

O PROBLEMA DE GERAÇÃO DE HORÁRIOS: UM FOCO NA ELIMINAÇÃO DE JANELAS E AULAS ISOLADAS

Leonardo Aparecido Cisson¹

Adriano César Oliveira¹

Tatiana Ribeiro Hipólito¹

Guilherme Bastos Alvarenga²

Ana Cristina Roullier²

UFLA – Universidade Federal de Lavras
DCC – Departamento de Ciência da Computação
Caixa Postal 37 - CEP 37200-000 Lavras MG
¹{leocisson, acolivcomp, trhipolito}@gmail.com
²{bastos,acr}@dcc.ufla.br

Resumo: O Problema de Geração de Horários Escolares, conhecido na literatura como *Timetabling problem*, trata da definição dos horários para todas as aulas de uma escola, considerando um conjunto limitado de horários e satisfazendo diversas restrições. A solução manual do problema além de ser trabalhosa e lenta, pode ocasionar soluções de qualidade muito ruim. Esforços no sentido de otimizar a elaboração de quadros de horário têm sido despendidos. Mesmo encontrar um quadro viável de horários é um problema NP-Difícil, dificultando o uso de técnicas exatas para instâncias de ordem mais elevada. Vários métodos de otimização e heurísticas têm sido propostos, mas a maioria encontra problemas ao lidar com um grande número de restrições, necessárias aos problemas do mundo real. Entre as técnicas mais recentes, as meta-heurísticas tem se destacado por possibilitar bons resultados em tempo aceitável de processamento. Busca Tabu, Recozimento Simulado e Algoritmos Genéticos têm sido as meta-heurísticas mais utilizadas. Entretanto, objetivos e restrições importantes têm sido desconsiderados, dificultando a utilização dessas propostas de solução em problemas reais. Neste trabalho, dois importantes objetivos são acrescentados, a eliminação de janelas e aulas isoladas, buscando horários com mais aceitação dos professores. Esta generalização se mostrou essencial para a utilização da solução proposta na geração de horários para duas escolas escolhidas como estudo de caso. A utilização e aceitabilidade das soluções encontradas mostram a importância da generalização considerada e a validade da proposta atual.

Palavras-chaves: *timetabling*, algoritmos genéticos, otimização.

Abstract: The Timetabling problem consists of scheduling a set of classes to a fixed number of time slots subject to a great number of constraints. The manual problem solution is painful and slow and many times the results aren't satisfactory. Many efforts have been expended in order to possibility a automatic and optimized timetabling. Even to find a feasible timetable solution is NP-hard. Consequently, the use of exact methods is not appropriate to high orders instances. Many exact methods and heuristics have been proposed to approach the timetabling problem, however, the main problem from these methods have been to handle efficiently many real world constraints and objectives. From the recent approaches, the meta-heuristics highlight to find good quality results in reasonable execution time. Tabu Search, Simulated Annealing and Genetic Algorithm are the main meta-heuristic methods utilized. However, important constraints and objectives have been neglected, making hard the use of these solutions in the real world. In this paper, two important objectives are considered: the idle time windows and isolated classes minimization, possibiliting a timetable with higher quality of accepting. The generalization proposed in this paper has demonstrated very important in the solution for two studied case schools analyzed. The real utilization and acceptability of the produced solutions show the generalization importance and current proposal importance.

Keywords: timetabling, genetic algorithms, heuristics.

1. Introdução

Um grande problema presente nas instituições educacionais todo início de período letivo é a geração dos horários escolares. A programação dos horários torna-se uma tarefa difícil devido ao grande número de possibilidades e a necessidade de se respeitar uma série de requisitos, muitas vezes conflitantes entre si.

As instituições de ensino geralmente necessitam de muitos dias programando os seus horários manualmente e chegam à maioria das vezes a um horário inviável. Geram-se horários não ideais à realidade da escola, além de grande esforço por parte de seus funcionários.

