

DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO HÍBRIDO BASEADO EM ALGORITMO GENÉTICO E BUSCA TABU PARA RESOLUÇÃO DO PROBLEMA DE QUADRO DE HORÁRIOS ESCOLAR

Marcus V. da S. Cassemiro

Depto de Computação, CEFET-MG
30510-000, Belo Horizonte, MG
E-mail: marcuscassemiro@gmail.com

Dângelo S. Miranda,

Elizabeth F. Wanner,

Depto de Computação, CEFET-MG
30510-000, Belo Horizonte, MG
E-mail: dgsmiranda@gmail.com, efwanner@decom.cefetmg.br

RESUMO

O problema de geração de quadro de horários escolar trata da construção de uma grade de horários em instituições de ensino. Esse problema é da família NP-difícil e a solução manual é trabalhosa e pode gerar soluções ruins para o problema. Diante disso, o trabalho teve por objetivo propor uma solução através de um método híbrido baseado em Algoritmos Genéticos e Busca Tabu. Essa solução trabalha de maneira a utilizar a Busca Tabu para gerar um indivíduo bom o suficiente para ser incluído na população inicial do Algoritmo Genético. Dessa forma ganha-se em tempo de convergência e taxa de soluções factíveis encontradas se comparados com o Algoritmo Genético inicializado de maneira completamente aleatória. Os resultados encontrados foram promissores e obtiveram função objetivo menores do que as dos horários criados manualmente. Esse resultado permite manter a hipótese de que essa solução pode efetivamente contribuir na geração de quadro de horários escolar.

PALAVRAS CHAVE. Quadro de Horários Escolar. Algoritmos Genéticos. Algoritmo Híbrido. Busca Tabu. Teste de Hipótese.

ABSTRACT

The School Timetabling Problem is the construction of a schedule grid for educational institutions. This problem is NP-hard and the manual solution is laborious and can generate bad solutions to the problem. Thus, the work aimed to propose a solution to this problem by a hybrid method based on Genetic Algorithms and Tabu Search to solve school timetable. The proposed solution works in order to use Tabu Search to generate a good enough individual to be included in the initial population of the Genetic Algorithm. That way, the Genetic Algorithm gains convergence time and rate of feasible solutions found compared with the initialized randomly. The hybrid strategy obtained objective function smaller than the schedule manually created. This result allows maintaining the hypothesis that a hybrid algorithm based on these two heuristics can effectively contribute to the generation of school timetables.

KEYWORDS. School Timetables. Genetic Algorithms. Hybrid Algorithm. Tabu Search. Hypothesis Test.

1 - INTRODUÇÃO

A alocação de recursos é um problema presente em diversas esferas da sociedade. Como exemplo, temos grandes empresas que necessitam gerir escalas de centenas de funcionários em sua produção, as tabelas de campeonatos esportivos e também as instituições de ensino. As escolas e universidades necessitam alocar professores, disciplinas e salas de aula em um quadro de horário bem definido e sem alocar o mesmo recurso ao mesmo tempo.

O problema de quadro de horários escolar é considerado NP-Difícil (Even et al, 1975) e em razão disso é considerado inviável de ser resolvido por métodos computacionais determinísticos devido ao alto tempo de execução, pois à medida que se aumenta o número de variáveis, o tempo de processamento aumenta exponencialmente. Devido a sua complexidade e ao fato de muitas instituições ainda criarem suas grades de horários manualmente, o problema de geração de quadro de horários escolar é alvo de estudo desse trabalho.

Entende-se como problema de quadro de horários escolar estipular encontros entre professores e estudantes obedecendo determinadas restrições que variam em cada instituição. A resolução desse problema já foi abordada por outros autores através de diferentes métodos, entre elas um trabalho com utilização dos Algoritmos Genéticos (Colorni et al, 1993) e outro com a Busca Tabu (Costa, 1994). Para a solução desse problema, um modelo híbrido baseado nessas duas heurísticas computacionais, Algoritmos Genéticos (Holland, 1975) e Busca Tabu (Glover, 1989), foi criado. Não há garantia de que essas heurísticas sejam capazes de encontrar a solução ótima, mas, apesar disso, podem encontrar uma que seja boa o suficiente dentre as várias possíveis em um tempo viável.

