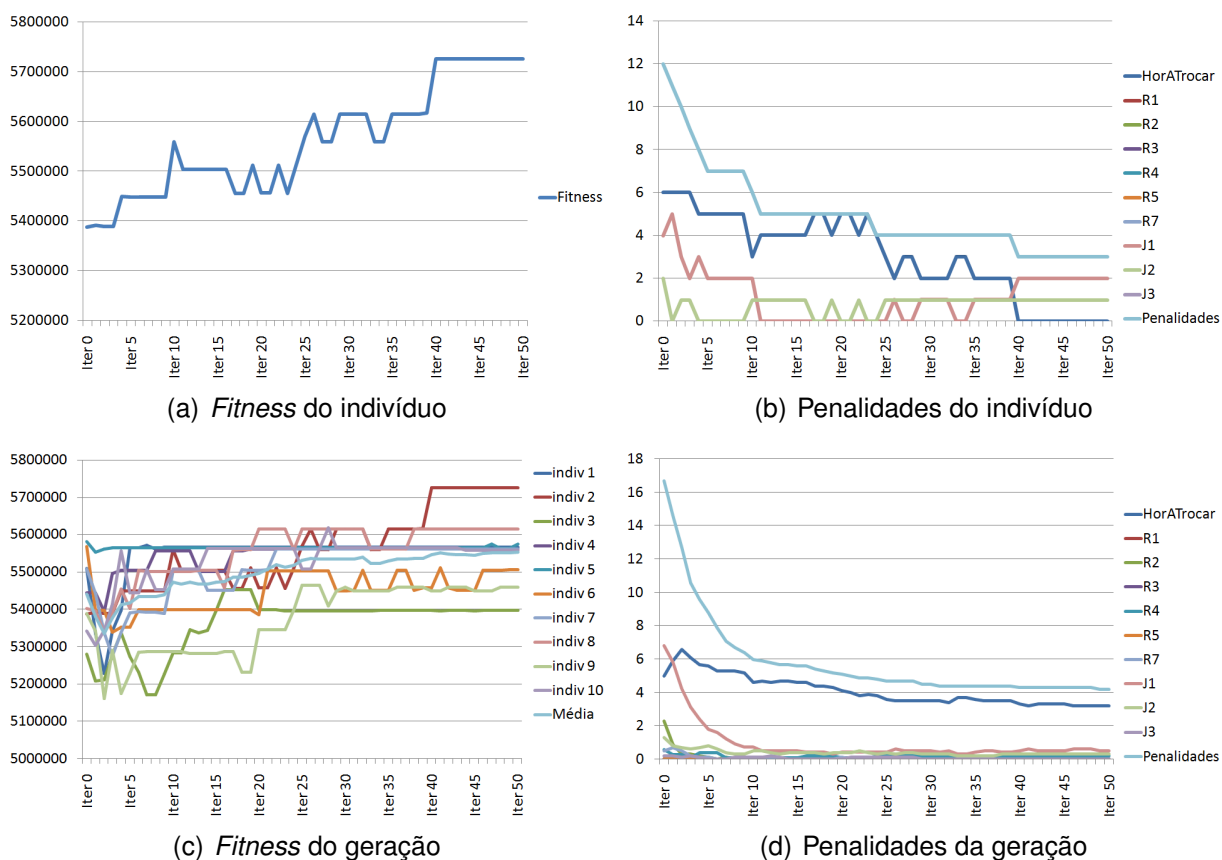
  

| Professor: PROF ING |          | Dias Alocados: 2 |          | Mínimo de dias: 2 |       |
|---------------------|----------|------------------|----------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | 7ª Série | -----            | -----    | -----             | ----- |
| 2                   | 7ª Série | -----            | -----    | -----             | ----- |
| 3                   | 6ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |
| 4                   | 6ª Série | -----            | 8ª Série | -----             | ----- |
| 5                   | 8ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |

Fonte: A autora (2015)

Após serem executadas 60 gerações, com 10 indivíduos cada uma e tempo aproximado de execução de uma hora, foi eleito o indivíduo que apresentou melhor *fitness* (5.726.200) e menor número de penalidades dentre os indivíduos de sua geração, como ilustrado na figura 36. O valor da função objetivo calculado pela formulação

Figura 36 – MELHOR INDIVÍDUO EM RELAÇÃO À GERAÇÃO - ESCOLA 2



Fonte: A autora (2015)

matemática é de 5.728.000, conforme figura 37, bastante próximo do *fitness* gerado pela meta-heurística. Ressaltando a diferença de quantidades de janelas, é importante destacar que a modelagem gerada para o *software* não desconta as punições de janelas, o que poderia dar uma diferença numérica favorável a meta-heurística, visto que a atual diferença entre os valores é de 1.800.

### 6.3 CONSIDERAÇÕES

A ideia inicial proposta era que a redução do número de janelas diminuísse o número de dias trabalhados. Analisando os resultados obtidos, a conclusão que se chega é de que a minimização das janelas é necessária e, em alguns casos, obtém a concentração de dias para alguns professores, porém não se mostrou suficiente para garantir a concentração dentro do número mínimo de dias, como ilustrado na figura 38.

Figura 37 – RELATÓRIO DE SOLUÇÃO DO LINGO PARA O HORÁRIO PROPOSTO - ESCOLA 2

|                                |          |                         |            |
|--------------------------------|----------|-------------------------|------------|
| Global optimal solution found. |          |                         |            |
| Objective value:               | 5728000. | Solver Status:          | Global Opt |
| Objective bound:               | 5728000. | Model Class:            | PILP       |
| Infeasibilities:               | 0.000000 | State:                  | Global Opt |
| Extended solver steps:         | 0        | Objective:              | 5.728e+006 |
| Total solver iterations:       | 4945     | Infeasibility:          | 0          |
| Model Class:                   | PILP     | Iterations:             | 4945       |
| Total variables:               | 916      | Extended Solver Status: | B-and-B    |
| Nonlinear variables:           | 0        | Solver Type:            | B-and-B    |
| Integer variables:             | 916      | Best Obj:               | 5.728e+006 |
| Total constraints:             | 1073     | Obj Bound:              | 5.728e+006 |
| Nonlinear constraints:         | 0        | Steps:                  | 0          |
| Total nonzeros:                | 6212     | Active:                 | 0          |
| Nonlinear nonzeros:            | 0        |                         |            |

|          |          |           |       |     |
|----------|----------|-----------|-------|-----|
| Variable | Value    | Variables | Total | 916 |
| X010101  | 1.000000 | Nonlinear | 0     |     |
| X010102  | 0.000000 | Integers  | 916   |     |

|             |       |      |
|-------------|-------|------|
| Constraints | Total | 1073 |
| Nonlinear   | 0     |      |

|           |       |      |
|-----------|-------|------|
| Nonzeros  | Total | 6212 |
| Nonlinear | 0     |      |

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Generator Memory Used (K) | 1113 |
|---------------------------|------|

|                            |          |
|----------------------------|----------|
| Elapsed Runtime (hh:mm:ss) | 00:00:03 |
|----------------------------|----------|

|                  |   |                  |       |
|------------------|---|------------------|-------|
| Update Interval: | 2 | Interrupt Solver | Close |
|------------------|---|------------------|-------|

Fonte: A autora (2015)

Figura 38 – HORÁRIOS DE PROFESSORES GERADOS SEM JANELAS

|                       |          |                  |       |                   |       |  |
|-----------------------|----------|------------------|-------|-------------------|-------|--|
| Professor: PROF POR 1 |          | Dias Alocados: 3 |       | Mínimo de dias: 3 |       |  |
| Dias                  | 2ª       | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                     | 6º Ano A | 6º Ano B         | ----- | -----             | ----- |  |
| 2                     | 6º Ano B | 6º Ano A         | ----- | -----             | ----- |  |
| 3                     | 6º Ano A | 6º Ano B         | ----- | -----             | ----- |  |
| 4                     | 6º Ano A | 6º Ano A         | ----- | 6º Ano B          | ----- |  |
| 5                     | 6º Ano B | 6º Ano B         | ----- | 6º Ano A          | ----- |  |

|                       |        |                  |        |                   |       |  |
|-----------------------|--------|------------------|--------|-------------------|-------|--|
| Professor: PROF POR 2 |        | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 3 |       |  |
| Dias                  | 2ª     | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                     | 9º Ano | 8º Ano           | -----  | 7º Ano            | ----- |  |
| 2                     | 8º Ano | 7º Ano           | -----  | 9º Ano            | ----- |  |
| 3                     | 9º Ano | 8º Ano           | -----  | 9º Ano            | ----- |  |
| 4                     | 7º Ano | 8º Ano           | 7º Ano | -----             | ----- |  |
| 5                     | 8º Ano | 9º Ano           | 7º Ano | -----             | ----- |  |

Fonte: A autora (2015)

Vê-se que o horário do professor de Português 1 teve todas as janelas resolvidas com atribuição das aulas no mínimo de dias necessários. O mesmo não ocorreu com o horário do professor de Português 2 que, embora esteja sem janelas, tem mais dias de trabalho do que o mínimo. A redução de janelas criou blocos isolados de aulas na quarta-feira e na quinta-feira. Como descrito no algoritmo 2, não são considerados janelas esses blocos, pois os horários livres não estão delimitados por aulas. Neste caso, o professor não precisa ficar na instituição, podendo chegar mais tarde ou sair mais cedo. Com isso, o procedimento aceita inclusive aulas isoladas como no já abordado caso do professor de Ensino Religioso e Educação Física (figura 30, p. 66). Isto faz com que o número mínimo de dias não seja alcançado. A conclusão que se chega é que a minimização da quantidade de janelas é importante na solução do *timetable*, porém se mostra insuficiente para garantir a redução dos dias trabalhados aos seus mínimos valores.

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A geração de grades horárias é um problema do cotidiano escolar resolvido de forma manual em alguns casos, apesar da existência de soluções automatizadas. Estas não são utilizadas por desconhecimento ou pelo seu eventual custo. A comparação entre grades geradas é difícil de ser feita através de uma análise percentual, visto que uma solução pode apresentar como única falha, por exemplo, a violação da disponibilidade de um professor. Somente isto, pode vir a condenar toda a solução e, neste ponto, vemos a utilidade do gerenciamento do processo ser feito pelo algoritmo baseado em AG, pois as violações afetam o *fitness* da solução tendendo a diminuir as chances de que a mesma seja levada em consideração. A contínua melhora na qualidade da solução nos leva à expectativa de seguir em direção ao ótimo, visto que dada a vastidão do espaço de possíveis soluções torna-se inviável a análise de todas as possíveis combinações uma a uma.

Após as análises quanto aos resultados obtidos no capítulo 6 pode-se afirmar que o *software* proposto é capaz de receber os dados do problema, verificar a possibilidade de gerar uma solução com os dados informados, modelar matematicamente o problema em arquivo para processamento no *software* LINGO e, finalmente, por meio de meta-heurística utilizada, consegue solução com resultados bem próximos dos obtidos com a formulação matemática. Os resultados de *fitness* dos melhores indivíduos obtidos na meta-heurística são 6.078.190 para Escola 1 e 5.726.200 para Escola 2 enquanto o resultado da formulação apresentou valores de função objetivo 6.160.380 para a Escola 1 e 5.728.000 para a Escola 2. É necessário lembrar que não há desconto das punições para janelas na formulação, apenas para concentração de dias trabalhados.

O presente estudo mostra que a ênfase na minimização da quantidade de janelas não garante a redução de dias trabalhados. Essa compactação na formulação da meta-heurística precisa ser aprimorada a fim de que se possa entregar às Escolas envolvidas e/ou disponibilizar na Internet um *software* que, além de reduzir as janelas, também minimize a quantidade de dias trabalhados. Para isso, pensa-se em prosseguir a linha de estudo em trabalhos futuros, envolvendo outras meta-heurísticas.

Como descrito no capítulo 4, o critério de parada adotado foi o número de gerações, definido como parâmetro em cada execução. Os melhores resultados tiveram um boa redução nas penalidades, contudo sem zerar estas situações. Na busca da solução sem penalidades, foram executados testes aumentando o número de gerações e, conseqüentemente, o tempo da execução. No decorrer da pesquisa houve a possibilidade de usar equipamento mais robusto para processamento dos cálculos.

