

IMPLEMENTAÇÃO DE UM ALGORITMO GENÉTICO PARA CONSTRUÇÃO AUTOMÁTICA DE HORÁRIOS EM UMA ESCOLA DE ENSINO FUNDAMENTAL E MÉDIO

Cícero Nogueira dos Santos

Instituto Militar de Engenharia – Mestrado em Engenharia da Computação
Praça General Tibúrcio, 80, Rio de Janeiro – RJ, 22290-270
noqueira@de9.ime.eb.br

Roberto Jefferson da Silva Santos

Instituto Militar de Engenharia – Mestrado em Engenharia de Transportes
Praça General Tibúrcio, 80, Rio de Janeiro – RJ, 22290-270
producaorj@yahoo.com.br

Resumo

Neste trabalho o problema da programação de horários escolares é abordado a partir da utilização de uma meta-heurística. É proposto um algoritmo genético para a construção automática de horários escolares, o qual foi implementado como um módulo do sistema de gestão escolar de uma escola de ensino fundamental e médio. Vários testes foram realizados para comprovar a viabilidade da ferramenta proposta e como resultado várias soluções sub-ótimas foram encontradas.

Palavras-Chaves: Programação de Horários Escolares, Algoritmos Genéticos, Inteligência Artificial.

Abstract

In this work the problem of the programming of pertaining to school schedules is boarded from the use of a goal-heuristic. A genetic algorithm for the automatic construction of pertaining to school schedules is considered, which was implemented as a module of the system of pertaining to school management of a school of basic and average education. Some tests had been carried through to prove the viability of the tool proposal and as resulted some sub-excellent solutions they had been found.

Keywords: Programming of Pertaining to School Schedules, Genetic Algorithms, Artificial Intelligence.

1. INTRODUÇÃO

A programação do horário escolar é uma das tarefas vitais para o funcionamento das atividades de uma instituição de ensino. Esta tarefa quando realizada manualmente demanda bastante tempo e esforço mental. Neste trabalho, foi proposta uma ferramenta para geração automática do horário escolar no Colégio Paraíso, situado em Juazeiro do Norte - Ceará. Tal ferramenta foi implementada como um módulo do Sistema Informatizado de Gestão Escolar do Colégio Paraíso, o *Software Saber*.

A técnica de otimização utilizada foi a de Algoritmos Genéticos. Esta escolha deve-se aos bons resultados, encontrados na literatura, da aplicação dessa técnica em problemas de otimização combinatória, como é o caso do problema em questão.

O Algoritmo Genético foi implementado com a utilização do ambiente de programação Delphi 5.0 e os dados de entrada do problema são importados do Banco de Dados do *Software Saber*.

2. O PROBLEMA DA PROGRAMAÇÃO DO HORÁRIO ESCOLAR

Segundo RIBEIRO FILHO (2000), o problema da programação do horário escolar (*School TimeTabling Problem*) consiste em fixar uma seqüência de encontros entre professores e alunos num período de tempo prefixado (tipicamente uma semana), satisfazendo um conjunto de restrições de vários tipos. Como os tipos de restrições geralmente se alteram de uma instituição para outra, um grande número de variantes deste problema tem sido propostos na literatura.

O problema do horário escolar, por tratar-se de um problema de otimização combinatória com um vasto espaço de busca e geralmente possuir um grande número de restrições, é considerado na literatura como NP-Completo (de WERRA, 1996), e para problemas desse tipo, ainda não existe algoritmo que teste todas as possibilidades para encontrar o ótimo global em tempo hábil. Por isso, esse problema vem sendo abordado através de técnicas heurísticas, e mais recentemente pelas Meta-heurísticas.

