



Horário Universitário Personalizado por Meta-heurística: Um Estudo de Caso

Rosalvo Ferreira de Oliveira Neto

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Juazeiro-BA
rosalvo.oliveira@univasf.edu.br

Caíque César Leite Mariano

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Juazeiro-BA
cesar.caique@gmail.com

Max Santana Relemberg Farias

Universidade Federal do Vale do São Francisco
Juazeiro-BA
max.santana@univasf.edu.br

RESUMO

Este estudo busca auxiliar estudantes que não estão regulares em seus cursos a construir seu horário levando em consideração suas restrições no curso. A proposta tem como objetivo maximizar o horário do aluno levando em consideração o histórico de disciplinas cursadas e a grade de ofertas disponível. O estudo utilizou como meta-heurística o Algoritmo Genético e Colônia de Formigas para verificar a eficácia da proposta. A validação do estudo foi realizada com uma base de dados disponibilizada pela Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) para os alunos do curso de Engenharia da Computação. O teste *t-Student* emparelhado unicaudal mostrou que a proposição de um horário personalizado a partir de uma meta-heurística é estatisticamente superior a um horário montado pelo aluno de forma manual com o nível de confiança de 95%.

PALAVRAS CHAVE. Problema de Programação de Horários, Meta-heurística, Otimização.

Tópicos: PO na Educação; Meta-heurísticas; Otimização Combinatória.

ABSTRACT

This study intends to help students who are not regular in their courses to build their schedule considering their restrictions in the course. The purpose of the proposal is to maximize the student's timetabling taking into account the student's history and the disciplines available. The study used as metaheuristic the Genetic Algorithm and the Ant Colony Algorithm to verify the effectiveness of the proposal. The validation of the study was carried out with a database made available by the Federal University of the São Francisco Valley (UNIVASF) for the students of the Computer Engineering course. The one-tailed paired t-test showed that the proposition of a personalized timetabling from a metaheuristic is statistically superior to a student-set timetabling of manual form with a confidence level of 95%.

KEYWORDS. Timetabling, Metaheuristic, Optimization.

Paper topics: OR in Education; Metaheuristics; Combinatorial Optimization.



1. Introdução

Ao longo de décadas a comunidade científica busca encontrar uma solução computacional para o problema de agendamento de horário acadêmico, que é a tarefa de criar horários exequíveis e válidos com base em algumas restrições. Acredita-se que este problema é NP-Completo, ou seja, que não é possível encontrar em tempo computacional razoável ou viável uma solução ideal [Cooper e Kingston, 1996]. É por isso que muito dos esforços apresentados na literatura têm sido feito utilizando meta-heurística, que é o nome dado a uma classe de algoritmos aproximativo com algum mecanismo que lhe fornece a capacidade de escapar de ótimos locais. Estes mecanismos de escape em sua grande maioria utilizam algum grau de aleatoriedade para encontrar soluções satisfatórias para um problema, no entanto, sem garantia de otimalidade [Glover e Kochenberger, 2003].

O horário acadêmico de um universitário é elaborado durante a matrícula. No entanto, a maioria das universidades brasileiras buscam oferecer nas matrículas disciplinas que satisfazem os alunos regulares. Ou seja, alunos que nunca perderam disciplinas e que poderão cursar todas as disciplinas ofertadas para o seu semestre sem choque de horário. Esse processo de matrícula funciona bem para alunos regulares, mas na prática, a maior parcela dos discentes dos cursos universitários não é considerada regular.

Durante o processo de matrícula, que ocorre a cada semestre, os discentes devem efetuar matrícula nas disciplinas que pretendem cursar respeitando pré-requisitos e choque de horários, no entanto, existe a possibilidade dos alunos construírem suas grades de horários sem respeitar necessariamente a grade curricular do curso, seja por motivos pessoais ou devido às reprovações. Embora esse processo de matrícula seja um procedimento fácil e bem compreendido pela maioria dos discentes, ele passa a ser muito difícil para os alunos que não acompanham as disciplinas de um bloco semestral do curso, pois, eles não conseguem encaixar os blocos de disciplinas, ofertadas na matrícula, de forma que permita avançar no curso. É por conta dessa dificuldade, que alguns alunos acabam construindo seus horários sem algumas disciplinas e prolongando o seu tempo de permanência na universidade. Uma alternativa seria a abordagem utilitarista no momento da construção da oferta de disciplinas, ou seja, construir a grade de horários de forma a beneficiar a maior quantidade de alunos possíveis, no entanto, esta abordagem seria inviável por parte das universidades, pois as instituições de ensino superior devem ofertar as disciplinas para que o curso seja concluído dentro do prazo que foi estabelecido pelo ministério da educação, não importando se apenas um aluno é regular.

