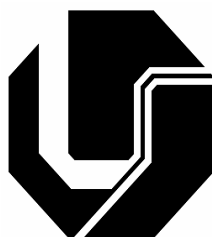


UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELETRICA
POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



**Geração Automática de Grade Horária Usando
Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de
Engenharia Elétrica da UFU**

Cristiane Divina Lemes Hamawaki

Novembro

2005

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELETRICA
POS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

**Geração Automática de Grade Horária Usando
Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de
Engenharia Elétrica da UFU**

Dissertação apresentada por Cristiane Divina Lemes Hamawaki à Universidade Federal de
Uberlândia para obtenção do título de Mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia
Elétrica.

Banca Examinadora:

Prof. Keiji Yamanaka, Ph.D – Orientador

Prof. Adelio Jose de Moraes, Dr. - UFU

Prof. Katia Lopes Silva, D.Sc. - UNIMINAS

Prof. Luciano Vieira Lima, Dr. - UFU

Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU

Cristiane Divina Lemes Hamawaki

Texto da dissertação apresentada à Universidade Federal de Uberlândia como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Prof. Keiji Yamanaka, PhD.

Orientador

Prof. Darizon Alves de Andrade, PhD

Coordenador do Curso de Pós-Graduação

Agradecimentos

A Deus, que é início e fim de tudo, de onde todo poder emana neste universo.

A meus filhos Raphael e Thiago que são o caminho de luz da minha vida.

Aos meus pais Wilson e Terezinha, às minhas irmãs Luciane e Viviane e aos meus cunhados

César e Luiz que sempre deram apoio ao meu desenvolvimento intelectual e coragem nos momentos difíceis para que pudesse desfrutar de tudo que a vida tem de melhor.

Ao meu esposo, Osvaldo que me presenteou com dois filhos maravilhosos.

Ao Professor Keiji Yamanaka, PhD. pela oportunidade, orientação criteriosa e dedicada, e acima de tudo pela compreensão e boa vontade em todas as ocasiões em que o procurei para discutir idéias e buscar esclarecimento.

Aos Professores da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU.

Aos membros da banca examinadora pela predisposição em analisar este trabalho.

À Marcília, secretária do curso de graduação de Engenharia Elétrica da UFU.

Ao Rodrigo César, pela colaboração na fase de implementação.

Ao amigo Márcio Moreira pela colaboração na Base de Dados.

Aos Colegas do curso de pós-graduação.

Aos amigos da Escola Técnica UNIFOR.

A Todos que de forma direta ou indireta colaboraram nesta minha caminhada para a conquista de mais um sonho na minha vida.

Hamawaki, Cristiane D. L. Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU, Uberlândia, FEELT – UFU, 2005, xxxx p.

Resumo

Este trabalho apresenta as características de utilização de algoritmos genéticos na construção de Grade Horária para instituições de ensino. Procurou-se mostrar a complexidade dos problemas encontrados para a definição de uma solução de boa qualidade, na elaboração de Grade Horária, haja visto que existem múltiplos objetivos, múltiplas restrições e um número grande de variáveis a serem ponderados. Em decorrência da complexidade da resolução de problemas deste tipo, considera-se que algoritmos genéticos sejam apropriados para utilização na automatização do processo. Apesar de existirem restrições que são comuns a qualquer instituição de ensino, existe um grande número de restrições que são específicas de cada instituição e este tipo de restrição pode dificultar o processo de geração de um sistema de elaboração de grade horária de propósito geral. O objetivo deste trabalho é desenvolver uma representação genética para o problema de geração de horário de uma instituição, levando em consideração a limitação dos recursos, com base em suas informações, utilizando Algoritmos Genéticos para alcançar uma solução viável, tratando de um caso específico de escalonamento: Grade Horária Escolar, estabelecidas as exigências oriundas da instituição de ensino FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG. As técnicas implementadas em conjunto favorecem a obtenção de uma solução desejada para o problema, e em relação à aplicação baseada no estudo de caso, pode-se concluir que a abordagem implementada tem um resultado satisfatório, podendo ser

utilizada em instituições de ensino que possuam restrições e problemas com a satisfação do corpo docente em relação a grade horária a ser estabelecida. Como principal contribuição deste trabalho, pode ser mencionado o estudo e aplicação de técnicas de computação evolutiva (Algoritmos Genéticos) em conjunto com o problema de restrições para a solução da dificuldade de alocação de professores em horários, tratando de um caso específico de escalonamento onde foram estabelecidas as exigências oriundas da instituição de ensino FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG.

Hamawaki, Cristiane D. L. Geração Automática de Grade Horária Usando Algoritmos Genéticos: O Caso da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU, Uberlândia, FEELT – UFU, 2005, xxxx p.

Abstract

This study presents the characteristics of using genetic algorithms on the elaboration of Class Schedules for education institutions. The complexity of the problems found to define a good quality solution, in the elaboration of the Class schedule was demonstrated was demonstrated, since there are multiple objectives, multiple restrictions, and a large number of variables to be weighted. Due to the resolution complexity of this kind of problem, it is considered that genetic algorithms are appropriate for use in process automation. Although there are restrictions common to any education institution, there is a large number of restrictions specific for each institution, and this kind of restriction can impose difficulties to the generation process of a general purpose class schedule establishment. The objective of this study was to develop a genetic representation for the problem of creating a class schedule for a given institution, considering resources limitation, based on its information, and using Genetic Algorithms to reach a viable solution, where there was a specific case of staggering: Class Schedule, after the requirements of the education institution were established, FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG. The techniques jointly used allowed the achievement of a desired solution for the problem, and as far as the application base don a case study, it can be concluded that the approach used has an acceptable result, which can be used in education institutions that have restrictions and problems with faculty acceptance in the relation to the class schedule to be established. As a

major contribution of this work, the study and application of evolutive computing techniques (Genetic Algorithms) in conjunction with the restriction problems can be mentioned for the solution of the difficulty in finding schedules for the faculty, when there is a specific case of staggering and the requirements were established by the education institution FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG.

Conteúdo

1. Introdução	1
2. O Problema de Otimização Combinatorial e a Geração de Grade Horária Escolar	4
2.1. Otimização Combinatorial	4
2.2. Ordem de Grandeza da Complexidade do Problema	5
2.3. O Problema da Geração de Grade Horária Escolar	7
3. Algoritmos Genéticos	11
3.1 Codificação do Indivíduo	16
3.2 Sorteio e Aleatoriedade	16
3.3 Base de Dados	16
3.4 Criação da População Inicial	17
3.5 Cálculo da <i>Aptidão</i>	17
3.6 Operadores Genéticos	18
3.6.1 Seleção	18
3.6.2 Elitismo	18
3.6.3 Cruzamento	19
3.6.4 Mutação	19

3.6.5 Evolução	20
4. Estudo de Caso: geração de grade horária para a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia	22
4.1. Estrutura Funcional	25
5. Implementação do Sistema Gerador de Grade Horária	31
5.1 Base de dados	37
5.1.1 - Tabelas de disciplinas	38
5.1.2 - Tabela de professores	39
5.1.3 - Tabela de disponibilidade de professores	40
5.2 O Algoritmo	41
5.2.1 - Codificação Genética	41
5.2.2 - Inicialização da População	44
5.2.2.1 - Carga horária das disciplinas e ordenação	45
5.2.2.2 - Simplificação	45
5.2.3 - Função de Aptidão	46
5.2.3.1 - Disponibilidade do professor	46
5.2.3.2 - Penalização devido à ocorrência de “janelas”	47
5.2.3.3 - Penalização devido à ocorrência de disciplinas por dia além do permitido	48
5.2.3.4 - Penalização devido à ocorrência de um mesmo professor lecionando disciplinas diferentes em mesmo horário	48
5.2.3.5 - Cálculo do valor da <i>aptidão</i>	48
5.2.4 - Método de seleção - Roleta	49
5.2.5 - Operadores Genéticos	50
5.2.5.1 - Cruzamento (<i>cross-over</i>)	51

5.2.5.2 - Elitismo	52
5.2.5.3 - Mutação	52
6. Resultados Obtidos	54
6.1 As Plataformas de Hardware e Software	55
6.2 Telas do Aplicativo	56
6.3 Análise dos Resultados	69
7. Conclusão, Contribuições e Sugestões para Trabalhos Futuros	78
Anexo A – Questionário para obtenção das preferências dos professores para fins de critério de desempenho	81
Anexo B – Disciplinas obrigatórias – Engenharia Elétrica ênfase em eletrônica	82
Anexo C - Disciplinas optativas – Engenharia Elétrica ênfase em eletrônica	83
Anexo D – Disciplinas obrigatórias – Engenharia Elétrica ênfase em eletrotécnica	84
Anexo E - Disciplinas optativas – Engenharia Elétrica ênfase em eletrotécnica	85
Referências Bibliográficas	86
Bibliografia	89

Lista de figuras

1. Exemplo de grade horária para o 1º período – Engenharia Elétrica	9
2. Diagrama – Algoritmo Genético	14
3 Codificação dos 60 horários disponíveis	15
4. Slots – Período matutino e vespertino: 60 slots	16
5. Exemplo de Crossover de um ponto	19
6. Exemplo de Mutação	20
7. Foto da entrada da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU	22
8. Exemplo de grade horária com disciplinas práticas e teóricas para o 1º semestre ou período do curso de engenharia elétrica da UFU	23
9. Exemplo de horário de um professor contendo as disciplinas e turmas de disciplinas que irá ministrar no curso de engenharia elétrica da UFU	24
10. Estrutura Funcional do curso de graduação da Engenharia Elétrica	27
11. Relatório das disciplinas do 1º período – Núcleo Comum.	28
12. Relatório das disciplinas do 2º período – Núcleo Comum	28
13. Relatório das disciplinas do 7º período – Eletrotécnica	29
14. Relatório das disciplinas do 7º período – Eletrônica	29
15. Exemplo de relatório: um professor ministra várias disciplinas	34

16. Exemplo de relatório: uma disciplina ministrada por vários professores	34
17. Contexto do Sistema Gerador de Grade Horária	36
18. Fluxo dos Dados do Sistema Gerador de Grade horária	37
19. Exemplo de tabela de disciplinas teóricas	38
20. Exemplo da tabela de professores	39
21. Tabela de disponibilidade dos professores	40
22. Codificação tradicional de um cromossomo	42
23. Codificação do cromossomo utilizada no algoritmo	43
24. Exemplo de equivalência máscara/cromossomo	44
25. Exemplo de roleta	49
26. Exemplo de Cruzamento	51
27. Tela inicial do aplicativo	57
28. Tela para cadastro de professores	59
29. Disponibilidade de um professor	59
30. Codificação dos horários na base de dados	60
31. Tabela de disponibilidade dos professores	61
32. Tela para cadastro de disciplinas teóricas	62
33. Tela para cadastro de disciplinas práticas	63
34. Tela de configuração do Algoritmo Genético	64
35. Tela para gerar relatórios	64
36. Exemplo de relatório gerado das disciplinas para o 4º período - Eletrotécnica	65
37. Exemplo de relatório gerado das disciplinas para o 5º período - Eletrotécnica	65
38. Gerador de gráficos GNUplot	66

39. Tela para cadastro de pré-aloções de disciplinas	67
40. Tela Calendário	67
41. Tela Bloco de Notas	68
42. Tela Calculadora	68
43. Tela “Sobre” do sistema	69
44. Horários para o 1º período do curso de Engenharia Elétrica	71
45. Horários para o 2º período do curso de Engenharia Elétrica	71
46. Horários para o 3º período do curso de Engenharia Elétrica	72
47. Horários para o 4º período do curso de Engenharia Elétrica	72
48. Horários para o 5º período do curso de Engenharia Elétrica	73
49. Horários para o 6º período do curso de Engenharia Elétrica	73
50. Horários para o 7º período do curso de Engenharia Elétrica	74
51. Horários para o 8º período do curso de Engenharia Elétrica	74
52. Horários para o 9º período do curso de Engenharia Elétrica	75
53. Horários para o 10º período do curso de Engenharia Elétrica	75
54. Gráfico de desempenho	76
55. Gráfico de desempenho – aptidão máxima e média	77

Capítulo 1

Introdução

Em instituições de ensino, uma grade horária é algo que influi de forma notável na vida de todo o corpo docente, discente e dos funcionários da instituição. Uma vez elaborada e implementada essa grade, ela será válida durante todo o período letivo, o que fará, por várias vezes, com que alunos e professores tenham que se adaptar a ela, já que não necessariamente atende a todos os interesses e disponibilidades dos envolvidos.

O problema de alocação de horários escolares é amplamente conhecido pela sua complexidade dada a necessidade de conciliar diversos recursos, tais como professores, disciplinas, entre outros, que fazem com que o problema apresente-se com uma enorme complexidade, Braz (2000). Uma grande variedade de problemas de grade horária tem sido descritos e muitos caminhos diferentes para a sua solução têm sido propostos, que dependem do tipo de escola e de seu sistema educacional. Desta forma, não existe um modelo universal que pode ser aplicado sempre. Ribeiro (2001) apresenta um algoritmo genético construtivo para o *class-teacher timetabling problem*. Nos experimentos realizados, o autor considerou quatro casos de teste reais, de instituições de ensino brasileiras.

Outros trabalhos na literatura têm abordado o problema de grade horária. Gröbner (2002) apresenta uma abordagem para generalizar todos os problemas de *grade horária*,

descrevendo a estrutura básica deste problema, propondo uma linguagem genérica que pode ser utilizada para descrever problemas de *grade horária* e suas restrições. Nessa abordagem, uma descrição concreta do problema pode ser traduzida para a linguagem de programação Java e combinada com algoritmos padronizados.

A definição de Wren (1996) para o problema de *grade horária*: um arranjo dentro de padrões de tempo ou espaço, no qual algumas metas são atendidas ou praticamente atendidas e onde restrições devem ser satisfeitas ou praticamente satisfeitas. Ele também pode ser caracterizado como um problema de otimização como define Michalewicz (1996).

São comuns aplicações em que haja a necessidade de um escalonamento entre recursos humanos e/ou materiais x tempo. Este trabalho tem por objetivo tratar de um caso específico de escalonamento: Grade Horária Escolar. Uma tarefa comum em todas as instituições de ensino é a construção de horários de aulas para os docentes, atendendo as restrições tanto de professores e alunos como de toda instituição envolvida.

O objetivo principal deste trabalho é criar um aplicativo simples, através do qual será possível a extração de informações relevantes com relação à proposta escolhida, constando de uma representação genética para o problema de geração automática de horário de uma instituição de ensino superior, levando em consideração a limitação dos recursos, com base em suas informações, utilizando Algoritmos Genéticos para alcançar uma solução viável.

O aplicativo será composto pelos componentes: algoritmo genético, responsável pela implementação das operações genéticas (seleção, elitismo, mutação, cruzamento e cálculo de aptidão) e também pelo processo como um todo (início/fim); base de dados, local onde é armazenado o conhecimento necessário para processamento do problema em questão; lista de disciplinas, professores e suas correspondências; restrições de dias e horários para cada aula; número de dias na semana e preferências de dias e horários de cada professor.

O presente projeto estabelecerá as exigências oriundas da instituição de ensino FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG.

A organização desta dissertação segue uma seqüência para um melhor entendimento do leitor do modelo proposto e é detalhada como descrito a seguir.

O Capítulo II faz uma breve descrição da Otimização Combinatorial e problemática da Geração de Grade Horária ressaltando os aspectos relevantes do problema como a grandeza do espaço de busca.

O Capítulo III faz a descrição da técnica a qual foi embasada a formulação, estruturação e elaboração do sistema proposto, os Algoritmos Genéticos.

No Capítulo IV é descrito o estudo de caso proposto, ou seja, a geração de grade horária para o curso de Engenharia Elétrica da UFU.

O Capítulo V é dedicado à implementação do modelo para um gerador de grade horária a fim de ilustrar o desempenho do método.

O Capítulo VI descreve os resultados obtidos com a aplicação prática do modelo para um gerador de grade horária.

A conclusão, contribuições e sugestões para trabalhos futuros obtidas em decorrência do desenvolvimento e da aplicação são enfocadas no capítulo VII.

Complementando os capítulos resumidos acima, os anexos A, B, C, D e E são colocados no final da dissertação. O anexo A mostra um questionário para obtenção das preferências dos professores. Os anexos B, C, D e E apresentam as grades curriculares do curso de Engenharia Elétrica com ênfases em Eletrotécnica e Eletrônica e suas respectivas disciplinas optativas.

Capítulo 2

O Problema de Otimização Combinatorial e a Geração de Grade Horária Escolar

Problemas de Otimização Combinatória ocorrem nas mais diversas áreas possíveis como projetos de sistemas de distribuição de energia elétrica, roteamento ou escalonamento de veículos, alocação de trabalhadores ou máquinas e tarefas, empacotamento de caixas em *containers*, corte de barras e placas, classificação de plantas e animais, *etc.*

Vários desses problemas podem ser modelados como problemas de maximizar (ou minimizar) uma função cujas variáveis devem obedecer certas restrições. Encontrar soluções ótimas, ou mesmo aproximadas, para esses tipos de problemas é um desafio nem sempre fácil de ser vencido.

2.1. Otimização Combinatorial

A Otimização Combinatória é um ramo da ciência da computação que estuda problemas de otimização onde temos uma função objetivo e um conjunto de restrições, ambos relacionados às variáveis de decisão. O problema pode ser de minimização ou de

maximização da função objetivo. A resposta para o problema, ou seja, o *ótimo global*, será o menor (ou maior) valor possível para a função objetivo para o qual o valor atribuído às variáveis não viole nenhuma restrição.

A solução do problema para o gerador de grade horária, no contexto da otimização combinatorial, consiste em gerar uma tabela de horários, visando minimizar os conflitos, maximizar preferências, compactar horários de professores e alunos. O problema da elaboração de horários de aulas admite uma enorme variedade de formulações e, por isso, para cada particular instituição se faz necessária uma definição precisa do problema específico sendo abordado.

2.2. Ordem de Grandeza da Complexidade do Problema

Uma grade horária escolar, trata-se daquela tabela onde alunos e professores verificam os dias e horários de cada disciplina oferecida no curso. Na realidade existem três usuários principais:

- O aluno, que tem sua vida escolar guiada pelos horários nela contidos;
- O professor, que a tem como uma agenda de compromissos, pois é a partir dela que sabe em que classe deve estar e que disciplina deverá ser ministrada em um determinado horário;
- A escola/instituição, que administra seus recursos humanos e materiais.

A relação existente entre disponibilidades de salas, recursos audiovisuais, professores e alunos ao longo de determinados períodos da semana é tarefa árdua e consumidora de tempo. Contudo, é essencial e periódica em instituições de ensino, seja semestral ou anual, já que todas as atividades são pautadas sobre o período letivo.

Expressando a ordem de grandeza da complexidade de resolução de um problema de elaboração de horários de aulas, FRANGOULI (2002) propuseram uma fórmula para determinar o tamanho máximo do espaço de pesquisa expressa pela equação (1). A expressão do tamanho do espaço de pesquisa de um problema de elaboração de horários de aulas é mostrada abaixo:

$$TEP = (NDS \times NAD \times NSA)^{(ND \times NAP)} \quad (1)$$

onde:

TEP é o tamanho do espaço de pesquisa;

NDS é o número de dias da semana letiva. Habitualmente este valor será 5 (de segunda a sexta) ou 6 (de segunda a sábado);

NAD é o número de aulas diárias para o turno (ou turnos) envolvido na distribuição das aulas consideradas;

NSA é o número (ou média) de salas de aulas disponíveis para a utilização das aulas;

ND é o número de disciplinas pertencentes ao horário de aulas;

NAP é o número de aulas a serem distribuídos para cada uma das disciplinas.

Por exemplo, uma disciplina cuja carga horária semanal seja de 6 horas pode ser aplicada em três aulas de 2 horas cada.

Para o estudo de caso proposto, ou seja, Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da FEELT não foi imposta a verificação de alocação de salas disponíveis. Portanto a equação (1) acima poderia ser apresentada suprimindo-se a variável **NSA** como mostrada abaixo na equação (2):

$$TEP = (NDS \times NAD)^{(ND \times NAP)} \quad (2)$$

Aplicando-se a fórmula anterior para o curso de Engenharia Elétrica da FEELT temos a prova da imensidão do espaço de busca.

NDS (número de dias da semana letiva) = 5;

NAD (número de aulas diárias para os turnos) = 12;

ND (número de disciplinas pertencentes ao horário de aulas) = 153;

NAP (número de aulas a serem distribuídos para cada uma das disciplinas) = 2;

TEP (tamanho do espaço de busca) = $(5 \times 12)^{(153 - 2)}$.

TEP (tamanho do espaço de busca) = 3,1683912695649512275323560262361e+268

TEP (tamanho do espaço de busca) = **3,168 x 10²⁶⁸**

2.3. O Problema da Geração de Grade Horária Escolar

O problema consiste em alocar em um conjunto de intervalos de tempo, aulas de disciplinas de cada curso. Estas aulas devem acontecer em conjunto de salas, e não deve haver sobreposição em nenhum dos elementos desta tripla (aula, professor, sala).

