

CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS

Dayvisson Valadão Martins Ferreira

**APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA ELABORAÇÃO DE
HORÁRIOS INSTITUCIONAIS: O ESTUDO DE CASO DO
CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

Timóteo
Fevereiro de 2015

Dayvisson Valadão Martins Ferreira

**APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA ELABORAÇÃO DE
HORÁRIOS INSTITUCIONAIS: O ESTUDO DE CASO DO
CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação do CEFET-MG Campus Timóteo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro da Computação.

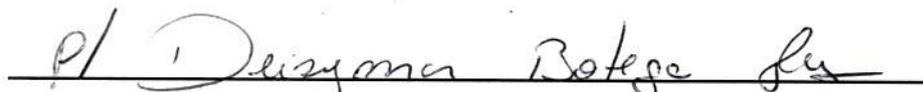
Orientador: Rodrigo Gaiba de Oliveira

Timóteo
Fevereiro de 2015

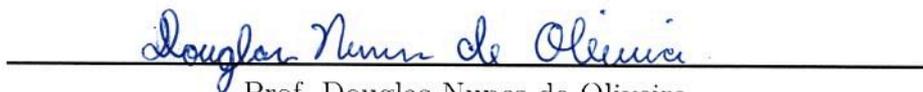
Dayvisson Valadão Martins Ferreira

APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA ELABORAÇÃO DE
HORÁRIOS INSTITUCIONAIS: O ESTUDO DE CASO DO
CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação do CEFET-MG Campus Timóteo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro da Computação.


Prof. Rodrigo Gaiba de Oliveira (Orientador)


Prof. Marcelo de Sousa Balbino


Prof. Douglas Nunes de Oliveira

Timóteo, 5 de fevereiro de 2015.

Dayvisson Valadão Martins Ferreira

**APLICAÇÃO DE ALGORITMOS GENÉTICOS NA ELABORAÇÃO DE
HORÁRIOS INSTITUCIONAIS: O ESTUDO DE CASO DO
CEFET-MG CAMPUS TIMÓTEO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia da Computação do CEFET-MG Campus Timóteo, como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Engenheiro da Computação.

Prof. Rodrigo Gaiba de Oliveira (Orientador)

Prof. Marcelo de Sousa Balbino

Prof. Douglas Nunes de Oliveira

Timóteo, 5 de fevereiro de 2015.

A todos aqueles que de alguma forma estiveram e estão próximos de mim, fazendo cada minuto desta vida valer muito a pena.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais por todo amparo, motivação e ensinamentos que foram cruciais para que eu alcançasse este patamar e todos os outros que virão.

Agradeço a minha namorada pelo companheirismo, amizade e apoio, por estar sempre junto haja o que houver.

Agradeço aos meus irmãos, que apesar de mais novos, são fonte de inspiração pra mim.

Agradeço aos meus amigos, que já se tornaram irmãos de longa data, alguns de perto outro de longe. Agradeço à eles por todos os momentos marcantes desta etapa da vida.

Agradeço aos meus tios e tias de consideração, no geral, pais dos meus amigos, que enquanto eu estive fora de casa, foram como pais pra mim.

Agradeço a uma tia em especial, que cuidou dos meus primeiros passos, mesmo eu já sendo adulto.

Agradeço a toda minha família, tios, primos, avós, por serem assim tão presentes e amigos.

Agradeço ao meu orientador, por toda paciência e suporte, que foram fundamentais para o sucesso deste trabalho.

Agradeço aos meus professores que desempenharam com dedicação as aulas ministradas.

Agradeço aos meus colegas de classe e com certeza futuros excelentes profissionais.

E finalmente agradeço a Deus, por proporcionar estes agradecimentos a todos que tornaram minha vida mais afetuosa, além de ter me dado uma família maravilhosa e amigos sinceros.

“O pensador questiona a realidade, o sábio compreende.” (Dayvisson Valadão)

RESUMO

Atualmente, o CEFET-MG não possui um software que permite a confecção dos horários acadêmicos (turmas, professores e salas) de forma sistemática. Em várias unidades do interior pode-se observar a metodologia de tentativa/erro, sempre empregada manualmente para a elaboração dos horários acadêmicos. Vale ressaltar que são inúmeras as restrições que tornam esse processo lento, passível de erros e, com isso, faz-se necessária uma série de revisões, motivadas pelo não atendimento de todas as restrições dos envolvidos. Este problema é conhecido na literatura como “Timetable Problem” e existem algumas técnicas que podem ser empregadas na tentativa de solucioná-lo, dentre elas, uma que recebe destaque é a computação evolutiva, baseada em algoritmos genéticos com a aplicação de uma heurística. Neste trabalho é abordado o desenvolvimento um sistema de elaboração de horários acadêmicos para o CEFET-MG, capaz de solucionar o problema eliminando os conflitos dos horários entre professores, alunos, disciplinas e a disponibilidade de recursos (salas, laboratórios específicos e laboratórios de uso geral), além de permitir a configuração dinâmica de preferências de horários.

Palavras-chave: timetable problem. algoritmo genético. horários acadêmicos.

ABSTRACT

Currently, the CEFET-MG has no software that allows build timetables in the systematic way. On many CEFET-MG's campus we can observe the trial-error methodology, always manually applied for the timetable preparation. But there are many restrictions that make this process very slow and prone to errors. This problem is known in literature as Timetable problem and there are some techniques which can be used to solve it, among them one that gets attention is the evolutionary computation, based on genetic algorithms with the application of a heuristic. This work present the system to build timetables for CEFET-MG, able to solve the problem by eliminating conflicts of schedules between teachers, students, courses and the availability of resources (rooms, individual laboratories and general purpose laboratories), and allows dynamic configuration of preference schedules.

Keywords: timetable problem. genetic algorithms. heuristic.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Esquema do ciclo evolutivo de um Algoritmo Genético	6
Figura 2 – Exemplo de cromossomo caixeiro viajante com 5 cidades	8
Figura 3 – Recombinação de um ponto	10
Figura 4 – Mutação de um ponto	10
Figura 5 – Exemplo de representação do cromossomo	15
Figura 6 – Horário do Professor	23
Figura 7 – Disponibilidade do Professor	23
Figura 8 – Disponibilidade do professor com preferências	25
Figura 9 – Disponibilidade padrão 1	26
Figura 10 – Disponibilidade padrão 2	27
Figura 11 – Preferências para turma de período par	28
Figura 12 – Preferências para turma de período ímpar	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados dos testes para a instância 1	24
Tabela 2 – Resultado do teste para a instância 2	25
Tabela 3 – Resultado dos testes para a instância 3	27
Tabela 4 – Resultado dos testes para a instância 4	29

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Exemplo de tabela alvo	17
Quadro 2 – Análise da tabela alvo para a aula A_{p_2, t_{12}, m_2} com contagem linear simples	18
Quadro 3 – Análise da tabela alvo para a aula A_{p_2, t_{12}, m_2} com contagem exponencial.	20

LISTA DE ALGORITMOS

Algoritmo 1 – Algoritmo montagem do quadro de horários	21
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DECOM	Departamento de Computação

LISTA DE SÍMBOLOS

Γ	Letra grega Gama
λ	Comprimento de ondada
\in	Pertence

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa e motivação	2
1.2 Objetivos	3
2 – ESTADO DA ARTE	4
3 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
3.1 Algoritmos Genéticos	6
3.1.1 Representação do cromossomo	7
3.1.2 População inicial	8
3.1.3 Função de avaliação (<i>Fitness</i>)	8
3.1.4 Seleção dos pais	9
3.1.5 Operadores genéticos	9
3.1.5.1 Recombinação	9
3.1.5.2 Mutação	10
3.1.6 Nova população	10
3.2 Problema do quadro de horários	11
3.2.1 Quadro de horários escolar	12
3.2.2 Quadro de horários de curso	13
3.3 Heurística construtiva	13
4 – MÉTODO	14
4.1 Revisão da literatura	14
4.2 Escolha da técnica	14
4.3 Desenvolvimento e adaptação da técnica	14
5 – ESTRUTURAÇÃO DO ALGORITMO	15
5.1 Representação do cromossomo	15
5.2 Operador de recombinação	15
5.3 Operador de mutação	16
5.4 Função de avaliação	16
5.5 Heurística construtiva	16
5.5.1 Tabela alvo	17
5.5.2 Contagem	17
5.5.2.1 Contagem linear simples	18
5.5.2.2 Contagem exponencial	19
5.5.3 Funcionamento	20
5.6 Coleta de dados	21

6 – ANÁLISE DE RESULTADOS	22
6.1 Instância 1	22
6.2 Instância 2	24
6.3 Instância 3	26
6.4 Instância 4	28
7 – CONCLUSÃO	30
7.1 Trabalhos futuros	30
Referências	31
APÊNDICE A – TELAS DE ENTRADA DE DADOS	34
APÊNDICE B – RESULTADOS PARA INSTÂNCIA 4	37

1 INTRODUÇÃO

O problema da elaboração de quadro horários de institucionais, do inglês *timetable problem*, é bastante comum em uma grande variedade de cenários, incluindo instituições de ensino (disposição de horário de aulas e exames), instituições de saúde (disposição de plantão de enfermeiras), transporte (disposição de horários de ônibus) entre outros, como descrito por Basir et al. (2013). Neste trabalho aborda-se exclusivamente o cenário das instituições de ensino, em especial o CEFET-MG Campus Timóteo.

De acordo com Wren (1996), o problema de disposição de horários consiste em alocar certos recursos sujeitos a restrições, em um número limitado de blocos de tempo e espaço, de forma que o quadro de horários resultante atinja o máximo possível dos objetivos propostos. A respeito das restrições Erben e Keppler (1995 apud LUKAS et al., 2009) afirmam que são quase universalmente dispostas em duas categorias: restrições fracas e fortes. Restrições fortes são aquelas que de maneira nenhuma podem ser quebradas em um quadro de horários, por exemplo, um professor não pode lecionar em dois lugares ao mesmo tempo. Restrições fracas são aquelas que podem ser quebradas, mas essas quebras têm de ser minimizadas, como exemplo pode-se citar que é desejável que as aulas de uma turma se concentrem somente em um turno.

A elaboração de quadros horários é uma tarefa essencial para toda instituição de ensino. De acordo com Basir et al. (2013), a disposição efetiva do quadro de horários de uma instituição de ensino é crucial para uma utilização eficiente dos recursos humanos, temporais e espaciais. Basir et al. (2013) também afirma que, “tradicionalmente o problema é resolvido manualmente pelo método de tentativa e erro, onde uma solução válida e eficiente não é garantida”. De fato, por causa de uma única indisponibilidade de um recurso, todo o trabalho já empenhado pode ser afetado, levando até mesmo à reconstrução completa do quadro de horários. Adicionalmente, deve-se levar em consideração que ainda que seja possível satisfazer todas as restrições fortes, indispensáveis para tornar o horário viável, avaliar todas as restrições fracas pode ser uma tarefa extremamente complexa.

Diante da necessidade de otimizar a utilização dos recursos, vários métodos vêm sendo criados ao longo dos anos para auxiliar a construção de um quadro de horários, dentre esses se destaca o uso de ferramentas computacionais, sendo que as primeiras abordagens computacionais foram feitas por Appleby (1961). Werra (1985) e Junginger (1986) fazem uma descrição detalhada dos principais problemas de disposição de horários para instituições de ensino, definindo inclusive modelos matemáticos para as soluções. Nesse contexto, a computação evolutiva vem sendo constantemente utilizada para buscar e otimizar soluções para esse problema, sendo que alguns autores, como Qu et al. (2009), afirmam que não existe um algoritmo determinístico de tempo polinomial capaz de resolver o problema de disposição de horários para uma instituição de ensino. Isto se deve ao fato da grande variedade de restrições e requerimentos particulares de cada instituição, intrínsecos em suas características individuais.