Nesse contexto, esta pesquisa identificou uma oportunidade para minimizar este problema, que é a sugestão de grade de horário personalizada para o aluno, a partir da grade de disciplinas ofertada pela universidade e de seu histórico escolar utilizando meta-heurística. Dessa forma, a abordagem proposta pode favorecer o aluno fazendo com que ele aproveite melhor seus horários e permita que este possa concluir o curso de forma a amortizar os atrasos causados por eventuais problemas.

Para demonstrar o potencial da solução proposta, construção de horários universitários personalizados, foi utilizado como estudo de caso os horários dos alunos matriculados no curso de Engenharia de Computação, da Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf), onde cerca de 90% dos discentes ativos não acompanham as disciplinas de um bloco semestral, oferecido pela coordenação do curso. A solução proposta fornece uma grade de horário mais eficiente para o aluno, como será discutido no fim deste artigo. O restante do artigo está dividido como segue. A seção 2 apresenta a definição do problema. A seção 3 apresenta os trabalhos relacionados. A seção 4 detalha a modelagem do problema. A seção 5 exhibe a metodologia experimental adotada no estudo. A seção 6 apresenta os resultados obtidos para validação da solução proposta. Por fim, a seção 7 conclui o trabalho e propõe trabalhos futuros.



2. Definição do Problema

O problema de montagem de grade de horário personalizada por aluno, assim como outros problemas de arranjo e combinação, pode ser considerado um problema de otimização do tipo *timetabling*. Esse tipo de problema, em geral, não se conhece uma solução algorítmica eficiente que possa resolvê-lo em tempo computacional viável devido a sua complexidade. Para o problema de escolha de grade de horários, no contexto do *timetabling*, podemos dizer que cada aluno representa um agente que deve organizar suas disciplinas (eventos) em t horários válidos.

Em nosso estudo de caso, os alunos precisam se matricular em disciplinas obrigatórias, optativas e/ou eletivas de sua preferência, sendo restringidos apenas pelos pré-requisitos, choques de horários e o limite de 495h de aula (40h de aula por semana). O curso de Engenharia da Computação da Univasf possui 3.930h obrigatórias, sendo que, 1.350h (cerca de 34 disciplinas) podem ser ofertadas por outros cursos de engenharia da própria instituição (ciclo básico das engenharias).

A partir destas informações, é possível expressar o problema de elaboração de horário personalizado para o curso de Engenharia da Computação da Univasf como sendo um problema de otimização, onde o objetivo é maximizar uma função f que depende da quantidade de horas da grade de horário, da quantidade de disciplinas selecionadas e a quantidade de pré-requisitos. Essa função está sujeita às seguintes restrições:

- A carga horária total não deve exceder 495 horas;
- Não pode existir conflito entre disciplinas (choque de horários);
- Não é possível cursar uma disciplina sem antes ter cursado todos os seus pré-requisitos.

3. Trabalhos Relacionados

Diversas abordagens de meta-heurística têm sido aplicada com sucesso para problemas de agendamento educacional. Dentre os algoritmos aplicados a esse problema podemos citar: Colônia de Abelhas com *Hill Climber* [Bolaji et al., 2014], *Tabu Search* [Di Gaspero e Schaerf, 2001], *Simulated Annealing* [Basir et al., 2013], Colônia de Formigas (CF) [Socha et al., 2003] e Algoritmo Genético (AG) [Pillay e Banzhaf, 2010]. As abordagens propostas encontradas na literatura visam solucionar dois problemas: agenda de horários de provas e agenda de horários de curso.

O problema de horários de provas pode ser definido como a atribuição de um número de provas a um dado número de períodos de tempo sujeito às restrições, como por exemplo, exames de alunos comuns não podem ser agendados ao mesmo tempo. Uma solução factível é uma agenda em que todos os exames sejam atribuídos a intervalos de tempo viáveis sem violar as restrições.