As restrições para o *class-teacher timetabling problem*, são classificadas em restrições fortes e fracas, por Fernandes (1967). Violações às restrições fortes (como, por exemplo, a alocação de um professor em duas salas diferentes em um mesmo horário) resultam em uma tabela de alocação inválida. Violações às restrições fracas resultam em tabelas válidas, porém afetam a qualidade da solução (por exemplo, a preferência dos professores por determinados horários). Fernandes (1967) descreve um método para a resolução do *class-teacher timetabling problem* baseado em algoritmos evolucionários. O algoritmo proposto foi testado utilizando-se uma universidade real com 109 professores, 37 salas de aula, 1131 intervalos de tempo de uma hora cada e 472 aulas. O algoritmo proposto conseguiu resolver a alocação sem violar as restrições fortes em 30% das execuções. Fernandes (1967) compara o algoritmo proposto com outro algoritmo evolucionário que não conseguiu resolver o problema sem violar as restrições fortes em nenhuma das execuções.

Em universidades, turmas diferentes podem ter estudantes em comum. No nível superior, o aluno efetua inscrição não em uma turma nem em uma disciplina, mas ele o faz para o par. Nas universidades podemos considerar algumas características como seguem:

- Um aluno pode assistir aulas em turmas distintas;
- Um professor pode lecionar para várias turmas a mesma disciplina;
- É importante saber o tamanho das salas, pois as aulas podem acontecer em diversos lugares.

Em escolas de nível fundamental ou médio, normalmente este problema não acontece, pois geralmente uma turma fica alocada durante todo o tempo em uma única sala, que comporta o seu número de alunos.

As seguintes variações são possíveis:

- Indisponibilidades e pré-alocações: podem ser inseridos no problema. As indisponibilidades são dadas pelos horários não disponíveis para aulas e pré-alocações por horários definidos como obrigatórios para aulas. Devido ao fato de ser um problema NP-completo, estas novas restrições não pioram o problema;

- Várias turmas de uma mesma disciplina: quando uma disciplina passa a atender vários cursos, ou quando a demanda de alunos a realizar uma certa disciplina for tal que exija a divisão da turma;

- Agrupamento: é o problema de associar os estudantes de um currículo a uma aula específica de uma disciplina;

- Períodos de tamanho variável: podemos introduzir um complicador no problema, trabalhando com períodos de tamanho variável, apesar de considerarmos um período de tamanho unitário.

Fora a satisfação dos desejos de estudantes e professores, que são muitas vezes conflitantes, os estabelecimentos acadêmicos devem garantir que seu espaço de ensino seja utilizado eficientemente.

A Figura. 1 mostra um exemplo de grade horária do 1º. Período do curso de Engenharia Elétrica, onde são mostradas as disciplinas a serem oferecidas e o horário o qual elas serão ministradas.

Graduação em Engenharia Elétrica – 1º Período					
Horário	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
07:10 – 08:00	C1	GA	IC1	C1	IC1
08:00 – 08:50	C1	GA	IC1	C1	IC1
08:50 – 09:40	GA	GA	IEE	QG	DB
09:50 – 10:40	GA	C1	IEE	QG	DB
10:40 – 11:30	IEE	C1	PO1	QG	DB
11:30 – 12:20	IEE		PO1		
13:10 – 14:00			QE / PO1		
14:00 – 14:50			QE / PO1		
14:50 – 15:40			QE / PO1		
16:00 – 16:50			QE / PO1		
16:50 – 17:40			QE / PO1		
17:40 – 18:30			QE / PO1		

Figura 1 : Exemplo de grade horária para o 1º período – Engenharia Elétrica

Em geral, o ano acadêmico é dividido em dois semestres. Em cada semestre, um aluno conclui um período ou etapa do currículo. O horário é construído individualmente por cada curso, por período. A disponibilidade de cada professor é conhecida a priori, e é necessário que seus horários sejam condensados em dias da semana e horários previamente estipulados. Além disso, alguns professores lecionam para mais de um curso.

Os alunos têm um número limitado de horários disponíveis ao dia, tem-se um horário básico semanal: 2ª a 6ª feira, manhã e tarde. São 60 horários disponíveis na semana.

Pelo fato de não se ter disponibilidade integral de professores e alunos, distribuir bem os horários de aulas se torna uma tarefa necessária, não somente para diminuir custos e evitar desperdício de tempo, mas é um fator de grande impacto nos resultados do processo ensino/aprendizagem como, por exemplo:

- Aulas programadas de forma a não sobrecarregar o esforço físico e mental são altamente desejáveis;
- Discentes que trabalham ao dia têm seu rendimento reduzido à noite;
- Por exemplo, 5 horários seguidos de uma mesma disciplina, ou aulas seguidas em locais distantes podem diminuir o aproveitamento dos estudantes.

No próximo capítulo são descritos os principais aspectos relacionados à computação evolutiva, mais especificamente os algoritmos genéticos e algumas idéias referentes à teoria da evolução natural. Serão apresentadas resumidamente as idéias evolucionistas de Charles Darwin.

Capítulo 3

Algoritmos Genéticos

Algoritmos genéticos são algoritmos de otimização global, baseados nos mecanismos de seleção natural e da genética Goldberg (1989). Apesar de aleatórios, eles exploram informações históricas para encontrar novos pontos de busca onde são esperados melhores desempenhos. Isto é feito através de processos iterativos, onde cada iteração é chamada de geração.

Algoritmos Genéticos são muito eficientes para busca de soluções ótimas, ou aproximadamente ótimas, em uma grande variedade de problemas, pois não impõem muitas das limitações encontradas nos métodos de busca tradicionais. São capazes de identificar e explorar fatores ambientais e convergir para soluções ótimas, ou aproximadamente ótimas em níveis globais.

A computação evolutiva caminha rapidamente para consolidar-se como uma área de atuação científica e, portanto, tudo leva a crer que os algoritmos evolutivos tornar-se-ão em breve parte permanente do conjunto de ferramentas de engenharia Goldberg (1998).

Caldeira (1997), discute a implementação de dois algoritmos genéticos utilizados para resolver o problema de *class-teacher problem timetabling* Holland (1975) para pequenas escolas, fazendo uma comparação entre os resultados obtidos pelas duas abordagens

propostas. A técnica de busca local denominada *Intraclasses-Interclasses*, foi proposta por Souza (2001). Essa abordagem foi comparada a um algoritmo GRASP convencional para o *class-teacher timetabling problem*. Sendo que a nova abordagem, produziu um resultado com uma avaliação 5% melhor do que o resultado da abordagem GRASP em aproximadamente 2,5% do tempo consumido pela mesma (aproximadamente 5 seg). No teste realizado foi considerada uma escola pública brasileira.

Um algoritmo genético paralelo para o *timetabling problem* é apresentado por Abramson (1992). Nesse trabalho é feita uma comparação com os algoritmos genéticos convencionais, considerando-se instâncias do *class-teacher timetabling problem* com até trezentas tuplas <professor, disciplina, sala>, trinta slots de tempo e máquinas com 1, 2, 5, 10 e 15 processadores. O autor conclui que a abordagem paralela pode ser até 9.3 vezes mais rápida que a abordagem sequencial, para as instâncias do problema consideradas.

Em sua tese de doutorado, Fang (1994) investiga a utilização de algoritmos genéticos para resolver um grupo de problemas de *grade horária*. Nesse trabalho é proposto um *framework* para a utilização de algoritmos genéticos para a resolução de problemas de *grade horária* no contexto de instituições de ensino. Esse *framework* possui como pontos de flexibilização: a declaração das restrições específicas do problema, utilização de uma função para avaliação das soluções, também específica para o problema e a utilização de um algoritmo genético que é independente do problema considerado. O autor mostra que os algoritmos genéticos são bastante efetivos e úteis para a resolução de problemas de *grade horária* e que, quando comparados com os resultados obtidos manualmente, os resultados obtidos por esses algoritmos são mais bem avaliados.

Os algoritmos genéticos empregam uma terminologia originada da teoria da evolução natural e da genética. Um indivíduo da população é representado por um único *cromossomo*, contendo a *codificação* (genótipo) de um candidato à solução do problema (fenótipo). Um

cromossomo é usualmente implementado na forma de um vetor (lista de atributos), em que cada componente é conhecido como *gene*. Os possíveis valores que um determinado gene pode assumir são denominados *alelos*.

O processo de evolução executado por um algoritmo genético corresponde a um processo de busca em um espaço de soluções potenciais para alcançar o objetivo proposto. Como enfatiza Michalewicz (1996), essa busca requer um equilíbrio entre dois objetivos aparentemente conflitantes: o aproveitamento das melhores soluções e a exploração do espaço de busca.

De um modo geral, os algoritmos genéticos têm as seguintes características:

- Operam numa população (conjunto) de pontos, e não a partir de um ponto isolado;
- Operam num espaço de soluções codificadas, e não no espaço de busca diretamente;
- Necessitam somente de informação sobre o valor de uma função objetivo para cada membro da população, e não requerem derivadas ou qualquer outro tipo de conhecimento;
- Usam transições probabilísticas, e não regras determinísticas.

Um Algoritmo Genético deve conter os seguintes componentes Concilio (2000):

- Uma representação genética para soluções candidatas ou potenciais (processo de codificação);
- Uma população inicial, gerada aleatoriamente;
- Função de avaliação que faz o papel da pressão ambiental, classificando as soluções de acordo com sua adaptação ao meio;
- Operadores genéticos;
- Valores para os parâmetros genéticos (tamanho da população, probabilidades de aplicação dos operadores, entre outros).

Os algoritmos genéticos básicos funcionam da seguinte forma:

1. Determinar uma população inicial de cromossomos.
2. Avaliar cada indivíduo da população através do cálculo de sua aptidão, utilizando a função de avaliação.
3. Selecionar os cromossomos que produzirão descendentes para a próxima geração, em função dos seus desempenhos apurados no passo anterior. (etapa de seleção).
4. Gerar descendentes através da aplicação das operações de cruzamento e mutação sobre os cromossomos selecionados no passo anterior, criando a próxima geração. (etapa de reprodução).
5. Se o critério de parada for satisfeito, termina e retorna o melhor cromossomo até então gerado, senão volta ao passo 2.

A Figura. 2 mostra um diagrama da execução de um algoritmo genético padrão.

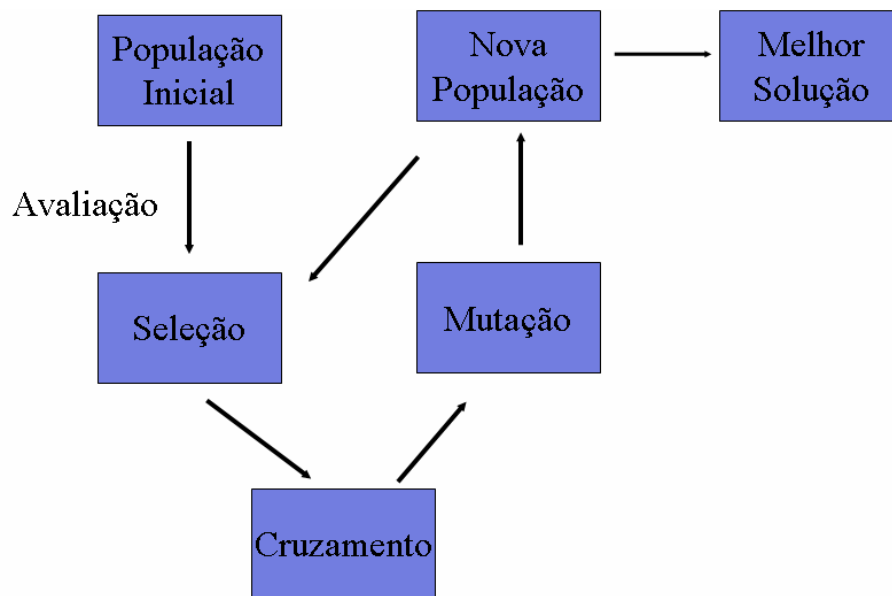


Figura 2: Diagrama – Algoritmo Genético

Durante cada geração, os princípios de seleção e reprodução são aplicados a uma população de candidatos que pode variar, dependendo da complexidade do problema e dos recursos computacionais disponíveis. Através da seleção, se determinam quais indivíduos conseguirão reproduzir, gerando um número determinado de descendentes para a próxima geração, com uma probabilidade determinada pelo seu índice de aptidão. Em outras palavras, os indivíduos com maior adaptação relativa têm maiores chances de se reproduzir.

Um dos principais elementos da etapa de implementação, é a codificação do indivíduo, adotando-se uma convenção para a divisão dos horários.

Neste trabalho foi adotada uma convenção para divisão de horários ou *slots* disponíveis entre os turnos visando a codificação dos indivíduos, como mostrado no Figura 3.

Horário	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
07:10 – 08:00	1	7	13	19	25
08:00 – 08:50	2	8	14	20	26
08:50 – 09:40	3	9	15	21	27
09:50 – 10:40	4	10	16	22	28
10:40 – 11:30	5	11	17	23	29
11:30 – 12:20	6	12	18	24	30
13:10 – 14:00	31	37	43	49	55
14:00 – 14:50	32	38	44	50	56
14:50 – 15:40	33	39	45	51	57
16:00 – 16:50	34	40	46	52	58
16:50 – 17:40	35	41	47	53	59
17:40 – 18:30	36	42	48	54	60

Figura 3: Codificação dos 60 horários disponíveis.

3.1 Codificação do Indivíduo

O indivíduo contém uma grade de horários, onde cada célula contém o código da disciplina com o professor responsável pela mesma. Cada indivíduo também contém o valor de *aptidão* e o turno em que as disciplinas serão ministradas.

Neste trabalho, o indivíduo foi codificado conforme a Figura 4.

1	2	3	4	5	...	60
---	---	---	---	---	-----	----

Figura 4: Slots – Período matutino e vespertino: 60 slots

3.2 Sorteio e Aleatoriedade

Para garantir resultados corretos e precisos em problemas onde é utilizada a Computação Evolucionária como solução, é utilizada a geração de números aleatórios. A geração de números se dá a partir de uma semente informada (geralmente é baseada no tempo corrente do sistema).

3.3 Base de Dados

A base de dados da ferramenta para gerar a grade horária, consiste de tabelas como seguem:

- Dados das Disciplinas: Contém as informações referentes às disciplinas, tais como: nome, professor designado, carga horária semanal, carga horária teórica, carga horária prática e período.

- **Dados dos Professores:** Contém as informações referentes aos professores, tais como: nome, endereço, telefone, entre outras.

- **Preferência de Horários de Professores:** Contém a preferência de cada professor sobre determinado horário de aula na grade horária. Esta preferência pode assumir três valores:

- 0 - Insatisfação em ministrar aulas no horário

- 1 - Satisfação parcial em ministrar aulas no horário

- 2 - Plena satisfação em ministrar aulas no horário

3.4 Criação da População Inicial

Conforme descrito nas seções anteriores, a criação da população inicial é de extrema importância para o desempenho do Algoritmo Genético. Na criação da população inicial são gerados somente indivíduos factíveis. Ao final da criação da população inicial, a restrição número de aulas por semana de cada disciplina está satisfeita, entretanto, no decorrer do processamento, novamente esta verificação deverá ser feita, tendo seu resultado influência sobre a aptidão, já que com a aplicação dos operadores genéticos as grades horárias serão modificadas.

3.5 Cálculo de Aptidão

O cálculo da aptidão compõe-se da verificação das restrições definidas no problema. Cada restrição recebeu um peso, de acordo com a importância, sendo que o valor da aptidão varia de 0 a 100, sendo 100 o valor ótimo. Pela sua importância, a restrição de preferência de horário do professor recebeu peso específico para o cálculo na função de aptidão.

3.6 Operadores Genéticos

Os operadores genéticos mais frequentemente utilizados são o cruzamento e a mutação. Nesta seção, são apresentados os principais aspectos relacionados a estes operadores entre outros.

3.6.1 Seleção

O mecanismo de seleção em algoritmos genéticos emula os processos de reprodução assexuada e seleção natural. Em geral, geram-se uma população temporária de N indivíduos extraídos com probabilidade proporcional à adequabilidade relativa de cada indivíduo na população, ou seja, um indivíduo apto a aparecer na nova população. Neste processo, indivíduos com baixa adequabilidade terão alta probabilidade de desaparecerem da população, ou seja, serem extintos. Já os indivíduos mais adequados terão grandes chances de sobreviverem.

3.6.2 Elitismo

Elitismo é um processo que garante que um percentual dos melhores indivíduos de uma população não seja perdido. Desta forma os melhores indivíduos de uma população são reproduzidos na população seguinte.

3.6.3 Cruzamento

O processo de recombinação é um processo sexuado - ou seja, envolve mais de um indivíduo - que emula o fenômeno de “*cruzamento*”, ou seja, a troca de fragmentos entre pares de cromossomos. Na forma mais simples, trata-se um processo aleatório que ocorre com probabilidade fixa, que deve ser especificada pelo usuário.

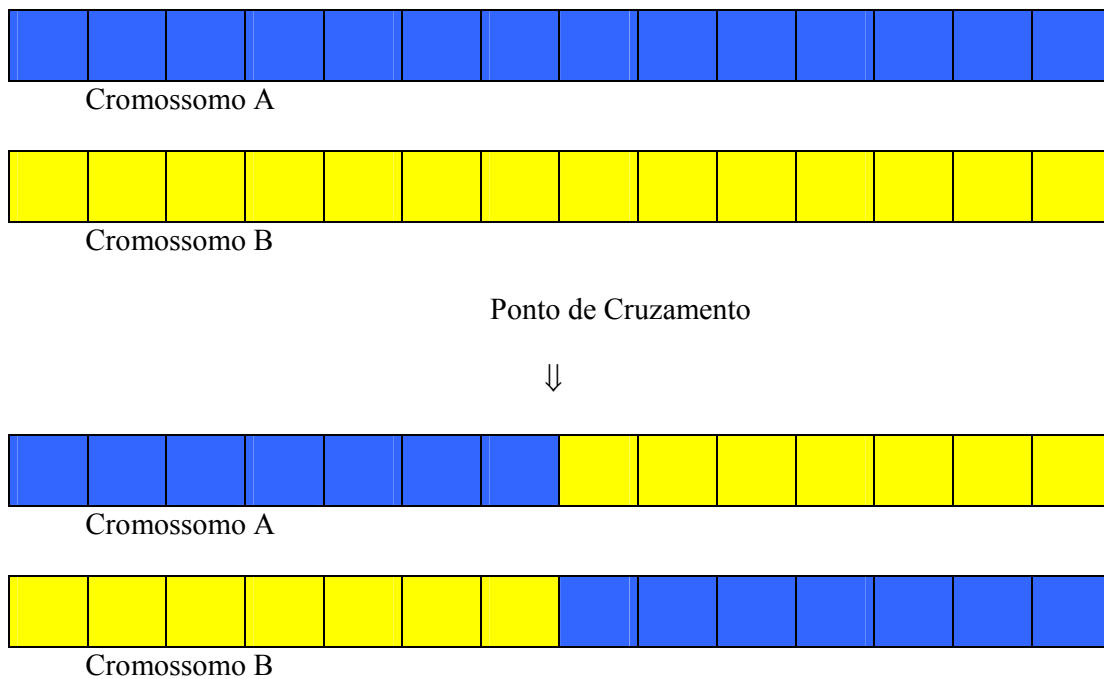


Figura 5: Exemplo de Cruzamento de um ponto.

3.6.4 Mutação

O processo de mutação em algoritmos genéticos é equivalente à busca aleatória. Basicamente, seleciona-se uma posição num cromossomo e muda-se o valor do gene correspondente aleatoriamente para um outro alelo possível.

O processo é geralmente controlado por um parâmetro fixo, que indica a probabilidade de um gene sofrer mutação.

A mutação tem como objetivo apenas trocar os alelos de posição no indivíduo. Para cada indivíduo de cada espécie é sorteada a posição de forma aleatória e o conteúdo da posição é trocado.

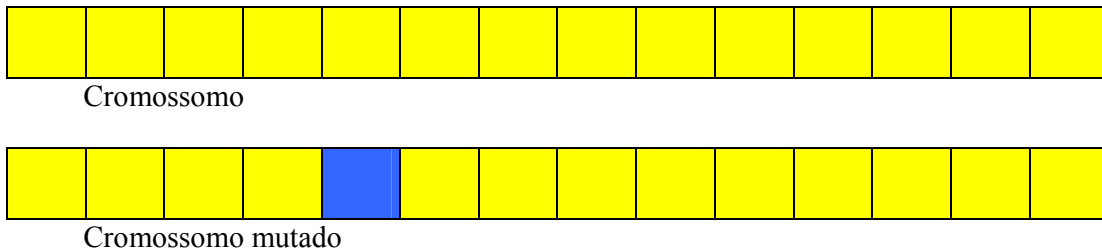


Figura 6: Exemplo de Mutação

3.6.5 Evolução

Para realizar a avaliação, primeiramente é necessário obter um modelo de domínio na qual todos os indivíduos de todas as espécies serão avaliados. O modelo constituirá de um conjunto com um indivíduo de cada espécie com maior valor da aptidão. Na avaliação, cada indivíduo é inserido nesse modelo de domínio no lugar do indivíduo que pertence a sua espécie. A avaliação é realizada com um indivíduo de cada vez. Na avaliação, o indivíduo será penalizado caso existam conflitos de horário entre períodos diferentes. Essa penalização irá afetar diretamente o valor de aptidão, fazendo assim, com que o processo evolutivo do indivíduo seja alterado. A verificação é realizada em todas as gerações criadas.