Desta forma, este trabalho busca elencar as principais dificuldades do problema, propor uma solução eficiente para sanar as dificuldades e implementar um sistema de elaboração de quadro de horários para o CEFET-MG, que utiliza uma estratégia de otimização baseada em computação evolutiva, especificamente, um algoritmo genético e uma busca heurística. O algoritmo genético é responsável por determinar a sequência em que as aulas serão dispostas no quadro de horários, enquanto a busca heurística determina em que blocos de espaço e tempo essas aulas serão dispostas. Este método de solução do problema de elaboração de horários baseia-se nos trabalhos de Thanh (2007) e Lukas et al. (2009).

1.1 Justificativa e motivação

O advento da computação proporcionou um grande salto para solucionar os problemas de horários acadêmicos, visto que, na pior das hipóteses, se poderia programar um computador para testar todas as combinações de tabelas de horários possíveis até encontrar uma adequada.

Uma das primeiras abordagens computacionais para o problema de horários escolares foi descrita por Appleby (1961), segundo ele um elaborador poderia levar até 100 horas de trabalho ou mais para construir uma grade de horários, para uma instituição de médio porte, manualmente. Por outro lado, este mesmo elaborador poderia gastar algumas horas inserindo os dados em um computador, que resolveria o problema em cerca de 2 horas.

Dentro da realidade do CEFET-MG, o processo de elaboração dos horários é realizado manualmente com o auxílio de uma planilha eletrônica, que contém aproximadamente 108 páginas, configuradas para detectar colisões de salas e professores, artifício que facilita um pouco o trabalho do elaborador. Entretanto, a dificuldade não se limita ao fator operacional do processo (preenchimento da tabela), mas também em função da logística do processo, visto que dentro da instituição existem vários cursos com suas respectivas coordenações, que compartilham recursos como professores, salas e laboratórios. Devido a isso, o trabalho de elaboração fica concentrado em uma pessoa dentro de cada coordenação, que faz a interlocução com todos os recursos (salas, disponibilidade, etc.) necessários para as alocações, sendo que este processo pode levar vários dias ou até semanas para conseguir uma solução viável e, dentro do possível, otimizada.

Deste modo, tem-se a necessidade bastante clara de um sistema computacional que possa reduzir, principalmente, o tempo de elaboração dos horários institucionais e ao mesmo tempo descentralizar as responsabilidades entre as coordenações e professores. Neste momento, é importante ressaltar que a instituição ainda é relativamente pequena e um iminente crescimento no número de cursos, alunos e professores aumentaria ainda mais a complexidade do problema.

A motivação para desenvolvimento de um sistema próprio, em vez de comprar uma dentre as poucas opções de softwares existentes no mercado, ocorre porque o preço destes

softwares é demasiadamente alto, assim como não atendem completamente a todas as necessidades e por não serem softwares livres. Devido a isso, com o desenvolvimento de um sistema próprio, principalmente com preferências customizáveis, o CEFET-MG passa a ter condições de distribuí-lo gratuitamente para outras instituições públicas de ensino que não tem recursos para esta aquisição, através das diversas parcerias existentes.

1.2 Objetivos

O objetivo desse trabalho é desenvolver um sistema computacional para elaboração dos horários acadêmicos, que satisfaça, inicialmente, a realidade do CEFET-MG Campus Timóteo, proporcionando racionalmente a redução do tempo gasto atualmente com a elaboração dos horários.

Esse sistema deve ser projetado com uso de preferências dinâmicas, permitindo aos elaboradores se adequar às realidades mutáveis do CEFET-MG e ser adaptável para outras instituições de ensino. Adicionalmente, é fundamental que toda a troca de informação (entrada e saída de dados) com o sistema seja feita via web, para descentralizar a coleta dos dados em seus respectivos níveis, assim como para disponibilizar aos atores envolvidos no processo de criação dos horários os resultados finais de maneira prática e rápida.

2 ESTADO DA ARTE

As primeiras pesquisas, dentro do contexto computacional, sobre o problema de disposição de horários começaram a década de 1960 com Appleby (1961) e Gotlieb (1963 apud YANG; JAT, 2011). Desde então várias abordagens foram propostas para solucionar o problema de elaboração de horários, tendo como objetivo obtenção de uma metodologia que tenha tempo reduzido de processamento e apresente um resultado otimizado.

Schaerf e Gaspero (2001) exploraram algumas técnicas de busca local, como Hill Climbing (HC), Simulated Annealing (SA) e a Tabu Search (TS), e concluíram que estes métodos de busca local são capazes de solucionar o problema de elaboração de horários.

Chand (2002) propôs um modelo genérico para representar restrições para o problema, além de um algoritmo heurístico para trabalhar com esse modelo, entretanto, de acordo com Thanh (2007), esse algoritmo raramente satisfaz restrições fracas e é limitado no quesito de aumento de performance.

Resende e Sousa (2004) propuseram uma abordagem híbrida com um algoritmo Greedy Randomized Adaptative Search Procedures (GRASP), utilizado para encontrar uma solução inicial e tentar melhorá-la com uma Tabu Search.

Coloni et al. (1993) implementaram um algoritmo genético que utiliza uma matriz (professores x horários) para representar o quadro de horários, onde cada posição da matriz é um gene, que recebe um caractere de um alfabeto utilizado para representar os eventos (ex., ‘D’ representa preparação de aula, ‘•’ horário indisponível). Neste trabalho foram relatadas as principais dificuldades com o processo evolutivo do algoritmo genético, já que os operadores genéticos geravam soluções inválidas. Então foram propostas as seguintes soluções:

- construir um modelo de cromossomo, ou indivíduo, em que os operadores genéticos possam ser aplicados consistentemente;
- definir operadores genéticos que gere somente indivíduos válidos, ou seja, sem choques nos recursos temporais, espaciais e/ou humanos;
- aplicar os operadores genéticos e depois realizar alguns tipos de reparo genético para corrigir as soluções inválidas.

Coloni et al. (1993) compararam também seu algoritmo genético com várias versões de algoritmos baseados nas técnicas Simulated Annealing e Tabu Search, onde perceberam em seus experimentos que o algoritmo genético produziu quadros de horários melhores que Simulated Annealing e inferiores ao Tabu Search.

Rossi-Doria et al. (2003) compararam várias meta-heurísticas e algoritmos de buscas aplicados ao problema de disposição de horários com pequenos, médios e grandes cenários. Eles concluíram, entre outras coisas, que algoritmos genéticos convencionais não apresentam bons resultados diante das outras abordagens avaliadas.

De acordo com Yang e Jat (2011), algoritmos genéticos devem ser aprimorados para resolverem o problema do quadro de horários com qualidade. Eles propuseram um algoritmo genético aperfeiçoado com duas estratégias de busca: guiada e local. A busca guiada é utilizada para gerar os filhos da população, baseado em estruturas de dados que guardam informação extraídas de bons indivíduos das gerações anteriores. A busca local é utilizada para intensificar o processo de busca e melhorar a qualidade dos indivíduos.

Thanh (2007), por sua vez, propôs um algoritmo genético aliado a uma busca heurística específica para o problema. O algoritmo genético é responsável por buscar a ordem em que as aulas serão dispostas no quadro, resolvendo um problema de permutação, no qual os indivíduos são vetores do tipo inteiro, em que cada inteiro representa o identificador de uma aula. A busca heurística é responsável por dispor as aulas na ordem representada pelo indivíduo no quadro de horários, assim como é responsável pela avaliação do indivíduo. Este método também foi estudado por Lukas et al. (2009).

Uma revisão profunda dos principais métodos e as direções das pesquisas recentes podem ser encontradas em Lewis (2007) e Qu et al. (2009), a partir destes estudos vê-se uma grande variedade de técnicas que abordam o problema, entretanto Qu et al. (2009) afirma que uma das chaves para o sucesso de uma técnica é encontrar o balanço apropriado entre diversificação e intensificação.

Neste trabalho será feita uma adaptação da técnica proposta por Thanh (2007), estudada também por Lukas et al. (2009), aprimorando a busca heurística para uma convergência mais rápida e, também, tratar restrições fortes e fracas, utilizando a função de qualidade do algoritmo genético proposto por Yang e Jat (2011).

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

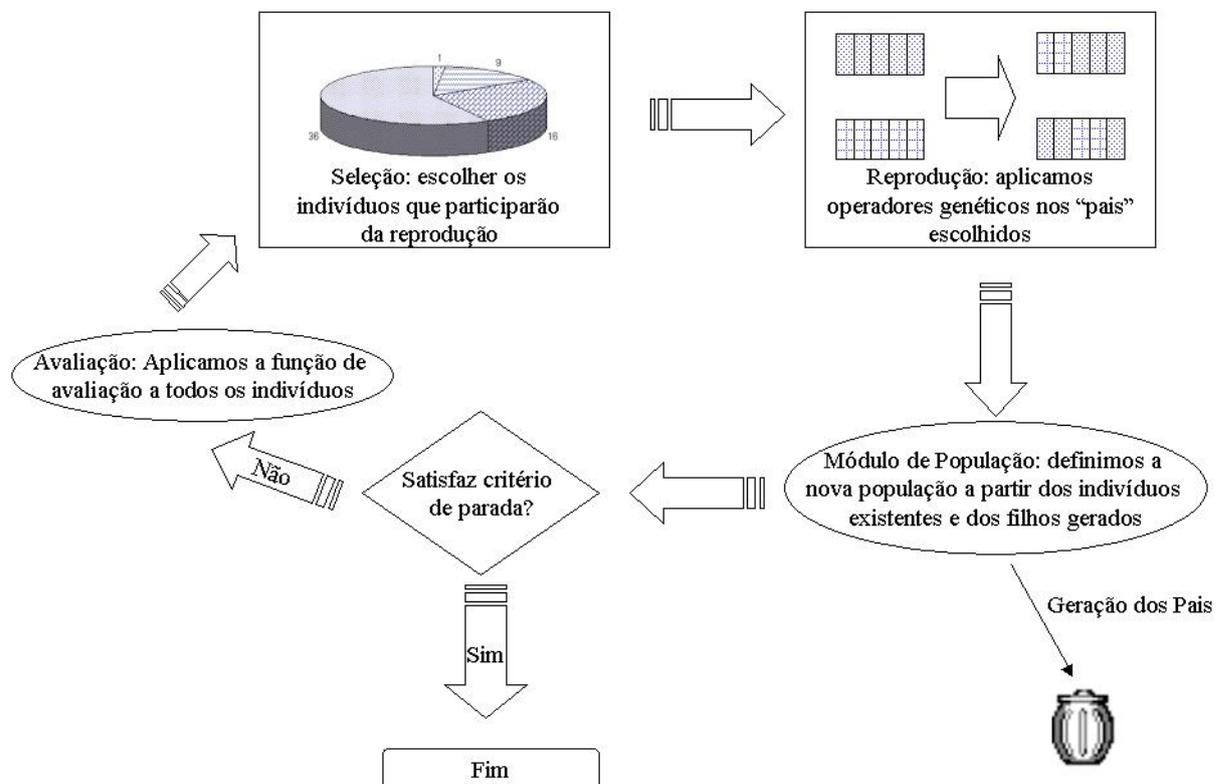
Nesta sessão serão abordados os conceitos fundamentais para a compreensão do método utilizado neste trabalho, onde serão apresentados aspectos gerais sobre algoritmos genéticos, o problema do quadro de horários (*timetable problem*) e heurística construtiva.