O Algoritmo Genético começa com uma população inicial de soluções e, com a evolução do processo, uma população evolui convergindo para a solução (Coley, 1999). Já a Busca Tabu é um método iterativo que parte de uma solução inicial e, a cada iteração, explora um conjunto de vizinhos da solução buscando uma que seja melhor avaliada (Glover, 1989).

Não é preocupação desse trabalho a comparação com os métodos de resolução individuais citados ou que o método proposto tenha tempo de execução menor do que outros já criados. Esse trabalho tem como objetivo mostrar uma nova forma de resolução para o problema e comparações com outros métodos e medidas de tempo serão tratados futuramente.

2 – ALGORITMOS GENÉTICOS

Os Algoritmos Genéticos foram desenvolvidos por Holland (Holland, 1975) e são baseados na teoria da evolução natural de Darwin de 1859. Inicializa-se uma população que, com o uso de operadores de seleção, reprodução e mutação, evolui através de gerações. Durante a execução do algoritmo, uma avaliação da qualidade (adaptação) dos indivíduos é feita. Essa informação é utilizada para guiar o processo evolutivo, colaborando para a seleção de indivíduos bem adaptados que irão gerar indivíduos também bem adaptados.

No Algoritmo Genético, um indivíduo é representado por um conjunto de genes, que é a representação de uma parte do indivíduo dentro do problema. Uma função chamada de aptidão (do inglês, *fitness*) relaciona as estruturas dos indivíduos a valores numéricos que medem a qualidade das soluções. A formulação dessa função reflete a finalidade de otimização do problema e a qualidade das coleções é considerada como a adaptação dos indivíduos. O Algoritmo Genético transforma a população em uma nova a partir de três operações genéticas baseadas nos princípios fundamentais da evolução natural: seleção, cruzamento e mutação. Finalmente, as condições de parada do algoritmo podem ser o número de iterações, o tempo de execução ou o encontro de uma solução factível para o problema.

O processo de seleção escolhe a partir de uma população, em que a cada indivíduo foi atribuído um valor de aptidão, um subconjunto de indivíduos da população atual, gerando uma população intermediária sobre a qual serão aplicados os operadores genéticos. Um dos métodos utilizados para seleção é o chamado de Roleta, em que cada indivíduo tem sua representação na roleta de acordo com sua avaliação de aptidão sendo que os mais aptos têm maior porção na

roleta se comparados com os outros indivíduos e tem mais chance de serem escolhidos para gerar os descendentes da próxima geração.

Utilizado após a seleção dos indivíduos, a fase de cruzamento é marcada pela troca de partes entre pares de indivíduos escolhidos para dar origem a novos indivíduos, que formarão a população da próxima geração. Esta combinação é feita tentando imitar a reprodução de genes em células: pedaços das características de um indivíduo são substituídos pelo pedaço equivalente do outro, tendo como resultado um indivíduo que, potencialmente, contém as melhores características dos indivíduos usados como base. O processo de cruzamento permite, portanto, combinar informações de indivíduos de uma geração e transmiti-las aos seus descendentes.

A mutação trabalha modificando arbitrariamente componentes de uma estrutura escolhida a partir da descendência logo após o cruzamento, proporcionando, assim a introdução e manutenção da diversidade genética na população. Quando aplicada sobre um indivíduo, esta operação simplesmente modifica aleatoriamente alguma característica de um ou mais genes, o que é importante, pois cria novos valores de características que não existiam, ou apareciam em pequena quantidade na população em análise. O processo de mutação é, portanto, capaz de introduzir inovação à população.