A função que faz a cooperação deve ser uma função que avalie as relações do indivíduo com toda a população. Neste trabalho, essa função é uma restrição muito importante para o

funcionamento do algoritmo: a alocação do mesmo professor que dará aula em mais de um período, alocado em horários coincidentes.

Após serem apresentadas as definições, o funcionamento e as partes constantes dos algoritmos genéticos, são descritas no próximo capítulo o estudo de caso para a Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU.

Capítulo 4

Estudo de Caso: geração de grade horária para a Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia



Figura 7: Foto da entrada da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU

Neste trabalho, considera-se que o curso de engenharia elétrica da UFU é formado por um conjunto de disciplinas, com a duração de 10 semestres. Para concluir o curso, o aluno deverá matricular-se e conseguir aprovação em todas as disciplinas do curso.

Num determinado semestre ou período as disciplinas são oferecidas em determinados dias da semana, sendo que o aluno poderá matricular-se em qualquer disciplina. Porém, a matrícula em algumas disciplinas poderá estar sujeita a um conjunto de pré-requisitos, ou seja, aprovação em disciplinas de fases anteriores do curso. A Figura 8 mostra um exemplo de grade horária, cedido pela secretaria da FEELT, onde estão dispostas as disciplinas e os dias da semana em que são ministradas.

Horas	2ª Feira		3ª Feira		4ª Feira		5ª Feira		6ª Feira	
	Discipl	Turma	Discip	Turma	Discipl	Turma	Discipl	Turma	Discipl	Turma
07:10 – 08:00	C1	E	GA	E	IC1	E	C1	E	IC1	E
08:00 – 08:50	C1	E	GA	E	IC1	E	C1	E	IC1	E
08:50 – 09:40	GA	E	GA	E	IEE	U	QG	C	DB	D
09:50 – 10:40	GA	E	C1	E	IEE	U	QG	C	DB	D
10:40 – 11:30	IEE	A	C1	E	PO1	A/B/C	QG	C	DB	D
11:30 – 12:20	IEE	A			PO1	A/B/C				
13:10 – 14:00					QE	E				
14:00 – 14:50					QE PO1	E D/E				
14:50 – 15:40					QE PO1	E D/E				
16:00 – 16:50					QE PO1	F F/G/H				
16:50 – 17:40					QE PO1	F F/G/H				
17:40 – 18:30					QE	F				

Figura 8: Exemplo de grade horária com disciplinas práticas e teóricas para o 1º semestre ou período do curso de engenharia elétrica da FEELT – UFU.

Para uma melhor orientação do aluno, o curso oferece um diagrama do fluxo curricular, como mostrado na Figura 10, a Estrutura Funcional, com uma distribuição das disciplinas por semestre, que já prevê o cumprimento dos pré-requisitos. Para exemplificar melhor a grade

horária do curso de Engenharia Elétrica, os anexos B, C, D e E constam do conjunto de disciplinas constantes para o curso com as respectivas ênfases.

O número de disciplinas por semestre curricular pode variar de acordo com a grade curricular do curso. Porém, como pode haver adiantamento ou atraso de disciplinas por parte dos alunos, o curso deve determinar o número mínimo e máximo de semestres para conclusão. Da mesma forma, o número de semestres curriculares pode variar, dependendo do número de disciplinas e do período do curso.

A criação de uma grade horária em uma instituição de ensino é uma atividade muito importante, já que depois de elaborada, ela será utilizada durante todo o período letivo, fazendo com que todos tenham que se adaptar aos horários, influenciando assim todo o corpo docente e discente da instituição. A Figura 9 mostra uma grade horária das disciplinas e as turmas que são ministradas por um professor durante a semana letiva.

Horas	2ª Feira		3ª Feira		4ª Feira		5ª Feira		6ª Feira	
	Discip	Turma	Discip	Turma	Discipl	Turma	Discipl	Turma	Discip	Turma
07:10 – 08:00	CE1	A/B								
08:00 – 08:50	CE1	A/B								
08:50 – 09:40	CE1	C/D			IEE	U	CE1	G		
09:50 – 10:40	CE1	C/D			IEE	U	CE1	G		
10:40 – 11:30	CE1	E/F								
11:30 – 12:20	CE1	E/F								
13:10 – 14:00										
14:00 – 14:50										
14:50 – 15:40							CE1	U		
16:00 – 16:50							CE1	U		
16:50 – 17:40			CE1	U			CE1	U		
17:40 – 18:30			CE1	U						

Figura 9: Exemplo de horário de um professor contendo as disciplinas e turmas de disciplinas que irá ministrar no curso de engenharia elétrica da UFU.

O que a maioria das pessoas não sabe é a complexidade da elaboração de toda a grade, devido à grande quantidade de regras e restrições que devem ser respeitadas, por exemplo:

- O número de aulas de cada disciplina;
- A preferência de horário de cada professor;
- Se duas ou mais matérias forem do mesmo professor, elas deverão estar em horários diferentes.

Na maioria das vezes, o que é feito pela direção da instituição de ensino é, uma vez concluída a grade do ano anterior, promover apenas uma atualização para o ano seguinte. Esta técnica é válida desde que seja suficiente realizar pequenas alterações naquilo que já era funcional. Essa facilidade refere-se à pré-alocação de disciplinas no gerador automático de grade horária.

Uma dificuldade encontrada neste tipo de situação é que, devido às inúmeras particularidades, o processo de solução adotado em um problema geralmente não poderá ser aplicado a outros fins.

4.1. Estrutura Funcional

Neste projeto, está sendo considerada, a criação da grade horária em uma instituição de ensino universitária, em específico para um curso de graduação com as seguintes características:

- Curso com cinco anos de duração;
- O curso é dividido em dez períodos;
- Contém um elenco de 114 disciplinas teóricas e 39 disciplinas práticas;
- Possui 45 professores disponíveis para ministrar as disciplinas;
- As aulas são ministradas no período da manhã e tarde;

- Os horários de aula variam das 07h10 às 12h20 e 13h10 às 18h30;
- Os professores manifestam a sua preferência com relação a cada horário indicando o grau de preferência para ministrarem disciplinas no horário.
- Os períodos ímpares, ou seja, 1, 3, 5, 7 e 9, são oferecidos no período das 07h10 às 12h20 e 13h10 às 18h30 para disciplinas obrigatórias teóricas. As disciplinas práticas dos períodos 1, 3, 5, 7 e 9 são oferecidas no período de 13h10 às 18h30.
- Os períodos pares, ou seja, 2, 4, 6, 8 e 10, são oferecidos no período das 13h10 às 18h30 para disciplinas obrigatórias teóricas. As disciplinas práticas dos períodos 2, 4, 6, 8 e 10 são oferecidas no período de 07h10 às 12h20.
- As disciplinas optativas são oferecidas após o segundo período do curso de Engenharia Elétrica obedecendo a disponibilidade de oferecimento fornecida pela secretaria do curso.
- As disciplinas práticas podem ser oferecidas semanalmente ou quinzenalmente de acordo com a disponibilidade de professores e número de turmas da disciplina.

A Figura 10 mostra a Estrutura Funcional para o curso de graduação, estudo de caso deste trabalho.

O curso de graduação em Engenharia Elétrica da FEELT – UFU atualmente oferece ênfases em Eletrônica (Engenharia da Computação) e Eletrotécnica. O aluno graduando faz a opção de ênfase após o segundo período concluído. Nas Figuras 11 e 12 encontram-se listadas, utilizando-se relatórios do Microsoft Access, as disciplinas do 1º e 2º períodos que são ministradas no curso, considerado “Núcleo Comum”. As Figuras 13 e 14 mostram disciplinas do 7º período com ênfase em Eletrotécnica e Eletrônica respectivamente. Os relatórios foram gerados a partir do gerenciador de base de dados utilizado para mapear o esquema conceitual do aplicativo.

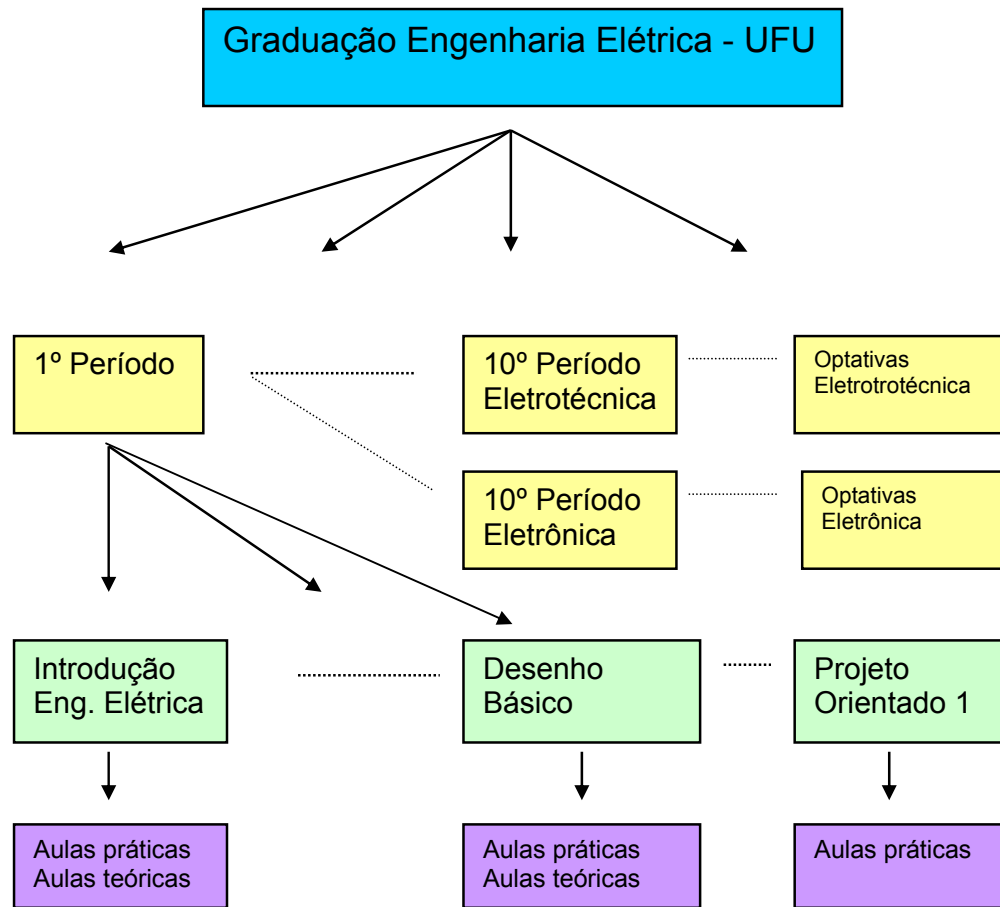


Figura 10: Estrutura Funcional do curso de graduação da Engenharia Elétrica

O Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia teve autorização para realizar seu primeiro concurso vestibular em outubro de 1970. A opção para uma das ênfases é feita ao concluir o segundo período. Compete ao Engenheiro Eletricista com ênfase em Eletrotécnica, as atividades referentes à geração, transmissão, distribuição e utilização da energia elétrica; equipamentos, materiais e máquinas elétricas; sistemas de medição e controle elétricos; seus serviços afins e correlatos. Já para a ênfase de Eletrônica, as atividades referentes a materiais elétricos e eletrônicos; equipamentos eletrônicos em geral; sistemas de comunicação e telecomunicações; sistemas de medição e controle elétrico e eletrônico; seus serviços afins e correlatos.

Microsoft Access - [ConsultaDisciplinaCurso]

UFU - Universidade Federal de Uberlândia
FEELT -Consulta Disciplina Curso

Sigla	Código Disciplina	Descrição Disciplina	Curso	Periodo
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Núcleo Comum				
	QMC03	QUÍMICA EXPERIMENTAL	296	1
	QMC02	QUÍMICA GERAL	296	1
	MAT03	GEOMETRIA ANALÍTICA	296	1
	MAT02	CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL 1	296	1
	INF 51	INTRODUÇÃO A COMPUTAÇÃO 1	296	1
	DEM01	DESENHO BÁSICO	296	1
IEE	ENG06	INTRODUÇÃO À ENGENHARIA ELÉTRICA	296	1
POI	DEL63	PROJETO ORIENTADO 1	296	1

Página: 14 1 NUM

Figura 11: Relatório das disciplinas do 1º período – Núcleo Comum.

Microsoft Access - [ConsultaDisciplinaCurso]

UFU - Universidade Federal de Uberlândia
FEELT -Consulta Disciplina Curso

Sigla	Código Disciplina	Descrição Disciplina	Curso	Periodo
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Núcleo Comum				
	MAT07	ÁLGEBRA LINEAR	296	2
	MAT06	ESTATÍSTICA	296	2
	MAT05	CÁLCULO DIFERENCIAL E INTEGRAL 2	296	2
	FIS02	FÍSICA EXPERIMENTAL 1	296	2
	FIS01	FÍSICA GERAL 1	296	2
	DEM02	DESENHO TÉCNICO	296	2
LP	DEL01	LINGUAGENS PROCEDIMENTAIS	296	2
PO2	DEL64	PROJETO ORIENTADO 2	296	2

Página: 14 1 NUM

Figura 12: Relatório das disciplinas do 2º período – Núcleo Comum.

Microsoft Access - [ConsultaDisciplinaCurso]

UFU - Universidade Federal de Uberlândia
FEELT -Consulta Disciplina Curso

Sigla	Código Disciplina	Descrição Disciplina	Curso	Periodo
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Eletrotécnica				
DEEL	DEL09	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	211	7
ELI	DEL12	ELETRÔNICA INDUSTRIAL	211	7
INI	ELT26	INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL	211	7
ITEL	DEL10	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	211	7
MEL	DEL08	MÁQUINAS ELÉTRICAS	211	7

Página: 14 1 NUM

Figura 13: Relatório das disciplinas do 7º período – Eletrotécnica.

Microsoft Access - [ConsultaDisciplinaCurso]

UFU - Universidade Federal de Uberlândia
FEELT -Consulta Disciplina Curso

Sigla	Código Disciplina	Descrição Disciplina	Curso	Periodo
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica - Ênfase em Eletrônica				
CDP	DEL17	CONTROLE DIGITAL DE PROCESSOS	226	7
CG	DEL39	COMPUTAÇÃO GRÁFICA	226	7
IA	DEL40	INTELIGENCIA ARTIFICIAL	226	7
MICROI	DEL42	MICROPROCESSADORES 1	226	7
PCI	DEL18	PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÃO 1	226	7
ROB	DEL41	ROBÓTICA	226	7

Página: 14 1 NUM

Figura 14: Relatório das disciplinas do 7º período – Eletrônica.

Descritas a Estrutura Funcional do curso de Engenharia Elétrica e a grade curricular que compõe o curso, será analisado o problema de alocação de carga didática na definição da grade horária para essa instituição de ensino. Serão usadas heurísticas da classe dos Algoritmos Genéticos, por serem robustas e aplicáveis a uma grande variedade de problemas.

Neste capítulo, foi apresentado o problema de definição de grade horária em instituições de ensino, mais precisamente um problema de alocação de carga didática. No capítulo 5 será descrito a implementação do sistema gerador de grade horária, os capítulos 6 e 7 tratam das estratégias empregadas para a solução do problema e análise dos resultados respectivamente.

Capítulo 5

Implementação do Sistema Gerador de Grade Horária

O funcionamento da ferramenta AloGra – Alocador Automático de Grade Horária é bastante simples. De acordo com o tamanho da população são criadas as populações das dez espécies (que correspondem aos 10 períodos do curso de graduação de engenharia elétrica). Nesta etapa as Bases de Dados são acessadas para criação dos indivíduos (grades horárias). Após esta etapa inicial o Algoritmo Genético segue o fluxo padrão. É realizada a seleção, cálculo de aptidão e aplicação dos operadores genéticos. A seguir é efetuado o teste de evolução entre as espécies das populações. As espécies com maior aptidão continuam participando da verificação.

Idéia básica do algoritmo:

- Começar com um conjunto de soluções (representado por cromossomos) chamado população;
- Soluções de uma população são escolhidas e usadas para formar uma nova população (reprodução);
- Espera-se que a nova população seja “melhor” que a anterior;

- Soluções que são escolhidas para formar novas soluções (descendentes) são escolhidas de acordo com uma função de adaptação (função objetivo-custo);

- O processo é repetido até que uma condição seja satisfeita.

As dificuldades a serem enfrentadas no desenvolvimento de um sistema gerador de Grade Horária Escolar são, principalmente, de três naturezas:

- Múltiplos Objetivos – para atender a todos os usuários, professores, alunos, assim como a instituição envolvida, é necessário, pelo menos, uma tabela específica para cada um, pois ainda que as informações tratadas sejam as mesmas, os “cenários” se diferenciam, já que cada um busca respostas diferentes;

- Restrições de Graus Diferentes – a geração de grade horária envolve um grande número de restrições e que devem receber tratamento diferenciado, tornando necessária uma estratégia de “pesos” para cada uma;

- Número de Variáveis – quantidade de Alunos, de Professores, de Disciplinas, Salas e Carga Horária.

As restrições podem ser classificadas em:

- Leves - geralmente ligadas às preferências dos professores, dias e horários pontuados de acordo com uma ficha preenchida pelos professores classificando suas preferências. As penalizações associadas são baixas, tiradas diretamente da pontuação das preferências;

- Médias - de complexidade maior, buscam soluções como distribuição uniforme das aulas (para os alunos e para os professores), evitar situações extremas, como o exemplo do professor que só dá cinco aulas por semana, e, apesar de poder fazer isso num dia só, é obrigado a ir à escola todos os dias; ou alunos correndo de um lugar para outro pois o tempo para troca de sala é escasso; “janelas” ou aulas vazias durante o período, etc. As penalizações envolvidas são de peso médio ou alto.

- Severas - são estas que verificam a factibilidade de uma solução, cuidando de regras como verificação de Carga Horária, Disponibilidades, etc. As penalizações são altíssimas, ou até, em alguns trabalhos, servindo como Agente Filtrador, descartando soluções não Factíveis.

As restrições descritas abaixo, por exemplo, são do tipo severas e devem ser atendidas em qualquer sistema de elaboração de Grade Horária:

- Cada professor e cada classe deve estar presente na grade horária em um número pré-definido de horas;
- Não pode existir mais que um professor (professores de disciplinas diferentes) na mesma classe em um mesmo horário;
- Nenhum professor pode estar em duas classes no mesmo horário;
- Não podem existir “horas descobertas”, isto é, horas em que nenhum professor foi especificado para uma classe.

Para o aplicativo proposto foram consideradas as restrições que são descritas abaixo:

- Cada professor deverá ter o máximo de satisfação com relação aos horários alocados;
- Deve ser respeitado o número de aulas por semana de cada disciplina;
- Não pode haver aulas seguidas (aulas geminadas) da mesma disciplina;
- Deve-se evitar ao máximo o aparecimento de “janelas” entre os horários;
- Disciplinas diferentes, ministradas pelo mesmo professor, não podem coincidir, ou seja, devem estar em horários diferentes.

Na Figura 15 é mostrado um exemplo das várias disciplinas que podem ser ministradas por um mesmo professor. Na Figura 16, uma disciplina ministrada por vários professores (turmas).

Microsoft Access - [ProfessoresDisciplina]

Arquivo Editar Exibir Ferramentas Janela Ajuda

75%

Fechar Configuração

UFU - Universidade Federal de Uberlândia

FEELT - Professores Disciplina

Nome Professor	Cod.Disciplina	Des da Disciplina	
Adélto José de Moraes	DEL02	CE1	CIRCUITOS ELETRICOS 1
Adriano Alves Pereira	DEL46	MICRO2	MICROPROCESSADORES 2
	DEL65	PO3	PROJETO ORIENTADO 3
	ELT35	INI	INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL
Aldemir Antônio de Paula	DEL04	CE2	CIRCUITOS ELETRICOS 2
	DEL64	PO2	PROJETO ORIENTADO 2
	DPV47		ELETRIFICAÇÃO RURAL
Alcimar Barbosa Soares	DEL38	MSTR	MULTIPROCESSADORES EM TEMPO REAL
	ELT17	EF2	ELETRÔNICA FUNDAMENTAL 2
Alexandre Cardoso	DEL63	PO1	PROJETO ORIENTADO 1
	DEL52	ESOF	ENGENHARIA DE SOFTWARE
Aloísio de Oliveira	DEL63	PO1	PROJETO ORIENTADO 1
	DEL64	PO2	PROJETO ORIENTADO 2

Página: 14 1 NUM

Pronto

Figura 15: Exemplo de relatório: um professor ministra várias disciplinas.