3.1 Algoritmos Genéticos

Em seu livro, Liden (2008) apresenta de forma simples e prática os algoritmos genéticos e seus principais desdobramentos. Segundo ele:

"Algoritmos Genéticos (AG) é um dos algoritmos evolucionários e, como tal, podem ser definidos como uma técnica de busca baseada numa metáfora do processo biológico de evolução natural"(LIDEN, 2008). Essa metáfora consiste em uma população de soluções candidatas chamadas de indivíduos ou cromossomos, que são submetidas ao processo de busca ou processo evolutivo, utilizando mecanismos como seleção natural, recombinação e mutação para criar indivíduos melhores a cada geração. Este ciclo evolutivo pode ser observado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema do ciclo evolutivo de um Algoritmo Genético



Fonte: Liden (2008).

De maneira geral, de acordo com Liden (2008), o funcionamento de um algoritmo genético segue os seguintes passos:

- a) inicializa-se a população de cromossomos;
- b) avalia-se cada cromossomo da população;
- c) seleciona-se os pais para gerar novos cromossomos;
- d) aplica-se os operadores de recombinação e mutação a estes pais, para gerar os indivíduos da nova geração;
- e) avalia-se os novos indivíduos;
- f) define-se uma nova população dos indivíduos existentes e dos novos indivíduos gerados;
- g) se o tempo acabou ou o melhor cromossomo satisfaz os requerimentos do problema, retorne. Caso contrário volte para o passo c).

3.1.1 Representação do cromossomo

Um indivíduo, também conhecido como cromossomo, é uma solução candidata do problema. Assim como na genética natural, cada parte do cromossomo é chamado de gene. A modelagem adequada deste cromossomo, de acordo com Liden (2008), é fundamental para o bom funcionamento do algoritmo genético, pois a representação é a maneira de traduzir a informação do problema para, posteriormente, ser tratado pelo computador. Vale ressaltar que quanto mais adequada ela for para o problema, maior a qualidade dos resultados obtidos.

Dado o impacto que a representação do cromossomo tem na qualidade do algoritmo genético, Liden (2008) propõem algumas regras gerais para melhorar os resultados, sendo:

- a representação deve ser a mais simples possível;
- se houver soluções proibidas, estas não devem ser representadas;
- se o problema impuser restrições de qualquer natureza, estas devem estar implícitas dentro da representação.

Uma representação comumente utilizada e aplicável em uma grande variedade de problemas é a representação binária, adotada inicialmente por Holland (1975 apud LIDEN, 2008). Neste caso, o cromossomo é uma cadeia binária, onde cada gene poderá assumir valores 0 ou 1.

Muitos problemas consistem em encontrar a ordem ótima para algum processo. É o caso do caixeiro viajante (*traveling salesman*), descrito por Reinelt (1991), onde o que se busca é a ordem em que se deve viajar pelas cidades para obter um custo mínimo.

Uma possível representação para este tipo de problema considera o indivíduo como uma lista ordenada, onde cada gene identifica a cidade em sua respectiva ordem. A Figura 2 representa um exemplo de cromossomo para o problema do caixeiro viajante.

Figura 2 – Exemplo de cromossomo caixeiro viajante com 5 cidades

1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a
Cidade 5	Cidade 2	Cidade 1	Cidade 3	Cidade 4

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste caso, a busca transforma-se num problema de permutação. Entretanto, algumas restrições são evidentes, como por exemplo:

- o cromossomo é válido quando todos os elementos estão dispostos;
- o cromossomo é válido se todos os elementos estão dispostos somente uma vez.

3.1.2 População inicial

A população é um conjunto de cromossomos sujeito ao processo evolutivo. Essa população evolui naturalmente durante o processo, entretanto é necessário pensar uma estratégia para criar a população que dará início à evolução.

É interessante que os indivíduos da população inicial estejam uniformemente distribuídos por todo espaço de busca, para que se tenha variedade genética. Porém essa não é uma tarefa trivial, visto que em muitos casos não se conhece a distribuição do espaço de busca ou o mesmo é grande demais para que possa ser ocupado.

De acordo com Liden (2008), esse problema pode ser ignorado, pois a lei das probabilidades sugere que ao se escolher aleatoriamente os indivíduos da população inicial, há uma grande chance de cobrir uniformemente todo o espaço de busca. Definitivamente, essa é uma das técnicas mais utilizadas para inicialização da população.

3.1.3 Função de avaliação (Fitness)

A função de avaliação é o que diferencia e classifica os indivíduos quantitativamente. Liden (2008) a definiu como "a maneira utilizada pelos algoritmos genéticos para determinar a qualidade de um indivíduo como solução do problema em questão". Ele também menciona os pontos que devem ser levados em conta no momento da modelagem de uma função de avaliação, sendo:

- a função de avaliação deve embutir todo o conhecimento que se possui do problema a ser resolvido, tanto suas restrições quanto seus objetivos de qualidade;

- a função de avaliação deve ser tal que se o cromossomo $C1$ representa uma solução melhor que o cromossomo $C2$, então a avaliação de $C1$ deve ser melhor que a avaliação de $C2$;
- a função de avaliação deve diferenciar entre duas soluções subótimas, deixando claro qual está mais próxima da solução procurada.

3.1.4 Seleção dos pais

A seleção dos pais é o processo de escolha dos indivíduos que serão utilizados para gerar a próxima geração. De acordo com Lucas (2002), esta seleção é responsável pela perpetuação de boas características na espécie.

Liden (2008) propõem que "o método de seleção de pais deve simular o mecanismo de seleção natural que atua sobre as espécies biológicas, em que os pais mais capazes geram mais filhos, ao mesmo tempo em que os pais menos aptos também podem gerar descendentes".

Essa abertura para os indivíduos menos aptos se reproduzirem é razoável porque, de acordo com Liden (2008), se somente os melhores indivíduos forem escolhidos, pode ocorrer dos indivíduos ficarem mais parecidos a cada geração. Este efeito é chamado de convergência genética, que deve ser evitada, pois pode significar estagnação em um ótimo local do espaço de busca.

O método que aproxima as características necessárias para o operador de seleção de pais chama-se método da roleta viciada, que consiste em distribuir probabilidades para os indivíduos, proporcionalmente à sua função de avaliação, ou seja, quanto melhor o indivíduo maior a chance deste ser escolhido pela roleta, como descrito por Liden (2008). Após a distribuição das probabilidades, lança-se os números aleatórios para selecionar os indivíduos.

3.1.5 Operadores genéticos

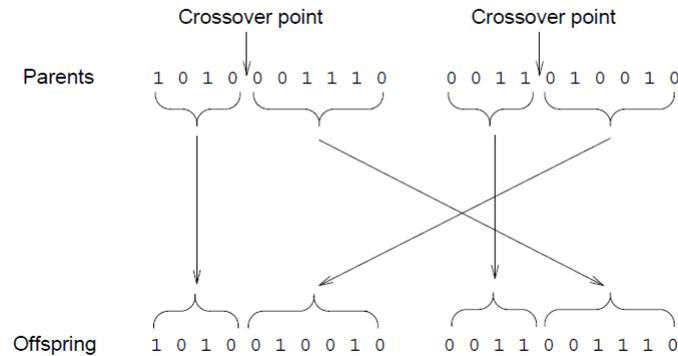
Os operadores genéticos são os meios de criação das futuras gerações e estão diretamente ligados com a exploração ou intensificação do processo de busca. Segundo DE LACERDA e Carvalho (1999), eles são mecanismos de busca dos algoritmos genéticos para explorar regiões desconhecidas do espaço de busca.

3.1.5.1 Recombinação

Através de uma recombinação dos pais (*crossover*), definida por este operador, são gerados os filhos. Em um exemplo clássico deste operador, deve-se definir aleatoriamente um ponto de corte dos pais, dividindo assim o primeiro pai $P1$ em duas partes $P1a$ e $P1b$, bem como o segundo pai $P2$ em $P2a$ e $P2b$. Assim, o primeiro filho é resultante da união

de $P1a$ com $P2b$ e o segundo filho $P2a$ com $P1b$, como descrito por Beasley et al. (1994). A Figura 3 ilustra o processo de recombinação.

Figura 3 – Recombinação de um ponto

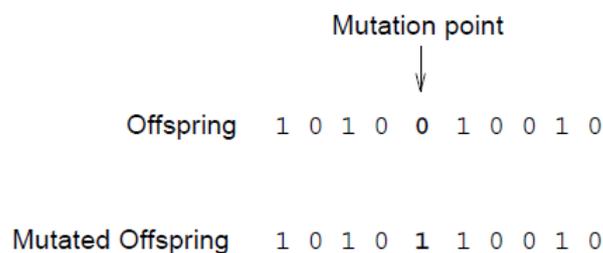


Fonte: Beasley et al. (1994).

3.1.5.2 Mutação

A muta o trata-se de uma leve altera o genética em um dos genes, de acordo com Beasley et al. (1994), e pode ocorrer logo após a recombina o. Em um exemplo clássico deste operador, como ilustrado na Figura 4, escolhe-se aleatoriamente um ponto de muta o e faz-se a altera o no valor do gene escolhido.

Figura 4 – Muta o de um ponto



Fonte: Beasley et al. (1994).

3.1.6 Nova popula o

Neste ponto, deve-se escolher os indivíduos que passarão para a próxima gera o. Existem várias técnicas para realizar esse processo, que podem ser classificadas em mais ou menos elitistas, de acordo com Liden (2008).

As técnicas mais elitistas consistem em selecionar os melhores indivíduos entre

a população atual e novos indivíduos gerados pelos operadores genéticos. Essa técnica intensifica o processo de busca.

Já as técnicas menos elitistas não levam em consideração exclusivamente a avaliação do indivíduo, mas também possuem um pouco de aleatoriedade. Isso permite que, eventualmente, indivíduos pouco qualificados passem para as próximas gerações, promovendo mais exploração do espaço de busca.

3.2 Problema do quadro de horários

De acordo com Wren (1996), o problema de disposição de horários consiste em alocar certos recursos sujeitos a restrições, em um número limitado de blocos de tempo e espaço, de forma que o quadro de horários resultante atinja o máximo possível dos objetivos propostos. Para o cenário educacional é importante considerar os seguintes conceitos:

- Professor: é o recurso humano do problema, responsáveis por lecionar as aulas. Alguns professores possuem restrições de horários durante a semana;
- Sala: é o recurso espacial do problema, são os locais onde acontecem as aulas. As salas se dividem entre salas comuns, laboratórios, auditório, entre outras;
- Horário: é o recurso temporal do problema, usualmente são intervalos de tempo de 50 minutos;
- Bloco de horários: é comum que as aulas tenham que ocupar mais de um horário consecutivo, à esse conjunto dá-se o nome de bloco de horários;
- Disciplina: é o assunto que será lecionado pelo professor em determinada aula;
- Grupo de alunos ou turmas: são conjuntos de alunos agrupados para receber uma aula. Observa-se que esse conceito tem diferentes abordagens nas subseções 3.2.1 e 3.2.2. Em determinadas disciplinas, como as que utilizam laboratórios pequenos, o grupo de alunos pode ser dividido em duas subturmas;
- Aula: é o objeto que deve ser disposto no tempo e no espaço. Formado por um professor, um grupo de alunos e uma disciplina. Cada aula tem um número definido de ocorrências semanais, sendo que este valor representa quantas vezes esta aula deve aparecer no quadro de horários.