Entretanto os equipamentos disponibilizados utilizam o sistema operacional *LINUX*. Por mais que o ambiente de desenvolvimento integrado seja gratuito, fornecido para *download* diretamente na página da *Microsoft* na Internet, o VB não é compatível para compilação neste sistema. Para o presente trabalho foi considerado inviável alterar toda a programação para compatibilizar o código. Uma sugestão para estudos futuros é o desenvolvimento da solução do problema de forma que a compilação possa ser executada em diferentes sistemas operacionais, avaliando as diferenças dos tempos de execução.

Em síntese, indica-se para futuros trabalhos:

- Aprimorar a modelagem do Método Exato para punir as janelas a fim de comparar com maior precisão os resultados numéricos obtidos;
- Utilizar outras meta-heurísticas a fim de comparar resultados obtidos e aprimorá-los;
- Verificar o desenvolvimento da meta-heurística com outras linguagens de programação, buscando aproveitar a possibilidade de uso de computadores de alto rendimento para compilação com menor tempo computacional e distribuição do *software* para instituições de ensino;
- Prosseguir o estudo com alterações na formulação da meta-heurística buscando a diminuição da quantidade de dias de trabalho dos professores visto que a configuração atual, penalizando apenas as janelas, gera compactação de aulas em blocos sem atingir o mínimo de dias.

## REFERÊNCIAS

- ABBAS, A. M.; TSANG, E. P. K. Constraint-based timetabling—a case study. In: **Proceedings of the ACS/IEEE International Conference on Computer Systems and Applications**. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2001. (AICCSA '01), p. 67–72. ISBN 0-7695-1165-1. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/AICCSA.2001.933953>>. Citado na página 31.
- ABRAMSON, D. Constructing school timetables using simulated annealing: Sequential and parallel algorithms. **Management Science**, Institute for Operations Research and the Management Sciences (INFORMS), Linthicum, Maryland, USA, v. 37, n. 1, p. 98–113, jan 1991. ISSN 0025-1909. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1287/mnsc.37.1.98>>. Citado na página 30.
- ABRAMSON, D.; ABELA, J. A parallel genetic algorithm for solving the school timetabling problem. In: **15 Australian Computer Science Conference**. Hobart: [s.n.], 1992. p. 1–11. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 51.
- ABRAMSON, D.; KRISHNAMOORTHY, M.; DANG, H. Simulated annealing cooling schedules for the school timetabling problem. **Asia Pacific Journal of Operational Research (APJOR)**, v. 16, n. 1, p. 17, Março 1998. Citado na página 30.
- ANDRADE, P. R. de L. **Otimização na Geração de Grade Horária Escolar através de um modelo matemático e das meta-heurísticas Busca Local e Iterated Local Search**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção – Pesquisa Operacional) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 33, 35 e 36.
- BAI, R. et al. A simulated annealing hyper-heuristic for university course timetabling problem. In: **PATAT '06, Proceedings of the 6th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling**. [s.n.], 2006. Disponível em: <<http://www.cs.nott.ac.uk/~rzb/publications/patat06.pdf>>. Citado na página 30.
- BBC Brasil. **Pela 3ª vez, supercomputador chinês é o mais rápido do mundo**. 2014. Disponível em: <[http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/06/140625\\_supercomputador\\_ranking\\_china\\_lb.shtml](http://www.bbc.co.uk/portuguese/noticias/2014/06/140625_supercomputador_ranking_china_lb.shtml)>. Citado na página 39.
- BELIGIANNIS, G. N. et al. Applying evolutionary computation to the school timetabling problem: The greek case. **Computers and Operations Research**, v. 35, n. 4, p. 1265–1280, 2008. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054806001973>>. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 51.
- BIRBAS, T.; DASKALAKI, S.; HOUSOS, E. School timetabling for quality student and teacher schedules. **Journal of Scheduling**, Springer US, v. 12, n. 2, p. 177–197, 2009. ISSN 1094-6136. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10951-008-0088-2>>. Citado na página 29.
- BLUM, C.; ROLI, A. Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison. **ACM Comput. Surv.**, ACM, New York, NY,

USA, v. 35, n. 3, p. 268–308, set. 2003. ISSN 0360-0300. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/937503.937505>>. Citado na página 16.

BOLAND, N. et al. New integer linear programming approaches for course timetabling. **Computers & Operations Research**, v. 35, p. 2209–2233, 2008. ISSN 0305-0548. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054806002784>>. Citado na página 29.

BRASIL. **Lei nº9394/96 Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. 1996. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/l9394.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9394.htm)>. Citado na página 22.

BURKE, E. K.; PETROVIC, S.; QU, R. Case-based heuristic selection for timetabling problems. v. 9, n. 2, p. 115–132, 2006. ISSN 1099-1425. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10951-006-6775-y>>. Citado na página 18.

CALDEIRA, J.; ROSA, A. C. School timetabling using genetic search. 1997. Citado 4 vezes nas páginas 10, 25, 33 e 51.

CARRASCO, M. P. dos S.; PATO, M. M. G. V. A comparison of discrete and continuous neural network approaches to solve the class/teacher timetabling problem. **European Journal of Operational Research**, v. 153, n. 1, p. 65 – 79, 2004. ISSN 0377-2217. Timetabling and Rostering. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221703000997>>. Citado na página 31.

CARVALHO, M.; YAMAKAMI, A. A meta-heurística híbrida de sistema de colônia de formigas e algoritmo genético para o problema do caixeiro viajante. v. 9, n. 1, p. 31–40, 2008. Citado na página 50.

CIRINO, R. B. Z.; SANTOS, M. O.; DELBEM, A. C. B. Aplicação da metaheurística AGC para o problema de alocação de aulas à salas. In: **Anais do XLVII SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional**. [S.l.: s.n.], 2015. p. 1746–1755. Citado na página 28.

CISCON, L. A. et al. The school timetabling problem: A focus on elimination of open periods and isolated classes. In: **Hybrid Intelligent Systems, 2006. HIS '06. Sixth International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2006. p. 70. Citado na página 33.

COLORNI, A.; DORIGO, M.; MANIEZZO, V. Metaheuristics for high school timetabling. In: . Kluwer Academic Publishers, 1998. v. 9, n. 3, p. 275–298. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1018354324992>>. Citado 2 vezes nas páginas 19 e 20.

CONCILIO, R. **Contribuições à solução de problemas de escalonamento pela aplicação conjunta de computação evolutiva e otimização com restrições**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 39.

COOPER, T.; KINGSTON, J. The complexity of timetable construction problems. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). **Practice and Theory of Automated Timetabling**,

**Lecture Notes in Computer Science**. Berlin: Springer-Verlag, 1996. p. 283–295. Citado na página 18.

ENGELBRECHT, A. P. **Computational intelligence : an introduction**. 2a. ed. [S.l.]: Wiley, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 39.

FERNANDES, C. et al. Evolutionary algorithm for school timetabling, GECCO-99, op. cit. In: BANZHAF, W. et al. (Ed.). **Proceedings of the genetic and evolutionary computation conference**. [S.l.: s.n.], 1999. p. 177. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 51.

FERNANDES, C. et al. High school weekly timetabling by evolutionary algorithms. In: **Proceedings of the 1999 ACM Symposium on Applied Computing**. New York, NY, USA: ACM, 1999. (SAC '99), p. 344–350. ISBN 1-58113-086-4. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/298151.298379>>. Citado na página 25.

GÓES, A. R. T. **Otimização na Distribuição da Carga Horária de Professores – Método Exato, Método Heurístico, Método Misto e Interface**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Programação Matemática) — Setores de Tecnologia e de Ciências Exatas Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005. Citado 3 vezes nas páginas 20, 21 e 25.

GÓES, A. R. T.; COSTA, D. M. B.; STEINER, M. T. A. Otimização na programação de horários de professores/turmas: Modelo matemático, abordagem heurística e método misto. v. 5, n. 1, p. 50–66, 2010. Citado 9 vezes nas páginas 18, 19, 28, 33, 35, 39, 42, 45 e 51.

GOLDBERG, D. E. **Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning**. Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company Inc., 1989. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 40.

HAMAWAKI, C. D. L. **Geração Automática de Grade Horária usando Algoritmo Genético: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) — FEELT-UFU, Uberlândia, 2005. Citado na página 40.

HOLLAND, J. **Adaptation in Natural and Artificial Systems**. Massachusetts: MIT Press, 1992. Citado na página 39.

KOTSKO, E. G. da S.; STEINER, M. T. A.; MACHADO, A. L. da F. Otimização na construção da grade horária escolar - uma aplicação. In: **XXXV SBPO**. [s.n.], 2003. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2003/pdf/arq0240.pdf>>. Citado na página 29.

LAARHOVEN, P. van; AARTS, E. **Simulated Annealing: Theory and Applications**. 1. ed. Norwell, MA, USA: Kluwer Academic Publishers, 1987. (37). ISBN 9-027-72513-6. Citado na página 29.

LARA, C.; FLORES, J. J.; CALDERÓN, F. Solving a school timetabling problem using a bee algorithm. In: GELBUKH, A.; MORALES, E. (Ed.). **MICAI 2008: Advances in Artificial Intelligence**. Springer Berlin Heidelberg, 2008, (Lecture Notes in Computer Science, v. 5317). p. 664–674. ISBN 978-3-540-88635-8. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88636-5\\_63](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-88636-5_63)>. Citado na página 31.

- LAWRIE, N. L. An integer linear programming model of a school timetabling problem. **The Computer Journal**, v. 12, n. 4, p. 307–316, 1969. Disponível em: <<http://comjnl.oxfordjournals.org/content/12/4/307.abstract>>. Citado na página 28.
- LIU, Y.; ZHANG, D.; LEUNG, S. C. A simulated annealing algorithm with a new neighborhood structure for the timetabling problem. In: **Proceedings of the First ACM/SIGEVO Summit on Genetic and Evolutionary Computation**. New York, NY, USA: ACM, 2009. (GEC '09), p. 381–386. ISBN 978-1-60558-326-6. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1543834.1543885>>. Citado na página 30.
- MARTE, M. Towards constraint-based school timetabling. **Annals of Operations Research**, Springer US, v. 155, n. 1, p. 207–225, 2007. ISSN 0254-5330. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10479-007-0218-9>>. Citado na página 32.
- MEISELS, A.; ELL-SANA', J.; GUDES, E. Decomposing and solving timetabling constraint networks. **Computational Intelligence**, Blackwell Publishers Inc, v. 1997, n. 4, p. 486–505, 1994. ISSN 1467-8640. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/0824-7935.00049>>. Citado na página 31.
- MELÍCIO, F.; CALDEIRA, J. ao P.; ROSA, A. Thor: a tool for school timetabling. In: BURKE, E. K.; RUDOVA, H. (Ed.). **Proceedings of the 6th international conference on the practice and teaching of automated timetabling (PATAT 2006)**. [s.n.], 2006. p. 532–535. Disponível em: <[http://patat06.muni.cz/doc/patat06\\_061.pdf](http://patat06.muni.cz/doc/patat06_061.pdf)>. Citado na página 30.
- MOHAMMADI, M.; LUCAS, C. Cooperative co-evolution for school timetabling problem. In: **Cybernetic Intelligent Systems, 2008. CIS 2008. 7th IEEE International Conference on**. [S.l.: s.n.], 2008. p. 1–7. Citado 2 vezes nas páginas 27 e 51.
- MOSCATO, P.; NORMAN, M. G. A "memetic" approach for the traveling salesman problem implementation of a computational ecology for combinatorial optimization on message-passing systems. In: **Proceedings of International Conference on Parallel Computing and Transputer Applications**. IOS Press, 1992. p. 177–186. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.50.1940>>. Citado na página 31.
- MOURA, A. V.; SCARAFICCI, R. A. A grasp strategy for a more constrained school timetabling problem. v. 7, n. 2, p. 152 – 170, 2010. Disponível em: <[http://www.researchgate.net/publication/242403512\\_A\\_GRASP\\_strategy\\_for\\_a\\_more\\_constrained\\_School\\_Timetabling\\_Problem](http://www.researchgate.net/publication/242403512_A_GRASP_strategy_for_a_more_constrained_School_Timetabling_Problem)>. Citado na página 31.
- NURMI, K.; KYNGÄS, J. A conversion scheme for turning a curriculum-based timetabling problem into a school timetabling problem. In: **Proceedings of the 7th international conference on the practice and theory of automated timetabling (PATAT 2008)**. [s.n.], 2008. Disponível em: <<http://patatconference.org/patat2008/proceedings/Nurmi-TC1a.pdf>>. Citado 3 vezes nas páginas 26, 33 e 51.
- OKIISHI, T. F.; SOUZA, L. F. R. Método SIMPLEX aplicado à minimização dos custos de transporte de uma rede de farmácias. v. 3, n. 1, p. 15–21, 2013. ISSN 2237-3462. Disponível em: <[http://fira.edu.br/revista/vol3\\_num1\\_pag15.pdf](http://fira.edu.br/revista/vol3_num1_pag15.pdf)>. Citado na página 16.
- PILLAY, N. A survey of school timetabling. **Annals of Operations Research**, p. 261–293, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 19, 25, 28 e 35.