3 – BUSCA TABU

O método Busca Tabu é um procedimento iterativo para solução de problemas de otimização combinatória (Glover, 1997). O método parte de uma solução inicial S e, a cada iteração, explora um conjunto de vizinhos da solução. O vizinho da solução corrente com melhor avaliação se torna a nova solução, mesmo que tenha uma menor avaliação. A solução S' com o melhor valor segundo a função de avaliação (função objetivo) passa a ser a nova solução corrente mesmo que naquele instante ela seja pior que a anterior. No fim do algoritmo a melhor solução é escolhida. Esse fato faz com que a Busca Tabu não se estabilize em um ótimo local. No entanto, na iteração seguinte o algoritmo poderia escolher a solução anterior e ficar preso em um ótimo local.

Para resolver esse problema existe um mecanismo de memória de curto prazo chamado de Lista Tabu. A Lista Tabu clássica mantém armazenados os movimentos reversos aos últimos M movimentos realizados até então no decorrer do algoritmo e funciona como uma fila de tamanho fixo e disciplina FIFO (*first in - first out*), no qual o primeiro elemento que entra também é o primeiro que sai da fila. Desse modo, os vizinhos que estão na Lista Tabu, mesmo que estes sejam boas soluções da vizinhança atual, não podem ser atingidos durante um número i de iterações do algoritmo. A Lista Tabu evita que sejam percorridas, durante um número finito de iterações, soluções que já foram visitadas anteriormente. Porém ela também pode evitar que o algoritmo visite soluções que ainda não foram visitadas (Werra e Hertz, 1989).

Como a Lista Tabu pode fazer com que o algoritmo deixe de visitar uma solução que é boa, existe um mecanismo no algoritmo que impede, em um dado instante, que o estado Tabu de um certo movimento seja seguido. Esse mecanismo é chamado de Aspiração e é uma função que permite que o movimento seja realizado caso a solução criada pelo movimento tenha melhor avaliação do que a melhor solução global até então.

O critério de parada do algoritmo pode ser um número fixo de iterações, um número fixo de iterações sem melhoria significativa da solução ou o alcance de uma solução suficientemente boa.

4 – SOLUÇÃO PROPOSTA PARA O PROBLEMA

O trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de um modelo híbrido baseado em Algoritmo Genético e Busca Tabu para resolver o problema de quadro de horários escolar. O modelo tratado foi construído visando resolver esse problema como um problema de minimização, em que as diversas restrições são representadas na função objetivo através de penalidades, na tentativa de achar uma solução com menor valor dentro dessa função objetivo. A

função objetivo da Equação (1) busca encontrar aquele indivíduo que tem menor penalidade para ser a solução do problema.

$$\text{Minimizar } \sum \alpha V + \sum \beta W + \sum \gamma X + \sum \delta Y + \sum \lambda Z \quad (1)$$

Sendo que:

- V representa a quantidade das colisões¹ que existem dos professores;
- W representa a quantidade de vezes que as disciplinas ultrapassam a quantidade máxima de aula que pode haver em um mesmo dia;
- X representa a quantidade de vezes que ocorrem espaços² entre as aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia;
- Y representa a quantidade total de dias que os professores necessitam ir até a escola para lecionar;
- Z representa a quantidade de vezes em que professores são alocados em horários os quais eles não têm disponibilidade para lecionar.

Os valores dos pesos da função objetivo ficaram da seguinte forma: α com valor 300, β com valor 200, γ com valor 4, δ com valor 4 e λ com valor 300.

A representação de cada indivíduo no problema foi estabelecida através de uma matriz tridimensional na qual cada dimensão representa uma certa variável do problema. A primeira dimensão está relacionada ao número de dias que compõem o quadro de horários, a segunda representa a quantidade de turmas que compõem a grade e a terceira, a quantidade de blocos (número de disciplinas) que podem existir em um dia de aula. Uma ilustração dessa matriz encontra-se na Figura 1.