Dentro da literatura, o problema de quadro de horários pode ser dividido em duas categorias: quadro de horário de curso (*course timetable*) e quadro de horários escolar (*school timetable*), de acordo com os estudos de Lobo (2005).

3.2.1 Quadro de horários escolar

Este modelo é comumente observado nas escolas de nível fundamental e médio no Brasil. É também utilizado no nível técnico do CEFET-MG.

Neste modelo, uma turma é um conjunto de alunos que seguem o mesmo programa de disciplinas, ou seja, todos os alunos vinculados à essa turma cursam durante o período letivo exatamente o mesmo conjunto de disciplinas.

Junginger (1986 apud LOBO, 2005) fez uma formulação matemática para este problema, considerando restrições de indisponibilidade de horários para os professores e horários prefixados.

Encontrar

$$X_{ijk} \quad (i = 1 \dots t; \quad j = 1 \dots p; \quad k = 1 \dots h)$$

Sujeito a

$$\sum_{k=1}^h X_{ijk} = r_{ij} \quad (i = 1 \dots t; \quad j = 1 \dots p) \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^p X_{ijk} \leq t_{jk} \quad (i = 1 \dots t; \quad k = 1 \dots h) \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^p X_{ijk} \leq p_{jk} \quad (j = 1 \dots p; \quad k = 1 \dots h) \quad (3)$$

$$X_{ijk} \geq A_{ijk} \quad (i = 1 \dots t; \quad j = 1 \dots p; \quad k = 1 \dots h) \quad (4)$$

$$X_{ijk} = 0 \quad \text{ou} \quad X_{ijk} = 1 \quad (i = 1 \dots t; \quad j = 1 \dots p; \quad k = 1 \dots h) \quad (5)$$

Onde:

- $X_{ijk} = 1$, se a turma i tem aula com o professor j no horário k e $X_{ijk} = 0$ em caso contrário.
- $t_{jk} = 1$, se a turma i está disponível no horário k e $t_{jk} = 0$ em caso contrário.
- $p_{jk} = 1$, se o professor j está disponível no horário k e $p_{jk} = 0$ em caso contrário.
- $A_{ijk} = 1$, se está prefixado que a turma i deve ter aula com o professor j no horário k e $A_{ijk} = 0$ em caso contrário.

Para torná-lo um problema de otimização, Junginger (1986 apud LOBO, 2005) propôs acrescentar ao modelo a função objetivo apresentada na Equação (6).

$$\min \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^p \sum_{k=1}^h d_{ijk} * X_{ijk} \quad (6)$$

Onde d_{ijk} é um valor relacionado com o fato da turma i estar sendo lecionada pelo professor j no horário k . Este valor é inversamente proporcional ao desejo de que isso aconteça, ou seja, é um mecanismo de penalização.

3.2.2 *Quadro de horários de curso*

Este modelo é observado, principalmente, nas instituições de ensino superior, sendo o mesmo utilizado nos cursos de graduação do CEFET-MG.

A principal diferença desse modelo para o modelo anterior é que não existe o conceito de turma. Neste caso, o estudante tem que cumprir um conjunto de disciplinas para completar o curso, entretanto a ordem ou o modo como ele vai cumprir essas disciplinas varia de aluno para aluno. Assim, o problema consiste em distribuir as disciplinas e seus respectivos professores na grade de horários.

As disciplinas estão geralmente agrupadas por períodos. É interessante que as disciplinas de um mesmo período não se choquem, assim como, é desejável também que as disciplinas de períodos consecutivos não se choquem, para não impedir o progresso dos estudantes.

3.3 Heurística construtiva

Heurísticas construtivas são procedimentos que constroem uma solução a partir de uma ou mais regras específicas para um dado problema de otimização. Os métodos construtivos, geralmente, são rápidos e os resultados obtidos através deles podem ser utilizados como ponto de partida para algoritmos de melhoria e/ou meta-heurísticas (ARROYO, 2002).

Em geral, as heurísticas são algoritmos que tentam aproximar-se de uma solução ótima em um determinado problema. De acordo com (DIAZ, 1996 apud CORDENONSI, 2008) existem alguns fatores que tornam interessante a utilização de uma heurística, onde se destaca:

- quando não existe um método exato para a resolução deste problema ou o mesmo requer um tempo muito alto de processamento. Neste caso, oferecer uma solução boa é melhor do que não ter nenhuma solução;
- quando não é necessária a solução ótima, pois as soluções obtidas já são razoáveis;
- quando os dados são pouco confiáveis. Neste caso, a busca pela solução ótima não tem sentido, pois a mesma será uma aproximação da realidade;
- quando limitações de tempo e/ou dinheiro obriguem a utilização de métodos de resposta rápida;
- como passos intermediários de outros algoritmos, potencialmente exatos ou heurísticos.

4 MÉTODO

O método utilizado neste trabalho consiste em três etapas, sendo elas: revisão de literatura, escolha da técnica, desenvolvimento e adaptação da técnica para o cenário do CEFET-MG Campus Timóteo.

4.1 Revisão da literatura

A revisão literária começou em avaliar o trabalho de Oliveira (2013) e seguiu por pesquisar em vários repositórios científicos, tais como: IEEEExplorer, Springer, Research Gate, Oxford Journals, Biblioteca Digital da Unicamp e CiteSeerX.

Os termos de pesquisa foram basicamente: *timetable problem*, *genetic algorithm timetable problem* e *university timetable*

4.2 Escolha da técnica

A partir da análise de um conjunto de trabalhos foi escolhida a técnica proposta nos trabalhos de Thanh (2007) e Lukas et al. (2009), que consiste em aplicar um algoritmo genético para buscar a ordem em que as aulas deverão ser dispostas no quadro de horários, enquanto uma heurística construtiva se encarregará em dispor adequadamente essas aulas. Esta técnica se destacou pela simplicidade do algoritmo genético e a possibilidade de melhorar a heurística construtiva, para adaptá-la para o cenário do CEFET-MG Campus Timóteo.

4.3 Desenvolvimento e adaptação da técnica

Uma vez definida a técnica baseada no trabalho de Thanh (2007) e Lukas et al. (2009), o desenvolvimento se deu por etapas, sendo:

- primeiramente desenvolveu-se um algoritmo capaz de organizar o quadro de horário escolar (Subseção 3.2.1), que resolveria o problema para os cursos de nível técnico do CEFET-MG Campus Timóteo. Nesta etapa ainda não se levava em conta nenhuma preferência de horário;
- posteriormente a heurística construtiva foi adaptada para considerar os horários preferenciais dos professores, bem como as preferências e disponibilidades de salas, turmas e aulas.
- o último passo foi evoluir o algoritmo para torná-lo capaz de organizar simultaneamente quadros de horários escolares (Subseção 3.2.1) e quadro de horários de curso (Subseção 3.2.2).

5 ESTRUTURAÇÃO DO ALGORITMO

De acordo com a abordagem proposta por este trabalho, um algoritmo genético será utilizado para resolver um problema de permutação ou de ordem, similar ao aplicado no problema do caixeiro viajante, estudado por Chatterjee et al. (1996).

5.1 Representação do cromossomo

O indivíduo representa a ordem em que as aulas serão alocadas no quadro de horários e consiste em uma lista em que cada posição da lista, ou gene, é uma aula.

Entretanto, para a realidade do CEFET-MG Campus Timóteo, onde as aulas, sempre que possível, são dispostas de forma geminada, isto é, duas aulas consecutivas, cada gene além de identificar uma aula, guarda também a informação de quantas devem ser dispostas consecutivamente.

Para os casos onde uma disciplina tem um número ímpar de aulas semanais, pode-se aparecer genes com 1 ou 3 aulas. Para as aulas de laboratório com turmas divididas, aparecem genes com 4 aulas, que são na verdade 2 aulas para cada subturma. É apresentado na Figura 5 um exemplo de representação do cromossomo.

Figura 5 – Exemplo de representação do cromossomo

MAT	PORT	CALC 1	LLP	BD
JULIO	JOSY	JOAO	LUCIANO		DOUGLAS
INF1	INF2	ENG1	INF1-T1		INF3
2 aulas	1 aulas	2 aulas	2 aulas		1 aulas
1º	2º	3º	4º		nº

Fonte: Elaborada pelo autor.

5.2 Operador de recombinação

Tratando-se de um problema baseado em ordem, o operador de recombinação de um ponto apresentado na Subseção 3.1.5 não seria apropriado, visto que ele pode gerar indivíduos inválidos, isto é, com genes repetidos ou ausentes.

Deste modo, a alternativa adotada foi o operador de recombinação *Partially Matched Crossover* (PMX), pois, de acordo com ((GOLDBERG; LINGLE, 1985 apud Kumara Sastry, David Goldberg, 2014), além de sempre gerar filhos válidos, também preserva a ordem dos pais dentro do indivíduo gerado.

5.3 Operador de mutação

São utilizados vários operadores de mutação sobre os indivíduos, com o objetivo de intensificar a exploração do espaço de busca. São eles:

- mutação em um ponto, como descrito na Subseção 3.1.5.2, também em 5 e em 20 pontos;
- mutação que coloca todas as aulas que não puderam ser alocadas no princípio do cromossomo;
- mutação que coloca as aulas que não puderam ser alocadas em posições aleatórias anteriores às delas;
- mutação que coloca a primeira aula que não pode ser alocada em uma posição aleatória anterior à dela.

5.4 Função de avaliação

A função de avaliação a ser maximizada é baseada na proposta do trabalho de Yang e Jat (2011), representada pela Equação (7).

$$Q_i = (A - C_i) * P + (R_i) \quad (7)$$

Onde:

- Q_i é a qualidade do indivíduo i ;
- A é o número de genes a serem dispostos;
- C_i é o número de genes do indivíduo i que não puderam ser dispostos por quebrar alguma restrição forte. C_i também é chamado de número de choques;
- P é o número de preferências ou restrições fracas do cenário;
- R_i é o número de preferências ou restrições fracas que foram cumpridas.

5.5 Heurística construtiva

Uma heurística construtiva é aplicada para dispor as aulas na ordem proposta pelo cromossomo. Essa heurística é baseada na proposta de Thanh (2007), com algumas significativas melhorias para resolver uma maior classe de problemas.

5.5.1 Tabela alvo

A estratégia heurística trabalha em cima de uma tabela de duas dimensões, onde cada posição deve estar preenchida com um caractere que define a relação de uma aula com o *slot* de espaço-tempo, sendo: I (indisponível), D (disponível), P (preferencial) e U (utilizado). No Quadro 1 está um exemplo de um cenário fictício com a seguinte estrutura:

- as colunas são aulas ($A_{p_i t_j m_k}$), que representa o professor p_i lecionando a disciplina m_j para o grupo de alunos t_k , descritas na Seção 3.2;
- as linhas são *slots* ($S_{s_x d_y h_z}$), que representa a sala s_x , no dia d_y , na hora h_z ;
- a linha T representa o total de horas que ainda falta para determinada aula. Sabe-se que cada aula tem um número determinado de ocorrências semanais;
- a linha D representa o total de horas livres (inclui disponíveis e preferenciais) para uma determinada aula.