Diversas técnicas já foram desenvolvidas para a resolução automática do *School TimeTabling Problem*. Dentre essas técnicas podemos citar a resolução por *edge coloring on graphs* (de WERRA, 1985); aproximações por Heurísticas (E.H.LOO, 1986; WEBER, 1979); aproximações por Meta-heurísticas: busca tabu (de WERRA, 1996); algoritmo genético (PETRES, 2000; LUCAS, 2000); algoritmo genético construtivo (RIBEIRO FILHO, 2000) e; algoritmo evolutivo híbrido (SOUZA, 2002).

As restrições mais comumente utilizadas são as seguintes:

1. Restrições Graves:

- Não deve haver colisão de horários de disciplinas da mesma turma;
- Não deve existir colisão de horários de professores;
- Os professores só devem ser alocados nos horários que os mesmos indicaram como disponíveis;
- Não deve haver colisão de horários de disciplinas de turmas diferentes numa mesma sala de aula (Ex: Alocação de aulas de informática de turmas diferentes, no mesmo horário, no mesmo laboratório de informática).

2. Restrições Leves:

- Alocar os professores nos horários de sua preferência;
- Ajustar o total de aulas seqüenciais (geminadas) de acordo com o requerido de cada disciplina;
- Não existência de horários vagos entre aulas para as turmas e professores (Janelas);
- Não existência de aulas seguidas, de disciplinas diferentes, numa mesma turma, com o mesmo professor.

3. ALGORITMOS GENÉTICOS

Algoritmos Genéticos (GAs: *Genetic Algorithms*) são algoritmos de busca baseados nos mecanismos da reprodução genética e nas leis da evolução natural proposta por Charles Darwin (GOLDBERG, 1989). As respostas do problema são tratadas como indivíduos, que formam uma população e disputam entre si pela oportunidade de se reproduzirem e transmitirem seu material genético para as

próximas gerações. São algoritmos probabilísticos que fornecem um mecanismo de busca paralela e adaptativa baseado no princípio de sobrevivência dos mais aptos e na reprodução (PACHECO, 1999).

Em algoritmos genéticos uma possível solução no espaço de busca é representada por uma estrutura de dados denominada de cromossomo. A forma como essa estrutura de dados codifica a solução do problema é conhecida como representação.

O funcionamento do algoritmo genético começa com a inicialização da população e continua com a execução dos processos de seleção, reprodução e mutação a cada iteração (geração) do algoritmo até que seja encontrado um critério de parada.

4. O ALGORITMO GENÉTICO PROPOSTO

4.1. REPRESENTAÇÃO

O problema da programação do horário escolar precisa ter sua solução representada em forma de cromossomo para que o GA possa resolvê-lo. A representação aqui escolhida é semelhante à utilizada em (MUKHERJEE, 2001):

- Cada cromossomo (ou indivíduo) representa uma possível (mas não necessariamente viável) programação de horários;
- As aulas são representadas pelas posições no cromossomo;
- Cada posição ou gene contém um valor inteiro representando o horário e sala da aula representada pela respectiva posição;
- A tabela de aulas contém todos os atributos que a identificam, código da disciplina, turma e professor. A Figura 4.1 ilustra o modelo da representação usada.

O cromossomo representa um quadro de horários.
Existem N posições, correspondendo a N diferentes aulas

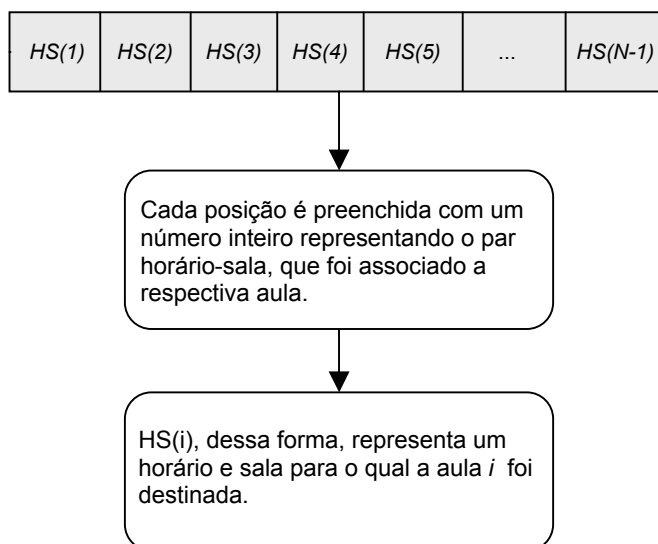


Figura 4.1: Cromossomo utilizado para representar a solução do problema do horário escolar