Uma solução que seja capaz de propor um horário com qualidade e que não viole as restrições é muito necessária, na medida em que é crescente o número de novos estabelecimentos de ensino e este ser um problema comum a todos eles.

Adicionalmente, este é um problema dos mais desafiadores em otimização combinatória. Devido a sua complexidade computacional e a conseqüente dificuldade de tratá-lo com algoritmos exatos, normalmente estes problemas são tratados com técnicas heurísticas. A família de problemas *timetabling* se caracteriza por um espaço de busca muito grande acompanhado de um conjunto de restrições que devem ser respeitadas.

O objetivo desse trabalho é apresentar um algoritmo genético para o tratamento do problema de geração de horários escolares, o *timetabling*, considerando o aspecto de eliminação de janelas e aulas isoladas no horário dos professores. Estes têm sido os grandes dificultadores na geração dos horários, bem como ponto fundamental na aceitabilidade pelos professores envolvidos. Janelas são os horários ociosos entre duas aulas de um mesmo turno na grade horária de um professor, ao passo que as aulas isoladas são aquelas presentes isoladamente em um dia. Embora seja claro sua importância, não há referências a trabalhos que trabalham na minimização destas restrições, pelo que se tem conhecimento.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: A seção 2 traz um breve resumo de trabalhos anteriores tratando o problema de geração de horários e algoritmos genéticos. A seção 3 apresenta uma proposta de solução utilizando Algoritmo Genético e considerando os objetivos já mencionados: janelas e horários isolados. A seção 4 apresenta os resultados obtidos e por fim, a seção 5 as conclusões.

2. Descrição do Problema

O problema de formação de horários escolares, também conhecido como *Timetabling*, consiste em arranjar encontros entre professores e alunos em um período de tempo previamente fixado, tipicamente uma semana, de modo a satisfazer um conjunto de restrições que podem ser de vários tipos.

Muitas variantes do problema têm sido propostas na literatura, e diferem umas das outras pelo tipo de instituição de ensino envolvida, universidades ou escolas médias, e pelo tipo de restrições impostas ao problema. Schaerf (1999) cita três classes de problemas:

- *School Timetabling*: seqüenciamento semanal das aulas de uma escola, evitando que professores e alunos tenham mais de uma aula simultaneamente;
- *Course Timetabling*: seqüenciamento semanal das aulas de um conjunto de cursos de uma universidade, evitando a simultaneidade de cursos com estudantes em comum;
- *Examination Timetabling*: seqüenciamento de exames de um conjunto de cursos em uma universidade, evitando exames simultâneos de cursos com estudantes em comum, e espalhando os exames o máximo possível.

O objetivo deste trabalho é produzir um método para tratar especificamente da variante citada como *School Timetabling*, porém com características em que ela se apresenta em escolas de ensino fundamental e médio no Brasil.

Neste trabalho trata-se da variante citada como *School Timetabling*, porém com as características em que ela se apresenta em escolas de ensino fundamental e médio.

Tipicamente, estas escolas atendem a um determinado número de turmas que é limitado por sua capacidade física. Normalmente há mais turmas do que salas de aula, mas as escolas trabalham em mais de um período por dia, normalmente os períodos matutino, vespertino e noturno.

Cada turma possui uma relação de disciplinas que têm um certo número de aulas dependendo do currículo do curso e série aos quais a turma pertence. A quantidade de aulas de cada turma preenche completamente a semana, isto é, as turmas têm aulas em todos os horários de seu período, todos os dias da semana.

O número de horários do período e o número de dias da semana, multiplicados pelo número de turmas da escola nos dão o número total de aulas ministradas naquele período. Se considerarmos todos os períodos do dia teremos todas as aulas ministradas na escola.