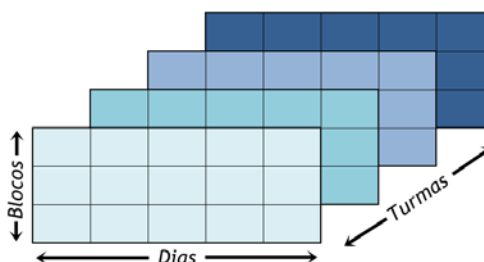


Figura 1: Exemplificação do Indivíduo no Problema

Dentro do Algoritmo Genético, o método de seleção utilizado foi o da Roleta para que fosse dada a chance de qualquer indivíduo de uma geração dar origem a novos indivíduos na geração posterior. Além disso, foi aplicado o elitismo em que o melhor indivíduo da população atual sempre é escolhido para fazer parte da população na próxima geração. O cruzamento foi realizado através de um ponto de corte em que os dois novos indivíduos gerados contêm partes dos dois indivíduos que lhe deram origem. Esse ponto de corte separa as turmas em dois grupos, esses grupos de turmas são trocados pelos grupos equivalentes de outro indivíduo e, no fim, são gerados dois novos indivíduos. O processo de mutação faz a troca de dois elementos da matriz tridimensional que o representa. Um elemento A dentro de uma das turmas do indivíduo é trocado com um elemento B que também pertence a essa mesma turma.

A Busca Tabu foi adaptada para, nesse problema, utilizar uma estrutura de vizinhança de tamanho fixo, pois gerar todos os possíveis vizinhos de uma solução para esse caso tornaria o

¹ Entende-se como colisão quando um mesmo professor é alocado para lecionar para duas turmas diferentes ao mesmo tempo.

² Espaços entre aulas ocorrem quando, em um mesmo dia e para a mesma turma, entre as aulas de uma matéria existe(m) aula(s) de uma outra matéria.

algoritmo inviável. A Lista Tabu armazena a cada iteração o movimento do indivíduo selecionado para a próxima iteração. Caso o indivíduo selecionado já tenha o movimento armazenado na Lista, então o algoritmo parte para o próximo indivíduo dessa vizinhança em ordem crescente de função objetivo até encontrar algum que não tenha o movimento na Lista Tabu. O critério de aspiração foi implementado na Busca Tabu e permite que um movimento seja realizado mesmo que esteja na Lista Tabu no caso em que o valor da função objetivo é melhorado. O movimento do algoritmo de Busca Tabu, por sua vez, é realizado da mesma forma que ocorre na mutação do Algoritmo Genético.

5 – ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Foram definidos dois problemas para execução dos experimentos baseados em duas escolas públicas brasileiras: a Escola Estadual Deputado Gregório Bezerra (EEDGB) e a Escola Municipal Professora Ondina Nobre (EMPON).

A EEDGB é composta por 10 turmas e 17 professores, com aulas de segunda à sexta-feira e cada dia com seis disciplinas possíveis. Além disso, foi estabelecido que uma disciplina não pode ser lecionada mais do que duas vezes em um mesmo dia, uma determinada professora chamada Susi não pode lecionar às quartas-feiras e um outro professor chamado Rodrigo não pode lecionar às terças-feiras. Já a EMPON é composta por 11 turmas e 15 professores, com aulas de segunda à sexta-feira e cada dia tem quatro disciplinas possíveis. Existe uma restrição em que uma disciplina não pode ser lecionada mais do que uma vez em um mesmo dia. Em ambas as escolas também deseja-se diminuir a quantidade de dias que os professores necessitam lecionar na escola e a quantidade de espaços entre aulas de uma mesma disciplina em um mesmo dia. Quanto menores esses números, mais bem avaliado é o quadro de horários.