POST, G.; AHMADI, S.; GEERTSEMA, F. Cyclic transfers in school timetabling. **OR Spectrum**, Springer-Verlag, v. 34, n. 1, p. 133–154, 2012. ISSN 0171-6468. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00291-010-0227-y>>. Citado na página 32.

POULSEN, C. J. B.; BANDEIRA, D. L. Aplicação de um modelo para construção de grades horárias escolares baseado na meta-heurística simulated annealing. In: **XLIV SBPO**. [s.n.], 2012. p. 1004–1015. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2012/pdf/arq0244.pdf>>. Citado na página 30.

POULSEN, C. J. B.; BANDEIRA, D. L. Uma eficiente heurística baseada na estratégia de divisão-e-conquista para o school timetabling problem. In: **XLV SBPO**. [s.n.], 2013. Disponível em: <<http://www.din.uem.br/sbpo/sbpo2013/pdf/arq0149.pdf>>. Citado na página 15.

RAGHAVJEE, R.; PILLAY, N. An application of genetic algorithms to the school timetabling problem. In: **Proceedings of the 2008 Annual Research Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists on IT Research in Developing Countries: Riding the Wave of Technology**. New York, NY, USA: ACM, 2008. (SAICSIT '08), p. 193–199. ISBN 978-1-60558-286-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1456659.1456682>>. Citado na página 28.

RAGHAVJEE, R.; PILLAY, N. An informed genetic algorithm for the high school timetabling problem. In: **Proceedings of the 2010 Annual Research Conference of the South African Institute of Computer Scientists and Information Technologists**. New York, NY, USA: ACM, 2010. (SAICSIT '10), p. 408–412. ISBN 978-1-60558-950-3. Disponível em: <<http://doi.acm.org/10.1145/1899503.1899555>>. Citado na página 28.

RAGHAVJEE, R.; PILLAY, N. Using genetic algorithms to solve the south african school timetabling problem. In: **Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2010 Second World Congress on**. [S.l.: s.n.], 2010. p. 286–292. Citado na página 28.

REIS, L. P.; OLIVEIRA, E. A language for specifying complete timetabling problems. In: BURKE, E.; ERBEN, W. (Ed.). **Third International Conference Practice and Theory of Automated Timetabling - PATAT 2000**. Berlin: Springer-Verlag, 2001. v. 3, p. 322–341. Citado na página 18.

RIBEIRO FILHO, G.; LORENA, L. A. N. A constructive evolutionary approach to school timetabling. In: BOERS, E. (Ed.). **Applications of Evolutionary Computing**. Springer Berlin Heidelberg, 2001, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2037). p. 130–139. ISBN 978-3-540-41920-4. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/3-540-45365-2\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-45365-2_14)>. Citado 2 vezes nas páginas 26 e 50.

RIBIC, S.; KONJICIA, S. A two phase integer linear programming approach to solving the school timetable problem. In: **32nd International Conference on Information Technology Interfaces (ITI), 2010**. [s.n.], 2010. p. 651–656. ISBN 978-1-4244-5732-8. ISSN 1330-1012. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5546473>>. Citado na página 29.

SANTOS, H. G. et al. Strong bounds with cut and column generation for class-teacher timetabling. **Annals of Operations Research**, Springer US, v. 194, n. 1, p. 399–412,

2012. ISSN 0254-5330. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10479-010-0709-y>>. Citado na página 29.

SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. **Artificial Intelligence Review**, Kluwer Academic Publishers, v. 13, n. 2, p. 87–127, 1999. ISSN 0269-2821. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1023/A%3A1006576209967>>. Citado na página 25.

SENGER, L. J. **Parallel computing simulation of fluid flow**. 2014. Disponível em: <<http://www.icmc.usp.br/~lefraso/parallel.html>>. Citado na página 27.

SINEPE/PR; SINPROPAR. **CONVENÇÃO COLETIVA DE TRABALHO**. 2014. Disponível em: <[http://www.sinepepr.org.br/Legislacao/SINPROPAR\\_2014\\_2015\\_Geral.pdf](http://www.sinepepr.org.br/Legislacao/SINPROPAR_2014_2015_Geral.pdf)>. Citado na página 15.

SRNDIC, N. et al. The application of a parallel genetic algorithm to timetabling of elementary school classes: A coarse grained approach. In: **Information, Communication and Automation Technologies, 2009. ICAT 2009. XXII International Symposium on**. [S.l.: s.n.], 2009. p. 1–5. Citado 3 vezes nas páginas 27, 28 e 51.

STEFANO, C. D.; TETTAMANZI, A. G. B. An evolutionary algorithm for solving the school time-tabling problem. In: **Proceedings of the EvoWorkshops 2001**. [S.l.]: Springer, 2001. p. 452–462. Citado 4 vezes nas páginas 19, 26, 50 e 51.

VALOUXIS, C.; HOUSOS, E. Constraint programming approach for school timetabling. **Computers & Operations Research**, Elsevier, v. 30, n. 10, p. 1555–1572, 2003. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054802000837>>. Citado na página 32.

WILKE, P.; GRÖBNER, M.; OSTER, N. A hybrid genetic algorithm for school timetabling. In: MCKAY, B.; SLANEY, J. (Ed.). **AI 2002: Advances in Artificial Intelligence**. Springer Berlin Heidelberg, 2002, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2557). p. 455–464. ISBN 978-3-540-00197-3. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/3-540-36187-1\\_40](http://dx.doi.org/10.1007/3-540-36187-1_40)>. Citado na página 51.

WILKE, P.; KILLER, H. Walk down jump up - a new hybrid algorithm for time tabling problems. In: **8th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling (PATAT2010)**. [s.n.], 2010. Disponível em: <[http://www.patatconference.org/patat2010/proceedings/2\\_30.pdf](http://www.patatconference.org/patat2010/proceedings/2_30.pdf)>. Citado na página 32.

YIGIT, T. Constraint-based school timetabling using hybrid genetic algorithms. In: BASILI, R.; PAZIENZA, M. (Ed.). **AI\*IA 2007: Artificial Intelligence and Human-Oriented Computing**. Springer Berlin Heidelberg, 2007, (Lecture Notes in Computer Science, v. 4733). p. 848–855. ISBN 978-3-540-74781-9. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74782-6\\_77](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-74782-6_77)>. Citado na página 26.

## APÊNDICE A – EXEMPLO DE INDIVÍDUO INICIAL GERADO PELA META-HEURÍSTICA

Origem de dados: Escola 1.

Turma: 6º Ano A

| Dias | 2ª          | 3ª         | 4ª          | 5ª          | 6ª         |
|------|-------------|------------|-------------|-------------|------------|
| 1    | PROF MAT 1  | PROF HIS   | PROF EDF/ER | PROF MAT 1  | PROF POR 1 |
| 2    | PROF CIE    | PROF GEO   | PROF POR 1  | PROF HIS    | PROF MAT 1 |
| 3    | PROF CIE    | PROF GEO   | PROF ART**  | PROF ING    | PROF POR 1 |
| 4    | PROF EDF/ER | PROF CIE   | PROF POR 1  | PROF EDF/ER | PROF MAT 1 |
| 5    | PROF MAT 1  | PROF POR 1 | PROF MUS    | PROF ING    | PROF POR 1 |

Turma: 6º Ano B

| Dias | 2ª          | 3ª          | 4ª         | 5ª         | 6ª         |
|------|-------------|-------------|------------|------------|------------|
| 1    | PROF EDF/ER | PROF MUS    | PROF MAT 1 | PROF HIS   | PROF MAT 1 |
| 2    | PROF POR 1  | PROF POR 1  | PROF CIE   | PROF POR 1 | PROF ING   |
| 3    | PROF EDF/ER | PROF ART    | PROF CIE   | PROF GEO   | PROF ING   |
| 4    | PROF CIE    | PROF GEO    | PROF MAT 1 | PROF HIS   | PROF POR 1 |
| 5    | PROF POR 1  | PROF EDF/ER | PROF MAT 1 | PROF POR 1 | PROF MAT 1 |

Turma: 7º Ano

| Dias | 2ª         | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª           |
|------|------------|------------|-------------|------------|--------------|
| 1    | PROF CIE   | PROF GEO   | PROF MUS    | PROF POR 2 | PROF ART     |
| 2    | PROF HIS** | PROF POR 2 | PROF GEO    | PROF MAT 2 | PROF MAT 2** |
| 3    | PROF HIS** | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF MAT 2 | PROF MAT 2** |
| 4    | PROF MAT 2 | PROF POR 2 | PROF POR 2  | PROF ING   | PROF EDF/ER  |
| 5    | PROF CIE   | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF ING     |

Turma: 8º Ano

| Dias | 2ª         | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª          |
|------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1    | PROF MAT 2 | PROF POR 2 | PROF GEO    | PROF ING   | PROF MUS    |
| 2    | PROF MAT 2 | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF ING   | PROF EDF/ER |
| 3    | PROF MAT 2 | PROF HIS   | PROF GEO    | PROF POR 2 | PROF EDF/ER |
| 4    | PROF POR 2 | PROF MAT 2 | PROF CIE    | PROF MAT 2 | PROF HIS**  |
| 5    | PROF POR 2 | PROF CIE   | PROF POR 2  | PROF MAT 2 | PROF ART    |

Turma: 9º Ano

| Dias | 2ª         | 3ª          | 4ª         | 5ª          | 6ª          |
|------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|
| 1    | PROF ART   | PROF CIE    | PROF CIE   | PROF POR 2  | PROF ING    |
| 2    | PROF MAT 1 | PROF EDF/ER | PROF MAT 1 | PROF POR 2  | PROF MUS    |
| 3    | PROF MAT 1 | PROF POR 2  | PROF MAT 1 | PROF HIS    | PROF MAT 1  |
| 4    | PROF MAT 1 | PROF HIS    | PROF GEO   | PROF GEO    | PROF ING    |
| 5    | PROF POR 2 | PROF POR 2  | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF EDF/ER |

