

Estudo de Algoritmos de Otimização de Grade Horária Escolar.

Study on Optimization Algorithms of School Timetables.

RESUMO

Leonardo de Souza Mateus
leonardomateus@alunos.utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil.

Vagner Alexandre Rigo
vagnerrigo@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil.

O escalonamento de horário escolar em instituições de ensino é sempre uma atividade periódica e árdua para os coordenadores e equipe pedagógica, pelo fato do grande número de possibilidades e a necessidade de satisfazer diversos recursos e diversas restrições da instituição, que em sua maioria são conflitantes entre si. Esse típico problema é conhecido na literatura como *School Timetabling Problem* (STP) e de acordo com estudos publicados o meio computacional mais viável para se encontrar uma solução é através de algoritmos de otimização e ou evolucionários. Sendo assim, o artigo realiza um estudo dos três principais algoritmos aplicados nesse contexto, sendo eles os Algoritmos Genéticos, *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* e *Simulated Annealing* com a finalidade de propor um algoritmo para ser desenvolvido em trabalhos futuros, visto que, no Brasil mesmo não dispondo de dados oficiais estima-se que a maioria das escolas não possui uma ferramenta computacional para auxiliar neste processo. E concluiu-se com base nesse estudo e de trabalhos correlacionados que os algoritmos genéticos têm grandes vantagens devido a sua fácil modelação e por possibilitar diversas formas de implementação, atendendo sem muitas dificuldades todas as restrições e os recursos de uma determinada instituição.

PALAVRAS-CHAVE: Algoritmos genéticos. Otimização combinatória. Grade Escolar. Otimização.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The scheduling of school timetables in educational institutions is a regular activity for coordinators and staff. The number of possibilities, conflict of agenda and constraints can difficult a simple solution. That is the School Timetabling Problem (STP), and according to studies, the most viable computational method to find a solution is through optimization and or evolutionary algorithms. Thus, this study reviews the three main algorithms applied in the field, namely, the Genetic Algorithms, Greedy Randomized Adaptive Search Procedure and Simulated Annealing. The information can be useful to further developments. Based on this study, Genetic Algorithms have advantages to solve the problem, mostly due to their easy modelling and by enabling various forms of implementation.

KEYWORDS: Genetic algorithms. Combinatorial optimization. School Timetable. Optimization.

INTRODUÇÃO

Um obstáculo que os centros educacionais brasileiros encontram em todo início de período letivo é a geração de grade horária escolar, visto que, é uma atividade que normalmente é realizada de forma manual, demandando bastante tempo e amiudadamente gerando resultados insatisfatórios (SCHAERF, 1999, p. 87–127). Isso ocorre porque é preciso atender diversos recursos, como professores, disciplinas, salas, regras da instituição, entre outros (BRAZ, 2000), com finalidade de encontrar a grade horária mais ideal possível.

Nesse contexto, o problema é intitulado na literatura de *timetabling*, em que, ela se divide em três classes principais (SCHAERF, 1999, p. 87–127) que são *school timetabling* (trabalha no âmbito de escolas de ensinos fundamentais e médios, na qual, precisa evitar que alunos e professores tenham mais de uma aula simultaneamente), *course timetabling* (voltada para o cenário de universidades e faculdades, em que, evita a simultaneidade de cursos com estudantes em comum) e *examination timetabling* (empenha-se na área de exames, tendo como precaução evitar exames simultâneos de cursos com estudantes em comum). Vale ressaltar que esse problema pertence à classe de NP-Difíceis, ou seja, o tempo para se encontrar uma ótima solução cresce exponencialmente com o tamanho da instância utilizada, e que de acordo com estudos já realizados o meio computacional mais viável para se encontrar uma solução é através de algoritmos de otimização e ou algoritmos evolucionários (COOPER; KINGSTON, 1995, p. 281–295).

Portanto o objetivo da pesquisa é apresentar um estudo a respeito dos três principais algoritmos encontrados na literatura que são capazes de solucionar em tempo viável o *timetabling*, dando enfoque para escolas de ensino fundamental e médio (*school timetabling problem*), em que, no Brasil é preciso seguir o calendário escolar, definido pelo Ministério da Educação (MEC) e pela Lei de Diretrizes e Bases da educação (LDB), na qual há uma predeterminação de um tamanho mínimo de dias de efetivo trabalho escolar a serem cumpridos por todas as instituições de ensino que ofertam a Educação Básica (MENEZES; SANTOS, 2001). Por conseguinte recomendar um desses algoritmos para desenvolvido em trabalhos futuros.