Essas aulas são ministradas por um conjunto de professores. Cada professor tem seu próprio número de aulas. Muitas vezes os professores trabalham em mais de uma escola e em cada uma delas ministram um diferente número de aulas. Neste contexto, o presente trabalho foca a geração de horário minimizando a quantidade de janelas e aulas isoladas nos horários dos professores. Com isso busca-se a geração de um horário otimizado para o professor a fim de facilitar a execução de outras possíveis atividades.

Podemos considerar um grau de importância para as restrições. As restrições mais “fortes” são aquelas que garantem a viabilidade de uma solução, isto é, aquelas referentes aos conflitos de simultaneidade de aulas tanto para professores quanto para turmas.

Além dessas restrições consideradas “fortes”, podem ser consideradas outras restrições mais “fracas” cuja não-satisfação não acarreta necessariamente inviabilidade da solução.

Assim sendo, uma solução s pode ser avaliada com base em duas componentes, uma de inviabilidade ($g(s)$), a qual mede o não atendimento aos requisitos essenciais (restrições fortes), e outra de qualidade ($h(s)$), a qual mede o não atendimento aos requisitos não-essenciais (restrições fracas). A função de custo de uma solução s , a qual deve ser minimizada, pode ser calculada, portanto, pela seguinte expressão: $f(s) = g(s) + h(s)$.

A componente $g(s)$, que mensura o nível de inviabilidade de uma solução s , é avaliada com base na expressão:

$$g(s) = \sum_{k=1}^K \alpha_k I_k$$

Onde K é o número de medidas de inviabilidade, I_k é o valor da k -ésima medida de inviabilidade e α_k é o peso associado à essa k -ésima medida.

A componente $h(s)$, que mensura a qualidade de uma solução s , é avaliada com base na seguinte função:

$$h(s) = \sum_{l=1}^L \beta_l Q_l$$

Onde L representa o número de medidas de qualidade, Q_l o valor da l -ésima medida de qualidade e β_l o peso associado a essa l -ésima medida.

Deve ser observado que uma solução s é viável se e somente se $g(s) = 0$. Nas componentes da função $f(s)$ os pesos dados às diversas medidas refletem a importância relativa de cada uma delas e, sendo assim, deve-se tomar $\alpha_k \gg \beta_l \quad \forall k, l$, de forma a privilegiar a eliminação das soluções inviáveis.

Há muitas variantes que podem determinar se uma restrição é mais forte ou mais fraca, se implica (ou não) inviabilidade de uma solução.

A seguir uma listagem com as restrições consideradas na confecção de um horário escolar.

Colisão por Professor: Essa restrição avalia se um professor lecionará mais de uma aula simultaneamente.

Janelas: Essa restrição verifica se a grade horária formada possui alguma "janela", ou seja, se existem horários vagos em um determinado dia.

Aulas isoladas: Aulas presentes isoladamente na grade horária.

Blocos de Disciplinas: Esse critério avalia uma condição didática baseada na forma pelas quais as disciplinas estão dispostas. Didaticamente, convém que as disciplinas estejam dispostas em blocos de duas. Se a carga horária de uma disciplina são cinco aulas semanais, o ideal é que elas estejam dispostas em dois blocos de duas aulas e uma aula isolada. Entretanto esta restrição não é unanimidade entre as escolas.

Vários Blocos por Dia: Um problema pode ocorrer durante a formação dos blocos. Trata-se do fato de dois blocos de uma mesma disciplina ficarem alocados em um mesmo dia, constituindo assim

uma atitude didaticamente incorreta. É preciso evitar, por exemplo, quatro aulas de matemática em um determinado dia, pois os alunos e professores ficariam insatisfeitos com o horário gerado.