O primeiro passo do trabalho foi a inserção, na primeira população do Algoritmo Genético, dos horários atuais utilizados pelas escolas. O horário da EEDGB já é factível dentro do problema, já o da EMPON não é factível, porém já tem um valor de função objetivo relativamente baixo. Os experimentos, assim como os outros experimentos deste trabalho, foram executados 30 vezes. Ao inserir os horários atuais e executar o Algoritmo Genético com população de tamanho 100 e durante 1000 gerações percebe-se que a curva de convergência média da avaliação na função objetivo do melhor indivíduo da população em cada geração decresce para valores cada vez menores da função objetivo. Esse fato corrobora a hipótese de que os horários das escolas ainda podem ser melhorados e de que o Algoritmo Genético, para esses dois casos, tem uma função muito mais próxima de refinar uma solução atual do que construir uma solução para o problema.

O segundo passo foi inicializar a população do Algoritmo Genético de maneira totalmente aleatória. O tamanho da população e a quantidade de gerações permaneceu a mesma do experimento anterior. Como a população é inicializada aleatoriamente no algoritmo, as execuções têm como objetivo construir uma solução factível para o problema e, depois, refiná-la de maneira a diminuir o valor avaliado na função objetivo. A curva de convergência média para esse caso mostra a diminuição do valor médio com o decorrer das gerações e, com isso, a convergência do algoritmo para uma solução cada vez menor, porém os valores de função objetivo encontrados no final das gerações ainda foram maiores do que o caso inicializado com a solução atual da escola. Para que os valores de função objetivo sejam próximos do caso anterior, necessita-se de uma quantidade mais elevada de gerações do algoritmo para que o mesmo encontre soluções factíveis dentro do problema, caso contrário a taxa de soluções factíveis encontradas nas 30 execuções pode não ser de 100%.

Com o intuito de comparar estatisticamente as amostras originadas através do problema completamente aleatório e o problema com uma solução inicial boa, foi realizado um teste de hipóteses. Esse teste permite comparar, com um certo nível de confiança, se o problema inicializado com uma solução inicial boa é realmente diferente do problema completamente aleatório. Além disso, mostrando que os problemas são diferentes também pode-se comprovar, de

acordo com os resultados obtidos nas médias de convergências que o problema inicializado com uma solução já factível é melhor que o inicializado aleatoriamente.

A hipótese nula foi então estabelecida como a diferença entre as médias ser igual a zero contra a hipótese alternativa que estabelece que a diferença não é zero. Estabelecendo um nível de confiança de 95%, esse nível de significância permite dizer, através da tabela de distribuição normal padronizada que se o resultado encontrado no final do teste de hipótese ficar entre os valores -1,96 e 1,96 então as duas abordagens comparadas são semelhantes. Do contrário, mostra-se que elas são diferentes.

A estatística de testes nesse caso em que as amostras $n_1 = n_2 = 30$ é dada pela Equação (2):

$$z_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (2)$$

em que:

- $\bar{x}_1$ e $\bar{x}_2$ representam as médias de cada uma das amostras;
- s_1 e s_2 representam os desvios padrões de cada uma das amostras;
- n_1 e n_2 representam o tamanho de cada amostra.

Para a EEDGB o valor de z_0 foi igual a 4,24 e para EMPON foi 5,88. Assim pode-se afirmar que existem diferenças significativas entre os dois casos avaliados. O problema inicializado com a solução atual apresenta convergência mais acelerada e melhores valores finais do que o caso totalmente aleatório. Diante disso, conclui-se que uma solução inicial com valor de função objetivo razoável melhora a execução e os resultados do Algoritmo Genético.

Diante desse fato, surge a necessidade de um método que crie um indivíduo bom o suficiente para fazer com que o Algoritmo Genético tenha convergência mais rápida para soluções factíveis e que diminua a quantidade de gerações necessárias para isso. O método escolhido foi a Busca Tabu que tem a função de encontrar um indivíduo mais bem avaliado do que um indivíduo criado completamente aleatório.