Microsoft Access - [Disciplinas]

UFU - Universidade Federal de Uberlândia
FEELT - Disciplina - Turma - Professor

Professor	Turma	Curso	Período
DEL63 PO1 PROJETO ORIENTADO 1			
5 Alexandre Cardoso	F	296	1
	H	296	1
6 Aloísio de Oliveira	A	296	1
	B	296	1
8 Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga	G	296	1
9 Carlos Augusto Bissolati Júnior	I	296	1
11 Darizon Alves de Andrade	D	296	1
13 Edgar de Afonso Lamounier Júnior	J	296	1
21 João Batista Vieira Júnior	K	296	1
23 Johann Hofmann Magalhães			

Página: 14 1 NUM

Figura 16: Exemplo de relatório: uma disciplina ministrada por vários professores.

A função custo, a ser minimizada ou maximizada na busca da solução ótima, é calculada pela soma dos pesos das restrições não satisfeitas.

Também foram levantadas as seguintes limitações para o sistema proposto:

- Método de matrícula dos alunos: por disciplina a cada período letivo;
- Turma: os alunos que cursam juntos uma mesma disciplina em um mesmo campus, curso e semestre curricular;
- Não é levada em consideração, a matrícula de alunos por período letivo;
- Será modelada apenas a matrícula por disciplina;
- Um aluno pode matricular-se em disciplinas de semestres diferentes, devendo atender seus pré-requisitos e número de disciplinas por semestre.

Considerações importantes para a implementação do sistema gerador de grade horária proposto neste trabalho:

- A geração de grades horárias deve levar em conta diversos fatores, entre eles, horários de trabalho dos professores. As disciplinas oferecidas no período são as mais importantes;
- Um conjunto de disciplinas é oferecido a cada período letivo, geralmente um semestre;
- Para cada disciplina dentro do semestre há um horário associado, fazendo com que cada aluno tenha, durante a semana, uma ou mais disciplinas na sua tabela de horários;
- Dependendo da demanda prevista de matrículas para uma disciplina, podem ser abertas turmas extras.

Ao final de todas as restrições estabelecidas, limitações consideradas e considerações a serem atendidas pelo sistema gerador, considera-se a saída, uma lista contendo relatório de aulas/disciplinas que são ministradas de segunda à sexta-feira, contendo o dia e o horário de cada aula/disciplina .

Anteriormente ao desenvolvimento do aplicativo foi feito o levantamento dos requisitos necessários para a implementação. O levantamento constou de diversas reuniões junto à secretaria da instituição de ensino, modelo desta implementação.

Para a especificação deste sistema, foi utilizada a análise estruturada, sendo apresentado um diagrama para o contexto do problema como mostrado na Figura. 17.

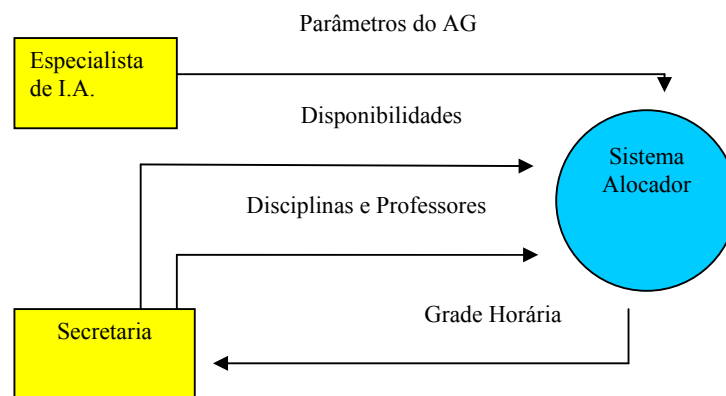


Figura 17: Contexto do Sistema Gerador de Grade Horária.

Dada a necessidade da modelagem das funções que o sistema deve executar para atender aos anseios dos usuários do sistema, foi criado também um diagrama para representar o fluxo dos dados para o sistema. O diagrama com o fluxo dos dados representa um sistema como uma rede de processos interligados entre si por fluxos de dados e depósitos de dados. A modelagem do sistema mostra as relações entre dados (armazenados e que fluem no sistema) e os processos que manipulam e transformam esses dados.

A Figura 18 mostra o fluxo de dados do Sistema Gerador de Grade horária.

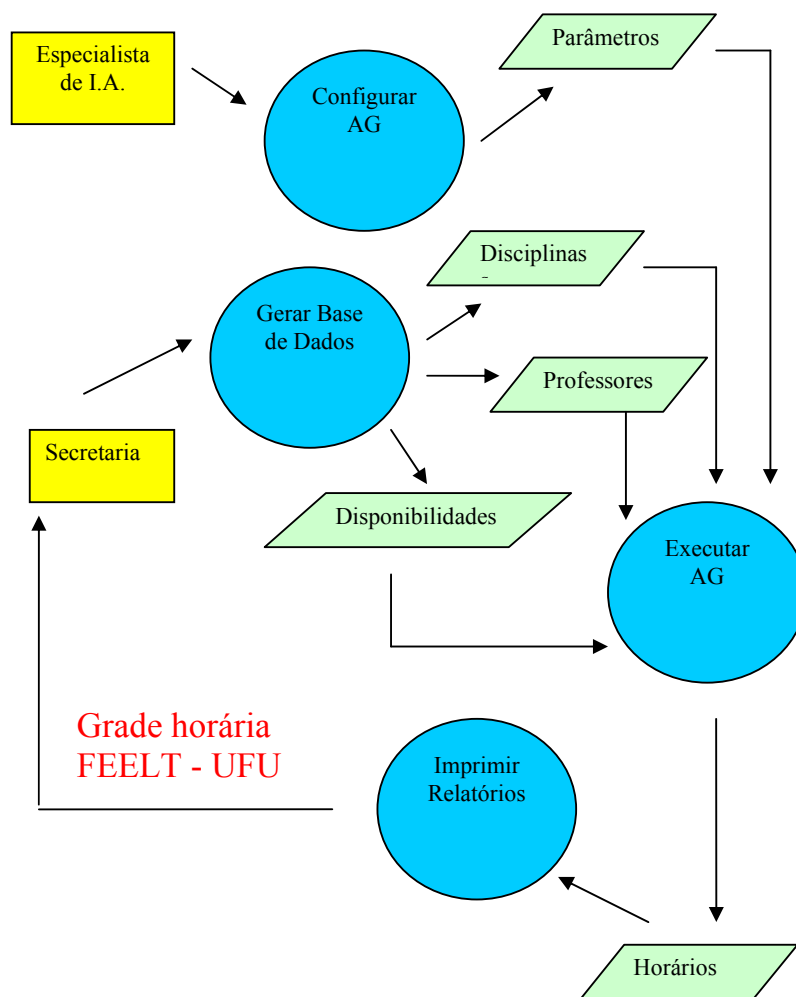


Figura 18: Fluxo dos Dados do Sistema Gerador de Grade horária.

5.1 Base de dados

Para a implementação proposta, a aplicação trabalha com consulta a uma base de dados previamente elaborada com base em dados reais da estrutura funcional de disciplinas do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

Os dados encontram-se ordenados em tabelas do tipo Paradox (.db). Nestas tabelas temos todos os dados necessários sobre as disciplinas, horários, professores e sua

disponibilidade tanto para a o processamento do algoritmo quanto para sua finalização e exibição sistemática da grade horária alocada.

5.1.1 - Tabelas de disciplinas

Temos duas tabelas, sendo uma para disciplinas teóricas e outra para disciplinas práticas onde temos registro de código das disciplinas, nome, sigla, carga horária, ênfase, período, identificador e o código do professor que a leciona. A tabela de disciplinas teóricas é mostrado na Figura 19.

	CodDisciplina	Nome	Sigla	AulasSemTeoricas	AulasSemPraticas	Ênfase	Período	ID	CodProfessor
1	CAM01	ADMINISTRAÇÃO	ADM	5	0	0	10	1	46
2	CVL30	CIÊNCIAS DO AMBIENTE	CA	2	0	0	9	2	47
3	DEL01	LINGUAGENS PROCEDIMENTAIS	LP	4	0	0	2	3	37
4	DEL02	CIRCUITOS ELÉTRICOS 1	CE1	4	1	0	4	4	1
5	DEL03	SISTEMAS DE CONTROLE	SC	4	1	0	5	5	11
6	DEL04	CIRCUITOS ELÉTRICOS 2	CE2	4	1	0	5	6	3
7	DEL05	INSTRUMENTOS ELÉTRICOS	INEL	3	1	0	6	7	29
8	DEL06	TRANSFORMADORES	TRAFO	3	1	1	6	8	26
9	DEL07	ELETRÔNICA DIGITAL	EDG	3	1	0	6	9	9
10	DEL08	MÁQUINAS ELÉTRICAS	MEL	4	1	1	7	10	12
11	DEL09	DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA	DEEL	3	1	1	7	11	38
12	DEL10	INSTALAÇÕES ELÉTRICAS	ITEL	2	2	1	7	12	12
13	DEL11	ELETRÔNICA FUNDAMENTAL 1	EF1	4	2	0	5	13	22
14	DEL12	ELETRÔNICA INDUSTRIAL	ELI	4	1	1	7	14	35
15	DEL13	ACIONAMENTOS ELÉTRICOS	ACEL	4	1	1	8	15	36
16	DEL14	ACIONAMENTOS ELETRÔNICOS	AELT	4	1	1	9	16	21
17	DEL15	LINGUAGENS LÓGICAS FUNCIONAIS	LLF	4	0	2	4	17	34
18	DEL16	LINHAS DE TRANSMISSÃO E RADIAÇÃO	LTR	4	0	2	6	18	42
19	DEL17	CONTROLE DIGITAL DE PROCESSOS	CDP	3	1	2	7	19	20
20	DEL18	PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÃO 1	PC1	4	2	2	7	20	8
21	DEL19	SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES	SISCOM	3	1	2	9	21	16
22	DEL20	PRINCÍPIOS DE COMUNICAÇÕES 2	PC2	3	1	2	8	22	16

Figura 19: Exemplo de tabela de disciplinas teóricas

5.1.2 - Tabela de professores

Na tabela de professores, mostrada na Figura 20 tem-se o nome de cada professor associado a um código que é o que o identifica na execução do algoritmo. Além disso, há a possibilidade de acrescentar alguns dados pessoais dos professores que apesar de não serem utilizados para a execução do algoritmo são úteis para a coordenação do curso.

	CodProf	NomeProf	Endereco	TelefoneRes	TelefoneCel
1	1	Adélio José de Moraes			
2	2	Adriano Alves Pereira			
3	3	Aídson Antônio de Paula			
4	4	Alcimar Barbosa Soares			
5	5	Alexandre Cardoso			
6	6	Aloísio de Oliveira			
7	7	Antônio Carlos Delaiba			
8	8	Antônio Cláudio Paschoarelli Veiga			
9	9	Carlos Augusto Bissochi Júnior			
10	10	Carlos Henrique Saleno			
11	11	Darizon Alves de Andrade			
12	12	Décio Bispo			
13	13	Edgard Afonso Lamounier Júnior			
14	14	Edna Lúcia Flores			
15	15	Ernane Antônio Alves Coelho			
16	16	Fernando Egberto Feital de Camargo			
17	18	Geraldo Caixeta Guimarães			
18	19	Gilberto Arantes Carrijo			
19	20	João Batista Destro Filho			
20	21	João Batista Vieira Júnior			
21	22	João Carlos de Oliveira			
22	24	José Carlos de Oliveira			
23	25	José Mário Menescal de Oliveira			
24	26	José Roberto Camacho			
25	27	José Wilson Resende			
26	28	Júlio César Portella Silveira			
27	29	Keide Matumoto			
28	30	Keiij Yamanaka			

Figura. 20: Exemplo da tabela de professores

5.1.3 - Tabela de disponibilidade de professores

Cada professor tem a sua disponibilidade de horários representada em uma tabela onde cada coluna representa um *slot*, e em cada uma delas temos um número inteiro representado a disponibilidade do professor para aquele horário.

Na tabela, é inserido o código do professor e para cada horário, como por exemplo 2A, é inserida a disponibilidade variando no intervalo $[0,2]$, como definido anteriormente. A tabela é mostrada na Figura 21.

CodProfessor	2A	2B	2C	2D	2E	2Q	3A	3B
1	2	2	2	2	2	2	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	0
3	0	0	0	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	0	0	2	2
5	2	2	1	1	1	1	1	1
6	0	0	2	2	2	2	2	2
7	1	1	1	1	2	2	2	2
8	2	2	2	2	2	2	2	2
9	1	1	0	0	2	2	2	2
10	2	2	1	1	0	0	1	1
11	0	0	0	0	2	2	2	2
12	2	2	2	2	2	2	1	1
13	2	2	2	2	2	2	2	2
14	0	0	2	2	2	2	2	2
15	2	2	2	2	2	2	2	2
16	2	2	2	2	2	2	2	2
17	2	2	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	2	2
19	1	1	2	2	1	1	2	2
20	0	0	0	0	2	2	2	2
21	1	1	1	1	1	1	1	1
22	2	2	2	2	2	2	1	1
23	1	1	2	2	1	1	0	0
24	0	0	0	0	1	1	2	2
25	2	2	2	2	2	2	2	2
26	0	0	1	1	1	1	1	1
27	2	2	2	2	2	2	2	2
28	0	0	1	1	2	2	2	2
29	2	2	2	2	2	2	2	2
30	1	1	1	1	1	1	1	2
31	1	1	1	1	2	2	2	2
32	0	0	0	2	2	2	2	2

Figura. 21: Tabela de disponibilidade dos professores

5.2 O Algoritmo

Nesta seção serão explicados os vários aspectos envolvidos na codificação e implementação deste projeto. A definição correta, tendo em vista o problema, de todos os parâmetros que seguidamente se descrevem são fundamentais para o bom funcionamento do Algoritmo Genético.

Por outro lado, é difícil conceber um algoritmo que tenha um bom desempenho em qualquer problema de geração de grade horária. Assim essa aplicação foi desenvolvida para fazer a alocação de horários do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia.

5.2.1 - Codificação Genética

A codificação genética é a base do Algoritmo Genético e deve ser o primeiro aspecto a ser pensado e definido. Uma má codificação detectada tarde demais pode obrigar a refazer o trabalho todo ou então dificultar eventuais alterações que sejam necessárias no futuro.

Visto que um cromossomo representa uma possível solução para o problema, este deve conter toda a informação relativa ao grupo de horários. Mas, com o objetivo de minimizar a dimensão do cromossomo, ele traz apenas as informações que não são mantidas constantes durante o processo de alocação.

Em certos casos uma disciplina pode ter mais do que uma turma. Pode também acontecer que mais que um professor seja responsável por uma mesma disciplina. Outra situação particularmente importante é a presença de duas ênfases com matérias bem definidas com algumas disciplinas em comum e outras não.

Assim podemos resumir as informações necessárias para a elaboração da grade horária:

Informações constantes:

- Disciplinas que compõem cada ênfase
- Professores que lecionam
- Mapa de disponibilidade dos professores
- Carga horária semanal de cada disciplina
- Tipo (teórica/prática)

Informações variáveis:

- Horários (*slots* onde serão alocadas as aulas dadas)

Antes da execução do algoritmo, as informações constantes listadas acima são estabelecidas em uma base de dados onde a aplicação tem livre acesso para que através de consultas busque os dados necessários para a execução do Algoritmo Genético, gerando assim as informações variáveis.

Tradicionalmente na implementação de AG's os cromossomos são codificados simplesmente como um conjunto de genes armazenados em um vetor:



Figura. 22: Codificação tradicional de um cromossomo

Contudo, na implementação deste algoritmo, optou-se por codificar o cromossomo como um *structure* constituído por *arrays* e variáveis simples. Com isso, consegue-se ter um controle mais preciso dos dados, pois encontram-se sistematicamente dispostos. A *structure* é constituída por quatro matrizes de ordem 10x30, sendo duas para cada ênfase, em cada ênfase, uma corresponde às disciplinas teóricas e a outra às disciplinas práticas, como mostrado na

Figura 23. As linhas da matriz estão associadas ao período do curso e as colunas às disciplinas através de uma máscara de rótulos. Nessas matrizes são armazenados números inteiros, de 0 a 29 que correspondem aos *slots* alocados. Para completar a codificação do cromossomo, existem também as chamadas máscaras de rótulos. Essas máscaras são constantes durante a execução do algoritmo, por isso não estão interligadas à estrutura do cromossomo. São implementadas como quatro matrizes 10x30, duas para cada ênfase, onde suas linhas correspondem aos períodos e suas colunas à posição das matrizes do cromossomo. Em seus elementos estão armazenados números inteiros correspondentes ao código identificador das disciplinas a serem alocadas.

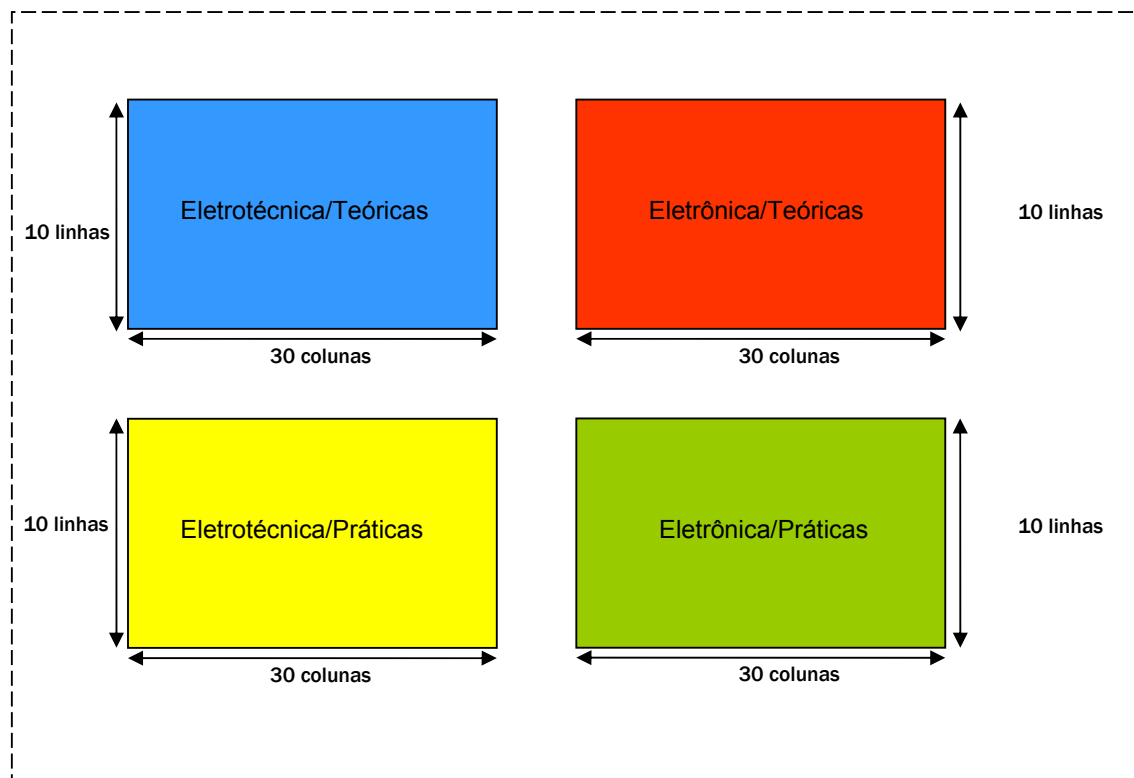


Figura. 23: Codificação do cromossomo utilizada no algoritmo

Para deixar mais claro a codificação do cromossomo vamos analisar o exemplo na Figura 24 onde é mostrada uma linha de uma matriz de máscara de rótulo e sua respectiva

linha em uma das matrizes do cromossomo. Decodificando essa grade horária teremos que a disciplina identificada pelo inteiro 35 ocupará os *slots* 2 e 3 e a disciplina 40 os *slots* 36, 37 e 38.



Figura. 24: Exemplo de equivalência máscara/cromossomo

5.2.2 - Inicialização da População

Antes do início do processo evolutivo, é necessário inicializar a população através da criação de uma série de cromossomos. O tamanho ideal da população é um parâmetro muito difícil de definir, e só é possível encontrar um valor satisfatório através de testes.

A inicialização da população faz-se, atribuindo valores aleatórios aos elementos das matrizes correspondentes aos *slots* que as disciplinas irão ocupar. Apesar de a inicialização ser aleatória, ela não gera soluções inválidas o que comprometeria toda a evolução do algoritmo. Ou seja, no momento da inicialização o algoritmo não permite que disciplinas diferentes de uma mesma ênfase e um mesmo período não ocupem o mesmo *slot*.