Quadro 1 – Exemplo de tabela alvo

	A_{p_1, t_{15}, m_8}	A_{p_{14}, t_5, m_8}	$A_{p_7, t_3, m_{12}}$...	A_{p_4, t_8, m_7}
S_{s_1, d_1, h_1}	I	I	P	...	D
S_{s_1, d_1, h_2}	D	D	P	...	I
S_{s_1, d_1, h_3}	I	D	I	...	D
S_{s_1, d_1, h_4}	I	I	U	...	I
S_{s_1, d_1, h_5}	I	I	U	...	I
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
$S_{s_8, d_5, h_{17}}$	I	I	I	...	P
T	1	2	0	...	1
D	1	2	2	...	3

Fonte: Elaborada pelo autor.

Neste exemplo a aula A_{p_1, t_{15}, m_8} está indisponível no *slot* S_{s_1, d_1, h_1} , isso quer dizer que o professor p_1 lecionando para o grupo de alunos t_{15} a disciplina m_8 não pode ocupar a sala s_1 no dia d_1 no horário h_1 . Observa-se que a aula $A_{p_7, t_3, m_{12}}$ está utilizando os *slots* S_{s_1, d_1, h_4} e S_{s_1, d_1, h_5} , dessa forma, esses *slots* se tornam indisponíveis para todas as outras aulas, pois duas aulas diferentes não podem ocupar a mesma sala ao mesmo tempo.

5.5.2 Contagem

Sabe-se que ao utilizar uma aula em um *slot*, este se torna indisponível para todas as outras aulas. Também todas as aulas que possuem o professor e a turma utilizados tornam-se indisponíveis para aquele dia e hora, ainda que seja em outras salas. Dessa

forma o melhor *slot* a ser escolhido para determinada aula, de acordo com Thanh (2007), é aquele que afeta menos afeta as outras aulas. Entretanto a contagem de Thanh (2007) é linear simples.

5.5.2.1 Contagem linear simples

Para encontrar o *slot* que menos afeta as outras aulas, ou que provoca menos interferências, dada a aula a ser disposta, faz-se:

- a) encontrar os *slots* em que determinada aula pode ser disposta, isso inclui os slots com valor P e D para aquela aula e, para cada linha, deve-se:
 - contar o número de colunas, exceto a da aula escolhida, que possui valores P ou D;
 - contar todas as outras linhas, com mesmo dia e horário, que possuam slots P(Preferencial) e D(Disponível) em aulas com mesmo professor ou grupo de alunos da aula determinada.
- b) escolher o slot com a menor contagem de interferências.

O Quadro 2 ilustra o exemplo de aplicação da contagem linear.

Quadro 2 – Análise da tabela alvo para a aula A_{p_2,t_{12},m_2} com contagem linear simples

	$A_{p_1,t_{10},m_{10}}$	A_{p_2,t_{12},m_2}	$A_{p_3,t_{23},m_{13}}$	A_{p_2,t_4,m_7}	Interferências
S_{s_1,d_1,h_1}	D	D	I	I	1
S_{s_1,d_1,h_2}	D	D	I	I	1
S_{s_1,d_1,h_3}	I	D	D	I	2
S_{s_1,d_1,h_4}	I	D	D	I	2
S_{s_1,d_1,h_5}	I	D	D	I	1
S_{s_1,d_1,h_6}	I	D	D	I	1
S_{s_2,d_1,h_1}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_2}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_3}	I	I	I	D	-
S_{s_2,d_1,h_4}	I	I	I	D	-
S_{s_2,d_1,h_5}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_6}	I	I	I	I	-
T	2	2	2	2	
D	2	6	4	2	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que apesar da escolha do *slot* S_{s_1,d_1,h_3} apresentar apenas uma interferência na linha, o professor p_2 poderia também estar também na aula A_{p_2,t_4,m_7} , mas em salas diferentes, portanto, contabiliza-se 2 interferências.

Entretanto a contagem proposta por Thanh (2007) possui alguns problemas. Na Quadro 2 percebe-se que os *slots* S_{s_1,d_1,h_1} , S_{s_1,d_1,h_2} , S_{s_1,d_1,h_5} , S_{s_1,d_1,h_6} , ficaram empatados com apenas 1 interferência, logo qualquer um deles poderia ser escolhido para a aula A_{p_2,t_{12},m_2} .

Porém caso fossem escolhidos os *slots* S_{s_1,d_1,h_1} , S_{s_1,d_1,h_2} , a aula $A_{p_1,t_{10},m_{10}}$ ficaria sem opções para ser disposta na tabela. Para resolver este problema na contagem este trabalho propõem um método de contagem baseado em uma função exponencial.

5.5.2.2 Contagem exponencial

Essa contagem busca quantificar a importância de um *slot* para a aula afetada. Dessa forma, busca-se não o *slot* que interfira em menor quantidade aulas, mas aquele cuja interferência tenha menor importância.

É fácil notar que na Quadro 2 os *slots* S_{s_1,d_1,h_1} e S_{s_1,d_1,h_2} são extremamente importantes para a aula $A_{p_1,t_{10},m_{10}}$, pois esta precisa de 2 *slots* e só possui 2 disponíveis.

Para calcular o grau de importância de um *slot*, para determinada aula, define-se a Equação (8).

$$I(S, A) = K^{-(D_A-1)} \quad (8)$$

Onde:

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

Dessa forma, para encontrar o *slot* cuja interferência tenha menor importância, para a aula a ser disposta, faz-se:

- a) Encontrar os *slots* em que determinada aula pode ser disposta, isso inclui os *slots* com valor P e D para aquela aula e, para cada linha, deve-se:
 - calcular e somar as importâncias de cada coluna, exceto a da aula escolhida, que possui valores P ou D;
 - calcular e somar as importâncias todas as outras linhas, com mesmo dia e horário, que possuam *slots* P e D em aulas com mesmo professor ou grupo de alunos da aula determinada.
- b) escolher o *slot* com o menor valor de interferência.

Os novos cálculos podem ser observados no Quadro 3, para $K = 10$.

Quadro 3 – Análise da tabela alvo para a aula A_{p_2,t_{12},m_2} com contagem exponencial.

	$A_{p_1,t_{10},m_{10}}$	A_{p_2,t_{12},m_2}	$A_{p_3,t_{23},m_{13}}$	A_{p_2,t_4,m_7}	Interferências
S_{s_1,d_1,h_1}	D	D	I	I	0.1
S_{s_1,d_1,h_2}	D	D	I	I	0.1
S_{s_1,d_1,h_3}	I	D	D	I	0.101
S_{s_1,d_1,h_4}	I	D	D	I	0.101
S_{s_1,d_1,h_5}	I	D	D	I	0.001
S_{s_1,d_1,h_6}	I	D	D	I	0.001
S_{s_2,d_1,h_1}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_2}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_3}	I	I	I	D	-
S_{s_2,d_1,h_4}	I	I	I	D	-
S_{s_2,d_1,h_5}	I	I	I	I	-
S_{s_2,d_1,h_6}	I	I	I	I	-
T	2	2	2	2	
D	2	6	4	2	

Fonte: Elaborada pelo autor.

Observa-se que, deste modo, o slot menos importante para as outras aulas seria escolhido para a aula A_{p_2,t_{12},m_2} , evitando possíveis bloqueios como era passível de acontecer no exemplo da Quadro 2 com a contagem linear simples.

5.5.3 Funcionamento

Para cada gene na ordem definida pelo cromossomo, deve-se encontrar os melhores slots a serem utilizados pela aula deste gene. O melhor slot é aquele que possui o menor valor na contagem exponencial, explicado na Subseção 5.5.2.2. Entretanto, a interferência é calculada apenas com as aulas dos genes que ainda não foram dispostos. O Algoritmo 1 descreve o funcionamento da heurística construtiva de montagem do quadro de horários.

Algoritmo 1: Algoritmo montagem do quadro de horários

Input: o cromossomo G , a tabela alvo T
Output: a tabela alvo T com os slots utilizados, o numero C de violações de restrições fortes, e o numero P de restrições fracas satisfeitas

```

 $C \leftarrow 0$  for  $g \in genes(G)$  do
   $a \leftarrow aula(g)$ 
   $qtd \leftarrow qtdAulasConsecutivas(g)$ 
  for  $q \in (1 \dots qtd)$  do
     $s \leftarrow menorContagemExponencial(T)$ 
    if encontrou  $s$  then
       $T(s, a) \leftarrow U$ 
    end
    else
       $C \leftarrow C + 1$ 
    end
  end
end

```

5.6 Coleta de dados

Os dados são coletados através de uma plataforma web, preparada para descentralizar o trabalho de inserção de dados. Alguns exemplos de telas podem ser encontrados no Apêndice A.

O coordenador de cada curso pode definir os grupos de alunos, as disciplinas e professores de seu respectivo curso, assim como o modo que eles se relacionam, ou seja, qual professor lecionará qual disciplina para qual grupo de alunos. Neste momento o coordenador deve informar também quais salas poder ser ocupadas por essas aulas. O professor é responsável por definir seus horários disponíveis e preferenciais dentro da semana.

6 ANÁLISE DE RESULTADOS

Após a devida estruturação do algoritmo, conforme detalhado no Capítulo 5, passou-se para a fase de validação experimental. Foram criadas quatro instâncias do problema para efeito de testes, todas baseadas nos cursos oferecidos pelo CEFET-MG Campus Timóteo, no segundo semestre letivo de 2014. O cenário é formado por:

- 4 cursos, sendo eles: Informática, Edificações e Química, de nível técnico integrado e um curso superior de Engenharia de Computação;
- 19 turmas, sendo 9 dos cursos técnicos e 10 do curso superior;
- 62 professores;
- 156 disciplinas;
- 27 salas;
- 203 aulas.

Os testes foram executados com 100 indivíduos na população do algoritmo genético, o número de gerações limite foi 300 e a taxa de mutação utilizada foi 100%, para intensificar a exploração do espaço de busca. Todos os resultados foram extraídos de execuções consecutivas. O computador utilizado para a execução possui as seguintes configurações:

- processador Intel(R) Core i7-3610QM 2.3GHz;
- 8GB de memória RAM;
- sistema operacional Windows 8.1 64bits.

6.1 Instância 1

A primeira instância busca avaliar a capacidade do algoritmo de encontrar soluções específicas para o problema. O processo evolutivo, como apresentado no Capítulo 5, busca definir a ordem em que as aulas devem ser dispostas, para tornar possível a construção do quadro de horários. As soluções para esta instância são apenas algumas poucas ordens dentro do espaço de busca e, por isso, representa um dos piores casos de aplicação do algoritmo.

O pior caso solucionável para este problema consiste em um cenário onde a quantidade de horários disponíveis é exatamente igual a quantidade de aulas a serem dispostas. Para construir este cenário foi utilizado como base o horário vigente no segundo semestre letivo de 2014. Deste modo, a disponibilidade dos professores foi definida apenas nos horários em que eles realmente lecionam, não levando em conta nenhum tipo de preferência de horário. A Figura 6 ilustra o horário vigente de um professor no segundo semestre letivo de 2014 e a Figura 7 demonstra como foi definida a sua disponibilidade.