4.2. O PAR HORÁRIO-SALA

O horário escolar no Colégio Paraíso, como em praticamente todos os

colégios, é agendado para o espaço de tempo de uma semana. E cada dia tem 6 horários no turno matutino. Todos os horários existentes podem ser encontrados no conjunto $\{0, (NDIAS * NHORÁRIOS) - 1\}$, onde a primeira aula do primeiro dia da semana é representada por 0, a segunda aula por 1 e assim sucessivamente.

As salas são classificadas como salas de aula, laboratórios, auditórios e etc. O número de salas é um dado de cada instituição e representado por NSALAS.

Cada aula é associada a um par Horário-Sala, que é membro do conjunto (H x S), onde H é o conjunto de horários e S o conjunto de salas.

$$|H \times S| = |H| \times |S| = N_{HORÁRIOS} \times N_{SALAS} = N_{HS}$$

Como visto na Figura 4.1, o cromossomo é um vetor de tamanho NAULAS, e o conteúdo de cada elemento do vetor será um valor do conjunto de números inteiros $\{0, N_{HS} - 1\}$, onde cada elemento desse conjunto representa uma combinação de uma sala com um horário. Dessa forma, um vetor de números inteiros pode ser utilizado para representar o cromossomo e com simples operações aritméticas é possível extrair a sala e o horário de um inteiro pertencente ao conjunto $\{0, N_{HS} - 1\}$.

5. MODELAGEM DOS DADOS DE ENTRADA

Na Figura 5.1 é mostrado o diagrama entidade-relacionamento dos dados que comporão a entrada do problema (menos a da entidade DiscTurmaHorários, onde serão armazenadas as grades de horários geradas). Estas estruturas de dados foram criadas no Bando de Dados do *Software Saber*, o qual utiliza o SGDB SQL Server 7.0.