5.2.2.1 - Carga horária das disciplinas e ordenação

As disciplinas oferecidas pela faculdade possuem um diversificado número de carga horária semanal, seja ela teórica ou prática. De maneira geral essas disciplinas possuem número de aulas iguais a 1, 2, 3, 4, 5 e 6 onde cada aula possui duração de 50 minutos. No momento da inicialização deve ser levado em conta que as aulas devem estar distribuídas ao longo da grade horária divididos em subgrupos, ou seja, as disciplinas cuja carga horária é 6 devem ser divididas em blocos de 2 aulas cada, as disciplinas de carga horária 5, em um bloco de 3 e outro de 2 aulas e as de carga horária 4, em dois blocos de 2 disciplinas. Uma vez alocados na inicialização esses blocos permanecem sempre juntos, não sendo separados nem por ações dos operadores genéticos.

A fim de se evitar que o algoritmo entre em um *loop* infinito, assim que é feita a inicialização, deve-se fazer uma ordenação dos genes no cromossomo. Em cada uma das linhas de cada uma das matrizes constituintes do cromossomo deve-se alocar no início do vetor as disciplinas de carga horária 3, seguida das de 5, depois as de 6, 2 e 1. Lembrando que a ocorrência ou não de cada carga horária possível para as disciplinas é extremamente diversificada em cada linha das matrizes.

5.2.2.2 - Simplificação

Na implementação do aplicativo foi adotada uma simplificação com relação à carga horária de certas disciplinas práticas oferecidas. Por exemplo, se determinada disciplina que possui carga horária igual a 2 e possuem 3 turmas dessas disciplinas, e por conveniência, essas aulas devem ser dadas no mesmo dia e no mesmo turno, essas 3 turmas serão

consideradas como se fossem uma única disciplina de carga horária 6. Impedindo assim a violação de uma condição do processo de alocação de grade horária.

5.2.3 - Função de Aptidão

Para avaliar a qualidade de um cromossomo e consequentemente do conjunto de horários correspondente é necessário contabilizar todas as violações das restrições a alocação de horários. A cada restrição está associado um peso, determinado de forma experimental através de testes de convergência do algoritmo.

5.2.3.1 - Disponibilidade do professor

O principal fator para o cálculo da aptidão é o quanto a grade horária está de acordo com a disponibilidade dos professores. O aplicativo possui em sua base de dados uma tabela onde está armazenada a disponibilidade de cada um dos professores. Ao quadro horário dos professores são atribuídos valores inteiros a cada um dos *slots* de acordo com a seguinte convenção: 0: horário não disponível; 1: horário condicionalmente disponível; 2: horário disponível e 10: horário obrigatório.

Vale ressaltar que este último caso é na verdade uma simplificação feita que os horários alocados pela Faculdade de Engenharia Elétrica não coincida com disciplinas que são oferecidas por outras faculdades. Assim, por exemplo, quadro de disponibilidade do professor de Cálculo I, na verdade teria *slots* com valor 10 nos horários definidos pela Faculdade de Matemática para ser lecionada a disciplina, e o restante dos *slots* teriam valor 0.

Assim a disponibilidade total do cromossomo, mostrada na equação (3), seria calculada como o somatório do peso correspondente de cada *slot* para o professor que o está alocando.

Assim matematicamente temos:

$$D_{TOTAL} = \sum_{i=0}^n disponibilidade(slot) \quad (3)$$

onde:

n = o número total de genes;

$disponibilidade(slot)$ = disponibilidade do professor para o *slot* cuja disciplina foi alocada.

5.2.3.2 - Penalização devido à ocorrência de “janelas”

Quando existem *slots* vagos entre *slots* preenchidos com disciplinas, diz-se que existe uma “janela” na grade horária. Não é comum encontrar “janelas” em grades horárias bem alocadas, portanto essa ocorrência deve ser evitada. Para isso uma nova etapa da avaliação da aptidão de um cromossomo é aplicação de uma penalização calculada pela equação (4) quando ocorrem janelas:

$$P_{Janelas} = -10 * N \quad (4)$$

onde:

N = número de janelas existentes no cromossomo (cada *slot* contará uma janela, independente da carga horária da disciplina).

5.2.3.3 - Penalização devido à ocorrência de disciplinas por dia além do permitido

Como já foi mencionado, existem disciplinas que estão subdivididas em blocos de 2 ou 3 horários seguidos. Estes blocos não podem estar na grade horária em um mesmo dia, por isso devemos penalizá-los. Essa penalização é expressada na equação (5):

$$P_{agrupamento} = -1000 * N \quad (5)$$

onde:

N = número de agrupamentos indesejados existentes no cromossomo.

5.2.3.4 - Penalização devido à ocorrência de um mesmo professor lecionando disciplinas diferentes em mesmo horário

Esta é uma das restrições que possui uma das penalizações mais severas. Como esta é uma condição impossível de se ter em uma grade horária funcional, o cromossomo que apresenta essa situação tem o valor zero atribuído a sua aptidão, o que faz que durante a execução do AG este cromossomo seja descartado.

5.2.3.5 - Cálculo do valor da aptidão

O valor da aptidão de um cromossomo é quem define quantitativamente se este cromossomo atende ou não as condições impostas pelo problema. Essa análise é feita através da função de aptidão. Assim, de acordo com as condições e penalizações apresentadas anteriormente, valor da aptidão de um cromossomo pode ser expresso pela equação (6):

$$aptidão = 2 * \sum_{i=0}^n disponibilidade(slot) - (\sum 10 * N_{Janelas} + 1000 * N_{agrupamentos}) \quad (6)$$

5.2.4 - Método de seleção - Roleta

A geração inicial tem n soluções para o problema a qual se está tentando resolver embora nem todas possam ser válidas (ou mesmo nenhuma como acontece na maioria dos casos). As operações genéticas são os métodos pelo qual se tenta encontrar novas soluções para o problema. A convergência da população no sentido de uma maior qualidade dos seus indivíduos é o princípio básico dos Algoritmos Genéticos. As populações de indivíduos vão sendo sucessivamente substituídas por novas gerações que são criadas através da aplicação dos operadores genéticos à geração anterior.

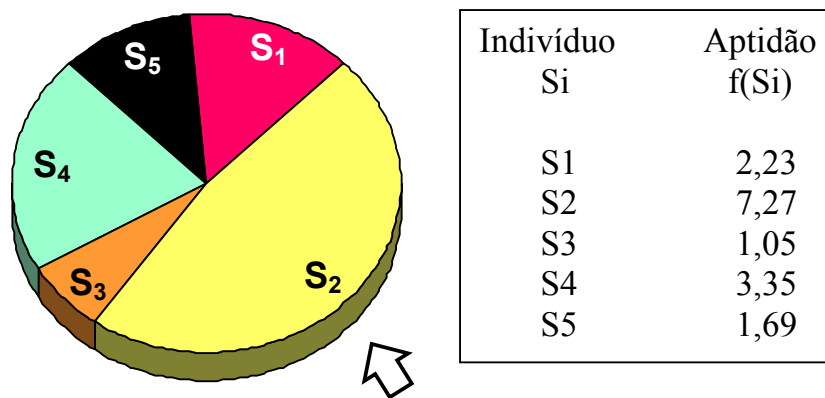


Figura. 25: Exemplo de roleta

A escolha dos cromossomos que vão participar das operações genéticas é feita através do método da roleta, ilustrado na Figura 25. Nesse método, a probabilidade de um cromossomo ser escolhido é diretamente proporcional ao valor de sua aptidão. Assim, pode-se imaginar que cada um dos indivíduos representa uma fração de uma roleta que será girada,

através do cálculo de probabilidades acumuladas são atribuídas o tamanho da fração de cada indivíduo, logo indivíduos mais aptos conseguirão maiores frações da roleta e consequentemente maior probabilidade de participarem das operações genéticas, como mostrado matematicamente nas equações (7), (8) e (9).

O método da roleta pode ser expresso matematicamente por:

$$S = \sum_{i=1}^{pop_size} aptidão_i \quad (7)$$

$$p_i = \frac{aptidão_i}{S} \quad (8)$$

$$c_i = \sum_{k=1}^i p_k, i = 1, 2, \dots, pop_size \quad (9)$$

5.2.5 - Operadores Genéticos

Utilizou-se neste algoritmo os seguintes operadores genéticos: cruzamento, elitismo e mutação.

A seleção dos indivíduos que irão ser escolhidos para realizarem uma operação genética é feita baseada em sua probabilidade a cumulada de ser selecionado, que é diretamente proporcional ao valor de sua aptidão para o caso do cruzamento e do elitismo e de forma randômica para o caso da mutação.

A seguir temos uma descrição mais detalhada destes operadores.

5.2.5.1 - Cruzamento (*cross-over*)

A operação de cruzamento utilizada neste algoritmo pode ser entendida como uma fusão do cruzamento monoponto com o multiponto. A Figura 26 mostra um exemplo de cruzamento.

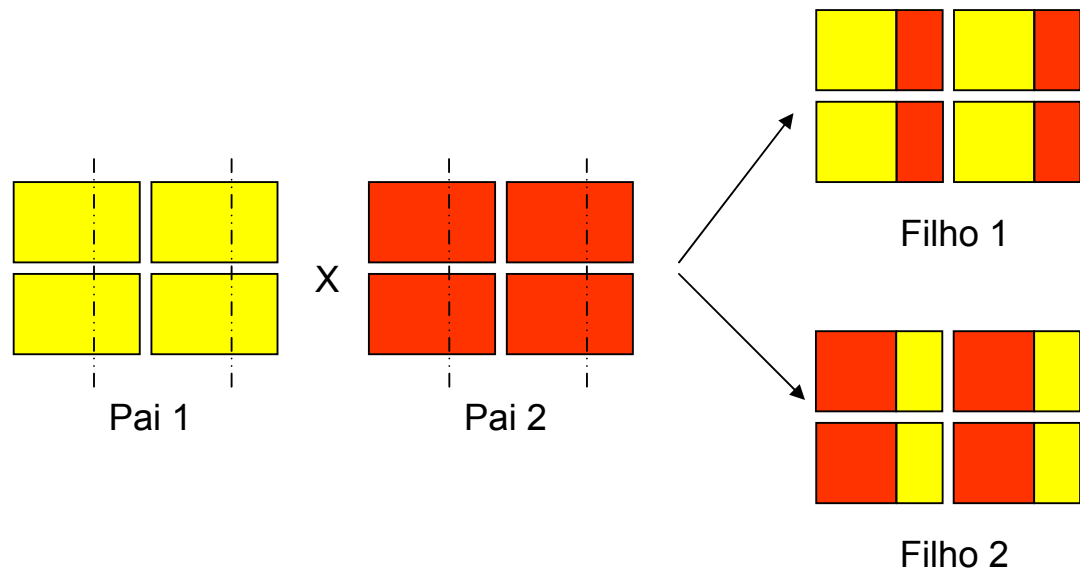


Figura. 26: Exemplo de Cruzamento

Como o cromossomo está organizado sistematicamente em uma *struct* constituída por quatro matrizes, onde cada uma de suas linhas corresponde ao período do curso se analisarmos apenas uma linha de uma determinada matriz, aparentemente estamos realizando um cruzamento simples de apenas um ponto. Agora quando temos uma visão geral do processo, constatamos que esta operação está sendo repetida em todas as linhas de todas as matrizes.

Assim, após o sorteio dos cromossomos que irão realizar o cruzamento teremos o sorteio do ponto em que o cromossomo será quebrado, como se o cromossomo fosse apenas uma linha da matriz, então realizamos a troca de carga genética em todas as linhas de todas as

matrizes. No entanto o cruzamento é controlado por um parâmetro denominado probabilidade de cruzamento e um cruzamento poderá não ser realizado se este parâmetro não for satisfeito.

Deve-se ressaltar que o cruzamento de indivíduos iguais é inútil para se obter novos indivíduos e só atrasa o processo de convergência do algoritmo. Por isso, o processo de seleção não permite que sejam escolhidos indivíduos iguais para realizar o cruzamento.

5.2.5.2 - Elitismo

Após a realização de um cruzamento tem-se uma população intermediária igual ao dobro da população que está sendo utilizada no algoritmo e como o tamanho da população deve permanecer inalterado, temos que eliminar metade desses indivíduos, caso contrário, haveria uma população crescendo em progressão geométrica a cada iteração.

Este processo é denominado elitismo. No elitismo seleciona-se apenas os n melhores indivíduos de um grupo de $2*n$ não havendo distinção entre indivíduos pais ou filhos. A utilização deste operador possibilita um tempo de convergência bem menor que quando utilizamos a substituição direta dos indivíduos pais pelos filhos.

5.2.5.3 - Mutação

A utilização apenas de cruzamento e elitismo não é suficiente para um Algoritmo Genético eficaz. Deve-se também aplicar o operador mutação.

A mutação altera um gene ou um conjunto de genes de um cromossomo garantindo o aumento da variedade genética e a abertura de novos espaços de busca.

Implementou-se a mutação realizando a troca de um bloco de gene por outro bloco que não esteja alocado por aulas. Esta operação não deve separar os blocos de aula das disciplinas

que podem ser iguais a 1, 2 ou 3 *slots*. Tanto a decisão de se ocorrerá ou não esta operação em uma iteração quanto qual bloco será mutado é tomada aleatoriamente, com base em um parâmetro estabelecido denominado probabilidade de mutação.

Após descrever todos os requisitos necessários à implementação, no capítulo que segue serão mostrados os resultados obtidos com a implementação.

Capítulo 6

Resultados Obtidos

Este trabalho apresenta as características da utilização de algoritmos genéticos na construção de Grade Horária para instituições de ensino superior. Procura-se mostrar a complexidade dos problemas encontrados para a definição de uma solução de boa qualidade na elaboração da Grade Horária, haja vista, que existem múltiplos objetivos, múltiplas restrições e um número grande de variáveis a serem ponderados.

Em decorrência da complexidade da resolução de problemas deste tipo, considera-se que algoritmos genéticos sejam apropriados para utilização na automatização do processo.

Para a definição da função de aptidão, em geral, utiliza-se uma formulação que aplica penalidades às restrições que são infringidas. As restrições podem ser severas (obrigatórias), e neste caso não podem ser infringidas, ou leves (desejáveis), caso em que determinam a qualidade da Grade Horária. A classificação das restrições será determinada pelos responsáveis em elaborar a Grade Horária, e este é outro ponto crítico para a obtenção de uma solução adequada.

Apesar de existirem restrições que são comuns a qualquer instituição de ensino, existe um grande número de restrições que são específicas de cada instituição e este tipo restrição

pode dificultar o processo de geração de um sistema de elaboração de grade horária de propósito geral.

No presente capítulo, relatamos os resultados obtidos no processo de experimentação realizado com a aplicação tema desta dissertação: AloGra – Alocador de Grade Horária.

O objetivo é viabilizar a geração da grade horária acadêmica do curso de engenharia elétrica oferecido pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, como se poderá comprovar a seguir.

Constata-se nesta instituição de ensino, horários de maior complexidade, aplicados no ensino superior e, por isso, foi focalizada a atenção na coleta de dados sobre este nível de ensino.

Nos itens que seguem, serão descritas as plataformas de *hardware* e *software*, as telas geradas para o aplicativo e a análise dos resultados conseguidos com a execução do gerador automático de grade horária.

6.1 As Plataformas de Hardware e Software

Para possibilitar o nível máximo de homogeneidade quanto aos dados do ambiente computacional utilizado durante a realização de todos os testes, foram mantidos inalterados os recursos de *hardware* e *software* empregados para esta fase.

A plataforma de *hardware* utilizada para a experimentação da aplicação consistiu de um microcomputador com as seguintes características:

- Um processador AMD Athlon (TM) XP 2400 + 2GHz de frequência de operação;
- Placa-mãe modelo A7V8X-X, fabricada pela ASUSTek Computer Inc., com *chipset* VIA KT400 e um Socket 462 (Socket A);

- Memória principal total de 512MB, sendo composta por quatro módulos DDR DIMM (*Dual Inline Memory Module Memory*) de 256MB cada. O barramento memória-processador opera à frequência de 333MHz e as memórias possuem tempo médio de acesso de 12ns;

- Disco rígido de tecnologia EIDE (*Enhanced Integrated Device Electronics*), modelo ST340015A (fabricado pela Maxtor), com capacidade 40GB;

- Drive HL-BT-ST RW/DVD GCC-4480B, Fabricante LG;

- Monitor de vídeo, modelo 500G 15, fabricado pela LG;

- Placa de vídeo modelo GeForce MX440SE, com 64MB de RAM, fabricada pela NVidia;

A plataforma de *software* foi a seguinte:

- Sistema operacional Microsoft Windows XP;

- Pacote Microsoft Office 2000;

- Pacote Borland C++ Builder 6.0;

- Pacote Borland Database Desktop 7.0;

- Gerador de relatórios Quick Report.

6.2 Telas do Aplicativo

Os dados necessários para a criação do horário, assim como as teclas e comandos para controle estão na tela principal do programa **Alogra**. A tela principal contém várias partes como citadas abaixo:

- **Menu:** Arquivo, Cadastro, Visualizar, Opções, Utilitários e Ajuda;

- **Barra de Ferramentas:** Nova Grade Horária, Relatório, Grade Horária, Gráfico, Configuração do Algoritmo Genético, Calendário, Bloco de Notas, Calculadora, GNUPlot, Tela Sobre;

- **Execução do Algoritmo:** Iniciar, Executar, Pausar e Parar;

- **Botão “Sair”:**

A Figura 27 mostra a visualização da tela principal do sistema.

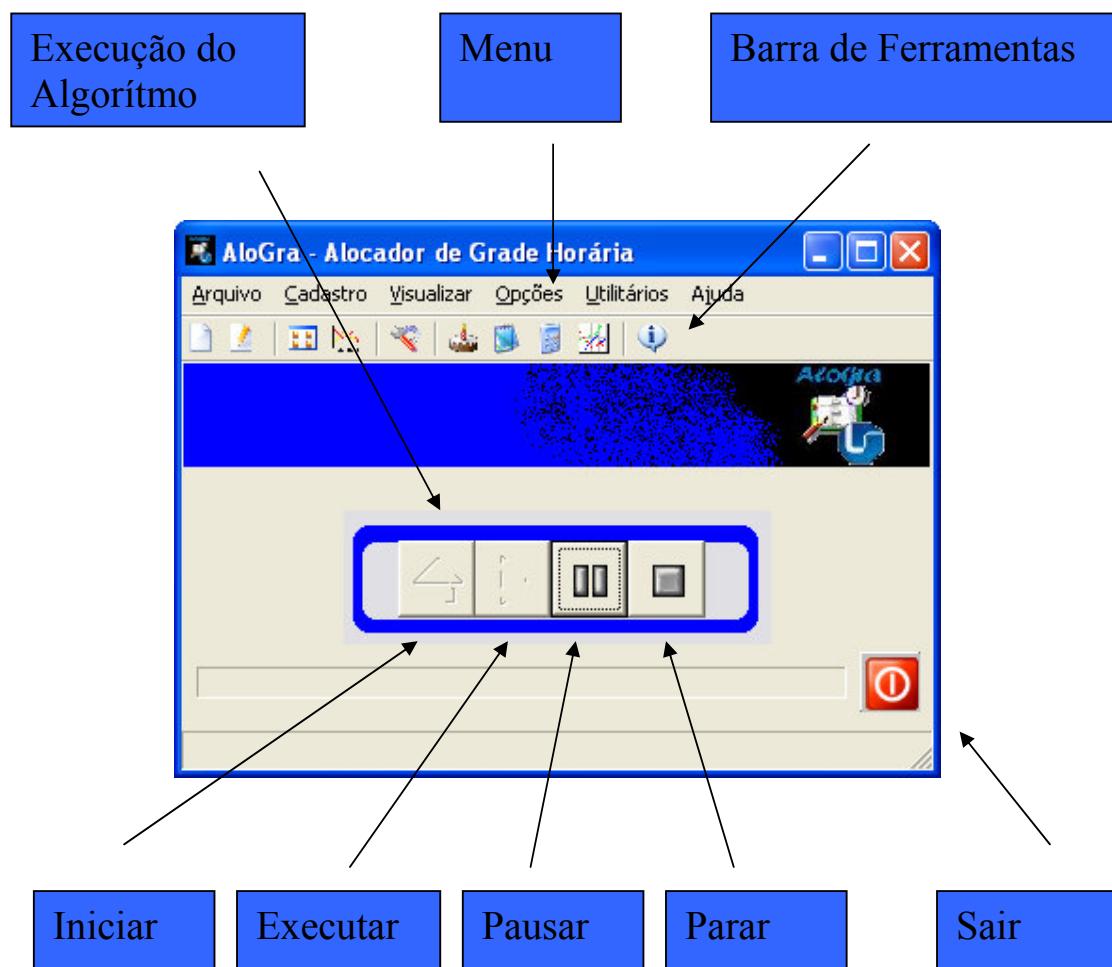


Figura 27: Tela inicial do aplicativo

Os dados necessários para a inicialização do programa constam das seguintes informações:

- O número de dias pelos quais devem estar distribuídas as aulas. Por exemplo: se a grade horária deve compreender os dias da semana de segunda-feira a sexta-feira, o número de dias é 5. Esses dados são inseridos no código fonte do aplicativo.

- As turmas ou períodos, ou seja, os oferecimentos de disciplinas, que serão inseridos no aplicativo pelo usuário. Esta opção está disponível em cadastro de disciplinas teóricas e práticas.