Média de aulas por dia: Esse critério avalia se o número de horários por dia está de acordo com a média de aulas. Essa média é calculada baseada na carga horária semanal de uma determinada turma. Se uma turma tem vinte e cinco aulas semanais, o ideal é que ela tenha cinco aulas por dia. A avaliação desse critério evita que uma turma tenha muitos horários em alguns dias e poucos horários em outros,

Preferências dos professores: Os professores geralmente trabalham em mais de uma escola e têm suas preferências de horário. Por isso, além de avaliar todos os critérios anteriores é preciso verificar se o professor está lecionando num horário de sua preferência. O ideal é que se tenha uma tabela de preferência para cada professor, indicando os horários que o professor prefere os horários que o professor pode lecionar, mas não quer e por fim os horários que o professor não pode.

2. Trabalhos Correlatos

Segundo Even et al. (1976), o problema de timetabling é NP-Hard e, em vista disso, várias técnicas heurísticas têm sido experimentadas para automação de timetabling.

Recentemente, técnicas baseadas em meta-heurísticas têm sido empregadas. São encontrados trabalhos com Reconhecimento Simulado em Abramson (1991), Busca Tabu em Costa (1994), Schaefer (1996) e Schaefer (1999) e Algoritmos Genéticos em Colomi et al. (1998).

Embora o Problema de Geração de Horários Escolares seja um problema clássico de otimização combinatória, é difícil encontrar na literatura trabalhos passíveis de comparação. As razões para isso devem se ao fato de cada instituição de ensino utilizar parâmetros e possuir características diferentes entre si.

Em trabalhos anteriores considerando a realidade no Brasil, cabe citar Souza et al. (2002), que utiliza um algoritmo híbrido que inclui: GRASP, Busca Tabu e Algoritmo Genético. A inclusão das meta-heurísticas GRASP e Busca Tabu, visam, respectivamente, gerar uma população inicial de forma heurística (não aleatória) e o refinamento da melhor solução encontrada em cada geração do algoritmo genético. Os resultados estão limitados a uma comparação entre um método de geração com o refinamento final pela Busca Tabu e aqueles gerados com o mesmo algoritmo, porém sem o refinamento final.

Já em Timóteo (2002) é utilizado um Algoritmo Genético com formas adicionais de mutação, seleção e de cruzamento. Não considerando os requisitos de formação de janelas e aulas isoladas, o trabalho alcançou resultados interessantes, inclusive apresentando uma comparação entre várias alternativas de configuração possíveis.

3. Proposta de Solução

Dentre as meta-heurísticas citadas, o Algoritmo Genético foi a escolha devido a facilidade de abordagem do problema considerando a eliminação de janelas e aulas isoladas. Segundo Souza et al. (2002), a geração de horários é considerada um problema de decisão multicritério, porque para determinar a qualidade de uma programação faz-se necessário considerar diferentes objetivos (custos). Com isso, a utilização do Algoritmo Genético traz uma vantagem considerável, uma vez que um conjunto de indivíduos candidatos à solução do problema pode representar em um mesmo instante diversas regiões do espaço de busca.

De acordo com Holland (1975), os Algoritmos Genéticos são baseados na teoria de evolução natural proposta por Darwin. Um AG executa sobre uma população fazendo com que esta evolua de acordo com uma função de avaliação. O funcionamento é iterativo, começando com a geração de uma população inicial, seguida do processo de avaliação, seleção, cruzamento (*crossover*), mutação, que ocorre a cada geração (iteração) e seleção dos sobreviventes até que seja atingido algum critério para o fim do processo.

3.1 Representação de Soluções

Ao se implementar um AG, a primeira necessidade é criar uma representação eficiente para as soluções. A representação pode significar o bom ou mau desempenho do algoritmo.

Para representar a solução no problema da geração de horários, foi escolhida uma forma intuitiva, onde cada gene representa um *slot* (ex: segunda-feira às 8:00 h). Um cromossomo seria representado por uma matriz tri-dimensional (Número de turmas X Número de Dias X Número de Horários). A representação proposta tem a vantagem de não permitir, devido a sua codificação, que duas disciplinas referentes a mesma turma sejam lecionadas no mesmo horário. Porém, não garante a não ocorrência de colisões de professores e outras restrições.