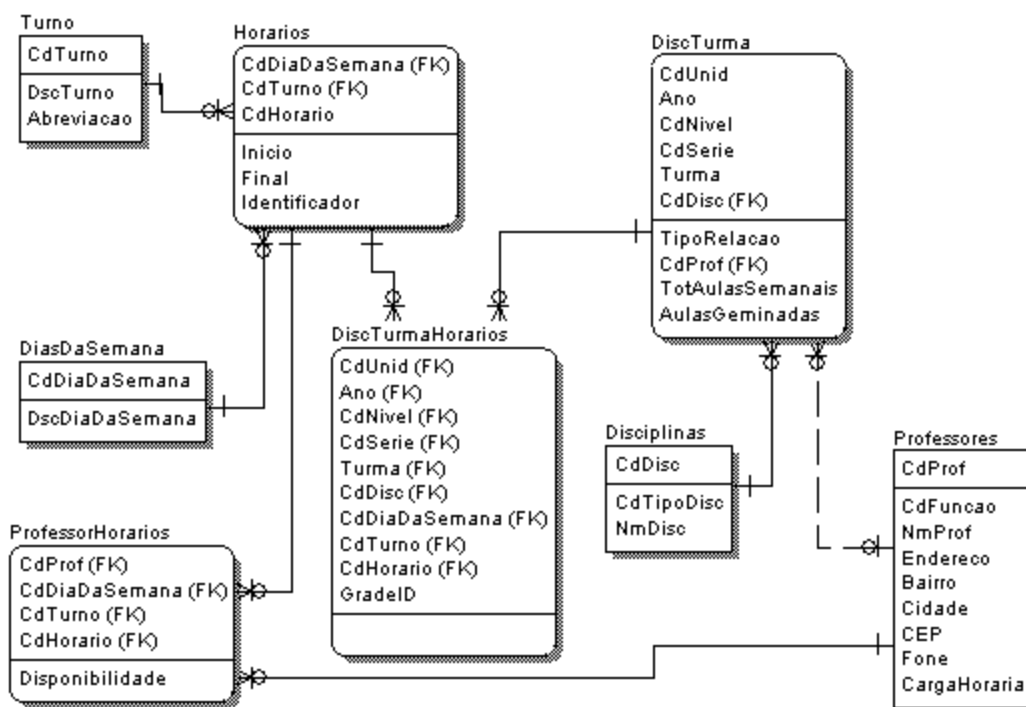


Figura 5.1: Diagrama entidade-relacionamento dos dados de entrada do problema

5.1. RESTRIÇÕES

Para que a função de avaliação do GA possa qualificar os cromossomos é necessário definir as restrições que o problema deverá obedecer. As restrições

utilizadas e seus respectivos graus, foram classificadas conforme é mostrado na Tabela 5.1.

Tabela 5.1 Restrições e respectivos graus

Restrição	Grau
Colisão de turmas (mesmo horário e sala)	Grave
Colisão de disciplinas da mesma Turma	Grave
Colisão de horários de professores	Grave
Impossibilidades dos professores	Grave
Preferências dos professores	Baixo
Aulas geminadas	Médio
Janelas em horários da turma	Médio

As restrições de grau Grave devem ser satisfeitas para que o quadro de horários gerado seja viável. As restrições de graus Médio e Baixo qualificam o quadro de horários de acordo com critérios que o torna mais adequado para a Instituição. Ou seja, uma programação de horários que viola apenas restrições Médias e Baixas seria uma solução sub-ótima.

5.2. FUNÇÃO DE AVALIAÇÃO E PENALIDADES

A função de avaliação é parte fundamental do GA. Neste trabalho a função de avaliação calcula o grau de adaptação dos indivíduos a partir do número de violações de restrições cometidas pelos mesmos. A cada restrição violada o cromossomo é penalizado, sendo que o valor dessa penalidade depende do tipo da restrição violada.

O grau de adaptação de um cromossomo indica quão boa é a solução (quadro de horários) representada por ele. No GA desenvolvido, o grau de adaptação, como em MUKHERJEE (2001), (LUCAS, 2000) e (LEE, 2000), é dado pela seguinte função:

$$Adaptação = \frac{1}{1 + \sum Penalidades}$$

Os valores padrões das penalidades utilizados no GA foram definidos conforme o grau de cada restrição (Tabela 5.2), mas elas também podem ser modificadas conforme a vontade do usuário.

Os valores padrões das penalidades utilizados no GA foram definidos conforme o grau de cada restrição (Tabela 5.2), mas elas também podem ser modificadas conforme a vontade do usuário.

Tabela 5.2 Valores das penalidades

Grau da Restrição	Penalidade
Grave	100

Médio	15
Baixo	5

As restrições de grau grave recebem um valor alto de penalidade, para refletir o fato de que a violação torna a solução inviável.

Uma matriz de comprimento (NAULAS x Tamanho da população) foi criada para armazenar as restrições associadas a cada gene do cromossomo. Essa matriz é necessária para a utilização do operador de mutação direcionada.

6. OPERADORES UTILIZADOS

6.1. INICIALIZAÇÃO

Para a inicialização do GA foi criada uma função que atribui um valor aleatório (pertencente ao intervalo $\{0, N_{HS} - 1\}$) a cada gene dos cromossomos da população inicial.

6.2. SELEÇÃO

O operador de seleção por torneio foi o escolhido para ser utilizado no GA desenvolvido. Esta escolha é devido aos bons resultados obtidos por este tipo de seleção descritos na literatura.