INDIVÍDUO INICIAL DA META-HEURÍSTICA - QUADRO DE HORÁRIOS DE TURMAS

|                        |          |                  |            |                   |          |  |
|------------------------|----------|------------------|------------|-------------------|----------|--|
| Professor: PROF ART    |          | Dias Alocados: 4 |            | Mínimo de dias: 1 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | 9º Ano   | -----            | -----      | -----             | 7º Ano   |  |
| 2                      | -----    | -----            | -----      | -----             | -----    |  |
| 3                      | -----    | 6º Ano B         | 6º Ano A** | -----             | -----    |  |
| 4                      | -----    | -----            | -----      | -----             | -----    |  |
| 5                      | -----    | -----            | -----      | -----             | 8º Ano   |  |
| Professor: PROF CIE    |          | Dias Alocados: 3 |            | Mínimo de dias: 3 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | 7º Ano   | 9º Ano           | 9º Ano     | -----             | -----    |  |
| 2                      | 6º Ano A | 8º Ano           | 6º Ano B   | -----             | -----    |  |
| 3                      | 6º Ano A | 7º Ano           | 6º Ano B   | -----             | -----    |  |
| 4                      | 6º Ano B | 6º Ano A         | 8º Ano     | -----             | -----    |  |
| 5                      | 7º Ano   | 8º Ano           | 9º Ano     | -----             | -----    |  |
| Professor: PROF EDF/ER |          | Dias Alocados: 5 |            | Mínimo de dias: 3 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | 6º Ano B | -----            | 6º Ano A   | -----             | -----    |  |
| 2                      | -----    | 9º Ano           | 8º Ano     | -----             | 8º Ano   |  |
| 3                      | 6º Ano B | -----            | 7º Ano     | -----             | 8º Ano   |  |
| 4                      | 6º Ano A | -----            | -----      | 6º Ano A          | 7º Ano   |  |
| 5                      | -----    | 6º Ano B         | 7º Ano     | 9º Ano            | 9º Ano   |  |
| Professor: PROF GEO    |          | Dias Alocados: 3 |            | Mínimo de dias: 2 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | -----    | 7º Ano           | 8º Ano     | -----             | -----    |  |
| 2                      | -----    | 6º Ano A         | 7º Ano     | -----             | -----    |  |
| 3                      | -----    | 6º Ano A         | 8º Ano     | 6º Ano B          | -----    |  |
| 4                      | -----    | 6º Ano B         | 9º Ano     | 9º Ano            | -----    |  |
| 5                      | -----    | -----            | -----      | -----             | -----    |  |
| Professor: PROF HIS    |          | Dias Alocados: 4 |            | Mínimo de dias: 2 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | -----    | 6º Ano A         | -----      | 6º Ano B          | -----    |  |
| 2                      | 7º Ano** | -----            | -----      | 6º Ano A          | -----    |  |
| 3                      | 7º Ano** | 8º Ano           | -----      | 9º Ano            | -----    |  |
| 4                      | -----    | 9º Ano           | -----      | 6º Ano B          | 8º Ano** |  |
| 5                      | -----    | -----            | -----      | -----             | -----    |  |
| Professor: PROF ING    |          | Dias Alocados: 2 |            | Mínimo de dias: 2 |          |  |
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª         | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                      | -----    | -----            | -----      | 8º Ano            | 9º Ano   |  |
| 2                      | -----    | -----            | -----      | 8º Ano            | 6º Ano B |  |
| 3                      | -----    | -----            | -----      | 6º Ano A          | 6º Ano B |  |
| 4                      | -----    | -----            | -----      | 7º Ano            | 9º Ano   |  |
| 5                      | -----    | -----            | -----      | 6º Ano A          | 7º Ano   |  |

INDIVÍDUO INICIAL DA META-HEURÍSTICA - QUADRO DE HORÁRIOS DE PROFESSORES

| Professor: PROF MAT 1 |          | Dias Alocados: 4 |          | Mínimo de dias: 4 |          |  |
|-----------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|--|
| Dias                  | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                     | 6º Ano A | -----            | 6º Ano B | 6º Ano A          | 6º Ano B |  |
| 2                     | 9º Ano   | -----            | 9º Ano   | -----             | 6º Ano A |  |
| 3                     | 9º Ano   | -----            | 9º Ano   | -----             | 9º Ano   |  |
| 4                     | 9º Ano   | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano A |  |
| 5                     | 6º Ano A | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano B |  |

| Professor: PROF MAT 2 |        | Dias Alocados: 4 |       | Mínimo de dias: 3 |          |  |
|-----------------------|--------|------------------|-------|-------------------|----------|--|
| Dias                  | 2ª     | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                     | 8º Ano | -----            | ----- | -----             | -----    |  |
| 2                     | 8º Ano | -----            | ----- | 7º Ano            | 7º Ano** |  |
| 3                     | 8º Ano | -----            | ----- | 7º Ano            | 7º Ano** |  |
| 4                     | 7º Ano | 8º Ano           | ----- | 8º Ano            | -----    |  |
| 5                     | -----  | 7º Ano           | ----- | 8º Ano            | -----    |  |

| Professor: PROF MUS |       | Dias Alocados: 3 |          | Mínimo de dias: 1 |        |  |
|---------------------|-------|------------------|----------|-------------------|--------|--|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª     |  |
| 1                   | ----- | 6º Ano B         | 7º Ano   | -----             | 8º Ano |  |
| 2                   | ----- | -----            | -----    | -----             | 9º Ano |  |
| 3                   | ----- | -----            | -----    | -----             | -----  |  |
| 4                   | ----- | -----            | -----    | -----             | -----  |  |
| 5                   | ----- | -----            | 6º Ano A | -----             | -----  |  |

| Professor: PROF POR 1 |          | Dias Alocados: 5 |          | Mínimo de dias: 3 |          |  |
|-----------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|--|
| Dias                  | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                     | -----    | -----            | -----    | -----             | 6º Ano A |  |
| 2                     | 6º Ano B | 6º Ano B         | 6º Ano A | 6º Ano B          | -----    |  |
| 3                     | -----    | -----            | -----    | -----             | 6º Ano A |  |
| 4                     | -----    | -----            | 6º Ano A | -----             | 6º Ano B |  |
| 5                     | 6º Ano B | 6º Ano A         | -----    | 6º Ano B          | 6º Ano A |  |

| Professor: PROF POR 2 |              | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 3 |       |  |
|-----------------------|--------------|------------------|--------|-------------------|-------|--|
| Dias                  | 2ª           | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                     | -----        | 8º Ano           | -----  | 7º Ano9º Ano      | ----- |  |
| 2                     | -----        | 7º Ano           | -----  | 9º Ano            | ----- |  |
| 3                     | -----        | 9º Ano           | -----  | 8º Ano            | ----- |  |
| 4                     | 8º Ano       | 7º Ano           | 7º Ano | -----             | ----- |  |
| 5                     | 8º Ano9º Ano | 9º Ano           | 8º Ano | 7º Ano            | ----- |  |

INDIVÍDUO INICIAL DA META-HEURÍSTICA - QUADRO DE HORÁRIOS DE PROFESSORES -  
CONTINUAÇÃO



## APÊNDICE B – HORÁRIO DA ESCOLA 1 OBTIDO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

Horário construído a partir das respostas fornecidas pelo LINGO para a modelagem gerada pela meta-heurística.

Turma: 6º ano A

| Dias | 2ª          | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª         |
|------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| 1    | PROF MAT 1  | PROF GEO   | PROF EDF/ER | PROF MAT 1 | PROF ART   |
| 2    | PROF EDF/ER | PROF GEO   | PROF POR 1  | PROF HIS   | PROF MUS   |
| 3    | PROF CIE    | PROF POR 1 | PROF POR 1  | PROF POR 1 | PROF MAT 1 |
| 4    | PROF CIE    | PROF HIS   | PROF POR 1  | PROF ING   | PROF ING   |
| 5    | PROF EDF/ER | PROF CIE   | PROF MAT 1  | PROF POR 1 | PROF MAT 1 |

Turma: 6º ano B

| Dias | 2ª          | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª          |
|------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1    | PROF CIE    | PROF POR 1 | PROF POR 1  | PROF HIS   | PROF MAT 1  |
| 2    | PROF MAT 1  | PROF POR 1 | PROF MAT 1  | PROF POR 1 | PROF ING    |
| 3    | PROF MAT 1  | PROF GEO   | PROF CIE    | PROF HIS   | PROF EDF/ER |
| 4    | PROF EDF/ER | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF POR 1 | PROF ART    |
| 5    | PROF MAT 1  | PROF GEO   | PROF POR 1  | PROF ING   | PROF MUS    |

Turma: 7º ano

| Dias | 2ª         | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª          |
|------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1    | PROF POR 2 | PROF HIS   | PROF GEO    | PROF MAT 2 | PROF ING    |
| 2    | PROF CIE   | PROF POR 2 | PROF CIE    | PROF ING   | PROF ART    |
| 3    | PROF MAT 2 | PROF HIS   | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF MUS    |
| 4    | PROF MAT 2 | PROF POR 2 | PROF CIE    | PROF POR 2 | PROF EDF/ER |
| 5    | PROF MAT 2 | PROF MAT 2 | PROF GEO    | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |

Turma: 8º ano

| Dias | 2ª         | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª          |
|------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1    | PROF MAT 2 | PROF CIE   | PROF CIE    | PROF ING   | PROF EDF/ER |
| 2    | PROF MAT 2 | PROF HIS   | PROF EDF/ER | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |
| 3    | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF GEO    | PROF MAT 2 | PROF ART    |
| 4    | PROF POR 2 | PROF MAT 2 | PROF GEO    | PROF MAT 2 | PROF MUS    |
| 5    | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF CIE    | PROF HIS   | PROF ING    |

Turma: 9º ano

| Dias | 2ª          | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª         |
|------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| 1    | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF MAT 1  | PROF POR 2 | PROF MUS   |
| 2    | PROF POR 2  | PROF CIE   | PROF GEO    | PROF POR 2 | PROF MAT 1 |
| 3    | PROF EDF/ER | PROF CIE   | PROF MAT 1  | PROF ING   | PROF ING   |
| 4    | PROF MAT 1  | PROF GEO   | PROF MAT 1  | PROF HIS   | PROF MAT 1 |
| 5    | PROF CIE    | PROF HIS   | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF ART   |

ESCOLA 1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DAS TURMAS

## PROF ART

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª    | 5ª    | 6ª       |
|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1    | ----- | ----- | ----- | ----- | 6º ano A |
| 2    | ----- | ----- | ----- | ----- | 7º ano   |
| 3    | ----- | ----- | ----- | ----- | 8º ano   |
| 4    | ----- | ----- | ----- | ----- | 6º ano B |
| 5    | ----- | ----- | ----- | ----- | 9º ano   |

## PROF CIE

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª    | 6ª    |
|------|----------|----------|----------|-------|-------|
| 1    | 6º ano B | 8º ano   | 8º ano   | ----- | ----- |
| 2    | 7º ano   | 9º ano   | 7º ano   | ----- | ----- |
| 3    | 6º ano A | 9º ano   | 6º ano B | ----- | ----- |
| 4    | 6º ano A | 6º ano B | 7º ano   | ----- | ----- |
| 5    | 9º ano   | 6º ano A | 8º ano   | ----- | ----- |

## PROF EDF/ER

| Dias | 2ª       | 3ª    | 4ª       | 5ª    | 6ª       |
|------|----------|-------|----------|-------|----------|
| 1    | 9º ano   | ----- | 6º ano A | ----- | 8º ano   |
| 2    | 6º ano A | ----- | 8º ano   | ----- | 8º ano   |
| 3    | 9º ano   | ----- | 7º ano   | ----- | 6º ano B |
| 4    | 6º ano B | ----- | 6º ano B | ----- | 7º ano   |
| 5    | 6º ano A | ----- | 9º ano   | ----- | 7º ano   |

## PROF GEO

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª     | 5ª    | 6ª    |
|------|-------|----------|--------|-------|-------|
| 1    | ----- | 6º ano A | 7º ano | ----- | ----- |
| 2    | ----- | 6º ano A | 9º ano | ----- | ----- |
| 3    | ----- | 6º ano B | 8º ano | ----- | ----- |
| 4    | ----- | 9º ano   | 8º ano | ----- | ----- |
| 5    | ----- | 6º ano B | 7º ano | ----- | ----- |

## PROF HIS

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª    | 5ª       | 6ª    |
|------|-------|----------|-------|----------|-------|
| 1    | ----- | 7º ano   | ----- | 6º ano B | ----- |
| 2    | ----- | 8º ano   | ----- | 6º ano A | ----- |
| 3    | ----- | 7º ano   | ----- | 6º ano B | ----- |
| 4    | ----- | 6º ano A | ----- | 9º ano   | ----- |
| 5    | ----- | 9º ano   | ----- | 8º ano   | ----- |