Inicializando o Algoritmo Genético com um indivíduo criado pela Busca Tabu, observa-se que a curva de convergência média desse caso fica mais próxima do problema inicializado com as soluções atuais das escolas, conforme pode ser visto nos Gráficos 1 e 2, em que detalha-se as últimas 500 gerações do Algoritmo Genético para melhor visualização. Isso é um bom indício de que o método híbrido criado tem bons resultados para o problema de quadro de horários escolar.

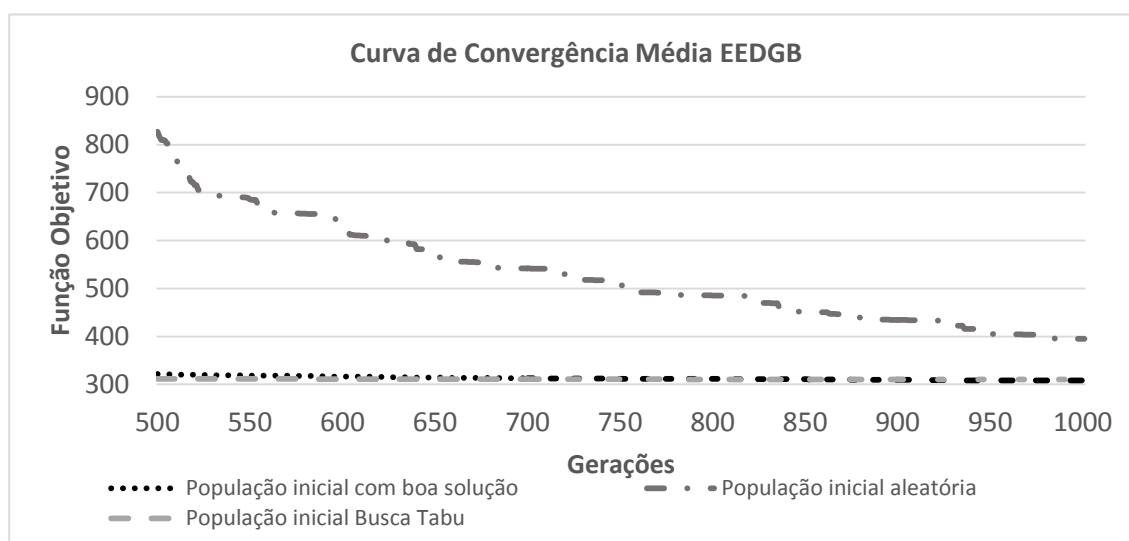


Gráfico 1: Curva de Convergência Média EEDGB

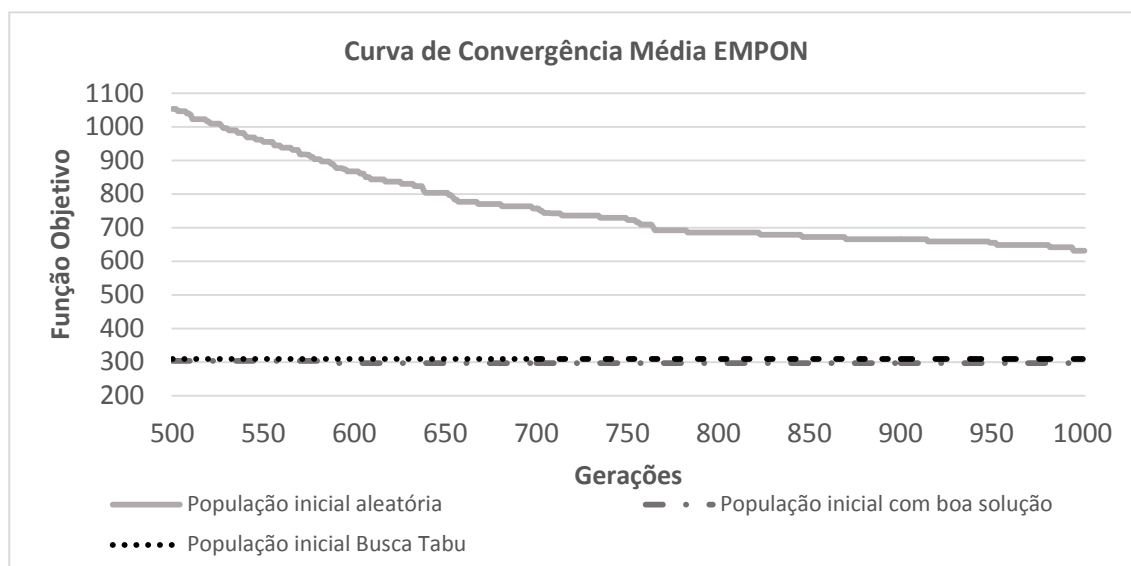


Gráfico 2: Curva de Convergência Média EMPON

Com o intuito de verificar o quão bom é o método híbrido da Busca Tabu e Algoritmo Genético, foram criadas as Tabelas 1 e 2 para verificar as taxas de soluções factíveis encontradas nas execuções de experimentos com diferentes quantidades de gerações. Cada experimento foi executado 30 vezes como os anteriores.

Taxa de Geração de Soluções Factíveis ao Final da Execução EEDGB					
500 Gerações			1000 Gerações		
Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa	Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa
3%	100%	100%	80%	100%	100%
1500 Gerações			2000 Gerações		
Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa	Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa
93%	100%	100%	97%	100%	100%

Tabela 1: Taxa de Geração de Soluções Factíveis para EEDGB

Taxa de Geração de Soluções Factíveis ao Final da Execução EMPON					
1000 Gerações			2000 Gerações		
Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa	Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa
27%	90%	100%	33%	93%	100%
3000 Gerações					
Problema Inicializado Aleatoriamente	Problema Inicializado com Busca Tabu	Problema Inicializado com Solução Boa			

43%	100%	100%
-----	------	------

Tabela 2: Taxa de Geração de Soluções Factíveis para EMPON