O problema do horário de curso universitário pode ser definido como atribuir um determinado número de cursos a um determinado número de intervalos de tempo e salas sujeitos às restrições: 1) nenhum professor pode ser designado para mais de um curso ao mesmo tempo, 2) o número de alunos que frequentam o curso deve ser menor ou igual à capacidade da sala e 3) não mais do que um curso é permitido em um mesmo intervalo de tempo em cada sala.

A seguir serão descritos seis trabalhos encontrados na literatura que utilizam meta-heurística para solucionar o problema de agendamento educacional.

Ciscon et al. [2008] apresentam em seu trabalho uma proposta de solução para o problema de geração de grade de horários. Além dos objetivos e restrições usuais para esse tipo de problema, é levado em consideração a eliminação de janelas (horários vagos em um determinado dia) e aulas isoladas, que segundo os autores é um dos principais motivos da falta de aceitação por parte dos professores para as grades de horários. A técnica usada para resolver esse problema foi AG e para representar o problema foi usada uma estrutura de dados tridimensional (número de turmas X número de dias X número de horários). De acordo com os autores, os resultados obtidos foram satisfatórios e foi possível atestar a capacidade do algoritmo de eliminar janelas e aulas isoladas,



além disso, os horários gerados satisfaziam a diretoria, os professores e reduzia o tempo gasto para gerar o mesmo de forma manual.

Hamawaki et al. [2005] aplicaram AG para resolver o problema da grade de horários. O objetivo foi a geração de soluções visando obter grades de horários com múltiplos cursos para uma instituição de ensino. De acordo com os autores, é possível obter uma melhor qualidade das soluções com uma quantidade grande de indivíduos por geração e utilizando 500 gerações, porém o custo computacional é elevado, desta forma uma análise de custo benefício seria necessária.

Silva et al. [2014] apresentam em seu artigo uma solução para grades de horários com múltiplos cursos onde a obtenção da solução é feita através do uso de um AG. Segundo os autores, horários válidos são obtidos. No entanto, quando populações pequenas são utilizadas, o algoritmo apresenta soluções inválidas, o que pode ser esperado uma vez que o espaço de busca é menor para populações pequenas. Simulações com 300 indivíduos e 300 gerações apresentaram soluções onde não existiam colisões de docentes/salas.

Casemiro et al. [2014] apresentam um modelo híbrido para solucionar o problema de construção de grade de horários. Esse modelo híbrido propõe a utilização da Busca Tabu (BT) para encontrar um indivíduo bom para ser colocado na primeira geração de um AG. Duas escolas públicas foram utilizadas no experimento, que foi composto por 3 (três) métodos diferentes para configurar a população inicial do AG. A primeira iniciava a população aleatoriamente, a segunda iniciava com um indivíduo obtido através de uma BT e a última usava a grade de horário da escola que é considerado uma solução boa como um indivíduo a ser inserido na solução inicial. Os autores concluíram que nos casos em que era inserido na população inicial um bom indivíduo, as soluções encontradas pelo AG foram consideravelmente melhores. Outra solução híbrida foi proposta por Sá et al. [2015]. Em sua proposta, a meta-heurística BT foi utilizada no ciclo evolutivo do AG para otimizar o melhor indivíduo de cada geração.

Cirino et al. [2015] apresentam dois métodos para alocação de disciplinas em salas. O primeiro é uma modelo de programação inteira e o segundo utilizando a meta-heurística AG. O estudo de caso foi realizado com uma base de dados fornecida pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (ICMC - USP). Os resultados obtidos mostraram que as duas abordagens proporcionam soluções promissoras. No entanto, os autores concluíram que a meta-heurística funciona melhor para instâncias maiores do problema e que o modelo de programação inteira obtém melhores resultados para instâncias menores do problema.

De acordo com o levantamento bibliográfico realizado nesta pesquisa, não foram encontradas propostas de trabalho semelhantes ao nosso artigo, grades de horários personalizadas por alunos. No entanto, não é possível afirmar que não existem propostas, pois a quantidade de trabalhos acadêmicos nesta área é extenso. Uma afirmação plausível seria de que é difícil encontrá-los, como foi o caso desta pesquisa que não encontrou artigos com esse propósito. Outro dado que o levantamento bibliográfico evidencia é que o algoritmo genético tem sido uma das principais heurísticas aplicada nesta área.