## PROF ING

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª    | 5ª       | 6ª       |
|------|-------|-------|-------|----------|----------|
| 1    | ----- | ----- | ----- | 8º ano   | 7º ano   |
| 2    | ----- | ----- | ----- | 7º ano   | 6º ano B |
| 3    | ----- | ----- | ----- | 9º ano   | 9º ano   |
| 4    | ----- | ----- | ----- | 6º ano A | 6º ano A |
| 5    | ----- | ----- | ----- | 6º ano B | 8º ano   |

ESCOLA 1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES

## PROF MAT 1

| Dias | 2ª       | 3ª    | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|-------|----------|----------|----------|
| 1    | 6º ano A | ----- | 9º ano   | 6º ano A | 6º ano B |
| 2    | 6º ano B | ----- | 6º ano B | -----    | 9º ano   |
| 3    | 6º ano B | ----- | 9º ano   | -----    | 6º ano A |
| 4    | 9º ano   | ----- | 9º ano   | -----    | 9º ano   |
| 5    | 6º ano B | ----- | 6º ano A | -----    | 6º ano A |

## PROF MAT 2

| Dias | 2ª     | 3ª     | 4ª    | 5ª     | 6ª    |
|------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 1    | 8º ano | -----  | ----- | 7º ano | ----- |
| 2    | 8º ano | -----  | ----- | 8º ano | ----- |
| 3    | 7º ano | -----  | ----- | 8º ano | ----- |
| 4    | 7º ano | 8º ano | ----- | 8º ano | ----- |
| 5    | 7º ano | 7º ano | ----- | 7º ano | ----- |

## PROF MUS

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª    | 5ª    | 6ª       |
|------|-------|-------|-------|-------|----------|
| 1    | ----- | ----- | ----- | ----- | 9º ano   |
| 2    | ----- | ----- | ----- | ----- | 6º ano A |
| 3    | ----- | ----- | ----- | ----- | 7º ano   |
| 4    | ----- | ----- | ----- | ----- | 8º ano   |
| 5    | ----- | ----- | ----- | ----- | 6º ano B |

## PROF POR 1

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª    |
|------|-------|----------|----------|----------|-------|
| 1    | ----- | 6º ano B | 6º ano B | -----    | ----- |
| 2    | ----- | 6º ano B | 6º ano A | 6º ano B | ----- |
| 3    | ----- | 6º ano A | 6º ano A | 6º ano A | ----- |
| 4    | ----- | -----    | 6º ano A | 6º ano B | ----- |
| 5    | ----- | -----    | 6º ano B | 6º ano A | ----- |

## PROF POR 2

| Dias | 2ª     | 3ª     | 4ª    | 5ª     | 6ª    |
|------|--------|--------|-------|--------|-------|
| 1    | 7º ano | 9º ano | ----- | 9º ano | ----- |
| 2    | 9º ano | 7º ano | ----- | 9º ano | ----- |
| 3    | 8º ano | 8º ano | ----- | 7º ano | ----- |
| 4    | 8º ano | 7º ano | ----- | 7º ano | ----- |
| 5    | 8º ano | 8º ano | ----- | 9º ano | ----- |

ESCOLA 1 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES -  
CONTINUAÇÃO

## APÊNDICE C – HORÁRIO DA ESCOLA 1 OBTIDO PELA META-HEURÍSTICA

Origem de dados: Escola 1.

Iteração: 100    Geração: 2    Indivíduo: 7

Turma: 6º Ano A

| Dias | 2ª          | 3ª          | 4ª         | 5ª          | 6ª         |
|------|-------------|-------------|------------|-------------|------------|
| 1    | PROF MAT 1  | PROF GEO    | PROF MAT 1 | PROF ART    | PROF MUS   |
| 2    | PROF POR 1  | PROF EDF/ER | PROF POR 1 | PROF ING    | PROF MAT 1 |
| 3    | PROF MAT 1  | PROF GEO    | PROF POR 1 | PROF ING    | PROF POR 1 |
| 4    | PROF EDF/ER | PROF HIS    | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF POR 1 |
| 5    | PROF CIE    | PROF CIE    | PROF MAT 1 | PROF HIS    | PROF POR 1 |

Turma: 6º Ano B

| Dias | 2ª          | 3ª          | 4ª         | 5ª       | 6ª         |
|------|-------------|-------------|------------|----------|------------|
| 1    | PROF POR 1  | PROF CIE    | PROF POR 1 | PROF ING | PROF POR 1 |
| 2    | PROF CIE    | PROF GEO    | PROF MAT 1 | PROF HIS | PROF POR 1 |
| 3    | PROF CIE    | PROF EDF/ER | PROF MAT 1 | PROF GEO | PROF MAT 1 |
| 4    | PROF MAT 1  | PROF EDF/ER | PROF POR 1 | PROF ING | PROF MAT 1 |
| 5    | PROF EDF/ER | PROF HIS    | PROF POR 1 | PROF MUS | PROF ART   |

Turma: 7º Ano

| Dias | 2ª          | 3ª         | 4ª         | 5ª         | 6ª          |
|------|-------------|------------|------------|------------|-------------|
| 1    | PROF MAT 2  | PROF POR 2 | PROF CIE   | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |
| 2    | PROF POR 2  | PROF HIS   | PROF GEO   | PROF MAT 2 | PROF ING    |
| 3    | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF GEO   | PROF HIS   | PROF ING    |
| 4    | PROF CIE    | PROF MAT 2 | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF ART    |
| 5    | PROF MAT 2  | PROF MUS   | PROF CIE   | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |

Turma: 8º Ano

| Dias | 2ª         | 3ª          | 4ª         | 5ª         | 6ª          |
|------|------------|-------------|------------|------------|-------------|
| 1    | PROF POR 2 | PROF EDF/ER | PROF GEO   | PROF HIS   | PROF ING    |
| 2    | PROF MAT 2 | PROF POR 2  | PROF CIE   | PROF ART   | PROF MUS    |
| 3    | PROF MAT 2 | PROF HIS    | PROF CIE   | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |
| 4    | PROF MAT 2 | PROF CIE    | PROF GEO   | PROF MAT 2 | PROF EDF/ER |
| 5    | PROF POR 2 | PROF MAT 2  | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF ING    |

Turma: 9º Ano

| Dias | 2ª         | 3ª         | 4ª          | 5ª         | 6ª          |
|------|------------|------------|-------------|------------|-------------|
| 1    | PROF CIE   | PROF HIS   | PROF MUS    | PROF MAT 1 | PROF MAT 1  |
| 2    | PROF MAT 1 | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF GEO   | PROF EDF/ER |
| 3    | PROF POR 2 | PROF CIE   | PROF EDF/ER | PROF POR 2 | PROF ART    |
| 4    | PROF POR 2 | PROF POR 2 | PROF MAT 1  | PROF HIS   | PROF ING    |
| 5    | PROF MAT 1 | PROF POR 2 | PROF GEO**  | PROF ING   | PROF MAT 1  |

MELHOR INDIVÍDUO GERADO PELA META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DAS TURMAS

| Professor: PROF ART |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 1 |          |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | ----- | -----            | ----- | 6º Ano A          | -----    |
| 2                   | ----- | -----            | ----- | 8º Ano            | -----    |
| 3                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 9º Ano   |
| 4                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 7º Ano   |
| 5                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 6º Ano B |

| Professor: PROF CIE |          | Dias Alocados: 3 |          | Mínimo de dias: 3 |       |
|---------------------|----------|------------------|----------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | 9º Ano   | 6º Ano B         | 7º Ano   | -----             | ----- |
| 2                   | 6º Ano B | 9º Ano           | 8º Ano   | -----             | ----- |
| 3                   | 6º Ano B | 9º Ano           | 8º Ano   | -----             | ----- |
| 4                   | 7º Ano   | 8º Ano           | 6º Ano A | -----             | ----- |
| 5                   | 6º Ano A | 6º Ano A         | 7º Ano   | -----             | ----- |

| Professor: PROF EDF/ER |          | Dias Alocados: 5 |        | Mínimo de dias: 3 |        |
|------------------------|----------|------------------|--------|-------------------|--------|
| Dias                   | 2ª       | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª     |
| 1                      | -----    | 8º Ano           | -----  | -----             | 7º Ano |
| 2                      | -----    | 6º Ano A         | 9º Ano | -----             | 9º Ano |
| 3                      | 7º Ano   | 6º Ano B         | 9º Ano | -----             | 8º Ano |
| 4                      | 6º Ano A | 6º Ano B         | -----  | 6º Ano A          | 8º Ano |
| 5                      | 6º Ano B | -----            | -----  | -----             | 7º Ano |

| Professor: PROF GEO |       | Dias Alocados: 3 |          | Mínimo de dias: 2 |       |
|---------------------|-------|------------------|----------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | ----- | 6º Ano A         | 8º Ano   | -----             | ----- |
| 2                   | ----- | 6º Ano B         | 7º Ano   | 9º Ano            | ----- |
| 3                   | ----- | 6º Ano A         | 7º Ano   | 6º Ano B          | ----- |
| 4                   | ----- | -----            | 8º Ano   | -----             | ----- |
| 5                   | ----- | -----            | 9º Ano** | -----             | ----- |

| Professor: PROF HIS |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |       |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | ----- | 9º Ano           | ----- | 8º Ano            | ----- |
| 2                   | ----- | 7º Ano           | ----- | 6º Ano B          | ----- |
| 3                   | ----- | 8º Ano           | ----- | 7º Ano            | ----- |
| 4                   | ----- | 6º Ano A         | ----- | 9º Ano            | ----- |
| 5                   | ----- | 6º Ano B         | ----- | 6º Ano A          | ----- |

| Professor: PROF ING |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |        |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|--------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª     |
| 1                   | ----- | -----            | ----- | 6º Ano B          | 8º Ano |
| 2                   | ----- | -----            | ----- | 6º Ano A          | 7º Ano |
| 3                   | ----- | -----            | ----- | 6º Ano A          | 7º Ano |
| 4                   | ----- | -----            | ----- | 6º Ano B          | 9º Ano |
| 5                   | ----- | -----            | ----- | 9º Ano            | 8º Ano |

MELHOR INDIVÍDUO GERADO PELA META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES -  
PARTE 01

| Professor: PROF MAT 1 |          | Dias Alocados: 4 |          | Mínimo de dias: 4 |          |  |  |
|-----------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|--|--|
| Dias                  | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |  |  |
| 1                     | 6º Ano A | -----            | 6º Ano A | 9º Ano            | 9º Ano   |  |  |
| 2                     | 9º Ano   | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano A |  |  |
| 3                     | 6º Ano A | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano B |  |  |
| 4                     | 6º Ano B | -----            | 9º Ano   | -----             | 6º Ano B |  |  |
| 5                     | 9º Ano   | -----            | 6º Ano A | -----             | 9º Ano   |  |  |

| Professor: PROF MAT 2 |        | Dias Alocados: 3 |       | Mínimo de dias: 3 |       |  |  |
|-----------------------|--------|------------------|-------|-------------------|-------|--|--|
| Dias                  | 2ª     | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª    |  |  |
| 1                     | 7º Ano | -----            | ----- | 7º Ano            | ----- |  |  |
| 2                     | 8º Ano | -----            | ----- | 7º Ano            | ----- |  |  |
| 3                     | 8º Ano | -----            | ----- | 8º Ano            | ----- |  |  |
| 4                     | 8º Ano | 7º Ano           | ----- | 8º Ano            | ----- |  |  |
| 5                     | 7º Ano | 8º Ano           | ----- | 7º Ano            | ----- |  |  |

| Professor: PROF MUS |       | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 1 |          |  |  |
|---------------------|-------|------------------|--------|-------------------|----------|--|--|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª       |  |  |
| 1                   | ----- | -----            | 9º Ano | -----             | 6º Ano A |  |  |
| 2                   | ----- | -----            | -----  | -----             | 8º Ano   |  |  |
| 3                   | ----- | -----            | -----  | -----             | -----    |  |  |
| 4                   | ----- | -----            | -----  | -----             | -----    |  |  |
| 5                   | ----- | 7º Ano           | -----  | 6º Ano B          | -----    |  |  |

| Professor: PROF POR 1 |          | Dias Alocados: 3 |          | Mínimo de dias: 3 |          |  |  |
|-----------------------|----------|------------------|----------|-------------------|----------|--|--|
| Dias                  | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |  |  |
| 1                     | 6º Ano B | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano B |  |  |
| 2                     | 6º Ano A | -----            | 6º Ano A | -----             | 6º Ano B |  |  |
| 3                     | -----    | -----            | 6º Ano A | -----             | 6º Ano A |  |  |
| 4                     | -----    | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano A |  |  |
| 5                     | -----    | -----            | 6º Ano B | -----             | 6º Ano A |  |  |

| Professor: PROF POR 2 |        | Dias Alocados: 4 |        | Mínimo de dias: 3 |       |  |  |
|-----------------------|--------|------------------|--------|-------------------|-------|--|--|
| Dias                  | 2ª     | 3ª               | 4ª     | 5ª                | 6ª    |  |  |
| 1                     | 8º Ano | 7º Ano           | -----  | -----             | ----- |  |  |
| 2                     | 7º Ano | 8º Ano           | -----  | -----             | ----- |  |  |
| 3                     | 9º Ano | 7º Ano           | -----  | 9º Ano            | ----- |  |  |
| 4                     | 9º Ano | 9º Ano           | 7º Ano | 7º Ano            | ----- |  |  |
| 5                     | 8º Ano | 9º Ano           | 8º Ano | 8º Ano            | ----- |  |  |