Logo, se faz necessário (i) encontrar algoritmos de otimização viáveis para a solução do problema e (ii) indicar um dos algoritmos para ser desenvolvido em trabalhos posteriores. Assim, ponderado o impacto e a crescente quantidade de estudos publicados sobre o *Timetabling* aliado a algoritmos de otimização, ratificou-se a motivação em alcançar soluções ainda melhores do que encontrados na literatura e realizar pesquisas científicas para o cenário brasileiro.

METODOLOGIA

Nesse tópico será elaborado um detalhamento a respeito dos Algoritmos Genéticos, *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* e *Simulated Annealing*

mais especificamente os seus funcionamentos e o modo como trabalham para encontrar ótimas soluções.

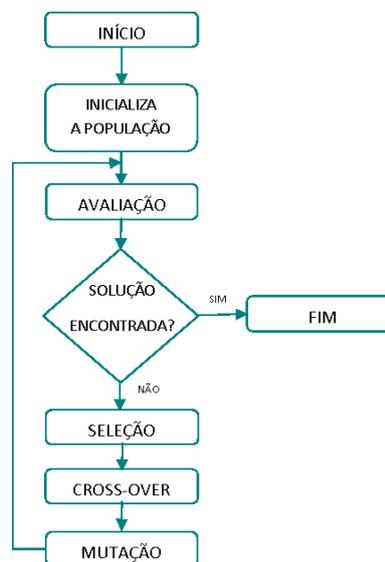
ALGORTIMOS GENÉTICOS (AG'S)

Os AG's são algoritmos de buscas baseados nos processos evolucionários como a dinâmica genética e a seleção natural (MELANIE, 1999) fazendo referência aos estudos propostos por Charles Darwin, ele fundamenta-se através de métodos probabilísticos de otimização e os primeiros métodos descritos foram apresentados por Holland em 1975 (MELANIE, 1999).

A primeira etapa de um AG consiste em gerar uma população inicial de forma aleatória, assim que criada é efetuado por meio da função avaliação o cálculo de aptidão para cada indivíduo dessa população e atribuído uma nota, no qual simboliza sua capacidade de adaptação a determinado ambiente (regras da instituição) (LINDEN, 2008).

Na segunda etapa são selecionados os indivíduos que possuem características genéticas melhores (maiores notas), esses sofrem cross-over e mutação nos operadores genéticos (que normalmente são representados de forma binária), gerando uma nova população, em que, essa se aproxima da função objetivo resultante em cada nova geração, isso se repete de forma iterativa até que se encontre um indivíduo considerado uma ótima solução (LINDEN, 2008). Vale ressaltar que os indivíduos com características genéticas inferiores tendem a desaparecer ao longo das gerações de novas populações. Esse funcionamento pode ser observado na figura 1.

Figura 1 – Funcionamento de um AG.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Portanto, os AG's se destacam devido a sua adaptabilidade em diversas aplicações diferentes, ou seja, as funções avaliação, seleção, crossover e mutação podem ser desenvolvidas de formas diferentes, de acordo com critérios do projeto e atendendo as restrições da aplicação que não podem ser negligenciadas (LINDEN, 2008).

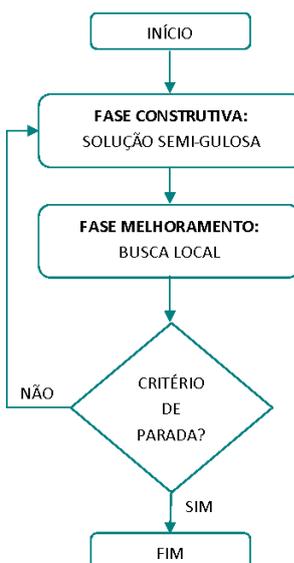
GREEDY RANDOMIZED ADAPTIVE SEARCH PROCEDURE (GRASP)

O GRASP é um algoritmo iterativo de busca local, proposto por Resende e Ribeiro (2002, p. 219-249) em 1995, ele é comumente aplicado a problemas de otimização combinatória e consiste em uma fase de construção e outra de busca local para melhorar a solução. Suas iterações são independentes, no qual cada iteração não considera as informações obtidas em iterações anteriores e normalmente a condição de parada desse algoritmo é o número máximo de iterações.

Na fase de construção é onde se constrói elemento por elemento uma solução inicial, esses elementos que compõem a solução são alocados em uma lista de candidatos e ordenados por uma função gulosa, em que, se mede os benefícios que um determinado elemento escolhido recentemente concede à parte da solução já construída (RESENDE; RIBEIRO, 2002, p. 219-249). A partir dessa lista, se desenvolve outra, chamada de lista restrita de candidatos (LRC) que é composta por elementos que possui os melhores benefícios para a solução, dando um aspecto guloso ao GRASP, pois sempre teremos os melhores elementos para serem inseridos na solução.