Cada indivíduo é formado por uma matriz de três dimensões conforme mostrado na figura:

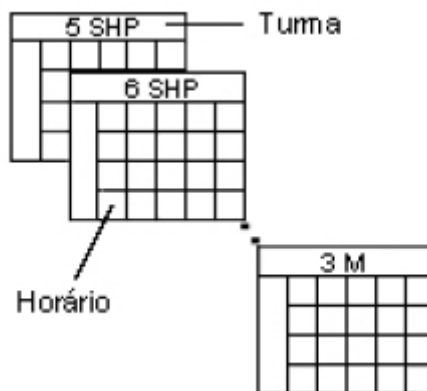


Figura 1 - Representação da Solução

3.2 População Inicial

Inicia-se o AG com a geração da população inicial. Neste trabalho, optou-se pela geração de uma população inicial aleatória. Para cada turma, existe uma lista com as disciplinas que devem ser ministradas. As disciplinas dessa lista são sorteadas e atribuídas em cada *slot* de cada indivíduo. Para tamanho da população, inicialmente, optou-se por uma população de 100 indivíduos.

3.3 Avaliação da População

Segundo Mitchell (1996), na avaliação da população cada indivíduo da população sofre um processo de avaliação, com o objetivo de retornar seu *fitness* (grau de adaptação), ou seja, determinando o quão apto ele está para a reprodução em relação à população a que pertence.

Para a avaliação de indivíduos adotou-se nesse trabalho a abordagem baseada em penalidades. Para cada tipo de penalidade atribui-se um peso que influenciará negativamente na seleção do indivíduo para a reprodução.

As seguintes restrições de inviabilidade e de qualidade são avaliadas pelo Algoritmo Genético:

- Choque de professores;
- Horário inviável;
- Janelas no horário dos professores;
- Aulas isoladas;
- Horário indesejável;
- Aulas em seqüência;
- Média de aulas;

3.4 Seleção dos Indivíduos Reprodutores

De acordo com Goldberg (1989) na etapa de Seleção, os indivíduos são selecionados para o cruzamento. Neste ponto, com base no grau de adaptação de cada um, efetua-se um processo onde os mais aptos possuirão uma maior probabilidade de se reproduzirem. Este é o passo principal de um AG, pois uma má escolha dos indivíduos reprodutores pode levar a resultados indesejáveis.

Para o processo de seleção foi utilizado um método torneio. Na implementação do torneio, forma-se aleatoriamente grupos que realizam uma disputa entre si, sendo que o indivíduo mais apto é o vencedor do torneio e está selecionado para a fase de reprodução. No final deste processo, metade dos indivíduos está selecionada para esta fase.

3.5 Cruzamento

Segundo Goldberg (1989), cruzamento, ou *crossover*, é a operação que realiza a troca do material genético entre os cromossomos, ou seja, aquela que irá combinar os genes dos indivíduos selecionados na etapa anterior para gerar novos indivíduos.

O cruzamento entre os horários selecionados no processo de seleção se dá a partir do sorteio de um ponto aleatório dentro da grade de horários. A partir deste *slot* sorteado, o material genético (disciplinas) dos indivíduos são trocados. Porém é preciso ressaltar que para o problema de geração de horários uma regra deve ser respeitada: o número de aulas que cada disciplina possui na turma deve se manter constante. Por exemplo, se uma turma possui 5 aulas de Português, após o cruzamento, este número deve ser mantido. Para tanto foi proposta uma solução que somente troca as disciplinas quando há correspondência entre o primeiro e o segundo indivíduo. Para casos que não há correspondência, as disciplinas são mantidas em suas posições originais. Dessa forma, cada par de indivíduos geram dois novos descendentes.

Os indivíduos são selecionados dois a dois, tendo 60% de probabilidade de efetivamente realizarem o cruzamento. O número de pares selecionados é o número total de indivíduos da população. Consequentemente, parte dos indivíduos, são mantidos, embora possam ser modificados na etapa seguinte de mutação.