Figura 6 – Horário do Professor

CEFET-MG Campus Timóteo

	Horário	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
1	07h00 – 07h50	RC1 (EC6) - S108			RC1 (EC6) - S108	
2	07h50 – 08h40	RC1 (EC6) - S108			RC1 (EC6) - S108	
3	08h40 – 09h30					LRC1 (EC6) - S114
	09h30 – 09h45					
4	09h45 – 10h35					LRC1 (EC6) - S114
5	10h35 – 11h25				Redes2 (opt.) (EC8) - S109	Redes2 (opt.) (EC8) - S109
6	11h25 – 12h15				Redes2 (opt.) (EC8) - S109	Redes2 (opt.) (EC8) - S109

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 7 – Disponibilidade do Professor

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	Disponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Indisponível
07h50 - 08h40	Disponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Indisponível
08h40 - 09h30	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível
09h45 - 10h35	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível
10h35 - 11h25	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Disponível
11h25 - 12h15	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	Disponível

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram executadas 8 baterias de teste para esta instância, com o objetivo de comparar o tempo de execução e número de gerações necessárias para solucionar o problema. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Resultados dos testes para a instância 1

Teste	Gerações	Tempo(h:m:s)	Resolveu	Choques
1	253	01:01:04	Sim	0
2	239	00:54:54	Sim	0
3	261	00:55:37	Sim	0
4	286	01:01:01	Sim	0
5	79	00:27:20	Sim	0
6	300	01:35:27	Não	1
7	291	02:07:03	Sim	0
8	300	01:12:59	Não	1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Pode se observar na Tabela 1 que os testes 6 e 8 não apresentaram uma solução viável em 300 gerações. Isso se deve ao fato de que essa instância, como proposto, possui poucas ordens que a solucionam e, levando em conta que o espaço de busca é composto por aproximadamente 6.032×10^{589} ordens ou soluções candidatas, é razoável que a busca gaste mais de 300 gerações para encontrar uma solução válida.

Por outro lado, o teste 5 foi resolvido em apenas 79 gerações, provavelmente, porque a aleatoriedade do processo evolutivo acabou por convergir para uma área promissora do espaço de busca nas primeiras gerações. No geral, o algoritmo resolveu esta instância em média com 250 gerações.

O tempo médio de execução foi de 1 hora e 10 minutos, entretanto, para este cenário não cabe uma análise de tempo, já que a carga do sistema é proporcional à quantidade de horários disponíveis e os horários disponíveis são os mínimos possíveis.

6.2 Instância 2

Esta instância foi construída para avaliar a convergência do algoritmo desenvolvido para a resolução das preferências dos professores. Para construir este cenário foi utilizado como base o horário vigente no segundo período letivo de 2014, deste modo, a disponibilidade dos professores foi definida como preferencial nos horários em que eles lecionam e disponível em todos os outros horários. A Figura 6 ilustra o horário vigente de um professor no segundo semestre letivo de 2014 e a Figura 8 demonstra como foi definida a sua disponibilidade.

Figura 8 – Disponibilidade do professor com preferências

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

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foi executado um teste para esta instância e foi possível observar a carga máxima do algoritmo para o turno diurno, já que todas os horários estão disponíveis para os professores e todas as aulas são para turmas do diurno. Como observado, anteriormente a carga do algoritmo é diretamente proporcional ao número de horários disponíveis, deste modo o algoritmo foi executado com o máximo de horários disponíveis possível.

Tabela 2 – Resultado do teste para a instância 2

Gerações	Tempo(h:m:s)	Resolveu	Preferências	Ger. estab.	Tempo estab.(h:m:s)
300	16:29:30	Sim	93,6%	88	04:50:15

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como observado na Tabela 2, o sistema gastou mais de 16 horas para completar a execução, entretanto, a execução se estendeu até as 300 gerações para avaliar a convergência

do sistema, pois com 88 gerações e, aproximadamente, 4 horas e 50 minutos ele já havia atingido os 93,6% de preferências cumpridas.

6.3 Instância 3

Esta instância foi construída para aproximar-se à realidade do CEFET-MG Campus Timóteo. Para criar este cenário foi solicitado aos professores que fizessem *login* no sistema web e definissem suas disponibilidades e preferências. Apenas 40 professores atenderam ao pedido e cadastraram suas disponibilidades. Para os outros 22 professores foram geradas, arbitrariamente, disponibilidades com dois padrões, como pode ser visto na Figura 9 e na Figura 10.

Figura 9 – Disponibilidade padrão 1

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
07h50 - 08h40	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
08h40 - 09h30	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
09h45 - 10h35	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
10h35 - 11h25	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
11h25 - 12h15	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
13h00 - 13h50	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
13h50 - 14h40	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
14h40 - 15h30	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
15h45 - 16h35	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
16h35 - 17h25	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
17h25 - 18h15	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 10 – Disponibilidade padrão 2

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
07h50 - 08h40	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
08h40 - 09h30	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
09h45 - 10h35	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
10h35 - 11h25	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
11h25 - 12h15	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
13h00 - 13h50	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível
13h50 - 14h40	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
14h40 - 15h30	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
15h45 - 16h35	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
16h35 - 17h25	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
17h25 - 18h15	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram executadas 5 baterias de testes para esta instância e os resultados estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Resultado dos testes para a instância 3

Teste	Gerações	Tempo(h:m:s)	Preferências	Ger. resolver.	Tempo resolver.(h:m:s)
1	70	01:50:39	83,7%	1	00:02:09
2	51	01:33:25	84,0%	1	00:01:45
3	52	01:13:08	82,6%	1	00:01:45
4	59	01:31:22	83,5%	1	00:01:42
5	44	01:11:48	83,5%	1	00:01:46

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como pode ser observado na Tabela 3, o programa conseguiu atingir mais de 80% de preferências de horário dos professores. É importante ressaltar que o algoritmo se preocupa com alocação de aulas para subturmas em paralelo e, também, busca evitar que se aloquem aulas de períodos consecutivos nos mesmos horários para o curso superior. Quando estes objetivos são divergentes, uma aula pode acabar ocupando um horário que não é preferencial para o professor. Isso pode justificar o fato do algoritmo não conseguir cobrir todas as preferências de horário.

O sistema estabilizou em uma solução com uma média aproximada de 1 hora e meia, que é um tempo razoável para a aplicação. Sobretudo, observa-se a eficiência da heurística construtiva, que fez com que o algoritmo encontrasse uma solução válida na primeira geração, com 2 minutos em média. A partir disto o trabalho do algoritmo foi aprimorar o uso das preferências.

6.4 Instância 4

Esta instância foi construída para avaliar um cenário desejável dentro do CEFET-MG Campus Timóteo, que está relacionado com as preferências de horários das turmas. É interessante que em determinado período letivo as turmas de períodos pares do curso de Engenharia de Computação tenham as aulas concentradas no turno da manhã e as turmas de períodos ímpares pela tarde.

Para criar esta instância foi utilizado o mesmo cenário da Instância 3, entretanto, para cada turma de Engenharia de Computação as preferências de horário foram definidas baseada no período à que a turma corresponde, conforme ilustrado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 – Preferências para turma de período par

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
07h50 - 08h40	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
08h40 - 09h30	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
09h45 - 10h35	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
10h35 - 11h25	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
11h25 - 12h15	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
13h00 - 13h50	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
13h50 - 14h40	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
14h40 - 15h30	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
15h45 - 16h35	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
16h35 - 17h25	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
17h25 - 18h15	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível

Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Preferências para turma de período ímpar

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
07h50 - 08h40	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
08h40 - 09h30	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
09h45 - 10h35	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
10h35 - 11h25	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
11h25 - 12h15	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível	Disponível
13h00 - 13h50	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
13h50 - 14h40	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
14h40 - 15h30	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
15h45 - 16h35	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
16h35 - 17h25	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial
17h25 - 18h15	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial	Preferencial

Fonte: Elaborada pelo autor.

Foram executadas 5 baterias de teste para esta instância, os resultados estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Resultado dos testes para a instância 4

Teste	Gerações	Tempo(h:m:s)	Pref. Prof.	Pref Turma
1	64	01:25:20	80,4%	86,4%
2	110	02:14:34	78,5%	89,9%
3	73	01:36:22	74%	86,9%
4	67	01:20:17	74,4%	87,8%
5	80	01:34:06	75,7%	84,1%

Fonte: Elaborada pelo autor.

Como visto na Tabela 4, o tempo médio de execução foi similar ao da Instancia 3, já que a quantidade de horários disponível era exatamente a mesma. Por outro lado, a satisfação das preferências dos professores diminuiu, porém, isso pode se justificar pelo fato que o algoritmo, neste cenário, também busca cumprir as preferências de horários das turmas.

Para as turmas o sistema foi capaz de cumprir em média 86% das preferências, sendo que este resultado pode ser melhor observado no Apêndice B.

7 CONCLUSÃO

Como não há na literatura, pelo menos do conhecimento do autor desta monografia, um estudo completo sobre o quadro de horários escolar segundo os regimentos pedagógicos da instituição objeto de estudo, não cabe aqui uma comparação com trabalhos anteriores. No entanto, se comparado ao método de confecção manual utilizado pela instituição, o algoritmo apresentou enorme eficiência com relação ao tempo de confecção dos quadros, como proposto no objetivo deste trabalho.

O sistema possibilita a definição de disponibilidade e preferências de horários para, basicamente, todos os recursos relacionados ao problema, permitindo assim que não somente o CEFET-MG Campus Timóteo adapte o sistema para a sua realidade, mas que outras instituições também o faça.

Verificou-se que a convergência para soluções viáveis aconteceu rapidamente e a estabilização nas soluções resultado aconteceu em tempo razoável para a simulação do cenário da instituição.

Importante ressaltar que, diferente de outras abordagens para este problema, o algoritmo genético aqui apresentado é simples e fácil de ser replicado. Por outro lado, a heurística construtiva é um tanto quanto complexa, mas passiva de otimização, tanto a nível de complexidade quanto de carga computacional.

Finalmente, pode-se concluir que o algoritmo implementado consiste em uma adaptação bem sucedida do trabalho de Thanh (2007), aplicável para satisfação de variadas restrições e preferências.

7.1 Trabalhos futuros

Algumas propostas de trabalhos futuros são apresentadas a seguir. Estas são indicações de continuidade ou novas implementações não abordadas por este trabalho, onde se destacam:

- implementar na heurística construtiva outras análises de restrições fracas, para que o sistema se adapte melhor à realidade da instituição. Por exemplo: a minimização da quantidade de janelas entre os horários de alunos e ou professores, balancear o número de horas por dia, limitar o número de aulas de uma mesma disciplina no mesmo dia, etc.
- avaliar e redefinir a interface web, de acordo com os princípios de interação humano-computador, para que o software possa ser colocado em produção;
- construção de uma funcionalidade que permita que o sistema busque a solução de um quadro de horários com algumas aulas prefixadas, sejam essas horários de aulas separadas ou mesmo horários de cursos inteiros.