Os resultados obtidos nas Tabelas 1 e 2 mostram que o problema inicializado com a Busca Tabu tem taxas de soluções factíveis mais próximas do problema inicializado com os quadros de horários atuais das escolas, o que mostra que a inserção da Busca Tabu para inicializar um indivíduo da população do Algoritmo Genético é uma boa saída para resolver esse problema de factibilidade. A Busca Tabu fica com a função de encontrar um indivíduo com bom valor de função objetivo e o Algoritmo Genético fica com a função de melhorar o valor da função objetivo procurando menores valores. Essa estratégia se mostra adequada ao problema pois inicializar o Algoritmo Genético com uma solução atual nem sempre é possível e inicializá-lo com dados completamente aleatórios tem grande gasto computacional e elevado número de gerações para alcançar soluções viáveis para o problema.

6 – CONCLUSÕES

Esse trabalho teve como objetivo desenvolver uma estratégia para a solução do problema de quadro de horários escolar. A estratégia construída baseia-se nos algoritmos de Busca Tabu e Algoritmo Genético.

Nesse trabalho foram apresentados dois problemas de quadro de horários escolar, um da Escola Estadual Deputado Gregório Bezerra e outro da Escola Municipal Professora Ondina Nobre. Ambos os problemas das escolas foram abordados de três maneiras diferentes, a primeira utilizava o horário atual da escola para inserir na população inicial do Algoritmo Genético. A segunda maneira inicializava o Algoritmo Genético aleatoriamente e, a terceira, utilizava a Busca Tabu para criar um indivíduo bem avaliado para ser inserido na população inicial do Algoritmo Genético.

Os resultados mostram que as três abordagens do problema para a EEDGB convergem para uma solução com menor valor de função objetivo. Além disso, os resultados mostram que o problema da EMPON também converge para menores valores da função objetivo. Foram realizados testes de hipóteses comparando os casos inicializado com a solução atual e inicializado aleatoriamente. Observou-se, com uma confiança de 95%, que as duas abordagens são diferentes.