3.6 Mutação

Depois que um cruzamento é realizado, acontece a mutação. A mutação tem a intenção de prevenir que todas as soluções do problema dessa população caiam em um ponto ótimo local. A operação de mutação muda aleatoriamente a descendência criada pelo cruzamento.

A mutação é realizada de forma totalmente aleatória e simples. Duas disciplinas dentro de uma mesma turma são sorteadas aleatoriamente e seus horários são trocados. Como o número de possibilidades de inversões de disciplinas (300 para 12 turmas, por exemplo) é muito elevado, este trabalho optou por realizar duas mutações em cada geração.

3.7 Seleção dos Sobreviventes

Antes da realização do cruzamento e da mutação, o algoritmo implementado utiliza-se do operador genético de Elitismo para garantir que os dois melhores indivíduos sobrevivam na população seguinte.

Optou-se que os indivíduos descendentes (filhos) sempre substituirão os indivíduos ancestrais (pais). A seleção dos indivíduos para as gerações futuras é realizada através de torneio.

3.8 Condições de Parada

São as condições que determinam o fim do processo iterativo. Existem algumas maneiras de finalizar o processamento de um AG. Ribeiro Filho (2000) cita:

- Tempo;
- Número de Gerações;
- Convergência (95 % dos genes iguais entre os indivíduos).

Dentre as três condições de parada apresentadas, este trabalho faz uso do número de gerações para encerrar a execução do algoritmo. Inicialmente, foi escolhido o limite de 10.000 gerações.

4. Resultados

O algoritmo foi implementado em JAVA^(tm) e testado em duas máquinas diferentes: Pentium III 1000 Mhz com 512 Mb de RAM e Pentium 4 1.8 Ghz com 256 Mb de RAM, ambos sob o sistema operacional Windows 2000.

Para testar o algoritmo foram utilizadas cinco instâncias reais para o ano de 2005 de duas escolas diferentes: Escola Estadual Padre Rogério Abdala (Monsenhor Paulo / MG) e Escola Municipal Álvaro Botelho (Lavras / MG). Algumas características das instâncias propostas são apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 1 - Características das Turmas utilizadas na Geração do Horário

Instância	Escola	Turno	Número de Turmas	Número de Disciplinas	Número de Professores
1	EEPRA	Matutino	8	13	17
2	EEPRA	Vespertino	8	13	20
3	EEPRA	Noturno	8	14	18
4	EMAB	Matutino	12	9	22
5	EMAB	Noturno	11	5	14

Inicialmente foram utilizadas as instâncias 1 e 2 visando a calibragem dos seguintes parâmetros: tamanho da população, número de iterações, taxa de mutação, taxa de cruzamento e o valor das penalidades usadas no cálculo do *fitness*.

A tabela 2 mostra os valores escolhidos:

Tabela 2 - Valores dos parâmetros e penalidades do Algoritmo Genético

Parâmetros	Valor
Tamanho da População	140
Número de Gerações	15000
Taxa de Mutação	2 mutações a cada geração
Taxa de Cruzamento	60%
Peso da Penalidade Choque de Professores	12,50
Peso da Penalidade Horário Inviável	12,75
Peso da Penalidade Horário Indesejável	1,25
Peso da Penalidade Bloco de Horário	2
Peso da Penalidade Monopólio de Aula	2
Peso da Penalidade Janela	2,5
Peso da Penalidade Aula Isolada	2,5
Peso da Penalidade Máximo de Disciplinas por Dia	0,25

Para cada instância foram realizadas 10 execuções do algoritmo. A instância 2 possuía um menor número de restrições nos horários dos professores. Outra característica foi o fato de todas as aulas da disciplina de Educação Física serem realizadas somente nas duas últimas aulas de sexta-feira. A razão disso se refere ao fato destas aulas serem realizadas em outros dias da semana e em outro espaço físico fora da Escola.