- As restrições de horários dos professores. Dada a disponibilidade dos professores, pesquisada anteriormente com o questionário de disponibilidade mostrado no anexo A, a disponibilidade será inserida pelo usuário do aplicativo.

- As preferências de horários dos professores. As preferências são semelhantes às restrições de horários, com a diferença de que não precisam ser cumpridas. Cada preferência tem um custo (um número inteiro no intervalo $[0,2]$) e o objetivo do programa é minimizar a soma dos custos das preferências não atendidas.

- Preenchimento da Base de Dados.

As Figuras 28, 30, 32 e 33 mostram as telas para cadastro de dados que compõem a base de dados.

A Figura 28, mostra a tela da opção do menu “Cadastro”, sub-menu “Professores”, pode-se cadastrar todos os professores do corpo docente da Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU. O cadastro é feito gerando-se um código para cada professor e preenchendo os dados como nome, endereço e telefones.

Com o botão “Disponibilidade”, da Figura 28, podemos visualizar quais os horários da semana o professor estará **disponível** (2), **condicionalmente disponível** (1) ou **não disponível** (0), como mostrado na Figura 29.

AloGra - Cadastro de Professores

CodProf: 30

NomeProf: Keiji Yamanaka

Endereco:

TelefoneRes:

TelefoneCel:

Disponibilidade

Figura. 28: Tela para cadastro de professores.

Ao “clicar” no botão “Disponibilidade” é mostrada a disponibilidade de cada professor cadastrado na Base de Dados como mostrado na Figura 29.

AloGra - Grade de Disponibilidade

Prof. Keiji Yamanaka

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	1	1	0	2	1
08:00	1	2	0	2	2
08:50	1	2	2	2	2
09:50	1	2	2	2	0
10:40	1	2	2	2	0
11:30	1	2	2	1	1
13:10	1	1	2	2	2
14:00	2	1	2	1	2
14:50	2	1	2	1	1
16:00	2	1	2	1	1
16:50	0	1	2	1	1
17:40	0	2	2	1	1

Figura. 29: Disponibilidade de um professor

O cadastro da disponibilidade do professor é feito na opção menu “Cadastro”, sub-menu “Disponibilidade” na tela principal do aplicativo. O cadastro consta do código do professor e o preenchimento da tabela com os números 2, 1, 0 ou 10 significando:

- 0: horário não disponível
- 1: horário condicionalmente disponível
- 2: horário disponível
- 10: horário obrigatório

Lembrando que este último caso é na verdade uma simplificação feita para que os horários alocados pela Faculdade de Engenharia Elétrica não coincida com disciplinas que são oferecidas por outras faculdades. Assim, por exemplo, o quadro de disponibilidade do professor de Cálculo I, da Faculdade de Matemática, que ministra aulas na Faculdade de Engenharia Elétrica, tem seus horários definidos pela Faculdade de Matemática, por isso são obrigatórios e o restante dos horários teriam valor 0.

Horário	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
07:10 –	2A	3A	4A	5A	6A
08:00 –	2B	3B	4B	5B	6B
08:50 –	2C	3C	4C	5C	6C
09:50 –	2D	3D	4D	5D	6D
10:40 –	2Q	3Q	4Q	5Q	6Q
11:30 –	2E	3E	4E	5E	6E
13:10 –	2F	3F	4F	5F	6F
14:00 –	2G	3G	4G	5G	6G
14:50 –	2H	3H	4H	5H	6H
16:00 –	2I	3I	4I	5I	6I
16:50 –	2J	3J	4J	5J	6J
17:40 –	2K	3K	4K	5K	6K

Figura. 30: Codificação dos horários na base de dados

Os códigos constantes na tabela de disponibilidade de horários para cada um dos 60 *slots* disponíveis, são codificados como exibido na Figura 30.

É mostrado na Figura 31, a tela para cadastros com os respectivos dados já cadastrados.

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	2	2	1	2	1
08:00	2	2	1	2	1
08:50	1	2	2	2	1
09:50	1	2	2	2	1
10:40	0	2	2	2	2
11:30	0	2	2	2	2
13:10	0	2	0	2	2
14:00	0	2	0	2	2
14:50	2	0	1	2	2
16:00	2	0	1	2	2
16:50	0	0	0	2	0
17:40	0	0	0	2	0

Figura. 31: Tabela de disponibilidade dos professores

A Figura 32 mostra a tela para o cadastro de disciplinas teóricas que está disponível na tela inicial do aplicativo na opção menu “Cadastro” sumenu “Disciplinas” “Teóricas”. O cadastro é feito inserindo o nome da disciplina, sigla, número de aulas semanais teóricas da disciplina, número de aulas semanais práticas da disciplina, ênfase do curso de engenharia elétrica, período em que é oferecida a disciplina, ID e o código do professor que ministra a disciplina.

O cadastro de disciplinas práticas que está disponível na tela inicial do aplicativo na opção menu “Cadastro” submenu “Disciplinas”, “Práticas”, como é mostrado na Figura 33. O cadastro é feito inserindo o sigla da disciplina, número de aulas semanais práticas da disciplina, ênfase do curso de engenharia elétrica, período em que é oferecida a disciplina, ID, código do professor 1 e o código do professor 2 para os quais ministram a disciplinas que são oferecidas de forma alternada.

The screenshot shows a software window titled "AloGra - Cadastro de Disciplinas". Inside the window, there are several input fields for recording course data. The fields are arranged as follows:

- CodDisciplina:** CAM01
- Nome:** ADMINISTRAÇÃO
- Sigla:** ADM
- AulasSemTeoricas:** 5
- AulasSemPraticas:** 0
- Ênfase:** 0
- Período:** 10
- ID:** 1
- CodProfessor:** 76

Figura. 32: Tela para cadastro de disciplinas teóricas

O preenchimento da base de dados é tarefa essencial para a execução do aplicativo. Com a base de dados preenchida, podemos dar início a execução do algoritmo para a geração automática da grade horária. A seguir, para melhor entendimento do aplicativo, são descritas as telas que compõem o aplicativo.

AloGra - Cadastro de Disciplinas Práticas

CodDisciplina
QMC02

Nome
QUÍMICA EXPERIMENTAL

Sigla
QE/E-F

AulasSemPraticas
6

Ênfase	Período	ID	CodProfessor	CodProfessor2
0	1	120	54	0

Figura. 33: Tela para cadastro de disciplinas práticas

Na opção menu “Opções” submenu “Configurar AG” podemos configurar o algoritmo genético inserindo e ou modificando os aspectos envolvidos na codificação e implementação deste projeto tais como número de indivíduos da população, número de gerações, probabilidade de cruzamento e probabilidade de mutação . A definição correta, tendo em vista o problema, de todos os parâmetros envolvidos são fundamentais para o bom funcionamento do Algoritmo Genético. A tela é mostrda na Figura 34.

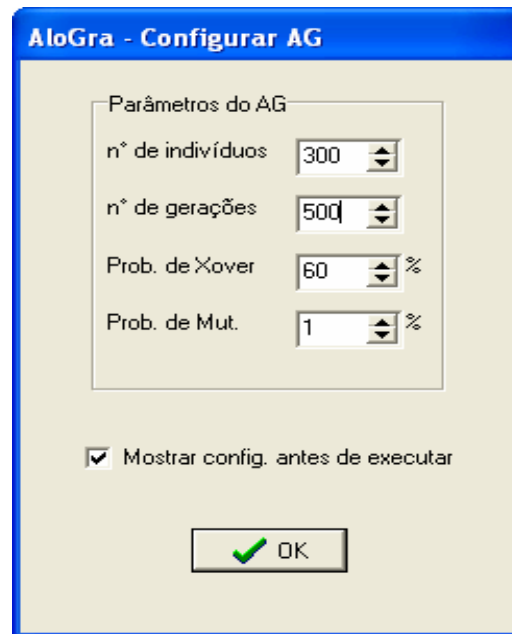


Figura. 34: Tela de configuração do Algoritmo Genético

A Figura 35 mostra a tela para a geração de relatórios referentes às grades horárias por período e ênfase do curso. A opção de relatórios está disponível na tela inicial do aplicativo na opção menu “Arquivo” submenu “Relatórios”. O relatório é gerado inserindo-se o período e a ênfase a qual se deseja.

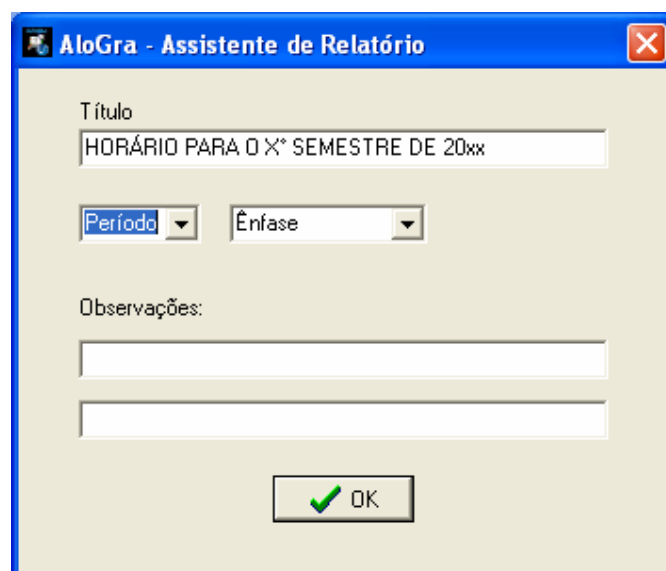
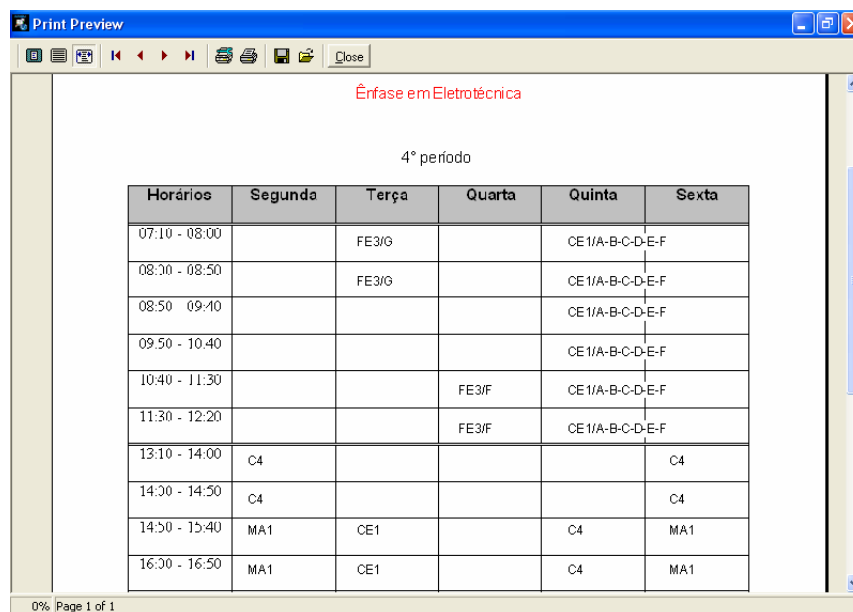


Figura. 35: Tela para gerar relatórios

Após escolhidos o período e a ênfase desejada, é gerado um relatório como visto na Figura 36. A Figura 37 também mostra um exemplo de relatório gerado para o quarto período do curso com ênfase em Eletrotécnica.



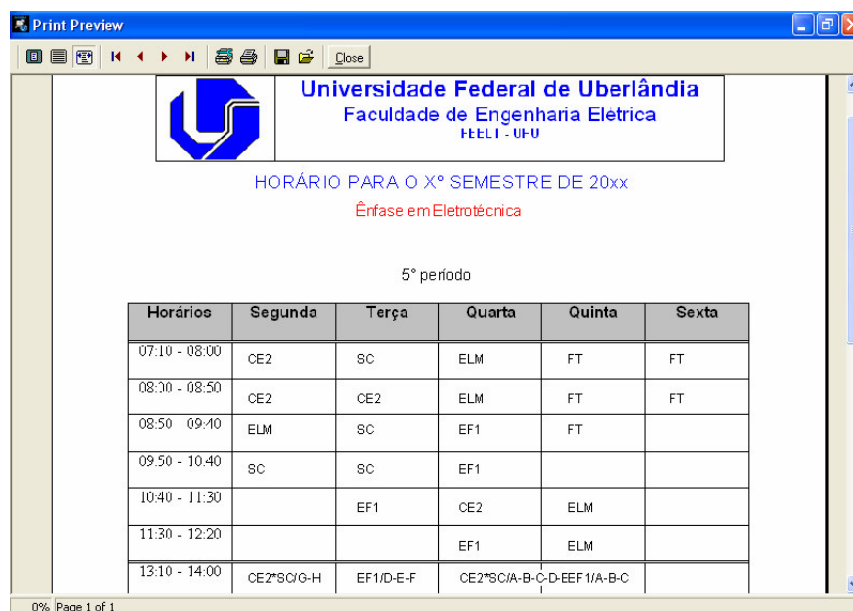
Ênfase em Eletrotécnica

4º período

Horários	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10 - 08:00		FE3/G		CE1/A-B-C-D-E-F	
08:30 - 08:50		FE3/G		CE1/A-B-C-D-E-F	
08:50 - 09:40				CE1/A-B-C-D-E-F	
09:50 - 10:40				CE1/A-B-C-D-E-F	
10:40 - 11:30			FE3/F	CE1/A-B-C-D-E-F	
11:30 - 12:20			FE3/F	CE1/A-B-C-D-E-F	
13:10 - 14:00	C4				C4
14:30 - 14:50	C4				C4
14:50 - 15:40	MA1	CE1		C4	MA1
16:30 - 16:50	MA1	CE1		C4	MA1

0% Page 1 of 1

Figura. 36: Exemplo de relatório gerado das disciplinas para o 4º período – Eletrotécnica



Universidade Federal de Uberlândia
Faculdade de Engenharia Eletrica
FEELE - UFU

HORÁRIO PARA O Xº SEMESTRE DE 20xx

Ênfase em Eletrotécnica

5º período

Horários	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10 - 08:00	CE2	SC	ELM	FT	FT
08:30 - 08:50	CE2	CE2	ELM	FT	FT
08:50 - 09:40	ELM	SC	EF1	FT	
09:50 - 10:40	SC	SC	EF1		
10:40 - 11:30		EF1	CE2	ELM	
11:30 - 12:20			EF1	ELM	
13:10 - 14:00	CE2*SC/G-H	EF1/D-E-F	CE2*SC/A-B-C-D-EEF1/A-B-C		

0% Page 1 of 1

Figura. 37: Exemplo de relatório gerado das disciplinas para o 5º período - Eletrotécnica

A Figura 38 mostra a tela do gerador de gráficos GNUplot, constante no menu “Utilitários”, “GNUplot” onde podemos gerar manualmente o gráfico inserindo o caminho e o nome dos arquivos que são gerados e armazenados para a plotagem do gráfico que se obtém ao término da execução do algoritmo genético.

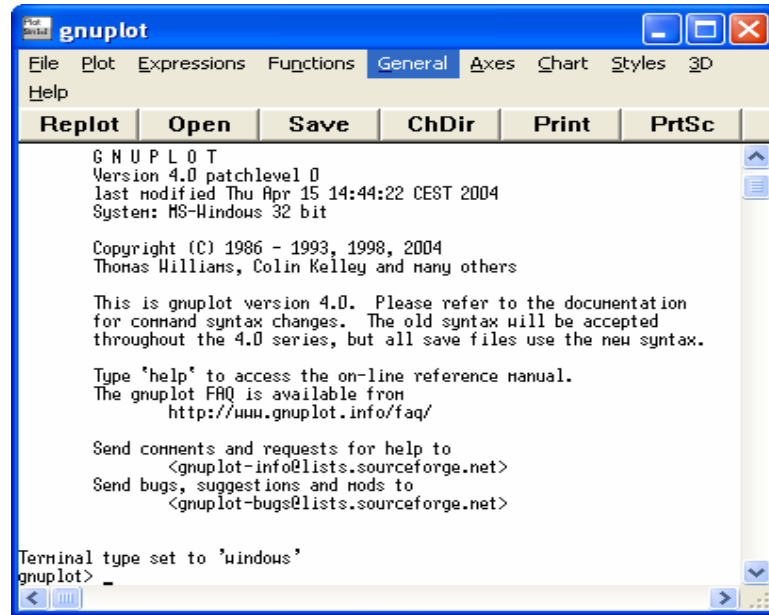


Figura. 38: Gerador de gráficos GNUplot

As pré-alocações são definidas como horários obrigatórios para aulas, como mostrados na Figura 39. Na composição da grade horária do curso há um grupo de disciplinas que são oferecidas por outras faculdades da UFU como Matemática, Química e Física e outros. Para as disciplinas oferecidas por faculdades que não a da Engenharia Elétrica, há uma prioridade na alocação de horários tendo como fator principal a disponibilidade dos professores os quais não pertencem ao quadro de docentes da FEELT. Um outro caso de pré-alocação, refere-se ao fato de que definida uma grade horária para o semestre letivo, há a possibilidade de que algumas disciplinas sejam oferecidas no mesmo horário para o semestre seguinte. Portanto não há necessidade de mudança, podendo-se utilizar também da pré-alocação.

AloGra - Pré-alocar disciplina

2º período

Eletrotécnica

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	FE1/B-D-				
08:00	FE1/B-D-				
08:50	FE1/B-D-				
09:50	FE1/B-D-				
10:40	FE1/B-D-				
11:30	FE1/B-D-				
13:10		FG1	LP	FG1	C2
14:00		FG1	LP	FG1	C2
14:50	C2	C2	FG1	DT	AL
16:00	C2	C2	FG1	DT	AL
16:50	LP	ES	ES	DT	AL
17:40	LP	ES	ES		

Eletrônica

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	FE1/B-D-				
08:00	FE1/B-D-				
08:50	FE1/B-D-				
09:50	FE1/B-D-				
10:40	FE1/B-D-				
11:30	FE1/B-D-				
13:10		FG1	LP	FG1	C2
14:00		FG1	LP	FG1	C2
14:50	C2	C2	FG1	DT	AL
16:00	C2	C2	FG1	DT	AL
16:50	LP	ES	ES	DT	AL
17:40	LP	ES	ES		

Figura. 39: Tela para cadastro de pré-aloções de disciplinas

O aplicativo consta também de utilitários como calendário, bloco de notas e calculadora como mostrados nas Figuras 40, 41 e 42.

AloGra - Calendário

outubro de 2005

dom	seg	ter	qua	qui	sex	sáb
25	26	27	28	29	30	1
2	3	4	5	6	7	8
9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22
23	24	25	26	27	28	29
30	31	1	2	3	4	5

Hoje: 12/10/2005

Figura. 40: Tela Calendário



Figura. 41: Tela Bloco de Notas

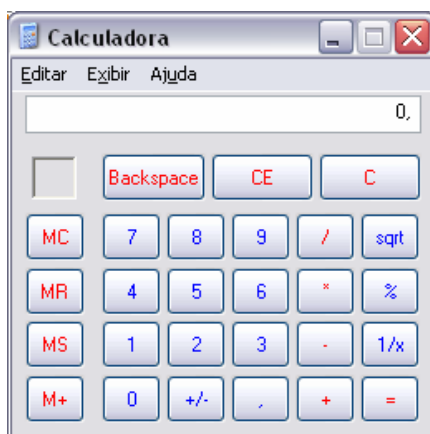


Figura. 42: Tela Calculadora

A Figura 43 mostra a tela “sobre” do sistema gerador de grade horária – AloGra, constante na opção menu “Ajuda”.

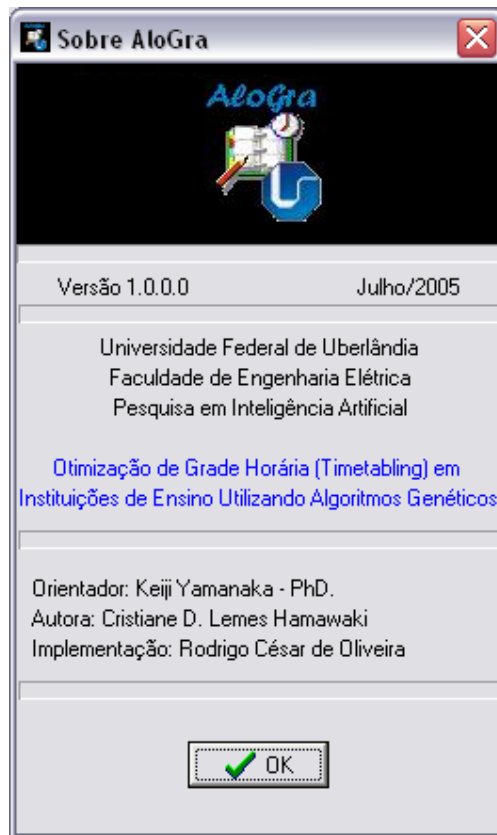


Figura. 43: Tela “sobre” do sistema.

6.3 Análise dos Resultados

A fim de comprovar a funcionalidade do aplicativo implementado, este foi submetido a uma série de testes e aprimoramento desde a implementação de suas primeiras sub-rotinas. Foram testadas as rotinas de inicialização da população, testes de cruzamentos com 1 e 2 pontos e teste da roleta.