A segunda fase, a busca local, é realizada uma tentativa de melhorar a solução inicial encontrada, visto que, essa solução não necessariamente é a melhor para o problema. Esse melhoramento é realizado por meio de substituições de elementos vizinhos da solução inicial (RESENDE; RIBEIRO, 2002, p. 219-249). Sendo assim, há uma verificação se a solução encontrada é melhor que a atual, caso seja melhor ela é escolhida e a outra descartada ou vice e versa. E a condição de parada do algoritmo é predefinida através número de iterações que o desenvolvedor determinou. O funcionamento resumido pode ser observado na figura 2.

Figura 2 – Funcionamento resumido do algoritmo GRASP.



Fonte: Autoria Própria (2020).

Desse modo, o GRASP tem como objetivo a construção de uma solução de qualidade e fazendo uso da busca local apenas para pequenas melhorias na

solução já encontrada, outro fator bastante importante é a eficácia da busca local no qual depende de quatro fatores principais, a estrutura de vizinhança, a eficiência da função avaliação de custo, a técnica de busca de vizinhança e a solução inicial encontrada na primeira fase (RESENDE; RIBEIRO, 2002, p. 219-249).

SIMULATED ANNEALING (SA)

A Origem do SA foi motivada pelo tratamento térmico dos materiais denominado *annealing* (recozimento) (CERNY, 1985, p. 41-51), no qual o intuito é reproduzir o esquema de decaimento da temperatura, visto que o recozimento tem o objetivo de modificar a estrutura cristalina do metal, podendo melhorar suas características mecânicas e estruturais.

Até a década de 80 o *simulated annealing* ficou restrito apenas ao âmbito metalúrgico, foi quando Kirkpatrick (p. 671-680, 1983) e Cerny (p. 41-51, 1985) fizeram uma analogia entre o comportamento dos sistemas físicos e a otimização combinatória em seus estudos, mostrando que é possível solucionar problemas de otimização com o SA.

Sendo assim, a analogia com um problema combinatório é feita da seguinte forma:

Tabela 1 – Analogia entre sistemas físicos e otimização combinatória

Sistemas Físicos	Otimização Combinatória
Possíveis estados de um metal.	Possíveis soluções do espaço de busca.
Temperatura.	Parâmetro de controle do algoritmo.
Energia em cada estado.	Valor da função objetivo.
Energia mínima.	Valor de uma solução ótima local e possivelmente global.

Fonte: Chaves (2007).

O funcionamento do algoritmo ocorre da seguinte maneira (CHAVES, 2007):

- A primeira etapa de funcionamento do algoritmo é elevar a temperatura que conseqüentemente aumenta a probabilidade de se aceitar soluções de piora, contribuindo para escapar ótimos locais. Importante destacar que a probabilidade de aceitar uma solução piora está correlacionada com o valor da temperatura, em que, quanto maior a temperatura maior a chance de aceitação;
- Em seguida, busca-se a o equilíbrio térmico, que quando atingido faz a temperatura diminuir a cada iteração, diminuindo a chances de aceitar uma solução piora;
- Por fim, o algoritmo termina sua execução quando a temperatura se aproxima de zero, evidenciando um encontro com um ótimo local.

Desta maneira, a ideia do SA aplicado a otimização combinatória é permitir de forma controlada movimentos que pioram a solução corrente. Logo, quanto pior a solução na vizinhança da solução atual, menor a probabilidade do movimento ser aceito para essa região. À medida que a iterações forem

acontecendo, a probabilidade de movimentos iguais acontecerem diminui com um parâmetro chamado temperatura.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse capítulo, iremos abordar as vantagens e desvantagens dos algoritmos estudados quando aplicados aos conceitos do STP, com o objetivo contribuir no embasamento da escolha do algoritmo que será desenvolvido em trabalhos futuros para solucionar o problema de geração de grades horárias em instituições de ensino básico no Brasil.