A instância 1 apresentou-se de difícil solução devido ao elevado número de aulas que cada professor possuía. Em alguns casos, havia professores que lecionavam 23 aulas, num total de 25 horários disponíveis.

A instância 3 apresentou uma particularidade: 2 de suas turmas não possuíam nem a primeira e nem a última aula, por se tratar de 2 turmas de ensino supletivo. Entretanto, foi a instância que mais rápida estagnou em uma solução de boa qualidade, atingindo, inclusive os valores de *fitness* mais elevados para as instâncias da EEPRA.

Com o maior número de turmas entre as instâncias testadas, a número 4 foi a que gastou o maior tempo de execução. Atingiu resultados satisfatórios, porém o algoritmo não conseguiu eliminar em sua totalidade os horários indesejáveis. Isto se deve em parte ao excesso de restrições nos horários dos professores.

Já a instância 5, que possuía um reduzido número de disciplinas, apresentou elevados valores de *fitness* e mostrou-se de resolução mais simplificada.

O fato de terem sido escolhidos duas escolas foi muito vantajoso, pois possibilitou o teste de duas visões diferentes de cada escola na geração de seus horários. Enquanto a escola de Monsenhor Paulo não desejava a geminação de aulas (formação de blocos de disciplinas), a escola de Lavras indicou esse agrupamento como necessário.

Nenhum dos horários gerados para a EEPRA violou as restrições fortes: horários inviáveis e choques nos horários. A eliminação de janelas e aulas isoladas foi satisfatória, especialmente no resultado 7 (Instância 3), onde o horário gerado possuía apenas uma janela e 3 aulas isoladas no horário dos professores. Quanto às outras restrições fracas, o algoritmo apresentou bons resultados. Já em relação as instâncias da EMAB, o algoritmo atingiu bons resultados, apesar do excessivo número de restrições. A grande formação de blocos de disciplinas foi um fator positivo nos horários gerados.

A tabela 3 apresenta um resumo dos melhores resultados obtidos.

Tabela 3 - Resultados alcançados pelo Algoritmo Genético

Resultado	Instância	<i>Fitness</i>	Tempo	Choques	Inviáveis	Indesejáveis	Blocos	Janelas	Aulas Isoladas
1	1	0.638	21'17"	0	0	0	3	10	3
2	1	0.642	20'50"	0	0	0	1	9	4
3	1	0.651	21'02"	0	0	0	2	8	4
4	2	0.546	21'38"	0	0	0	9	4	1
5	2	0.532	21'49"	0	0	0	8	6	2
6	2	0.528	21'26'	0	0	0	9	7	3
7	3	0.913	15"12'	0	0	0	1	1	3
8	3	0.819	15"02'	0	0	0	3	1	7
9	3	0.836	15"19'	0	0	0	1	6	7
10	4	0.598	28"54'	0	0	5	38*	6	9
11	4	0.598	26"31'	0	0	5	45*	6	8
12	4	0.625	26"23'	0	0	5	32*	5	7
13	5	0.781	24"03'	0	0	0	24*	4	2
14	5	0.781	24"47'	0	0	0	24*	4	2
15	5	0.699	23"59'	0	0	0	29*	4	3

Os resultados em negrito são os horários atualmente oficiais da Escola Estadual Padre Rogério Abdala em Monsenhor Paulo / MG.

Para os horários marcados com asterisco (*), era desejável que ocorresse a formação de blocos de disciplinas. Para que o algoritmo passe a desconsiderar esta restrição foi necessário apenas zerar o valor da penalidade referente à formação de blocos.

5. Conclusão

Foi apresentada uma solução para um problema de geração de horários, considerando a eliminação de janelas e horários isolados. Para possibilitar uma solução de qualidade em tempo aceitável, foi proposto um algoritmo genético.