REFERÊNCIAS

- APPLEBY, J. S. Techniques for Producing School Timetables on a Computer and their Application to other Scheduling Problems. **The Computer Journal**, v. 3, n. 4, p. 237–245, abr. 1961. ISSN 0010-4620. Disponível em: <<http://comjnl.oxfordjournals.org/content/3/4/237.abstract>>. Acesso em: 28 de março de 2014. Citado 3 vezes nas páginas 1, 2 e 4.
- ARROYO, J. E. C. **Heurísticas e metaheurísticas para otimização combinatoria multiobjetivo**. Campinas: Biblioteca Digital da Unicamp, 2002. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=vtls000256530&fd=y>>. Acesso em: 12 de novembro de 2014. Citado na página 13.
- BASIR, N.; ISMAIL, W.; NORWAWI, N. M. A Simulated Annealing for Tahmidi Course Timetabling. **Procedia Technology**, v. 11, p. 437–445, 2013. ISSN 22120173. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2212017313003678>>. Acesso em: 24 de outubro de 2014. Citado na página 1.
- BEASLEY, D.; BULL, D. R.; MARTIN, R. R. An Overview of Genetic Algorithms : Part 1, Fundamentals. out. 1994. Disponível em: <http://www.researchgate.net/publication/2301589_An_Overview_of_Genetic_Algorithms_Part_1_Fundamentals>. Acesso em: 24 de outubro de 2014. Citado na página 10.
- CHAND, A. A heuristic approach to constraint optimization in timetabling. **The South Pacific Journal of Natural and Applied Sciences**, CSIRO PUBLISHING, v. 20, n. 1, p. 64–67, dez. 2002. ISSN 1838-8388. Disponível em: <http://www.publish.csiro.au/view/journals/dsp_journal_fulltext.cfm?nid=248&f=SP02013>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado na página 4.
- CHATTERJEE, S.; CARRERA, C.; LYNCH, L. A. Genetic algorithms and traveling salesman problems. **European Journal of Operational Research**, v. 93, n. 3, p. 490–510, set. 1996. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221795000771>>. Acesso em: 12 de novembro de 2014. Citado na página 15.
- COLORNI, A.; DORIGO, M.; MANIEZZO, V. A Genetic Algorithm To Solve The Timetable Problem. 1993. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.49.3342>>. Acesso em: 27 de março de 2014. Citado na página 4.
- CORDENONSI, A. **Ambientes, Objetos e Dialogicidade: Uma Estratégia de Ensino Superior em Heurísticas e Metaheurísticas**. Tese (Doutorado) — UFRGS, 2008. Acesso em: 12 de novembro de 2014. Citado na página 13.
- DE LACERDA, E.; CARVALHO, A. C. P. L. F. de. Introdução aos algoritmos genéticos. In: UNIVERSIDADE, E. (Ed.). **Sistemas inteligentes: aplicações a recursos hídricos e ciências ambientais**. [S.l.: s.n.], 1999. cap. 3, p. 99–148. Acesso em: 13 de agosto de 2014. Citado na página 9.
- JUNGINGER, W. Timetabling in Germany—A Survey. **Interfaces**, INFORMS, v. 16, n. 4, p. 66–74, ago. 1986. ISSN 0092-2102. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/inte.16.4.66>>. Acesso em: 15 de agosto de 2014. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 12.

Kumara Sastry, David Goldberg, G. K. Genetic Algorithms. In: MEDIA, S. S. . B. (Ed.). **Search Methodologies: Introductory Tutorials in Optimization and Decision Support Techniques**. Springer, 2014. cap. 4, p. 97–126. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.61.6575>>. Acesso em: 13 de novembro de 2014. Citado na página 15.

LEWIS, R. A survey of metaheuristic-based techniques for University Timetabling problems. **OR Spectrum**, v. 30, n. 1, p. 167–190, jul. 2007. ISSN 0171-6468. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/s00291-007-0097-0>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado na página 5.

LIDEN, R. **Algoritmos Genéticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2008. ISBN 8574523739. Citado 5 vezes nas páginas 6, 7, 8, 9 e 10.

LOBO, E. L. M. **Uma solução do problema de horário escolar via algoritmo genético paralelo**. Tese (Dissertação) — Centro Federal de Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2005. Acesso em: 11 de abril de 2014. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

LUCAS, D. C. **Algoritmos Genéticos: uma Introdução**. 2002. Acesso em: 13 de agosto de 2014. Citado na página 9.

LUKAS, S.; ARIBOWO, A.; MUCHRI, M. Genetic algorithm and heuristic search for solving timetable problem case study: Universitas Pelita Harapan timetable. In: **2009 Second International Conference on the Applications of Digital Information and Web Technologies**. IEEE, 2009. p. 629–633. ISBN 978-1-4244-4456-4. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5273979>>. Acesso em: 24 de outubro de 2014. Citado 4 vezes nas páginas 1, 2, 5 e 14.

OLIVEIRA, D. V. **Desenvolvimento de uma aplicação web para elaboração de horários institucionais**. Tese (Monografia) — Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2013. Citado na página 14.

QU, R.; BURKE, E. K.; MCCOLLUM, B.; MERLOT, L. T. G.; LEE, S. Y. A Survey of Search Methodologies and Automated System Development for Examination Timetabling. **Journal of Scheduling**, v. 12, p. 55–89, 2009. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.62.2110>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 5.

REINELT, G. TSPLIB—A Traveling Salesman Problem Library. **ORSA Journal on Computing**, INFORMS, v. 3, n. 4, p. 376–384, nov. 1991. ISSN 0899-1499. Disponível em: <<http://pubsonline.informs.org/doi/abs/10.1287/ijoc.3.4.376>>. Acesso em: 13 de novembro de 2014. Citado na página 7.

RESENDE, M. G. C.; SOUSA, J. P. de. A GRASP-Tabu Search Algorithm for Solving School Timetabling Problems. In: **Metaheuristics: Computer Decision-Making**. Boston, MA: Springer US, 2004, (Applied Optimization, v. 86). p. 659672. ISBN 978-1-4419-5403-9. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/978-1-4757-4137-7>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado na página 4.

ROSSI-DORIA, O.; SAMPELS, M.; BIRATTARI, M.; CHIARANDINI, M.; DORIGO, M.; M. Gambardella, L.; KNOWLES, J.; MANFRIN, M.; MASTROLILLI, M.; PAECHTER, B.; PAQUETE, L.; STÜTZLE, T. A Comparison of the Performance of Different Metaheuristics on the Timetabling Problem. In: BURKE, E.; De Causmaecker, P. (Ed.). **Practice and**

Theory of Automated Timetabling IV 4th International Conference, PATAT 2002, Gent, Belgium, August 21-23, 2002. Selected Revised Papers. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2003, (Lecture Notes in Computer Science, v. 2740). p. 329–351. ISBN 978-3-540-40699-0. Disponível em: <<http://link.springer.com/10.1007/b11828>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado na página 4.

SCHAERF, A.; GASPERO, L. D. Local Search Techniques For Educational Timetabling Problems. In: **Proc. of the 6th International Symposium on Operations Research in Slovenia (SOR-01)**. [s.n.], 2001. p. 13–23. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.24.343>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado na página 4.

THANH, N. D. Solving Timetabling Problem Using Genetic and Heuristic Algorithms. In: **Eighth ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing (SNPD 2007)**. IEEE, 2007. v. 3, p. 472–477. ISBN 0-7695-2909-7. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=4287899>>. Acesso em: 11 de junho de 2014. Citado 8 vezes nas páginas 2, 4, 5, 14, 16, 18, 19 e 30.

WERRA, D. de. An introduction to timetabling. **European Journal of Operational Research**, v. 19, n. 2, p. 151–162, fev. 1985. ISSN 03772217. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0377221785901675>>. Acesso em: 13 de agosto de 2014. Citado na página 1.

WREN, A. Scheduling, timetabling and rostering — A special relationship? In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). **Practice and Theory of Automated Timetabling Lecture Notes in Computer Science. First International Conference Edinburgh, U.K., August 29–September 1, 1995 Selected Papers**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1996, (Lecture Notes in Computer Science, v. 1153). p. 46–75. ISBN 978-3-540-61794-5. Disponível em: <<http://www.springerlink.com/index/10.1007/3-540-61794-9>>. Acesso em: 4 de setembro de 2014. Citado 2 vezes nas páginas 1 e 11.

YANG, S.; JAT, S. N. Genetic Algorithms With Guided and Local Search Strategies for University Course Timetabling. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)**, v. 41, n. 1, p. 93–106, jan. 2011. ISSN 1094-6977. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5477159>>. Acesso em: 29 de agosto de 2014. Citado 3 vezes nas páginas 4, 5 e 16.

APÊNDICE A – TELAS DE ENTRADA DE DADOS

Tela para gerir Grupos de Alunos

Grupos de Alunos				
Pesquisa <input type="text"/>				<input type="button" value="Nova"/>
#	Nome	Período/Ano	Curso	Turno
1	INF-1	1	Informática	Diurno
2	INF-2	2	Informática	Diurno
3	INF-3	3	Informática	Diurno
7	QUI-1	1	Química	Diurno
8	QUI-2	2	Química	Diurno
9	QUI-3	3	Química	Diurno
4	EDI-1	1	Edificações	Diurno
5	EDI-2	2	Edificações	Diurno
6	EDI-3	3	Edificações	Diurno

1 - 9 de 9 turmas por Página Página 1 de 1

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tela para gerir Disciplinas

Disciplinas			
Pesquisa <input type="text"/>			<input type="button" value="Nova"/>
#	Nome	Sigla	Aulas Semanais
1	Linguagem de Programação 1	LP1	1
2	Química Geral 1	QUIM1	2
3	Física 1	FIS1	4
4	Educação Física	EDU FIS	2
5	Análise de Circuitos Elétricos	ACE	1
6	Laboratório de Análise de Circuitos Elétricos	LACE	2
7	Redação 1	RED1	2
8	Português 1	PORT1	3
9	Biologia 1	BIO1	3
10	Matemática 1	MAT1	4

1 - 10 de 90 disciplinaes por Página Página 1 de 9

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tela para gerir Professores

Professores		
#	Nome	Coordenação
65	Adilson	Informática
10	Alcebiades	Informática
9	Aléssio	Informática
11	Alexandre	Formação Geral
12	Alisson Chaves	Edificações
13	Ana Elisa	Edificações
14	André	Química
15	Armin	Química
45	Augusto	Formação Geral
16	Aurélio	Formação Geral

1 - 10 de 56 professores por Página < Página 1 de 6 > [Novo](#)

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tela para gerir Aulas

Grade da INF-2		
Disciplina	Professor	Sala
Linguagem de Programação 2	Luciano	Sala 4
Laboratório de Linguagem de Programação 2	Luciano	Laboratório 11
Biologia 2	Tatiane	Sala 4
Física 2	Alexandre	Sala 4
Português 2	Maiza	Sala 4
História 2	Leandro	Sala 4
Banco de Dados	Ezequiel	Sala 4
Inglês 2	Krichynah	Laboratório 7
Educação Física 2	Milaine	Sala 4
Geografia 2	Stela	Sala 4

[← Voltar à lista](#) Pesquisa [Nova](#)

1 - 10 de 18 disciplinas por Página < Página 1 de 2 >

Fonte: Elaborada pelo autor.

Tela para gerir Disponibilidade do Professor

Professor(a) Dr. Afonso						Salvar
	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira	
07h00 - 07h50	Preferencial	Disponível	Preferencial	Disponível	Indisponível	
07h50 - 08h40	Preferencial	Disponível	Preferencial	Disponível	Indisponível	
08h40 - 09h30	Preferencial	Disponível	Preferencial	Disponível	Preferencial	
09h45 - 10h35	Preferencial	Disponível	Preferencial	Disponível	Preferencial	
10h35 - 11h25	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	
11h25 - 12h15	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Disponível	
13h00 - 13h50	Preferencial	Disponível	Disponível	Preferencial	Disponível	
13h50 - 14h40	Preferencial	Disponível	Disponível	Preferencial	Disponível	
14h40 - 15h30	Indisponível	Disponível	Disponível	Preferencial	Disponível	
15h45 - 16h35	Indisponível	Disponível	Disponível	Preferencial	Disponível	
16h35 - 17h25	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Preferencial	Indisponível	
17h25 - 18h15	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
18h20 - 19h10	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
19h10 - 20h00	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
20h00 - 20h50	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
21h00 - 21h50	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	
21h50 - 22h40	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	Indisponível	

Fonte: Elaborada pelo autor.