Tabela 2 – Vantagens e Desvantagens dos algoritmos AG, GRASP, AS

Algoritmos	Vantagens	Desvantagens
Algoritmos Genéticos	<ul style="list-style-type: none"> • Não trabalham apenas com informações locais, logo não necessariamente fica preso em ótimos locais (MELANIE, 1999); • Maior flexibilidade no tratamento do problema a ser resolvido (LINDEN, 2008); • O desempenho não é afetado por descontinuidades na função ou em novas gerações populacionais (MELANIE, 1999); 	<ul style="list-style-type: none"> • Um custo elevado para encontrar um ótimo global exato (LINDEN, 2008); • Grandes possibilidades de variações na implementação o que pode complicar no desenvolvimento da solução tratada (LINDEN, 2008); • Exige um grande número de avaliações da função avaliação (MELANIE, 1999); • Requer o uso de bons processadores para encontrar a solução em tempo viável (LINDEN, 2008).
<i>Greed Randomized Adaptive Search Procedure</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalha com processamento paralelo e iterações independentes, guardando em uma variável global apenas a melhor solução encontrada entre os processadores (KIRKPATRICK; GELATT; VECCHI, 1983); • Bom aproveitamento das heurísticas gulosas que geralmente são polinomiais de baixo índice (CERNY, 1985). 	<ul style="list-style-type: none"> • A principal desvantagem é de não utilizar de informações coletadas durante a etapa de busca (KIRKPATRICK; GELATT, 1983); • A uma necessidade de boas soluções iniciais, visto que cada iteração se beneficia da qualidade da solução inicial (CERNY, 1985).
<i>Simulated Annealing</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Existe uma prova de convergência para solução ótima (ARAUJO, 2006); • Implementação com poucas complicações, visto que é feito apenas uma visita a cada iteração (ARAUJO, 2006); • Permite testar soluções distantes da solução atual, dando independência ao ponto inicial de pesquisa (CHAVES, 2007). 	<ul style="list-style-type: none"> • Pouco inteligente, pois faz uso apenas da informação da variação do valor da função objetivo sobre o problema (ARAUJO, 2006); • Partindo do princípio do recozimento, no qual a redução da temperatura de ser de forma lenta, isso acarretaria em tempos elevados de processamento (CHAVES, 2007).

Fonte: Autoria própria (2020).

Sendo assim, com base nos trabalhos correlacionados, pesquisas realizadas sobre algoritmos de otimização e nas vantagens e desvantagens de cada um quando aplicado ao School Timetabling Problem, o algoritmo genético se destaca pela fácil adaptação ao problema em questão (LINDEN, 2008) (BATTERSBY; ELMIHOU; HOPGOOD; NOLLE, 2006), pela qualidade de seus resultados encontrados na literatura em tempo viável (SIMÃO, 2013) (CRUZ; SANTOS; FONTES; ANJOS; SILVA, 2019) (COSTA, 2019), bastante recomendado para projetos com grandes quantidades de dados e restrições (LINDEN, 2008) (MELANIE, 1999) e principalmente por não ficar preso em ótimas soluções locais, retornando uma resposta mais eficiente possível.

Desse modo, como resultado é a sugestão para trabalhos futuros do desenvolvimento do algoritmo genético, visto ao longo do artigo sua eficiência no retorno de boas respostas quando se trata no problema de geração de grades horárias em escolas.

CONCLUSÃO

Neste artigo científico foi apresentado um estudo sistemático dos algoritmos de geração de grades horárias em escolas de ensino básico e médio no Brasil, apontando os principais problemas, como solucioná-los por meio de algoritmos de otimização em um tempo viável e a complexidade da otimização. Não foi realizada uma análise comparativa em os três algoritmos, pois o objetivo era mostrar possíveis soluções e principalmente o modo como eles operam para que no final fosse possível determinar um algoritmo para ser desenvolvido em trabalhos futuros.

Portanto, foi sugerido para trabalhos futuros o uso de algoritmos genéticos devido a sua facilidade de modelação de acordo com as regras e recursos de uma determinada instituição de ensino, pelo fato do mesmo não se prender em ótimas soluções locais, o que ocorre geralmente com o algoritmo GRASP e o algoritmo SA, e que de acordo com a literatura os AG's trazem bons resultados em tempo viável.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por me dar capacidade e sabedoria, ao meu orientador por todo suporte ao longo dos meses e para a Fundação Araucária e UTFPR pela bolsa de estudos, tornando-se possível o estudo e desenvolvimento desse artigo.

REFERÊNCIAS

ARAUJO, S.A. **Heurísticas para Otimização Combinatória**, p.123 – 124, 2006.
Disponível em:
<https://www.dcce.ibilce.unesp.br/~saraujo/disciplinas/Metaheurísticas.pdf>.
Acesso em: 08 abr.2020.

BATTERSBY, A.; EL-MIHOUB, T. A.; HOPGOOD, A. A.; NOLLE, L. **Hybrid Genetic Algorithms: A Review**. 2006. Disponível em: https://www.adrianhopgood.com/pub/el_13_2_11.pdf?i=1. Acesso em: 08 fev. 2020.