4. Modelagem do Problema

Para a proposta de oferta de grade de horários personalizada este trabalho selecionou duas meta-heurísticas: AG e CF. A escolha do AG foi pelo fato de ser amplamente utilizado com sucesso para problemas de agendamento educacional. O CF foi escolhido por identificarmos que o mesmo apresenta uma estrutura de dados baseada em grafos que melhor representa o espaço de busca para o problema de oferta de grade de horário personalizada. Esta seção apresenta os detalhes da modelagem realizada neste estudo. Inicialmente é apresentada a função objetivo que foi definida para avaliar a grade de horário de cada aluno, em seguida é apresentado como o problema foi modelado nas duas meta-heurísticas selecionadas.

4.1. Função Objetivo

A qualidade da grade de horário para cada aluno é definida pela maximização da função objetivo descrita na equação (1).



$$\alpha \sum_{i=1}^N CH_i * X_i + \beta \sum_{i=i}^N CP_i * X_i - \gamma \sum_{i=1}^N OP_i * X_i + \delta \left(\sum_{i=1}^N X_i \right) - MP + NCO * CO \quad (1)$$

onde:

- N é o número de disciplinas que foram ofertadas e o discente pode cursar;
- CH_i é a carga horária da disciplina i;
- CP_i é a carga horária que a disciplina i pode desbloquear nos semestres seguintes;
- X_i é 1 se a disciplina está na grade de horários e 0 se não está;
- OP_i é 1 se a disciplina é optativa e 0 se não for;
- MP é a quantidade máxima de disciplinas do mesmo período;
- NCO é 1 se existir alguma disciplina matriculada sem seu co-requisito, e 0 caso contrário;
- CO é uma constante punitiva em caso de existir alguma disciplina matriculada sem seu co-requisito tornando a solução infactível;
- α, β, γ e δ são variáveis de ponderamento de seus respectivos termos.

Esta função leva em consideração a carga horária de cada grade proposta e também as restrições de disciplinas. A função está sujeita às seguintes restrições: 1) A carga horária total não deve exceder 495 horas, 2) Não pode existir conflito entre disciplinas (choque de horários) e 3) Não é possível cursar uma disciplina sem antes ter cursado todos os seus pré-requisitos. Logo, disciplinas que são pré-requisito devem ter um peso maior, pois não inclui-las na grade de horários pode bloquear o curso para o aluno no futuro, conforme análise apresentada na seção de definição do problema.

4.2. Modelagem do Algoritmo Genético

O Algoritmo Genético (AG) é um algoritmo de busca inspirado na teoria da evolução das espécies [Holland, 1992]. A Figura 1 ilustra o fluxograma de execução do AG. Inicialmente, é gerada uma população inicial, onde cada indivíduo é representado por um cromossomo, e este representa uma possível solução para o problema [Davis e Mitchell, 1991]. Em seguida, cada cromossomo é avaliado por uma função de aptidão e são selecionados os indivíduos mais aptos ao problema. Por fim, os indivíduos selecionados são combinados uns com os outros para gerar filhos que evoluem durante sucessivas gerações até atingir um critério de parada. Cada cromossomo descendente pode ou não sofrer mutação.

Para o problema definido nesta pesquisa, cada cromossomo foi representado em uma lista. Cada item da lista representa uma disciplina que pode ser cursada pelo aluno. A Figura 2 ilustra como o problema foi modelado para o AG.

As disciplinas ofertadas pelo curso e as disciplinas cursadas pelo aluno são utilizadas para gerar as Disciplinas Admissíveis, que são as disciplinas que o aluno pode cursar. A partir das Disciplinas Admissíveis é gerado a população inicial limitando cada cromossomo a ter uma carga horária máxima de 495 horas (limite estabelecido pelo curso).

A aptidão de cada cromossomo é igual ao valor da função objetivo para o problema modelado. O método de seleção adotado foi o torneio, onde são selecionados de forma aleatória dois indivíduos e o que possui maior valor de aptidão é selecionado para cruzamento. O cruzamento é aplicado com uma dada probabilidade denominada taxa de cruzamento. O método escolhido para o cruzamento dos indivíduos foi o cruzamento de ponto único. Se o cruzamento é aplicado, os pais trocam a parte final de seus cromossomos gerando dois filhos, caso contrário os dois filhos serão cópias exatas dos pais.