Para a geração de uma grade horária satisfatória, foram realizados testes com dados reais conseguidos na Coordenação do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia, relativos ao primeiro semestre de 2005. Com posse destes dados, o aplicativo foi executado várias vezes e, a cada execução, os resultados foram analisados


minuciosamente, até que fosse alcançado um resultado julgado como satisfatório tendo como base a grade horária atual da Faculdade de Engenharia Elétrica. Foram verificadas as restrições impostas à execução do algoritmo como o máximo de satisfação com relação aos horários alocados, o número de aulas por semana de cada disciplina, aulas seguidas (aulas geminadas) da mesma disciplina, o aparecimento de “janelas” entre os horários e disciplinas diferentes, ministradas pelo mesmo professor devem estar em horários diferentes.

O aplicativo foi executado em uma máquina com processador Pentium 4 de 1.5 GHz e 256MB de memória com duração de aproximadamente 3 horas para cada execução. Para tais execuções foram utilizados os seguintes parâmetros:

- Número de indivíduos: 100
- Número de gerações: 500
- Probabilidade de cruzamento: 60%
- Probabilidade de mutação: 1%

Em relação ao tempo de execução do programa computacional desenvolvido é claramente maior o tempo gasto aumentando-se o número de indivíduos e o número de gerações. Como esperado, trabalhando-se com um número maior de indivíduos na população a cada geração, ao final das 500 gerações há uma tendência de se obter soluções de melhor qualidade, embora o custo computacional seja muito superior, podendo não ser compensado pelo incremento de qualidade da solução.

Nas Figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52 e 53 é exibido um dos melhores resultados obtidos, mostrando as grades horárias para os dez períodos do curso de graduação de Engenharia Elétrica da FEELT – UFU. As disciplinas são divididas em períodos matutino e vespertino e práticas e teóricas, dependendo da estrutura curricular. Os relatórios mostram, por períodos, as disciplinas e os horários que são ministradas. As figuras são imagens da janela do aplicativo.


AloGra - Grade Horária

1º Período
2º Período
3º Período
4º Período
5º Período
6º Período
7º Período
8º Período
9º Período
10º Período

Eletrotécnica

Eletrônica

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	C1		IEE	C1	IEE
08:00	C1		IEE	C1	IEE
08:50	IC1	DB	GA	QG	IC1
09:50	IC1	DB	GA	QG	IC1
10:40	GA	DB	GA	QG	C1
11:30	GA				C1
13:10			QE/E-F		
14:00			QE/E-F		
14:50			QE/E-F		
16:00			QE/E-F		
16:50			QE/E-F		
17:40			QE/E-F		

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10	C1		IEE	C1	IEE
08:00	C1		IEE	C1	IEE
08:50	IC1	DB	GA	QG	IC1
09:50	IC1	DB	GA	QG	IC1
10:40	GA	DB	GA	QG	C1
11:30	GA				C1
13:10			QE/E-F		
14:00			QE/E-F		
14:50			QE/E-F		
16:00			QE/E-F		
16:50			QE/E-F		
17:40			QE/E-F		

Figura. 44: Horários para o 1º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária

1º Período

2º Período

3º Período

4º Período

5º Período

6º Período

7º Período

8º Período

9º Período

10º Período

Eletrotécnica

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10			FE1/B-D-H		
08:00			FE1/B-D-H		
08:50			FE1/B-D-H		
09:50			FE1/B-D-H		
10:40			FE1/B-D-H		
11:30			FE1/B-D-H		
13:10	ES		FG1	FG1	LP
14:00	ES	AL	FG1	FG1	LP
14:50	C2	AL	ES	DT	C2
16:00	C2	AL	ES	DT	C2
16:50	LP	FG1	C2	DT	
17:40	LP	FG1	C2		

Eletrônica

	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta
07:10			FE1/B-D-H		
08:00			FE1/B-D-H		
08:50			FE1/B-D-H		
09:50			FE1/B-D-H		
10:40			FE1/B-D-H		
11:30			FE1/B-D-H		
13:10	ES		FG1	FG1	LP
14:00	ES	AL	FG1	FG1	LP
14:50	C2	AL	ES	DT	C2
16:00	C2	AL	ES	DT	C2
16:50	LP	FG1	C2	DT	
17:40	LP	FG1	C2		

Figura. 45: Horários para o 2º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrônica</i>						<i>Eletrônica</i>				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10	MM	CN	MM	ESOF	C3	07:10	MM	CN	MM	ESOF
08:00	MM	CN	MM	ESOF	C3	08:00	MM	CN	MM	ESOF
08:50	CN	CN	C3	C3	FG2	08:50	CN	CN	C3	FG2
09:50	CN	MM	C3	C3	FG2	09:50	CN	MM	C3	FG2
10:40	ESOF	MM	FG2	FG2		10:40	ESOF	MM	FG2	FG2
11:30	ESOF		FG2	FG2		11:30	ESOF		FG2	FG2
13:10				FE2/C-D-E		13:10				FE2/C-D-E
14:00				FE2/C-D-E		14:00				FE2/C-D-E
14:50				FE2/C-D-E		14:50				FE2/C-D-E
16:00				FE2/C-D-E		16:00				FE2/C-D-E
16:50				FE2/C-D-E		16:50				FE2/C-D-E
17:40				FE2/C-D-E		17:40				FE2/C-D-E

Figura. 46: Horários para o 3º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrônica</i>						<i>Eletrônica</i>				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10	CE1/A-B-C					07:10	CE1/A-B-C			
08:00	CE1/A-B-C					08:00	CE1/A-B-C			
08:50	CE1/A-B-C					08:50	CE1/A-B-C			
09:50	CE1/A-B-C					09:50	CE1/A-B-C			
10:40	CE1/A-B-C			FE3/G	FE3/F	10:40	CE1/A-B-C		FE3/G	FE3/F
11:30	CE1/A-B-C			FE3/G	FE3/F	11:30	CE1/A-B-C		FE3/G	FE3/F
13:10	MA1	C4	CE1	FG3	MA1	13:10	MA1	C4	CE1	FG3
14:00	MA1	C4	CE1	FG3	MA1	14:00	MA1	C4	CE1	FG3
14:50		FG3	C4	CE1		14:50	LLF	FG3	C4	CE1
16:00		FG3	C4	CE1		16:00	LLF	FG3	C4	CE1
16:50			FG3	C4		16:50			FG3	C4
17:40			FG3	C4		17:40			FG3	C4

Figura. 47: Horários para o 4º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrotécnica</i>					<i>Eletrônica</i>					
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10	CE2	CE2	ELM		FT	07:10	CE2	CE2	ELM	FT
08:00	CE2	CE2	ELM	FT	FT	08:00	CE2	CE2	ELM	FT
08:50	SC	SC	EF1	FT	FT	08:50	SC	SC	EF1	FT
09:50	SC	SC	EF1	ELM		09:50	SC	SC	EF1	ELM
10:40		EF1		ELM		10:40		EF1		ELM
11:30		EF1		ELM		11:30		EF1		ELM
13:10	CE2*SC/G	EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	13:10	CE2*SC/G	EF1/D-E-F		CE2*SC/A-
14:00	CE2*SC/G	EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	14:00	CE2*SC/G	EF1/D-E-F		CE2*SC/A-
14:50		EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	14:50		EF1/D-E-F		CE2*SC/A-
16:00		EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	16:00		EF1/D-E-F		CE2*SC/A-
16:50		EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	16:50		EF1/D-E-F		CE2*SC/A-
17:40		EF1/D-E-F			CE2*SC/A-	17:40		EF1/D-E-F		CE2*SC/A-

Figura. 48: Horários para o 5º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrotécnica</i>					<i>Eletrônica</i>					
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10	EDG/A-B-C	EF2*INEL/				07:10	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		
08:00	EDG/A-B-C	EF2*INEL/			INEL/E	08:00	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		INEL/E
08:50	EDG/A-B-C	TRAFO*INI				08:50	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		
09:50	EDG/A-B-C	TRAFO*INI				09:50	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		
10:40	EDG/A-B-C	TRAFO*INI				10:40	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		
11:30	EDG/A-B-C	TRAFO*INI				11:30	EDG/A-B-C	EF2*INEL/		
13:10				EF2		13:10	ED1			EF2
14:00			EDG	EF2	TRAFO	14:00	ED1		EDG	EF2
14:50	INEL	CVR	EDG		TRAFO	14:50	INEL	CVR	EDG	ED1
16:00	INEL	CVR	EDG		TRAFO	16:00	INEL	CVR	EDG	ED1
16:50	INEL	CVR			EF2	16:50	INEL	CVR	LTR	EF2
17:40					EF2	17:40			LTR	EF2

Figura. 49: Horários para o 6º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrotécnica</i>						<i>Eletrônica</i>				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10		DEEL	MEL	INI		07:10	PC1	IA	CG	MICR01
08:00		DEEL	MEL	INI		08:00	PC1	IA	CG	MICR01
08:50	ITEL	DEEL	ELI	INI		08:50	CDP	CG	ROB	PC1
09:50	ITEL	MEL	ELI			09:50	CDP	CG	ROB	PC1
10:40	ELI	MEL				10:40	CDP		IA	ROB
11:30	ELI					11:30			IA	ROB
13:10			MEL*ELI/A			13:10	PC1/C-D	MICR01/A		
14:00			MEL*ELI/A			14:00	PC1/C-D	MICR01/A		
14:50			MEL*ELI/A			14:50	MICR01/B		PC1/A-B	PC1/C-D
16:00			MEL*ELI/A			16:00	MICR01/B		PC1/A-B	PC1/C-D
16:50	INI/A-B		INI/C-D			16:50			PC1/A-B	MICR01/B
17:40	INI/A-B		INI/C-D			17:40			PC1/A-B	MICR01/B

Figura. 50: Horários para o 7º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
<i>Eletrotécnica</i>						<i>Eletrônica</i>				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10	MS*TEEL/A				ACEL/A-B	07:10			PC2/C * MI	
08:00	MS*TEEL/A				ACEL/A-B	08:00			PC2/C * MI	
08:50	MS*TEEL/A				ACEL/A-B	08:50			PC2/A-B *	
09:50	MS*TEEL/A				ACEL/A-B	09:50			PC2/A-B *	
10:40						10:40				
11:30						11:30				
13:10	TEEL	MS				13:10	AC1	MICR02	MSTR	AC1
14:00	TEEL	MS				14:00	AC1	MICR02	MSTR	AC1
14:50	ACEL	TEEL				14:50	CC1	MICR02	PC2	MSTR
16:00	ACEL	TEEL			DIR	16:00	CC1		PC2	MSTR
16:50		ACEL		MS	DIR	16:50			PC2	CC1
17:40		ACEL		MS	DIR	17:40				CC1

Figura. 51: Horários para o 8º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
Eletrotécnica						Eletrônica				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10			AELT	SEE1	CA/A	07:10			RC	CA/A
08:00			AELT	SEE1	CA/A	08:00		TD	RC	CA/A
08:50		SEE1	ECO		ECO	08:50		TD	ECO	RC
09:50	EIND	SEE1	ECO		ECO	09:50	SISCOM	TD	ECO	RC
10:40	EIND				AELT	10:40	SISCOM			
11:30	EIND				AELT	11:30	SISCOM			
13:10					AELT/C	13:10	TD/C			SISCOM/A
14:00					AELT/C	14:00	TD/C			SISCOM/A
14:50	CA/B	AELT/A-B				14:50	CA/B			
16:00	CA/B	AELT/A-B				16:00	CA/B			
16:50						16:50			TD/A-B	
17:40						17:40			TD/A-B	

Figura. 52: Horários para o 9º período do curso de Engenharia Elétrica

AloGra - Grade Horária										
1º Período	2º Período	3º Período	4º Período	5º Período	6º Período	7º Período	8º Período	9º Período	10º Período	
Eletrotécnica						Eletrônica				
	Segunda	Terça	Quarta	Quinta	Sexta		Segunda	Terça	Quarta	Sexta
07:10						07:10				
08:00						08:00				
08:50						08:50				
09:50						09:50				
10:40						10:40				
11:30						11:30				
13:10	ADM	ADM				13:10	ADM	ADM		
14:00	ADM	ADM				14:00	ADM	ADM		
14:50	PSE	ADM				14:50		ADM		
16:00	PSE	PSE				16:00				
16:50		PSE				16:50				
17:40						17:40				

Figura.53: Horários para o 10º período do curso de Engenharia Elétrica

O aplicativo oferece também a possibilidade de plotar o gráfico da aptidão média da população em função da geração corrente. Para o melhor resultado descrito nas telas mostradas anteriormente, obtivemos o gráfico de desempenho mostrado na Figura 54.

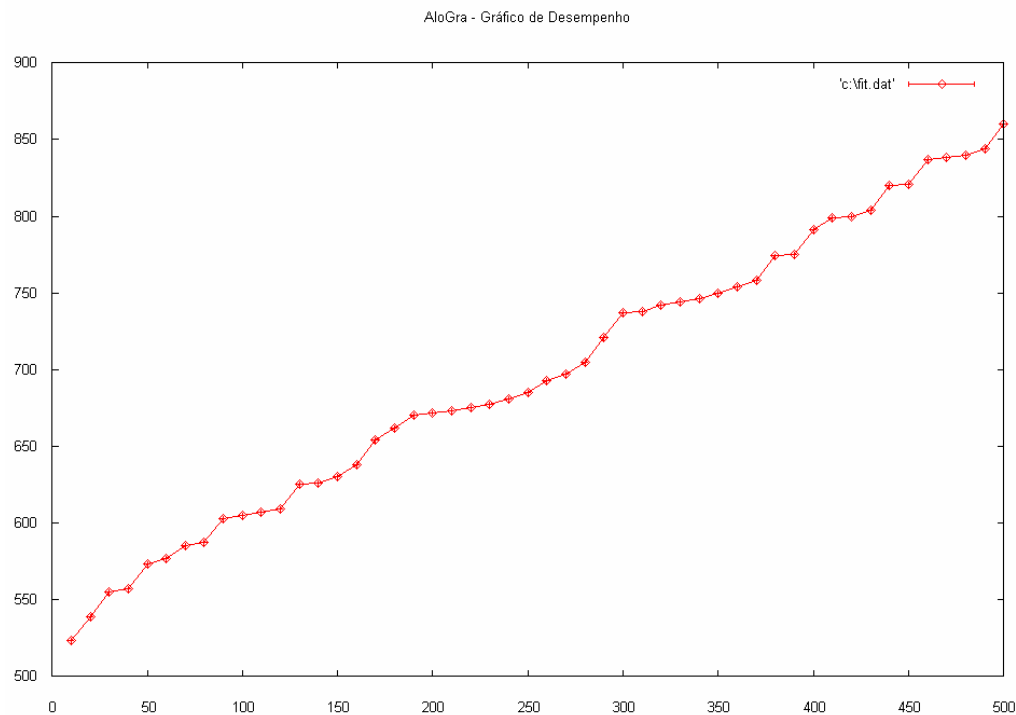


Figura. 54: Gráfico de desempenho – aptidão média

O gráfico da Figura 55 mostra em 500 gerações, o valor da aptidão média para os indivíduos candidatos à melhor solução. Devido ao fato de ser considerada a maximização da função de aptidão, ao final das 500 iterações do algoritmo tem-se o melhor candidato. A Figura 55 mostra o gráfico da aptidão mínima e média.

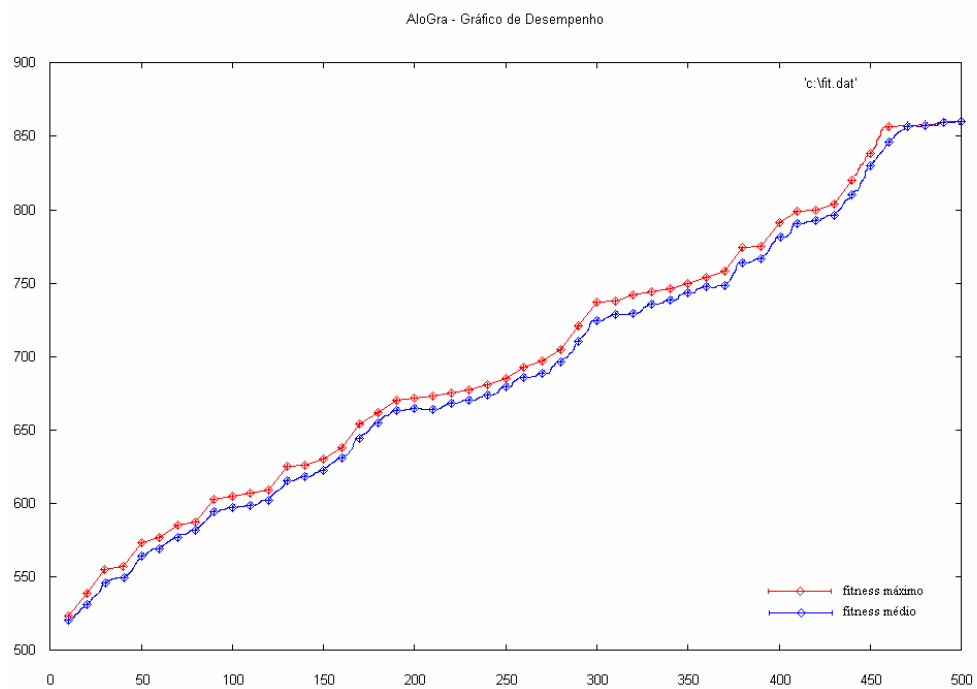


Figura. 55: Gráfico de desempenho – aptidão máxima e média

Capítulo 7

Conclusão, Contribuições e Sugestões para Trabalhos Futuros

Este trabalho de pesquisa propõe um sistema automático de geração de grade horária para a Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU baseado em técnicas de Algoritmo Genético.

O aplicativo foi desenvolvido para uma instituição de ensino superior que possui restrições e problemas a serem resolvidos com relação a criação da grade horária a ser estabelecida, e que, até então, eram executados pela secretaria, sem o auxílio de uma ferramenta adequada para minimizar o tempo requerido e esforço físico e mental da pessoa que o está realizando.

A Ferramenta desenvolvida, além de reduzir o tempo requerido para a confecção do horário, tenta amenizar o esforço requerido por parte da secretaria, pois as pessoas que recebem o seu horário pronto, acabam não tendo a oportunidade de verificar o trabalho que está envolvido na sua elaboração, dada a necessidade de conciliar diversos recursos, tais como professores, disciplinas, entre outros, que fazem com que o problema se apresente com uma enorme complexidade.

A partir da análise dos resultados obtidos e ilustrados no capítulo anterior, pode-se concluir que as técnicas implementadas favorecem a obtenção de uma solução satisfatória e eficiente para o problema, tornando o início de cada semestre letivo menos complicado e mais humano, para toda comunidade acadêmica.

Em relação à aplicação baseada no estudo de caso, pode-se concluir que a abordagem implementada tem um resultado surpreendente, informatizando e simplificando todas as operações e procedimentos, anteriormente realizadas de forma manual, utilizando-se métodos complexos da tentativa e erro, adotado na rotina acadêmica.

Como principal contribuição deste trabalho, pode ser mencionado o estudo e aplicação de técnicas de computação evolutiva (Algoritmos Genéticos), em conjunto com o problema de restrições, vindo como uma solução inovadora para o problema de alocação de professores em horários. O ordenamento dos recursos tenta alcançar com sucesso um determinado objetivo respeitando o conjunto de limitações impostas. Tratou-se de um caso específico de escalonamento onde foram estabelecidas as exigências oriundas da instituição de ensino FEELT – Faculdade de Engenharia Elétrica da UFU – Universidade Federal de Uberlândia – MG.

Como trabalho futuro, pode-se sugerir, uma pesquisa entre as diversas faculdades de ensino superior da Universidade Federal de Uberlândia de forma a definir claramente o escopo do problema, as características das restrições, o grau de automatização existente e desejado do problema e os aspectos requeridos de uma grade horária factível, de boa qualidade, gerada automaticamente.

Como perspectivas futuras para este trabalho, pode-se sugerir também a elaboração de novos operadores genéticos que possam adaptar-se melhor à cada contexto de aplicação e a verificação do desempenho da abordagem com novas restrições.

Em relação à grade horária obtida como resultado da implementação, pode-se concluir que a abordagem tem um resultado satisfatório, ressaltando porém que, a adoção da grade horária gerada, será feita pelo coordenador do curso. Caso haja necessidade, será feita uma nova execução até que uma solução adequada, embora a grade horária satisfaça a todas as restrições, seja encontrada. A decisão de adotar ou não a grade horária gerada pelo Sistema Alocador de Grade Horária – AloGra, caberá ao coordenador do curso.

ANEXO A

QUESTIONÁRIO PARA OBTENÇÃO DAS PREFERÊNCIAS DOS PROFESSORES PARA FINS DE CRITÉRIO DE DESEMPENHO

Esta pesquisa será responsável pelo levantamento da **indisponibilidade** dos docentes envolvidos no processo e das suas respectivas preferências. Os dados apresentados são valores reais da uma instituição de ensino superior Universidade Federal de Uberlândia.