BRAZ, O.O. **Otimização de horários em instituições de ensino superior através de algoritmos genéticos**, 2000. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/78608>. Acesso em: 08 dez.2019.

CARTER, M.W.; LAPORTE, G. **Recent developments in practical course timetabling. Practice and theory of automated timetabling**. In: BURKE, E.; ROSS, P. (Ed.). Lectures Note in Computer Science, n.1408. Berlin: Springer-Verlag, p.3-19, 1996. Disponível em: <https://link.springer.com/book/10.1007%2F11593577>. Acesso em: 15 dez. 2019.

CERNY, V. **Thermodynamic Approach to the Traveling Salesman Problem: An Efficient Simulation Algorithm, Journal of Optimisation Theory and Applications**, p.41-51, 1985. Disponível em: <http://mkweb.bcgsc.ca/papers/cerny-travelingsalesman.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2020.

CHAVES, A.A. **Otimização combinatória, metaheurística**. Cap. 245, 2007. Disponível em: http://www.lac.inpe.br/~lorena/cap/Aula_C05.pdf. Acesso em: 05 abr. 2020.

COOPER, T. B.; KINGSTON, J. H. **The complexity of timetable construction problems**. In: SPRINGER. **International Conference on the Practice and Theory of Automated Timetabling**. [S.l.], p. 281–295, 1995. Disponível em: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.84.222&rep=rep1&type=pdf>. Acesso em: 15 jan. 2020.

COSTA, J.C.C. **Algoritmos genéticos para alocação da grade de professores da escola Osvaldo Cruz do município de Capitão Poço**, 2019. Disponível em: <http://bdta.ufra.edu.br/jspui/bitstream/123456789/1317/1/Algoritmos%20gen%C3%A9ticos%20para%20aloca%C3%A7%C3%A3o%20da%20grade%20de%20professores%20da%20Escola%20Osvaldo%20Cruz%20do%20munic%C3%ADpios%20de%20Capit%C3%A3o%20Po%C3%A7o.pdf> . Acesso em: 18 fev. 2020.

CRUZ, R.F; SANTOS, G.P.J; FONTES, L.B; ANJOS, M.S; SILVA, B.L.C. **Geração automática de horário escolar com genético**, 2019. Disponível em: <http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/565>. Acesso em: 16 fev. 2020.

KIRKPATRICK, S.; GELATT, Jr. C. D.; VECCHI, M. P. **Optimization by Simulated Annealing**, p. 671-680, 1983. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/6026283_Optimization_by_Simulated_Annealing. Acesso em: 27 mar. 2020.

LINDEN, R. **Algoritmos genéticos: uma importante ferramenta da inteligência computacional. 2 ed.** Rio de Janeiro: Editora BRASPORT Livros e Multimídia Ltda, 2008.

MELANIE, M. **An Introduction to Genetic Algorithms**. MA: A Bradford Book The MIT Press, 1999. Disponível em: <https://www.boente.eti.br/fuzzy/ebook-fuzzy-mitchell.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2020.

MENEZES, E.T; SANTOS, T.H. **Verbetes calendário escolar. Dicionário Interativo da Educação Brasileira - Educabrazil**. São Paulo: Midiamix, 2001. Disponível em: <https://www.educabrazil.com.br/download/>. Acesso em: 28 mai. 2020.

RESENDE, M. G. C.; RIBEIRO, C.C. **Greedy Randomized Adaptive Search Procedures: Advances and Extensions**, p. 219-249, 2002. Disponível em: <http://www2.ic.uff.br/~celso/artigos/resende-ribeiro-GRASP-HMH3.pdf>. Acesso em: 20 fev. 2020.

SCHAERF, A. A survey of automated timetabling. **Artificial Intelligence Review, Springer Netherlands**, v. 13, p. 87–127, 1999. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1006576209967>. Acesso em: 28 nov. 2019.

SIMÃO, T. **Utilização de Algoritmos Genéticos para Otimização de Soluções para o Timetabling escolar**, 2013. Disponível em: http://www.bsi.ufla.br/wp-content/uploads/2014/09/Thiago-Dias_UTILIZA%C3%87%C3%83O-DE-ALGORITMOS-GEN%C3%89TICOS-PARA-OTIMIZA%C3%87%C3%83O-DE-SOLU%C3%87%C3%95ES-PARA-O-TIMETABLING-ESCOLAR-THIAGO-DIAS-SIM%C3%83O_1310.pdf. Acesso em: 13 fev. 2020.