MELHOR INDIVÍDUO GERADO PELA META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES -  
PARTE 02



## APÊNDICE D – HORÁRIO DA ESCOLA 2 OBTIDO PELA FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

### Turma: 5ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ART | PROF HIS | PROF ER  | PROF POR | PROF MAT |
| 2    | PROF POR | PROF MAT | PROF ING | PROF MAT | PROF EDF |
| 3    | PROF ART | PROF CIE | PROF ER  | PROF EDF | PROF GEO |
| 4    | PROF ESP | PROF CIE | PROF MAT | PROF CIE | PROF GEO |
| 5    | PROF POR | PROF HIS | PROF ING | PROF POR | PROF POR |

### Turma: 6ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ING | PROF POR | PROF MAT | PROF MAT | PROF ER  |
| 2    | PROF ART | PROF HIS | PROF CIE | PROF POR | PROF GEO |
| 3    | PROF ESP | PROF POR | PROF ART | PROF MAT | PROF EDF |
| 4    | PROF POR | PROF HIS | PROF ER  | PROF POR | PROF EDF |
| 5    | PROF ING | PROF CIE | PROF CIE | PROF MAT | PROF GEO |

### Turma: 7ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ESP | PROF CIE | PROF ING | PROF GEO | PROF GEO |
| 2    | PROF HIS | PROF POR | PROF MAT | PROF CIE | PROF ER  |
| 3    | PROF POR | PROF HIS | PROF MAT | PROF POR | PROF ER  |
| 4    | PROF ING | PROF MAT | PROF CIE | PROF MAT | PROF POR |
| 5    | PROF ART | PROF POR | PROF ART | PROF EDF | PROF EDF |

### Turma: 8ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF POR | PROF MAT | PROF CIE | PROF EDF | PROF POR |
| 2    | PROF ESP | PROF CIE | PROF ART | PROF GEO | PROF POR |
| 3    | PROF ING | PROF MAT | PROF ING | PROF CIE | PROF POR |
| 4    | PROF HIS | PROF POR | PROF ART | PROF EDF | PROF ER  |
| 5    | PROF HIS | PROF MAT | PROF MAT | PROF GEO | PROF ER  |

ESCOLA 2 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DAS TURMAS

## PROF ART

| Dias | 2ª       | 3ª    | 4ª       | 5ª    | 6ª    |
|------|----------|-------|----------|-------|-------|
| 1    | 5ª Série | ----- | -----    | ----- | ----- |
| 2    | 6ª Série | ----- | 8ª Série | ----- | ----- |
| 3    | 5ª Série | ----- | 6ª Série | ----- | ----- |
| 4    | -----    | ----- | 8ª Série | ----- | ----- |
| 5    | 7ª Série | ----- | 7ª Série | ----- | ----- |

## PROF CIE

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª    |
|------|-------|----------|----------|----------|-------|
| 1    | ----- | 7ª Série | 8ª Série | -----    | ----- |
| 2    | ----- | 8ª Série | 6ª Série | 7ª Série | ----- |
| 3    | ----- | 5ª Série | -----    | 8ª Série | ----- |
| 4    | ----- | 5ª Série | 7ª Série | 5ª Série | ----- |
| 5    | ----- | 6ª Série | 6ª Série | -----    | ----- |

## PROF EDF

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª    | 5ª       | 6ª       |
|------|-------|-------|-------|----------|----------|
| 1    | ----- | ----- | ----- | 8ª Série | -----    |
| 2    | ----- | ----- | ----- | -----    | 5ª Série |
| 3    | ----- | ----- | ----- | 5ª Série | 6ª Série |
| 4    | ----- | ----- | ----- | 8ª Série | 6ª Série |
| 5    | ----- | ----- | ----- | 7ª Série | 7ª Série |

## PROF ER

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª       | 5ª    | 6ª       |
|------|-------|-------|----------|-------|----------|
| 1    | ----- | ----- | 5ª Série | ----- | 6ª Série |
| 2    | ----- | ----- | -----    | ----- | 7ª Série |
| 3    | ----- | ----- | 5ª Série | ----- | 7ª Série |
| 4    | ----- | ----- | 6ª Série | ----- | 8ª Série |
| 5    | ----- | ----- | -----    | ----- | 8ª Série |

## PROF ESP

| Dias | 2ª       | 3ª    | 4ª    | 5ª    | 6ª    |
|------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | 7ª Série | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 2    | 8ª Série | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 3    | 6ª Série | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 4    | 5ª Série | ----- | ----- | ----- | ----- |
| 5    | -----    | ----- | ----- | ----- | ----- |

ESCOLA 2 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES

## PROF GEO

| Dias | 2ª    | 3ª    | 4ª    | 5ª       | 6ª       |
|------|-------|-------|-------|----------|----------|
| 1    | ----- | ----- | ----- | 7ª Série | 7ª Série |
| 2    | ----- | ----- | ----- | 8ª Série | 6ª Série |
| 3    | ----- | ----- | ----- | -----    | 5ª Série |
| 4    | ----- | ----- | ----- | -----    | 5ª Série |
| 5    | ----- | ----- | ----- | 8ª Série | 6ª Série |

## PROF HIS

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª    | 5ª    | 6ª    |
|------|----------|----------|-------|-------|-------|
| 1    | -----    | 5ª Série | ----- | ----- | ----- |
| 2    | 7ª Série | 6ª Série | ----- | ----- | ----- |
| 3    | -----    | 7ª Série | ----- | ----- | ----- |
| 4    | 8ª Série | 6ª Série | ----- | ----- | ----- |
| 5    | 8ª Série | 5ª Série | ----- | ----- | ----- |

## PROF ING

| Dias | 2ª       | 3ª    | 4ª       | 5ª    | 6ª    |
|------|----------|-------|----------|-------|-------|
| 1    | 6ª Série | ----- | 7ª Série | ----- | ----- |
| 2    | -----    | ----- | 5ª Série | ----- | ----- |
| 3    | 8ª Série | ----- | 8ª Série | ----- | ----- |
| 4    | 7ª Série | ----- | -----    | ----- | ----- |
| 5    | 6ª Série | ----- | 5ª Série | ----- | ----- |

## PROF MAT

| Dias | 2ª    | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | ----- | 8ª Série | 6ª Série | 6ª Série | 5ª Série |
| 2    | ----- | 5ª Série | 7ª Série | 5ª Série | -----    |
| 3    | ----- | 8ª Série | 7ª Série | 6ª Série | -----    |
| 4    | ----- | 7ª Série | 5ª Série | 7ª Série | -----    |
| 5    | ----- | 8ª Série | 8ª Série | 6ª Série | -----    |

## PROF POR

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª    | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|-------|----------|----------|
| 1    | 8ª Série | 6ª Série | ----- | 5ª Série | 8ª Série |
| 2    | 5ª Série | 7ª Série | ----- | 6ª Série | 8ª Série |
| 3    | 7ª Série | 6ª Série | ----- | 7ª Série | 8ª Série |
| 4    | 6ª Série | 8ª Série | ----- | 6ª Série | 7ª Série |
| 5    | 5ª Série | 7ª Série | ----- | 5ª Série | 5ª Série |

ESCOLA 2 - FORMULAÇÃO MATEMÁTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES -  
CONTINUAÇÃO

## APÊNDICE E – HORÁRIO DA ESCOLA 2 OBTIDO PELA META-HEURÍSTICA

### Turma: 5ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF POR | PROF MAT | PROF ART | PROF GEO | PROF EDF |
| 2    | PROF POR | PROF CIE | PROF ART | PROF POR | PROF ER  |
| 3    | PROF ESP | PROF MAT | PROF ING | PROF CIE | PROF ER  |
| 4    | PROF POR | PROF MAT | PROF CIE | PROF MAT | PROF EDF |
| 5    | PROF HIS | PROF HIS | PROF ING | PROF GEO | PROF POR |

### Turma: 6ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ART | PROF HIS | PROF ER  | PROF EDF | PROF POR |
| 2    | PROF ESP | PROF MAT | PROF MAT | PROF GEO | PROF EDF |
| 3    | PROF ING | PROF CIE | PROF MAT | PROF MAT | PROF POR |
| 4    | PROF ING | PROF HIS | PROF ART | PROF POR | PROF GEO |
| 5    | PROF POR | PROF CIE | PROF CIE | PROF POR | PROF ER  |

### Turma: 7ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ING | PROF CIE | PROF MAT | PROF MAT | PROF MAT |
| 2    | PROF ING | PROF HIS | PROF CIE | PROF EDF | PROF POR |
| 3    | PROF POR | PROF HIS | PROF ER  | PROF POR | PROF GEO |
| 4    | PROF ESP | PROF POR | PROF MAT | PROF GEO | PROF ER  |
| 5    | PROF ART | PROF POR | PROF ART | PROF CIE | PROF EDF |

### Turma: 8ª Série

| Dias | 2ª       | 3ª       | 4ª       | 5ª       | 6ª       |
|------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1    | PROF ESP | PROF POR | PROF CIE | PROF POR | PROF ER  |
| 2    | PROF ART | PROF POR | PROF ER  | PROF MAT | PROF GEO |
| 3    | PROF HIS | PROF POR | PROF ART | PROF EDF | PROF EDF |
| 4    | PROF HIS | PROF CIE | PROF ING | PROF CIE | PROF POR |
| 5    | PROF ING | PROF MAT | PROF MAT | PROF MAT | PROF GEO |