APÊNDICE B – RESULTADOS PARA INSTÂNCIA 4

Horário Gerado - EC1 (preferência vespertina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50					
07h50 - 08h40					
08h40 - 09h30					
09h45 - 10h35					
10h35 - 11h25					
11h25 - 12h15					
13h00 - 13h50			GAAV Augusto Venâncio Sala 101	GAAV Augusto Venâncio Sala 101	CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101
13h50 - 14h40			GAAV Augusto Venâncio Sala 101	GAAV Augusto Venâncio Sala 101	CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101
14h40 - 15h30	CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101				CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101
15h45 - 16h35	CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101		GAAV Augusto Venâncio Sala 101		CALC1 Sebastião Leônidas Sala 101
16h35 - 17h25			GAAV Augusto Venâncio Sala 101	PC1 Lucas Pantuza Sala 108	LPC1 Lucas Pantuza Sala 113
17h25 - 18h15				PC1 Lucas Pantuza Sala 108	LPC1 Lucas Pantuza Sala 113

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC2 (preferência matutina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	FIL Silvânia Aparecida Sala 101			FIS1 Alexandre Augusto Sala 101	CALC2 Fabrício Almeida Sala 101
07h50 - 08h40	FIL Silvânia Aparecida Sala 101	SDC Elder de Sala 101		FIS1 Alexandre Augusto Sala 101	CALC2 Fabrício Almeida Sala 101
08h40 - 09h30	LPC2 T1 Luciano Nascimento Sala 114	SDC Elder de Sala 101		LSDC Elder de Sala 106	CALC2 Fabrício Almeida Sala 101
09h45 - 10h35	LPC2 T1 Luciano Nascimento Sala 114	FIS1 Alexandre Augusto Sala 101		LSDC Elder de Sala 106	CALC2 Fabrício Almeida Sala 101
10h35 - 11h25	LPC2 T1 Luciano Nascimento Sala 114	FIS1 Alexandre Augusto Sala 101		MD Ivone Piedade Sala 101	MD Ivone Piedade Sala 101
11h25 - 12h15	LPC2 T1 Luciano Nascimento Sala 114			MD Ivone Piedade Sala 101	MD Ivone Piedade Sala 101
13h00 - 13h50					
13h50 - 14h40					
14h40 - 15h30	PC2 Luciano Nascimento Sala 107				
15h45 - 16h35	PC2 Luciano Nascimento Sala 107				
16h35 - 17h25					
17h25 - 18h15					

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC3 (preferência vespertina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50					
07h50 - 08h40					
08h40 - 09h30					
09h45 - 10h35					
10h35 - 11h25					
11h25 - 12h15					
13h00 - 13h50	CALC3 Rutyele Ribeiro Sala 103	FIS2 Mirela de Sala 101		FIS EXP 1 T1 Mirela de Sala 104	CALC3 Rutyele Ribeiro Sala 103
13h50 - 14h40	CALC3 Rutyele Ribeiro Sala 103	FIS2 Mirela de Sala 101		FIS EXP 1 T1 Mirela de Sala 104	CALC3 Rutyele Ribeiro Sala 103
14h40 - 15h30	LAED1 T1 Eduardo Siqueira Sala 113	FIS2 Mirela de Sala 101		FIS EXP 1 T1 Mirela de Sala 104	AOC1 Marcos Antonio Sala 108
15h45 - 16h35	LAED1 T1 Eduardo Siqueira Sala 113	FIS2 Mirela de Sala 101		FIS EXP 1 T1 Mirela de Sala 104	AOC1 Marcos Antonio Sala 108
16h35 - 17h25	LAED1 T1 Eduardo Siqueira Sala 113	AED1 Eduardo Siqueira Sala 103		AOC1 Marcos Antonio Sala 108	LAOC1 Marcos Antonio Sala 113
17h25 - 18h15	LAED1 T1 Eduardo Siqueira Sala 113	AED1 Eduardo Siqueira Sala 103		AOC1 Marcos Antonio Sala 108	LAOC1 Marcos Antonio Sala 113

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC4 (preferência matutina)

	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira	
07h00 - 07h50	LLP Aléssio Miranda Sala 114		FIS3 Weber Hanry Sala 103		CEE Rodrigo Gaiba Sala 103		FIS3 Weber Hanry Sala 103		LP Odilon Corrêa Sala 103	
07h50 - 08h40	LLP Aléssio Miranda Sala 114		FIS3 Weber Hanry Sala 103		CEE Rodrigo Gaiba Sala 103		FIS3 Weber Hanry Sala 103		LP Odilon Corrêa Sala 103	
08h40 - 09h30	CALC4 Rutyele Ribeiro Sala 103		LAOC2 T1 Marcos Antonio Sala 114	FIS EXP 2 T1 Mirela de Sala 104			AED2 Eduardo Siqueira Sala 103			
09h45 - 10h35	CALC4 Rutyele Ribeiro Sala 103		LAOC2 T1 Marcos Antonio Sala 114	FIS EXP 2 T1 Mirela de Sala 104			AED2 Eduardo Siqueira Sala 103			
10h35 - 11h25	AOC2 Marcos Antonio Sala 103		LAOC2 T1 Marcos Antonio Sala 114	FIS EXP 2 T1 Mirela de Sala 104	LAED2 Eduardo Siqueira Sala 114		AED2 Eduardo Siqueira Sala 103		AOC2 Marcos Antonio Sala 103	
11h25 - 12h15	AOC2 Marcos Antonio Sala 103		LAOC2 T1 Marcos Antonio Sala 114	FIS EXP 2 T1 Mirela de Sala 104	LAED2 Eduardo Siqueira Sala 114		AED2 Eduardo Siqueira Sala 103		AOC2 Marcos Antonio Sala 103	
13h00 - 13h50					CEE Rodrigo Gaiba Sala 103					
13h50 - 14h40					CEE Rodrigo Gaiba Sala 103					
14h40 - 15h30									CALC4 Rutyele Ribeiro Sala 103	
15h45 - 16h35									CALC4 Rutyele Ribeiro Sala 103	
16h35 - 17h25										
17h25 - 18h15										

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC5 (preferência vespertina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50					
07h50 - 08h40					
08h40 - 09h30					
09h45 - 10h35					
10h35 - 11h25					
11h25 - 12h15					
13h00 - 13h50	AL Sebastião Leônidas Sala 108			AL Sebastião Leônidas Sala 108	
13h50 - 14h40	AL Sebastião Leônidas Sala 108			AL Sebastião Leônidas Sala 108	
14h40 - 15h30					
15h45 - 16h35					
16h35 - 17h25					
17h25 - 18h15					

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC6 (preferência matutina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50	ES1 Márcio Assis Sala 108	ES1 Márcio Assis Sala 108	LSO Odilon Corrêa Sala 114	SO Odilon Corrêa Sala 108	PCON Lucas Pantuza Sala 113
07h50 - 08h40	ES1 Márcio Assis Sala 108	ES1 Márcio Assis Sala 108	LSO Odilon Corrêa Sala 114	SO Odilon Corrêa Sala 108	PCON Lucas Pantuza Sala 113
08h40 - 09h30	LFA André Rodrigues Sala 108	LFA André Rodrigues Sala 108	RC1 Adilson Mendes Sala 108		LCSD Viviane Cota Sala 114
09h45 - 10h35	LFA André Rodrigues Sala 108	LFA André Rodrigues Sala 108	RC1 Adilson Mendes Sala 108		LCSD Viviane Cota Sala 114
10h35 - 11h25	RC1 Adilson Mendes Sala 108		CSD Viviane Cota Sala 108	PCON Lucas Pantuza Sala 113	LRC1 Adilson Mendes Sala 114
11h25 - 12h15	RC1 Adilson Mendes Sala 108		CSD Viviane Cota Sala 108	PCON Lucas Pantuza Sala 113	LRC1 Adilson Mendes Sala 114
13h00 - 13h50			PDOTNET Márcio Assis Sala 113		
13h50 - 14h40			PDOTNET Márcio Assis Sala 113		
14h40 - 15h30			LES1 Márcio Assis Sala 114		
15h45 - 16h35			LES1 Márcio Assis Sala 114		
16h35 - 17h25		CSD Viviane Cota Sala 108			
17h25 - 18h15		CSD Viviane Cota Sala 108			

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC8 (preferência matutina)

	Segunda-feira		Terça-feira		Quarta-feira		Quinta-feira		Sexta-feira	
07h00 - 07h50	RC2 Adilson Mendes Sala 109		COMP Aléssio Miranda Sala 114				CG Aléssio Miranda Sala 114		RC2 Adilson Mendes Sala 109	
07h50 - 08h40	RC2 Adilson Mendes Sala 109		COMP Aléssio Miranda Sala 114				CG Aléssio Miranda Sala 114		RC2 Adilson Mendes Sala 109	
08h40 - 09h30	LIBRAS2 Ana Raquel Sala 101		IADM Marlene Schettino Sala 109		IC1 Douglas Nunes Sala 114					
09h45 - 10h35	LIBRAS2 Ana Raquel Sala 101		IADM Marlene Schettino Sala 109		IC1 Douglas Nunes Sala 114		IHC Márcia Valéria Sala 109			
10h35 - 11h25	OTM2 André Rodrigues Sala 109		EST EC Ivone Piedade Sala 109		IC1 Douglas Nunes Sala 109		IHC Márcia Valéria Sala 109		IHC Márcia Valéria Sala 109	
11h25 - 12h15	OTM2 André Rodrigues Sala 109		EST EC Ivone Piedade Sala 109		IC1 Douglas Nunes Sala 109				IHC Márcia Valéria Sala 109	
13h00 - 13h50	COMP Aléssio Miranda Sala 114				EST EC Ivone Piedade Sala 109		CG Aléssio Miranda Sala 114		IAE Viviane Cota Sala 113	
13h50 - 14h40	COMP Aléssio Miranda Sala 114		RP Douglas Nunes Sala 113		EST EC Ivone Piedade Sala 109		CG Aléssio Miranda Sala 114		IAE Viviane Cota Sala 113	
14h40 - 15h30			RP Douglas Nunes Sala 113							
15h45 - 16h35										
16h35 - 17h25	IC1 Douglas Nunes Sala 109									
17h25 - 18h15	IC1 Douglas Nunes Sala 109									

Fonte: Elaborada pelo autor.

Horário Gerado - EC10 (preferência matutina)

	Segunda-feira	Terça-feira	Quarta-feira	Quinta-feira	Sexta-feira
07h00 - 07h50					
07h50 - 08h40					
08h40 - 09h30	CSPEC Marlene Schettino Sala 109				
09h45 - 10h35	CSPEC Marlene Schettino Sala 109				
10h35 - 11h25					MP Viviane Cota Sala 108
11h25 - 12h15					MP Viviane Cota Sala 108
13h00 - 13h50					
13h50 - 14h40	ESUP Marcelo de Sala 109				
14h40 - 15h30	ESUP Marcelo de Sala 109				
15h45 - 16h35					
16h35 - 17h25					
17h25 - 18h15					

Fonte: Elaborada pelo autor.