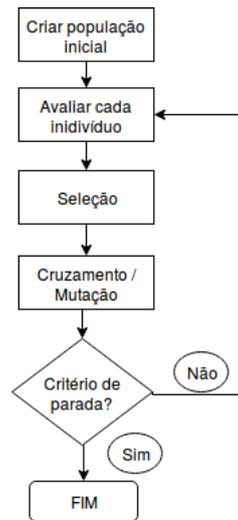


Figura 1: Fluxograma de Execução do AG

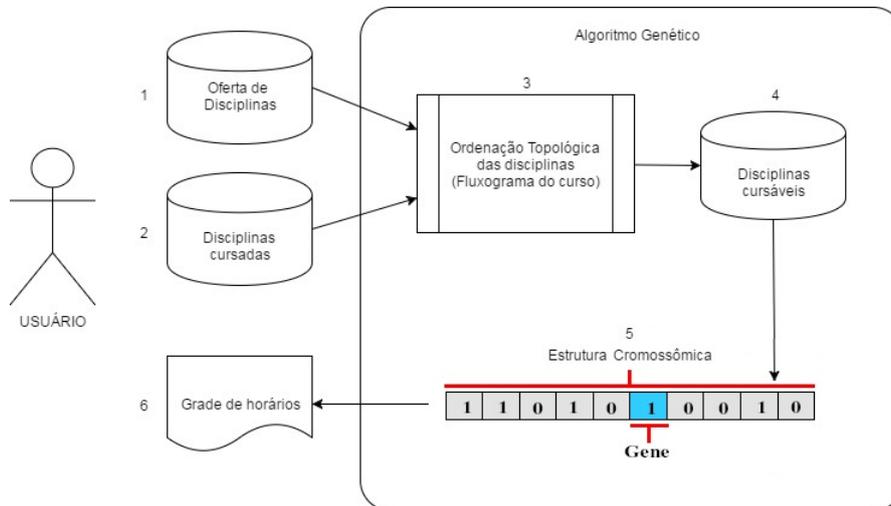


Figura 2: Modelagem do Problema no AG

4.3. Modelagem do Algoritmo Colônia de Formigas

O Algoritmo Colônia de Formigas (CF) é um algoritmo de busca baseado na maneira como as formigas se comunicam indiretamente durante a procura por alimento [Dorigo e Di Caro, 1999]. Essa comunicação indireta é realizada através das trilhas de feromônio que são formadas enquanto a formiga procura por alimento. A Figura 3 ilustra o fluxograma de execução do CF. O CF utiliza grafos para representar o problema e os caminhos nos grafos representam possíveis soluções ao problema.

Inicialmente, é definido o tamanho da população de formigas para o algoritmo. Cada formiga é aleatoriamente colocada em um nó do grafo. A formiga vai escolher o caminho no grafo de acordo a probabilidade de cada vértice. As probabilidades associada a cada vértice são atualizadas pela taxa de feromônio, que avalia de acordo com a função de aptidão o quão boa é aquela solução. Desta forma, novas formigas tendem a ter mais chances de escolher o melhor caminho encontrado (solução incumbente). No entanto, o algoritmo também prevê uma taxa de evaporação do feromônio, que diminui a probabilidade de escolha do caminho no decorrer das iterações.

Para o problema definido nesta pesquisa, cada nó do grafo representa uma disciplina ofertada, na qual contém os seu pré-requisitos, sua carga horária, seu horário e também a informação

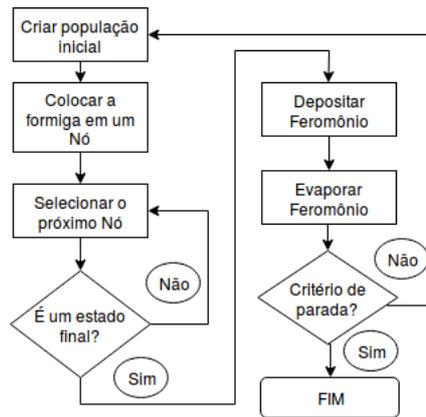


Figura 3: Fluxograma de Execução do CF

de quais disciplinas ela é pré-requisito. O grafo para cada aluno é formado apenas pelas Disciplinas Admissíveis. A Figura 4 ilustra como o problema foi modelado para o CF. Cada caminho do grafo representa uma solução possível ao problema, ou seja, uma agenda de horário para o aluno.