6.3. CRUZAMENTO

Foram testados dois tipos de operadores de cruzamento, o cruzamento de um ponto e o cruzamento uniforme. Nos testes realizados os resultados de ambos foram semelhantes.

A taxa de cruzamento foi padronizada em 0,9, ou seja, cada indivíduo criado para a nova população tem 90% de chances de ser gerado a partir do cruzamento de indivíduos da população anterior. O valor da taxa de cruzamento pode ser alterado pelo usuário.

6.4. MUTAÇÃO

O operador de mutação implementado foi o de mutação direcionada. Este tipo de operador foi escolhido devido aos bons resultados encontrados por MUKHERJEE (2001) ao utilizar este tipo de mutação no problema da programação escolar. A taxa de mutação foi padronizada em 0,002. Dessa forma, cada gene dos cromossomos tem 0,2% de chance de ser mutado. O valor da taxa de mutação também pode ser redefinido pelo usuário.

6.5. TÉCNICA DE FINALIZAÇÃO

A técnica de finalização implementada foi a do número de gerações, onde o usuário define o número de gerações que o GA deve percorrer.

7. RESULTADOS

O GA desenvolvido foi testado com os dados do ano de 2002 de 3 turmas da 1ª Série do Ensino Médio do Colégio Paraíso, com 15 disciplinas cada uma, somando um total de 90 aulas semanais, e um número de 16 professores para

ministrarem essas aulas. Os horários considerados foram de 6 horas-aulas por dia, de segunda a sexta, no turno matutino.

Até o momento ainda não foi possível obter uma programação de horários ótima, foram encontradas apenas soluções sub-ótimas. Nos testes realizados, com os valores padrões de penalidades, a melhor solução foi conseguida com uma população de 256 indivíduos, na geração de número 163, onde se obteve apenas penalidades de grau médio e baixo, totalizando 240 pontos de penalidades. A Figura 7.1 mostra outro dos melhores resultados, onde não se obteve penalidades graves e as penalidades de grau médio e baixo totalizaram 420 pontos, com uma população de 150 indivíduos, na geração de número 170.

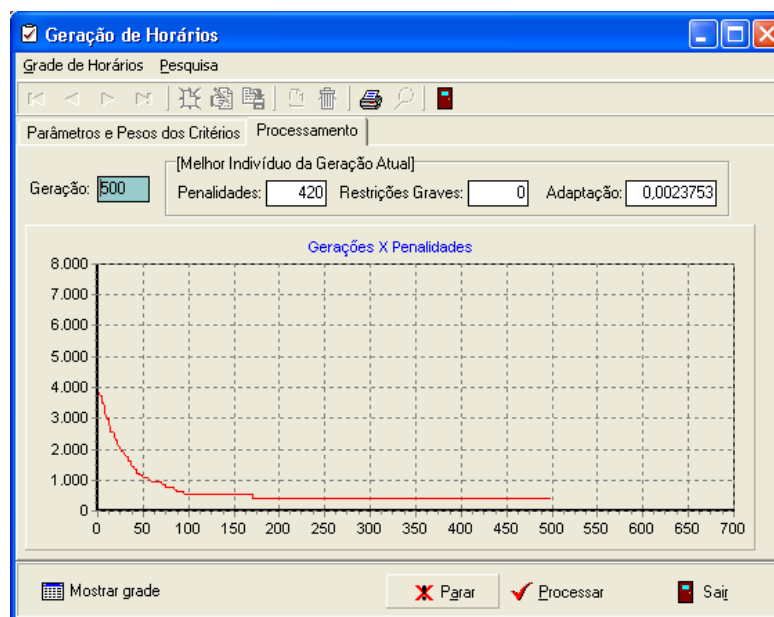


Figura 7.1: Uma das melhores soluções encontradas com o GA desenvolvido

Esses resultados podem ser melhorados se, ao invés de inicializar a população com valores randômicos, for criada uma heurística de inicialização para o GA, ou seja, criar uma função que gere uma população de forma que as aulas sejam alocadas preferencialmente em horários que respeitem as restrições de alocação. Com esse tipo de inicialização fica mais fácil para o GA encontrar soluções ótimas.

8. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Foi apresentado um algoritmo genético para construção automática de horários em uma escola de ensino fundamental e médio. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que a ferramenta desenvolvida pode ser aperfeiçoada para obter resultados viáveis bem como melhorar a performance da busca.

Como sugestões para trabalhos futuros ficam: a criação de uma heurística de inicialização do algoritmo genético proposto; melhoramentos na parte visual da interface com o usuário, principalmente na de visualização da grade de horários gerada; criação de uma interface para disponibilização da grade de horários via WEB.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BITTENCOURT, Guilherme. Inteligência Artificial: Ferramentas e Teorias. 2ª Ed. Florianópolis: Editora da UFSC, 2001.

- [2] BURKE, Edmund Kieran and Petrovic, Sanja. Recent Research Directions in Automated Timetabling. School of Computer Science and Information Technology, University of Nottingham, ,2002
- [3] de WERRA D.: The combinatorics of timetabling. European Journal of Operations Research. 96 (1997) 504-513.
- [4] de WERRA D. and Asratian, A. S.: A generalized class-teacher model for some timetabling problems. European Journal of Operations Research 143 (2002) 531-542.
- [5] GOLDBERG, David E. Genetic Algorithms in Search, Optimization & Machine Learning. Addison-Wesley, 1989.
- [6] GYÖRI, Sándor et. al: Genetic algorithms in timetabling. A new approach. Budapest University of Technology and Economics, 2000.
- [7] RUDOVÁ, Hana and Matyska, Ludek: Timetabling with annotations. Faculty of Informatics, Masaryk University: FIMU Report Series, 1999.
- [8] LEE, Ho Sung C.: Timetabling Highly Constrained System via Genetic Algorithms. 2000. Dissertation of Masters of Science in Applied Mathematics (Major in Operations Research) - University of the Philippines, Diliman, Quezon City.
- [9] Loo, E. H. et. al: A heuristic approach to scheduling university timetables. Pergamon Journals Ltd – Comput. Educ. Vol. 10, Nº 3, pp. 379-388, 1986.
- [10] LUCAS, Diogo Correa. Algoritmos Genéticos: um estudo de seus conceitos fundamentais e aplicação no problema de grade horária. 2000. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.
- [11] MUKHERJEE, Sachi Nandan: Timetabling using Cellular Genetic Algorithms with Adaptive Mutation Operators. 2001. Final Year Project Report; University of York.
- [12] PACHECO, Marco Aurélio Cavalcanti: Algoritmos genéticos: princípios e aplicações. Apostila do ICA, Laboratório de Inteligência Computacional Aplicada; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro – RJ: 1999.
- [13] PINHEIRO, Plácido Rogério: Um ambiente de apoio a construção de horário escolar na web: modelagem, implementação e aplicação nas escolas de ensino médio. Anais do XXXIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, pgs 435- 443; Campos do Jordão – SP: 2001.
- [14] RIBEIRO FILHO, G. and Lorena, L. A. N. A Constructive Evolutionary Approach to School Timetabling (2000). Available from <http://www.lac.inpe.br/~lorena/>.
- [15] SOUZA, M.J.F., et al. Um Algoritmo Evolutivo Híbrido para o Problema de Programação de Horários em Escolas. Anais do XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Curitiba – PR: 2002.
- [16] VIANA, Geraldo Valdisio Rodrigues. Meta-heurísticas e programação paralela em otimização combinatória. Fortaleza: EUFC, 1998.
- [17] WEBER, Hans Hermann. Introdução à pesquisa operacional. Campina Grande – PB: Editora Universitária / UFPB, 1979.
- [18] WHITLEY, Darrel. A genetic algorithm tutorial. Disponível em www.geocities.com/igoryepes/ga_tutorial.zip (capturado em 17 de março de 2002).