Curso: _____ **Ano:** _____ **Semestre:** _____

Professor: _____

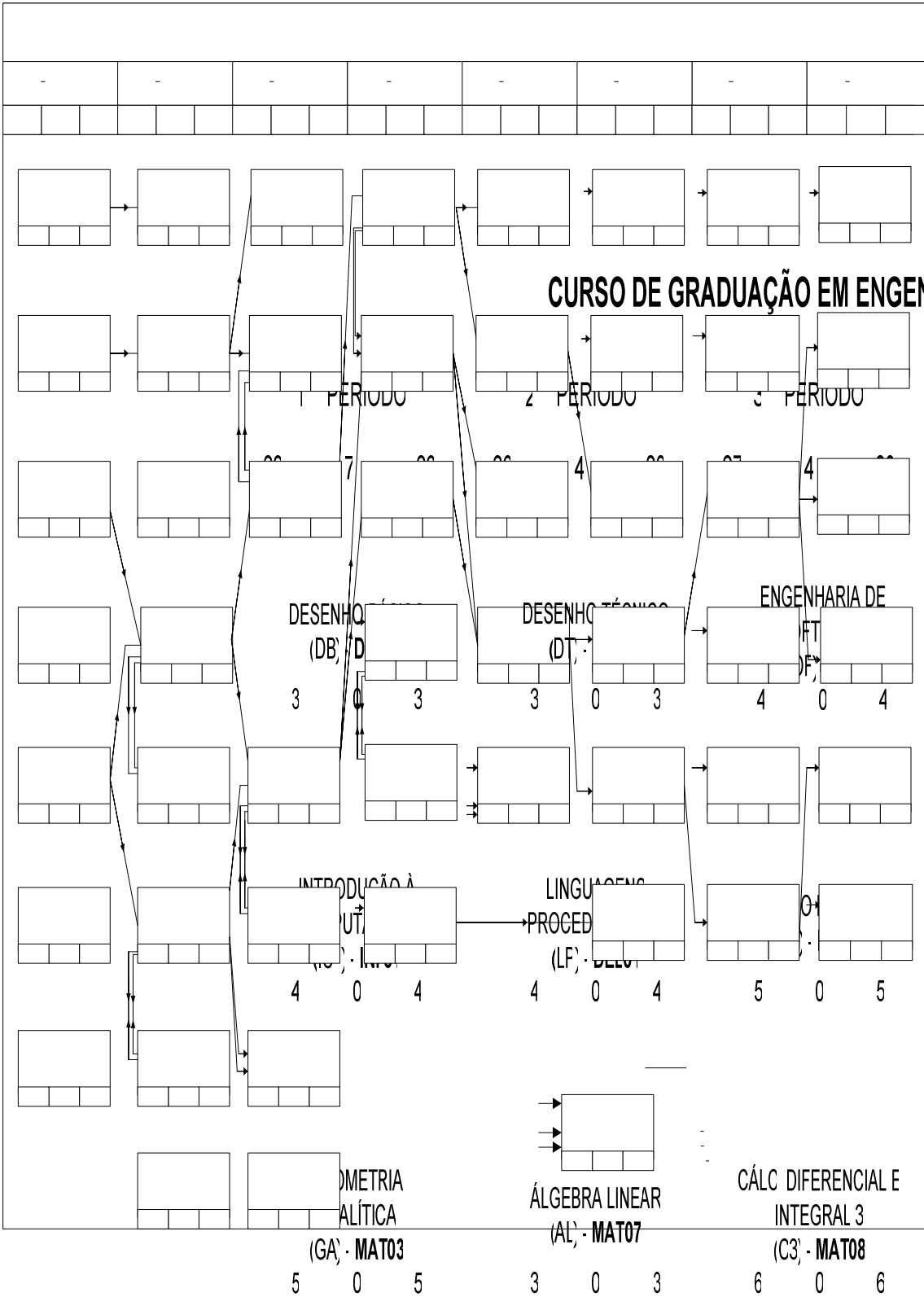
Disciplinas	Aulas Práticas	Aulas Teóricas

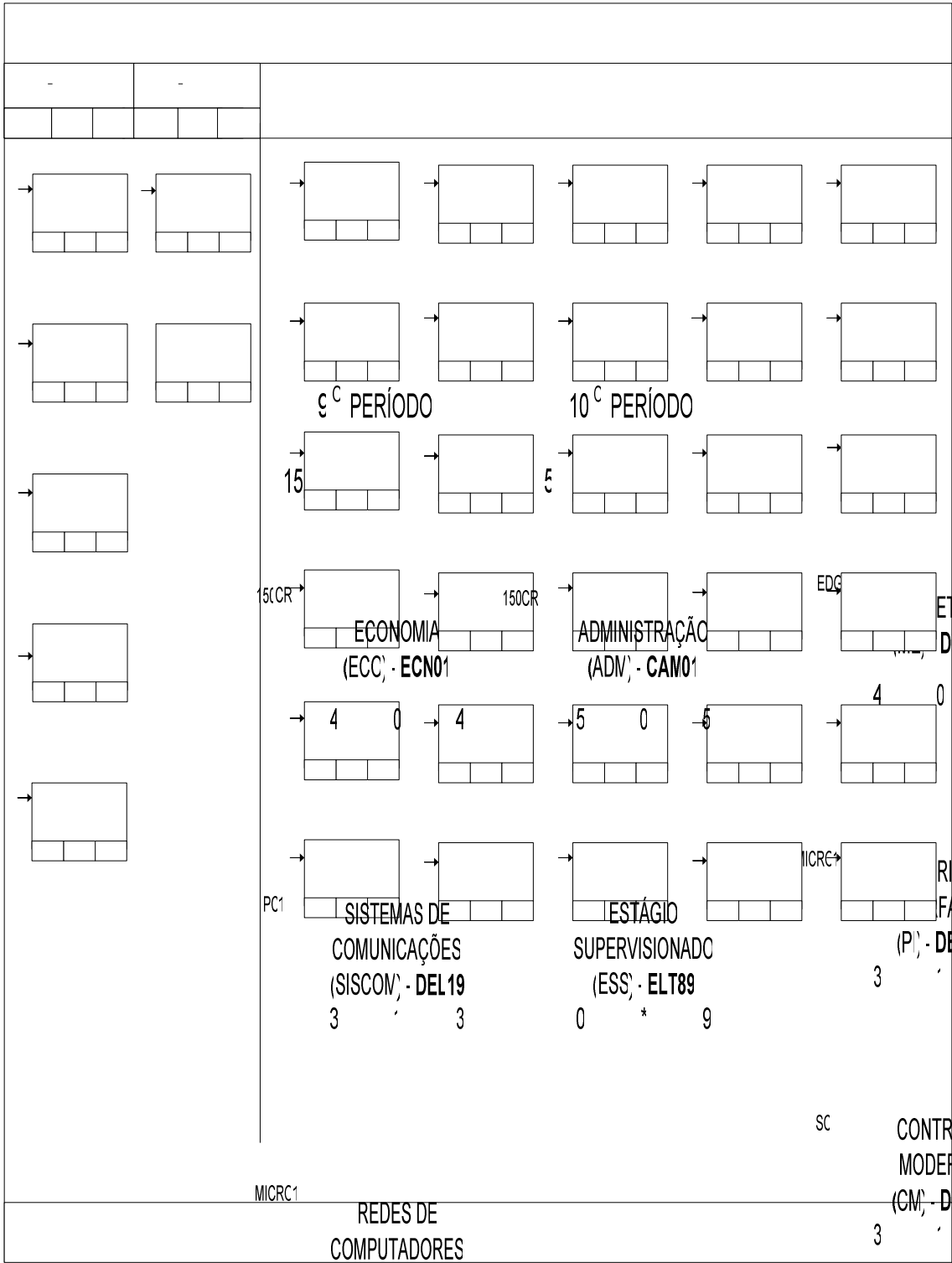
A grade abaixo deverá ser preenchida indicando o grau de preferência, mostrando a sua “satisfação” em relação ao dia e horário indicado com os valores “0” para **não disponível**, “1” para **condicionalmente disponível** e “2” para **disponível**, ou seja, grau de satisfação máxima.

Horários	2ª Feira	3ª Feira	4ª Feira	5ª Feira	6ª Feira
07:10 – 08:00					
08:00 – 08:50					
08:50 – 09:40					
09:50 – 10:40					
10:40 – 11:30					
11:30 – 12:20					
13:10 – 14:00					
14:00 – 14:50					
14:50 – 15:40					
16:00 – 16:50					
16:50 – 17:40					
17:40 – 18:30					

Favor justificar a opção “0” no verso.

ANEXO B -





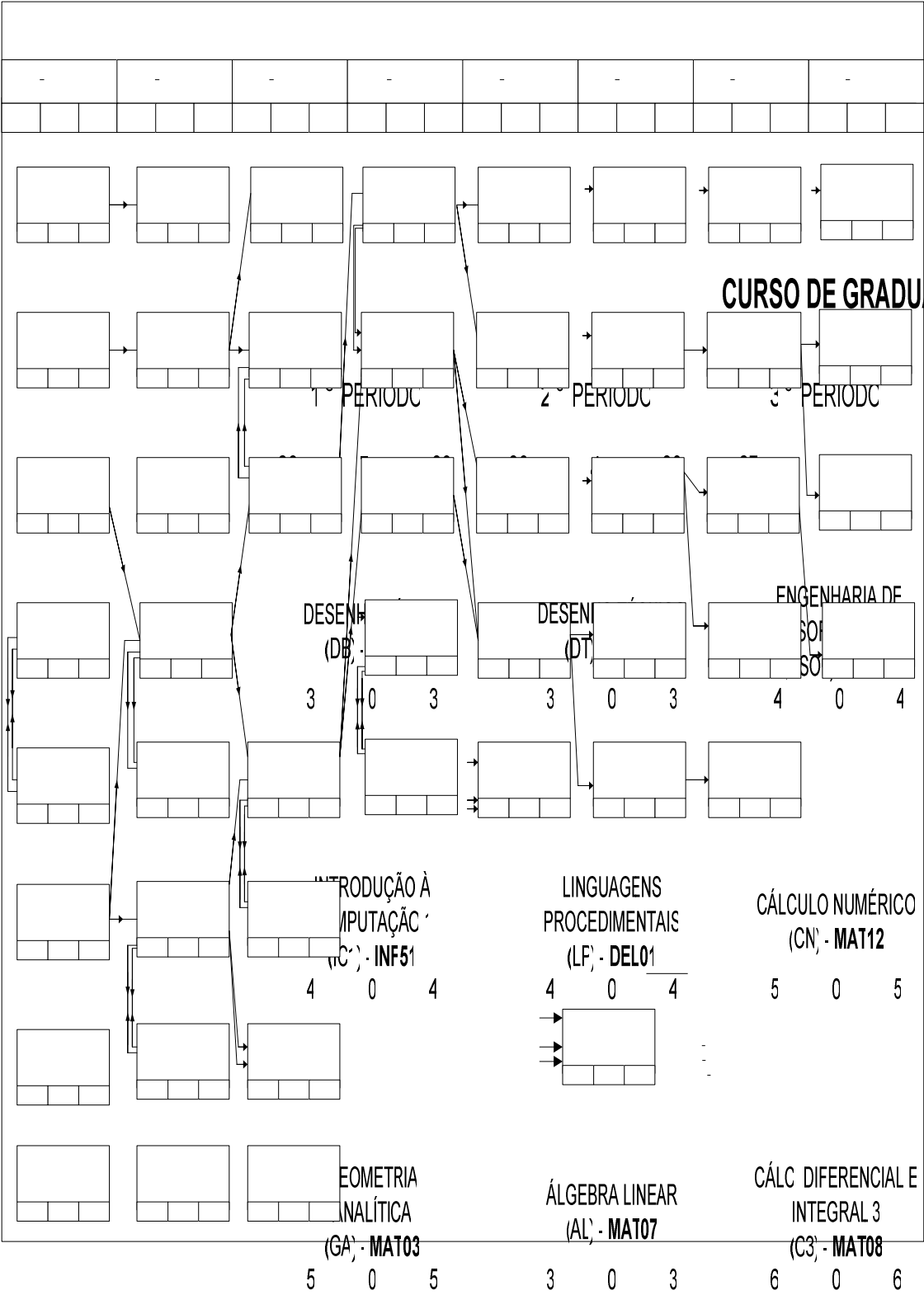
MICRC2

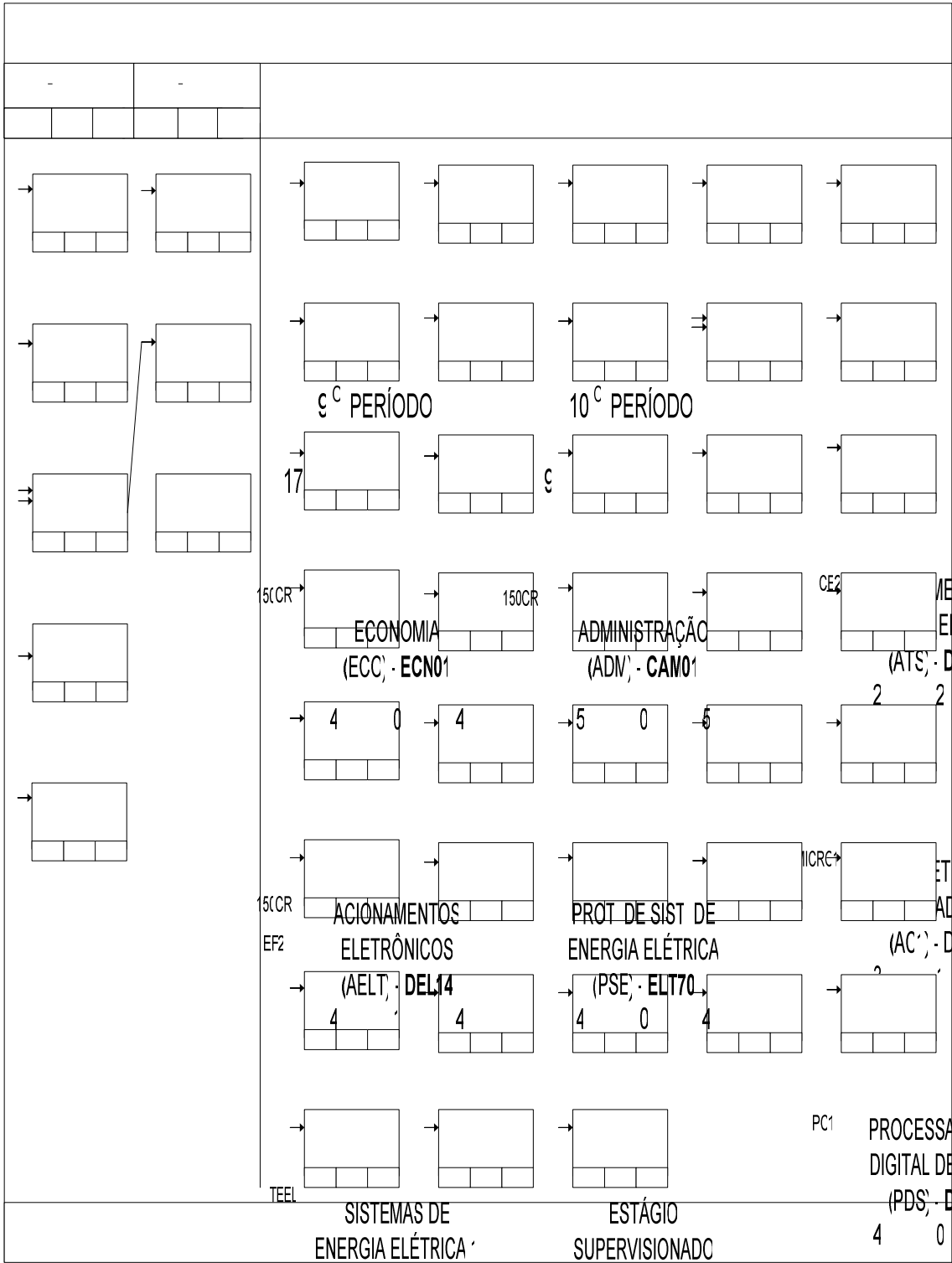
SC

AC1

EF2

ANEXO D -





MICRC2

PC1

13(CR

LLF

MEL

Referências Bibliográficas

- ABRAMSON, D., Abela, J., "A Parallel Genetic Algorithm for Solving the School Timetabling Problem", 15 Australian Computer Science Conference, 1992.
- CALDEIRA, P., Agostinho, R., *School Timetabling Using Genetic Search*, Practice and Theory of Automated Timetabling, Toronto, 1997.
- CONCILIO, R., *Contribuições à solução de problemas de Escalonamento pela Aplicação Conjunta de Computação Evolutiva e Otimização de Restrições. Departamento de Engenharia da Computação e Automação Industrial. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, São Paulo SP, 2000.*
- FANG, H., *Genetic Algorithms in Timetabling Problems*, PhD Thesis, University of Edinburgh, 1994.
- FERNANDES, C., Caldeira, J., *Infected Genes Evolutionary Algorithm for School Timetabling*, WSES, 2002.
- FERNANDES, C, Caldeira, J., Melicio, F., Rosa, A. C., *High School Weekly Timetabling by Evolutionary Algorithms*, SAC99, 1999.
- FRANGOULI, H., Harmandas, V., and Stamatopoulos, P., *UTSE: Construction of Optimum Timetables for University Courses - A CLP Approach*. In Proceedings of the

- Third International Conference and Exhibition on Practical Applications of Prolog - ICPTAT'95, Napier University, Edinburgh, 1995, pg. 393-408.
- GOLDBERG, D. E., *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. Addison-Wesley, 1989.
- GOLDBERG, D.E.; Deb, K. *A comparative analysis of selection schemes used in genetic algorithms*. In: G. Rawlins, ed., *Foundations of genetic algorithms*. Silicon Valley: Morgan Kaufmann, 1991.
- GRÖBNER, M., Wilke P., *A General View on Timetabling Problems*, 4th International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling, 2002.
- HOLLAND, J., *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, University of Michigan Press, 1975.
- LUCAS, Diogo Correa. *Algoritmos genéticos: um estudo de seus conceitos fundamentais e aplicação no problema de grade horária*. 2000. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Informática) – Instituto de Física e Matemática – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- MICHALEWICZ, Z., Schoemauer, M., *Evolutionary Algorithms for Constrained Parameter Optimization Problems*. Evolutionary Computation, 1996.
- RIBEIRO FILHO, G. and Lorena, L. A. N. A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling. In *Applications of Evolutionary Computing*, Boers, E.J.W., Gottlieb, J., Lanzi, P.L., Smith, R.E., Cagnoni, S., Hart, E., Raidl, G.R., Tijink, H., (Eds.) - Springer Lecture Notes in Computer Science vol. 2037, pp. 130-139 – 2001.
- SOUZA, M.J.F.; Maculan, N.; Ochi, L.S. *GTS-II: uma heurística para o problema de horário de escolas*. In: Congresso Latino-Iberoamericano de Pesquisa Operacional, 10., Mexico,

2000. Proceedings. Mexico: Instituto Mexicano de Sistemas e Investigación de Operaciones, 2000.

WREN, A. *Scheduling, timetabling and rostering* – a special relationship? in The Practice and Theory of Automated Timetabling: Selected Papers from the 1st Internacional Conference, Lecture Notes in Computer Science. Berlin, 1996.

Bibliografia

- BRAZ, Osmar de Oliveira Jr., *Otimização de horários em instituições de ensino superior através de algoritmos genéticos*. 2000. 144 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Mestrado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- GOOI, H. B., Chan, C. K. and Meng Hiot Lim, M. H.; *Timetables of large engeneering college: Design and implementation framework* (#2222). Genetic algoritm approach to University timetabling (#1341). SEAL'02 - Proceedings of the 4th. Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and learning. (conferencia que aconteceu junto com o ICONIP'02 - 9th. International Conference on NEural Information Processing). Singapura/2002. pg. 682
- KOIZUMI, Koizumi, N., Yamamori, K. and Ikuo Yoshihara, I., *Genetic algoritm approach to University timetabling* (#1341). SEAL'02 - Proceedings of the 4th. Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and learning. (conferencia que aconteceu junto com o ICONIP'02 - 9th. International Conference on NEural Information Processing). Singapura/2002. pg. 262
- SCHAEFER, A., *A Survey of automated timetabling*. *Artificial IntelligenceReview*, v. 13, pp. 87-127, 1999.

SRINIVASAN, Srinivasan, D., Hou, S. T., and Xin, X. J.; *Constraint-based University timetabling using evolutionary algorithm* (#2228) Genetic algorithm approach to University timetabling (#1341). SEAL'02 - Proceedings of the 4th. Asia-Pacific Conference on Simulated Evolution and learning. (conferencia que aconteceu junto com o ICONIP'02 - 9th. International Conference on NEural Information Processing). Singapura/2002. pg. 252

TERRA, I., *Uma Solução para a Confecção do Horário Acadêmico*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Minas Gerais, 2001.