A partir de uma solução inicial aleatória e inviável é gerada uma solução de boa qualidade de acordo com as restrições impostas.

Conforme visto na tabela 3 é possível atestar a capacidade do algoritmo na eliminação de choques e inviabilidades nos horários dos professores, condições estas básicas para um horário viável. Outros requisitos para um bom horário também foram bem tratados pelo algoritmo implementado. Notou-se uma boa eliminação de janelas e aulas isoladas nos horários.

Não foi possível comparar o horário gerado pela proposta apresentada com um horário gerado manualmente em virtude da impossibilidade de utilizar as mesmas restrições que as escolas usaram no ano letivo anterior. Entretanto, verificou-se também a satisfação da diretoria da EEPRA e dos professores com os resultados alcançados com o algoritmo. Em comparação com horários gerados manualmente em anos anteriores, houve uma considerável redução no tempo gasto para gerar o

mesmo. Enquanto que manualmente eram necessárias duas pessoas trabalhando durante 5 dias, com a utilização do algoritmo, foi necessário apenas o processamento de sugestões de horários e uma pessoa responsável pela escolha do melhor horário para escola. Além disso, houve redução também no período de adaptação do horário gerado (nos horários gerados manualmente ocorreriam adaptações/correções por até 2 meses) e considerável diminuição também no número de pedidos e reclamações envolvendo o horário gerado, caindo de em média 20 solicitações para apenas 4 pedidos, sendo que apenas 2 ajustes manuais foram realizados.

Conclui-se, portanto, que o trabalho apresentado é uma importante colaboração para geração de horários escolares para instituições de ensino fundamental e médio. Adicionalmente, a importante capacidade de eliminação de janelas e aulas isoladas que o algoritmo proposto possui, foi fundamental para aceitação dos resultados.

Referências Bibliográficas

- ABRAMSON, D. Constructing schools timetables using simulated annealing: sequential and parallel algorithms. *Management Science*, n. 37, v. 1, p. 98-113, 1991.
- COLORNI A.; DORIGO, M.; MANIEZZO, V. Meta-heuristics for high school timetabling. *Computational Optimization and Applications*, v. 9, p. 275-298, 1998.
- COSTA, D. A tabu search algorithm for computing an operational timetable. *European Journal of Operational Research*, v. 76, p. 98-110, 1994.
- EVEN, S. On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems. *SIAM Journal of Computation*, v. 5, 1976.
- RIBEIRO FILHO, Geraldo. *Melhoramentos do Algoritmo Genético Construtivo e Novas Aplicações em Problemas de Agrupamento*. PhD thesis, INPE, São José dos Campos-SP, Sep 2000.
- GOLDBERG, David E. *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*. The University of Alabama, 1989.
- HOLLAND, J. H. *Adaptation in Natural and Artificial System*. University of Michigan Press, 1975.
- MITCHELL, Melanie. *An Introduction to Genetic Algorithms*. Massachusetts Institute of Technology, 1996.
- RUSSEL, S. S. Russell, P. Norvig, “Artificial Intelligence. A modern approach”, 2ª edição, 2003.
- SCHAERF, A. Tabu search techniques for large high school timetabling problems. In: National Conference on Artificial Intelligence, 13, Portland, 1996. Proceedings. Portland: MIT Press, 1996. v. 1, p. 363-368.
- SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. *Artificial Intelligence Review*, (13), 1999.
- SOUZA, M. J. F. *Programação de horários em escolas: uma aproximação por meta-heurísticas*, Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, UFRJ, Rio de Janeiro, 2000.
- SOUZA, M. J. F. et al. *Um Algoritmo Evolutivo Híbrido para o Problema de Programação de Horários em Escolas*. UFOP, 2002.
- TIMÓTEO, Guilherme Tadeu Silva. *Desenvolvimento de um Algoritmo Genético para a Resolução do Timetabling*. UFLA, 2002.