ESCOLA 2 - META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DAS TURMAS

| Professor: PROF ART |          | Dias Alocados: 2 |          | Mínimo de dias: 2 |       |  |
|---------------------|----------|------------------|----------|-------------------|-------|--|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                   | 6ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |  |
| 2                   | 8ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |  |
| 3                   | -----    | -----            | 8ª Série | -----             | ----- |  |
| 4                   | -----    | -----            | 6ª Série | -----             | ----- |  |
| 5                   | 7ª Série | -----            | 7ª Série | -----             | ----- |  |

| Professor: PROF CIE |       | Dias Alocados: 3 |          | Mínimo de dias: 3 |       |  |
|---------------------|-------|------------------|----------|-------------------|-------|--|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                   | ----- | 7ª Série         | 8ª Série | -----             | ----- |  |
| 2                   | ----- | 5ª Série         | 7ª Série | -----             | ----- |  |
| 3                   | ----- | 6ª Série         | -----    | 5ª Série          | ----- |  |
| 4                   | ----- | 8ª Série         | 5ª Série | 8ª Série          | ----- |  |
| 5                   | ----- | 6ª Série         | 6ª Série | 7ª Série          | ----- |  |

| Professor: PROF EDF |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |          |  |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|----------|--|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                   | ----- | -----            | ----- | 6ª Série          | 5ª Série |  |
| 2                   | ----- | -----            | ----- | 7ª Série          | 6ª Série |  |
| 3                   | ----- | -----            | ----- | 8ª Série          | 8ª Série |  |
| 4                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 5ª Série |  |
| 5                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 7ª Série |  |

| Professor: PROF ER |       | Dias Alocados: 2 |          | Mínimo de dias: 2 |          |  |
|--------------------|-------|------------------|----------|-------------------|----------|--|
| Dias               | 2ª    | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |  |
| 1                  | ----- | -----            | 6ª Série | -----             | 8ª Série |  |
| 2                  | ----- | -----            | 8ª Série | -----             | 5ª Série |  |
| 3                  | ----- | -----            | 7ª Série | -----             | 5ª Série |  |
| 4                  | ----- | -----            | -----    | -----             | 7ª Série |  |
| 5                  | ----- | -----            | -----    | -----             | 6ª Série |  |

| Professor: PROF ESP |          | Dias Alocados: 1 |       | Mínimo de dias: 1 |       |  |
|---------------------|----------|------------------|-------|-------------------|-------|--|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª    |  |
| 1                   | 8ª Série | -----            | ----- | -----             | ----- |  |
| 2                   | 6ª Série | -----            | ----- | -----             | ----- |  |
| 3                   | 5ª Série | -----            | ----- | -----             | ----- |  |
| 4                   | 7ª Série | -----            | ----- | -----             | ----- |  |
| 5                   | -----    | -----            | ----- | -----             | ----- |  |

## ESCOLA 2 - META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES

| Professor: PROF GEO |       | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |          |
|---------------------|-------|------------------|-------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | ----- | -----            | ----- | 5ª Série          | -----    |
| 2                   | ----- | -----            | ----- | 6ª Série          | 8ª Série |
| 3                   | ----- | -----            | ----- | -----             | 7ª Série |
| 4                   | ----- | -----            | ----- | 7ª Série          | 6ª Série |
| 5                   | ----- | -----            | ----- | 5ª Série          | 8ª Série |

| Professor: PROF HIS |          | Dias Alocados: 2 |       | Mínimo de dias: 2 |       |
|---------------------|----------|------------------|-------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | -----    | 6ª Série         | ----- | -----             | ----- |
| 2                   | -----    | 7ª Série         | ----- | -----             | ----- |
| 3                   | 8ª Série | 7ª Série         | ----- | -----             | ----- |
| 4                   | 8ª Série | 6ª Série         | ----- | -----             | ----- |
| 5                   | 5ª Série | 5ª Série         | ----- | -----             | ----- |

| Professor: PROF ING |          | Dias Alocados: 2 |          | Mínimo de dias: 2 |       |
|---------------------|----------|------------------|----------|-------------------|-------|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª    |
| 1                   | 7ª Série | -----            | -----    | -----             | ----- |
| 2                   | 7ª Série | -----            | -----    | -----             | ----- |
| 3                   | 6ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |
| 4                   | 6ª Série | -----            | 8ª Série | -----             | ----- |
| 5                   | 8ª Série | -----            | 5ª Série | -----             | ----- |

| Professor: PROF MAT |       | Dias Alocados: 4 |          | Mínimo de dias: 4 |          |
|---------------------|-------|------------------|----------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª    | 3ª               | 4ª       | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | ----- | 5ª Série         | 7ª Série | 7ª Série          | 7ª Série |
| 2                   | ----- | 6ª Série         | 6ª Série | 8ª Série          | -----    |
| 3                   | ----- | 5ª Série         | 6ª Série | 6ª Série          | -----    |
| 4                   | ----- | 5ª Série         | 7ª Série | 5ª Série          | -----    |
| 5                   | ----- | 8ª Série         | 8ª Série | 8ª Série          | -----    |

| Professor: PROF POR |          | Dias Alocados: 4 |       | Mínimo de dias: 4 |          |
|---------------------|----------|------------------|-------|-------------------|----------|
| Dias                | 2ª       | 3ª               | 4ª    | 5ª                | 6ª       |
| 1                   | 5ª Série | 8ª Série         | ----- | 8ª Série          | 6ª Série |
| 2                   | 5ª Série | 8ª Série         | ----- | 5ª Série          | 7ª Série |
| 3                   | 7ª Série | 8ª Série         | ----- | 7ª Série          | 6ª Série |
| 4                   | 5ª Série | 7ª Série         | ----- | 6ª Série          | 8ª Série |
| 5                   | 6ª Série | 7ª Série         | ----- | 6ª Série          | 5ª Série |

ESCOLA 2 - META-HEURÍSTICA - HORÁRIO DE PROFESSORES



## ANEXO A – HORÁRIO IMPLEMENTADO NA ESCOLA 1 EM 2014



ESCOLA WILLY JANZ  
Educação Infantil e Ensino Fundamental  
GRADE HORÁRIA 2013

### HORÁRIO DE AULAS 6º ANO A 2014

| Horário       | 2ª feira   | 3ª feira       | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
|---------------|------------|----------------|------------|------------|------------|
| 07:30 – 08:18 | CIÊNCIAS   | ENS. RELIGIOSO | MÚSICA     | ED. FÍSICA | PORTUGUÊS  |
| 08:18 – 08:28 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL     | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16 | GEOGRAFIA  | HISTÓRIA       | GEOGRAFIA  | MATEMÁTICA | PORTUGUÊS  |
| 09:16 – 10:04 | PORTUGUÊS  | ED. FÍSICA     | PORTUGUÊS  | INGLÊS     | MATEMÁTICA |
| 10:04 – 10:24 | INTERVALO  | INTERVALO      | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12 | PORTUGUÊS  | HISTÓRIA       | CIÊNCIAS   | MATEMÁTICA | ARTES      |
| 11:12 – 12:00 | MATEMÁTICA | CIÊNCIAS       | PORTUGUÊS  | INGLÊS     | MATEMÁTICA |

Atualizado em 05/12/2014

### HORÁRIO DE AULAS 6º ANO B 2014

| Horário       | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira       | 6ª feira   |
|---------------|------------|------------|------------|----------------|------------|
| 07:30 – 08:18 | MATEMÁTICA | MATEMÁTICA | PORTUGUÊS  | INGLÊS         | HISTÓRIA   |
| 08:18 – 08:28 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL     | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16 | CIÊNCIAS   | CIÊNCIAS   | PORTUGUÊS  | MÚSICA         | MATEMÁTICA |
| 09:16 – 10:04 | MATEMÁTICA | HISTÓRIA   | GEOGRAFIA  | ENS. RELIGIOSO | PORTUGUÊS  |
| 10:04 – 10:24 | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO      | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12 | MATEMÁTICA | CIÊNCIAS   | PORTUGUÊS  | INGLÊS         | PORTUGUÊS  |
| 11:12 – 12:00 | PORTUGUÊS  | ED. FÍSICA | ARTES      | ED. FÍSICA     | GEOGRAFIA  |

Atualizado em 05/12/2014

### HORÁRIO DE AULAS 7º ANO 2014

| Horário       | 2ª feira   | 3ª feira       | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
|---------------|------------|----------------|------------|------------|------------|
| 07:30 – 08:18 | PORTUGUÊS  | HISTÓRIA       | ED. FÍSICA | MATEMÁTICA | INGLÊS     |
| 08:18 – 08:28 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL     | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16 | MATEMÁTICA | ENS. RELIGIOSO | MÚSICA     | ED. FÍSICA | GEOGRAFIA  |
| 09:16 – 10:04 | GEOGRAFIA  | PORTUGUÊS      | CIÊNCIAS   | MATEMÁTICA | HISTÓRIA   |
| 10:04 – 10:24 | INTERVALO  | INTERVALO      | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12 | MATEMÁTICA | PORTUGUÊS      | PORTUGUÊS  | MATEMÁTICA | INGLÊS     |
| 11:12 – 12:00 | CIÊNCIAS   | MATEMÁTICA     | CIÊNCIAS   | PORTUGUÊS  | ARTES      |

Atualizado em 05/12/2014

### HORÁRIO DE AULAS 8º ANO 2014

| Horário       | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira       | 5ª feira   | 6ª feira   |
|---------------|------------|------------|----------------|------------|------------|
| 07:30 – 08:18 | MATEMÁTICA | CIÊNCIAS   | CIÊNCIAS       | PORTUGUÊS  | GEOGRAFIA  |
| 08:18 – 08:28 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL     | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16 | PORTUGUÊS  | PORTUGUÊS  | ENS. RELIGIOSO | MATEMÁTICA | INGLÊS     |
| 09:16 – 10:04 | MATEMÁTICA | MÚSICA     | ED. FÍSICA     | PORTUGUÊS  | GEOGRAFIA  |
| 10:04 – 10:24 | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO      | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12 | CIÊNCIAS   | MATEMÁTICA | ARTES          | ED. FÍSICA | HISTÓRIA   |
| 11:12 – 12:00 | MATEMÁTICA | HISTÓRIA   | PORTUGUÊS      | MATEMÁTICA | INGLÊS     |

Atualizado em 05/12/2014

### HORÁRIO DE AULAS 9º ANO 2014

| Horário       | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira       | 5ª feira   | 6ª feira   |
|---------------|------------|------------|----------------|------------|------------|
| 07:30 – 08:18 | GEOGRAFIA  | PORTUGUÊS  | GEOGRAFIA      | MATEMÁTICA | MATEMÁTICA |
| 08:18 – 08:28 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL     | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16 | MATEMÁTICA | MÚSICA     | CIÊNCIAS       | INGLÊS     | HISTÓRIA   |
| 09:16 – 10:04 | CIÊNCIAS   | CIÊNCIAS   | ARTES          | MATEMÁTICA | INGLÊS     |
| 10:04 – 10:24 | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO      | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12 | PORTUGUÊS  | ED. FÍSICA | ENS. RELIGIOSO | PORTUGUÊS  | MATEMÁTICA |
| 11:12 – 12:00 | PORTUGUÊS  | PORTUGUÊS  | ED. FÍSICA     | MATEMÁTICA | HISTÓRIA   |

ESCOLA 1 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DAS TURMAS



**ESCOLA WILLY JANZ**  
Educação Infantil e Ensino Fundamental  
**GRADE HORÁRIA 2013**

| <b>HORÁRIO DE AULAS - PORTUGUÊS -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                        | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                         | ---               | ---               | 6º Ano B          | ---               | 6º Ano A          |
| 08:18 – 08:28                         | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                         | ---               | ---               | 6º Ano B          | ---               | 6º Ano A          |
| 09:16 – 10:04                         | 6º Ano A          | ---               | 6º Ano A          | ---               | 6º Ano B          |
| 10:04 – 10:24                         | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                         | 6º Ano A          | ---               | 6º Ano B          | ---               | 6º Ano B          |
| 11:12 – 12:00                         | 6º Ano B          | ---               | 6º Ano A          | ---               | ---               |

Atualizado em 05/12/2014

| <b>HORÁRIO DE AULAS - PORTUGUÊS -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                        | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                         | 7º Ano            | 9º Ano            | ---               | 8º Ano            | ---               |
| 08:18 – 08:28                         | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                         | 8º Ano            | 8º Ano            | ---               | ---               | ---               |
| 09:16 – 10:04                         | ---               | 7º Ano            | ---               | 8º Ano            | ---               |
| 10:04 – 10:24                         | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                         | 9º Ano            | 7º Ano            | 7º Ano            | 9º Ano            | ---               |
| 11:12 – 12:00                         | 9º Ano            | 9º Ano            | 8º Ano            | 7º Ano            | ---               |

Atualizado em 05/12/2014

| <b>HORÁRIO DE AULAS - MATEMÁTICA -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                         | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                          | 8º Ano            | ---               | ---               | 7º Ano            | ---               |
| 08:18 – 08:28                          | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                          | 7º Ano            | ---               | ---               | 8º Ano            | ---               |
| 09:16 – 10:04                          | 8º Ano            | ---               | ---               | 7º Ano            | ---               |
| 10:04 – 10:24                          | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                          | 7º Ano            | 8º Ano            | ---               | 7º Ano            | ---               |
| 11:12 – 12:00                          | 8º Ano            | 7º Ano            | ---               | 8º Ano            | ---               |