Apesar da taxa de soluções factíveis do problema inicializado de maneira completamente aleatória não ser tão alta quanto o inicializado através da Busca Tabu ou dos horários atuais das escolas, o Algoritmo Genético ainda consegue encontrar soluções factíveis para o problema. Isso mostra que o método composto apenas do Algoritmo Genético também é capaz de resolver o problema, porém necessita de maior número de gerações e apresenta alta taxa de soluções infactíveis.

O método híbrido criado através do Algoritmo Genético e Busca Tabu apresenta resultados promissores no problema. A convergência é melhor e mais rápida do que o problema completamente aleatório e, além disso, as taxas de soluções factíveis encontradas chegam a 100% com baixo número de gerações do Algoritmo Genético. Observou-se também que a Busca Tabu é responsável por encontrar um indivíduo já factível no problema ou que tenha um bom valor de função objetivo. Já o Algoritmo Genético fica com a função de melhorar o valor da função objetivo. Essa estratégia se mostra adequada a esse tipo de problema pois inicializar o Algoritmo Genético com uma solução atual nem sempre é possível e inicializá-lo completamente aleatório tem grande gasto computacional e elevado número de gerações para alcançar soluções viáveis para o problema.

Conclui-se, portanto, que este trabalho apresenta resultados satisfatórios dentro do problema tratado. O grande ganho do método é a possibilidade de criação de uma grade de horários confiável, com boa parte das restrições existentes realmente nas escolas atendidas e que não demande trabalho árduo das pessoas da escola, pois o horário é gerado automaticamente.

6.1 – TRABALHOS FUTUROS

Algumas propostas de trabalhos futuros podem ser apresentadas. Entre elas está o andamento do projeto com uma melhor parametrização dos valores propostos no método criado, como, por exemplo, novos pesos para a função objetivo.

Uma outra abordagem do problema poderia ser utilizar a Busca Tabu dentro do Algoritmo Genético não apenas para a população inicial. Nesse caso, a cada período de gerações do Algoritmo Genético, utilizar-se-ia a Busca Tabu para intensificar a busca da vizinhança do melhor indivíduo da geração atual e depois seria inserido o melhor resultado na população corrente do Algoritmo Genético.

Poder-se-ia também comparar o método proposto neste trabalho com outros métodos propostos na comunidade científica com o intuito de observar o tempo de execução de cada método e as taxas de soluções factíveis encontradas. E, além disso, também comparar o método híbrido com os métodos individuais já criados.

REFERÊNCIAS

- Coley, D. A.** “An Introduction to Genetic Algorithms for Scientists and Engineers”, Singapore: World Scientific Publishing, 1999.
- Colorni, A., Dorigo, M. e Maniezzo, V.** “A Genetic Algorithm to Solve the Timetable Problem”, Tech. rep. 90-060 revised, Politecnico di Milano, Italy, 1993.
- Costa, D.** “A tabu search algorithm for computing an operational timetable”, European Journal of Operational Research, v. 76, p. 98-110, 1994.
- Even, S., Itai, A. e Shamir, A.** On the complexity of time table and multi-commodity flow problems, em “IEEE. Foundations of Computer Science, 1975, 16th Annual Symposium on”, [S.l.], v. 5, p. 184–193, 1975.
- Glover, F.** Tabu search - part i. “ORSA Journal on Computing”, v. 1, n. 3, p. 190–206, 1989.
- Glover, F. e Laguna, M.** “Tabu search”. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- Holland, J. H.** “Adaptation in Natural and Artificial Systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence”, Oxford, England: U Michigan Press, 1975.
- Werra, D. e Hertz, A.** Tabu search techniques, “Operations-Research-Spektrum”, Springer-Verlag, v. 11, n. 3, p. 131–141, 1989.