Atualizado em 05/12/2014

| <b>HORÁRIO DE AULAS - MATEMÁTICA -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                         | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                          | 6º Ano B          | 6º Ano B          | ---               | 9º Ano            | 9º Ano            |
| 08:18 – 08:28                          | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                          | 9º Ano            | ---               | ---               | 6º Ano A          | 6º Ano B          |
| 09:16 – 10:04                          | 6º Ano B          | ---               | ---               | 9º Ano            | 6º Ano A          |
| 10:04 – 10:24                          | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                          | 6º Ano B          | ---               | ---               | 6º Ano A          | 9º Ano            |
| 11:12 – 12:00                          | 6º Ano A          | ---               | ---               | 9º Ano            | 6º Ano A          |

Atualizado em 05/12/2014

| <b>HORÁRIO DE AULAS - CIÊNCIAS -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                       | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                        | 6º Ano A          | 8º Ano            | 8º Ano            | ---               | ---               |
| 08:18 – 08:28                        | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                        | 6º Ano B          | 6º Ano B          | 9º Ano            | ---               | ---               |
| 09:16 – 10:04                        | 9º Ano            | 9º Ano            | 7º Ano            | ---               | ---               |
| 10:04 – 10:24                        | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                        | 8º Ano            | 6º Ano B          | 6º Ano A          | ---               | ---               |
| 11:12 – 12:00                        | 7º Ano            | 6º Ano A          | 7º Ano            | ---               | ---               |

Atualizado em 05/12/2014

ESCOLA 1 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DE PROFESSORES



**ESCOLA WILLY JANZ**  
Educação Infantil e Ensino Fundamental  
GRADE HORÁRIA 2013

| HORÁRIO DE AULAS - GEOGRAFIA - |            |            |            |            |            |
|--------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                        | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
| 07:30 – 08:18                  | 9º Ano     | ---        | 9º Ano     | ---        | 8º Ano     |
| 08:18 – 08:28                  | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                  | 6º Ano A   | ---        | 6º Ano A   | ---        | 7º Ano     |
| 09:16 – 10:04                  | 7º Ano     | ---        | 6º Ano B   | ---        | 8º Ano     |
| 10:04 – 10:24                  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                  | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |
| 11:12 – 12:00                  | ---        | ---        | ---        | ---        | 6º Ano B   |

Atualizado em 05/12/2014

| HORÁRIO DE AULAS - HISTÓRIA - |            |            |            |            |            |
|-------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                       | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
| 07:30 – 08:18                 | ---        | 7º Ano     | ---        | ---        | 6º Ano B   |
| 08:18 – 08:28                 | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                 | ---        | 6º Ano A   | ---        | ---        | 9º Ano     |
| 09:16 – 10:04                 | ---        | 6º Ano B   | ---        | ---        | 7º Ano     |
| 10:04 – 10:24                 | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                 | ---        | 6º Ano A   | ---        | ---        | 8º Ano     |
| 11:12 – 12:00                 | ---        | 8º Ano     | ---        | ---        | 9º Ano     |

Atualizado em 05/12/2014

| HORÁRIO DE AULAS - INGLÊS - |            |            |            |            |            |
|-----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                     | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
| 07:30 – 08:18               | ---        | ---        | ---        | 6º Ano B   | 7º Ano     |
| 08:18 – 08:28               | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16               | ---        | ---        | ---        | 9º Ano     | 8º Ano     |
| 09:16 – 10:04               | ---        | ---        | ---        | 6º Ano A   | 9º Ano     |
| 10:04 – 10:24               | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12               | ---        | ---        | ---        | 6º Ano B   | 7º Ano     |
| 11:12 – 12:00               | ---        | ---        | ---        | 6º Ano A   | 8º Ano     |

Atualizado em 05/12/2014

| HORÁRIO DE AULAS - ED. FÍSICA - |            |            |            |            |            |
|---------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                         | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
| 07:30 – 08:18                   | ---        | ---        | 7º Ano     | 6º Ano A   | ---        |
| 08:18 – 08:28                   | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                   | ---        | ---        | ---        | 7º Ano     | ---        |
| 09:16 – 10:04                   | ---        | 6º Ano A   | 8º Ano     | ---        | ---        |
| 10:04 – 10:24                   | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                   | ---        | 9º Ano     | ---        | 8º Ano     | ---        |
| 11:12 – 12:00                   | ---        | 6º Ano B   | 9º Ano     | 6º Ano B   | ---        |

Atualizado em 05/12/2014

| HORÁRIO DE AULAS - ENS. RELIGIOSO - |            |            |            |            |            |
|-------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Horário                             | 2ª feira   | 3ª feira   | 4ª feira   | 5ª feira   | 6ª feira   |
| 07:30 – 08:18                       | ---        | 6º Ano A   | ---        | ---        | ---        |
| 08:18 – 08:28                       | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL | DEVOCIONAL |
| 08:28 – 09:16                       | ---        | 7º Ano     | 8º Ano     | ---        | ---        |
| 09:16 – 10:04                       | ---        | ---        | ---        | 6º Ano B   | ---        |
| 10:04 – 10:24                       | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  | INTERVALO  |
| 10:24 – 11:12                       | ---        | ---        | 9º Ano     | ---        | ---        |
| 11:12 – 12:00                       | ---        | ---        | ---        | ---        | ---        |

Atualizado em 05/12/2014

ESCOLA 1 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DE PROFESSORES - CONTINUAÇÃO



**ESCOLA WILLY JANZ**  
Educação Infantil e Ensino Fundamental  
GRADE HORÁRIA 2013

| <b>HORÁRIO DE AULAS - MÚSICA -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                     | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                      | ---               | ---               | 6º Ano A          | ---               | ---               |
| 08:18 – 08:28                      | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                      | ---               | 9º Ano            | 7º Ano            | 6º Ano B          | ---               |
| 09:16 – 10:04                      | ---               | 8º Ano            | ---               | ---               | ---               |
| 10:04 – 10:24                      | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                      | ---               | ---               | ---               | ---               | ---               |
| 11:12 – 12:00                      | ---               | ---               | ---               | ---               | ---               |

Atualizado em 05/12/2014

| <b>HORÁRIO DE AULAS - ARTES -</b> |                   |                   |                   |                   |                   |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| <b>Horário</b>                    | <b>2ª feira</b>   | <b>3ª feira</b>   | <b>4ª feira</b>   | <b>5ª feira</b>   | <b>6ª feira</b>   |
| 07:30 – 08:18                     | ---               | ---               | ---               | ---               | ---               |
| 08:18 – 08:28                     | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> | <b>DEVOCIONAL</b> |
| 08:28 – 09:16                     | ---               | ---               | ---               | ---               | ---               |
| 09:16 – 10:04                     | ---               | ---               | 9º Ano            | ---               | ---               |
| 10:04 – 10:24                     | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  | <b>INTERVALO</b>  |
| 10:24 – 11:12                     | ---               | ---               | 8º Ano            | ---               | 6º Ano A          |
| 11:12 – 12:00                     | ---               | ---               | 6º Ano B          | ---               | 7º Ano            |

Atualizado em 05/12/2014

ESCOLA 1 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DE PROFESSORES - CONTINUAÇÃO

ANEXO B – HORÁRIO IMPLEMENTADO NA ESCOLA 2 EM 2013

| <u>T5A</u> |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG        | TER | QUA | QUI | SEX |
| POR        | MAT | ING | POR | ER  |
| ESP        | CIE | MAT | EDF | GEO |
| ART        | HIS | ART | CIE | EDF |
| POR        | POR | MAT | GEO | POR |
| ING        | HIS | CIE | MAT | ER  |

| <u>T6A</u> |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG        | TER | QUA | QUI | SEX |
| ESP        | POR | ER  | CIE | POR |
| ART        | HIS | ART | MAT | ER  |
| ING        | POR | ING | GEO | POR |
| HIS        | CIE | CIE | MAT | GEO |
| POR        | MAT | MAT | EDF | EDF |

| <u>T7A</u> |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG        | TER | QUA | QUI | SEX |
| HIS        | CIE | MAT | EDF | MAT |
| ING        | POR | ING | CIE | EDF |
| POR        | MAT | CIE | MAT | GEO |
| ART        | HIS | ER  | POR | ER  |
| ESP        | POR | ART | POR | GEO |

| <u>T8A</u> |     |     |     |     |
|------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG        | TER | QUA | QUI | SEX |
| ING        | HIS | CIE | MAT | GEO |
| POR        | MAT | ER  | POR | POR |
| HIS        | CIE | MAT | POR | ER  |
| ESP        | MAT | ART | EDF | EDF |
| ART        | CIE | ING | GEO | POR |

ESCOLA 2 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DAS TURMAS

| <u>ED FISICA</u> |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG              | TER | QUA | QUI | SEX |
|                  |     |     | T7A |     |
|                  |     |     | T5A | T7A |
|                  |     |     |     | T5A |
|                  |     |     | T8A | T8A |
|                  |     |     | T6A | T6A |

| <u>ENS RELIGIOSO</u> |     |     |     |     |
|----------------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG                  | TER | QUA | QUI | SEX |
|                      |     | T6A |     | T5A |
|                      |     | T8A |     | T6A |
|                      |     |     |     | T8A |
|                      |     | T7A |     | T7A |
|                      |     |     |     | T5A |

| <u>HISTORIA</u> |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG             | TER | QUA | QUI | SEX |
| T7A             | T8A |     |     |     |
|                 | T6A |     |     |     |
| T8A             | T5A |     |     |     |
| T6A             | T7A |     |     |     |
|                 | T5A |     |     |     |

| <u>INGLES</u> |     |     |     |     |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG           | TER | QUA | QUI | SEX |
| T8A           |     | T5A |     |     |
| T7A           |     | T7A |     |     |
| T6A           |     | T6A |     |     |
|               |     |     |     |     |
| T5A           |     | T8A |     |     |

| <u>MATEMATICA</u> |     |     |     |     |
|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG               | TER | QUA | QUI | SEX |
|                   | T5A | T7A | T8A | T7A |
|                   | T8A | T5A | T6A |     |
|                   | T7A | T8A | T7A |     |
|                   | T8A | T5A | T6A |     |
|                   | T6A | T6A | T5A |     |

| <u>GEOGRAFIA</u> |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG              | TER | QUA | QUI | SEX |
|                  |     |     |     | T8A |
|                  |     |     |     | T5A |
|                  |     |     | T6A | T7A |
|                  |     |     | T5A | T6A |
|                  |     |     | T8A | T7A |

| <u>ARTES</u> |     |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG          | TER | QUA | QUI | SEX |
|              |     |     |     |     |
| T6A          |     | T6A |     |     |
| T5A          |     | T5A |     |     |
| T7A          |     | T8A |     |     |
| T8A          |     | T7A |     |     |

| <u>PORTUGUES</u> |     |     |     |     |
|------------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG              | TER | QUA | QUI | SEX |
| T5A              | T6A |     | T5A | T6A |
| T8A              | T7A |     | T8A | T8A |
| T7A              | T6A |     | T8A | T6A |
| T5A              | T5A |     | T7A | T5A |
| T6A              | T7A |     | T7A | T8A |

| <u>ESPAÑHOL</u> |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG             | TER | QUA | QUI | SEX |
| T6A             |     |     |     |     |
| T5A             |     |     |     |     |
|                 |     |     |     |     |
| T8A             |     |     |     |     |
| T7A             |     |     |     |     |

| <u>CIENCIAS</u> |     |     |     |     |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|
| SEG             | TER | QUA | QUI | SEX |
|                 | T7A | T8A | T6A |     |
|                 | T5A |     | T7A |     |
|                 | T8A | T7A | T5A |     |
|                 | T6A | T6A |     |     |
|                 | T8A | T5A |     |     |

ESCOLA 2 - HORÁRIO IMPLEMENTADO - HORÁRIO DE PROFESSORES