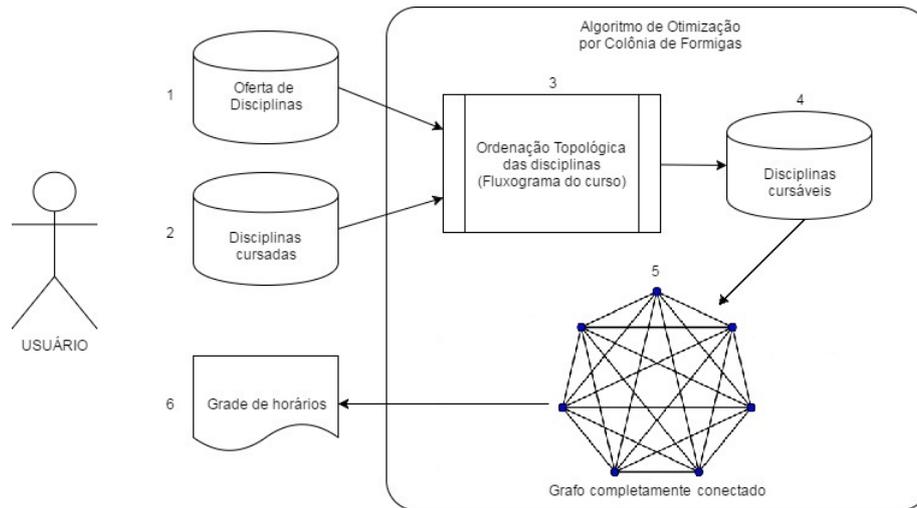


Figura 4: Modelagem do Problema no CF

5. Metodologia Experimental

Um estudo experimental com alunos do curso de Engenharia da Computação da Univasf foi realizado para validar a eficácia da geração da grade de horários personalizada. Foram selecionados 97 alunos do curso que realizaram matrícula de forma manual pelo sistema da universidade (SIG@) no primeiro semestre de 2016. O critério de seleção foi o aluno está há mais de dois semestres matriculado no curso, faltar mais de dois semestre para se formar e não ter sido aprovado em todas as disciplinas até o momento. São necessários 10 semestres para concluir o curso. O objetivo deste critério de seleção foi excluir amostras em que o aluno não teria dificuldade em escolher as disciplinas. O estudo compara a carga horária das matrículas realizadas pelos alunos contra a carga horária proposta pela meta-heurística.

As meta-heurísticas AG e CF foram selecionadas para o estudo. Um estudo experimental foi realizado para identificar quais os melhores parâmetros para cada meta-heurística e foram identificados os parâmetros que estão descritos na Tabela 1. Os melhores valores encontrados para os parâmetros da função objetivo foram: $\alpha = 2$, $\beta = 1$, γ e $\delta = 50$.



Tabela 1: Parâmetros Usados no AG e CF

Técnica	Parâmetros
Algoritmo Genético	População: 50 indivíduos Número máximo de gerações: 1500 Taxa de crossover: 90% Taxa de mutação: 2%
Colônia de Formigas	Feromônio inicial: 10000 Quantidade máxima de iterações: 200 Quantidade de formigas: 10 Taxa de evaporação do feromônio: 1%

A comparação foi realizada através da diferença entre as duas cargas horárias. O teste *t-Student* emparelhado unicaudal foi aplicado para averiguar se existe diferença estatisticamente significativa na média da diferença. A configuração do teste utilizada neste estudo é descrita a seguir: **Hipótese nula:** $\mu_1 - \mu_2 = 0$ e **Hipótese alternativa:** $\mu_1 > \mu_2$, onde: μ_1 representa a média da carga horária utilizando uma meta-heurística e μ_2 representa a média da carga horária utilizando a grade de horários realizada manualmente pelo aluno.

6. Resultados e Discussões

As simulações foram realizadas de acordo com a configuração experimental descrita anteriormente para cada uma das meta-heurísticas selecionada. A Figura 5 ilustra o gráfico com a diferença em horas entre a grade de horário sugerida pelo AG e a carga de horário realizada na matrícula pelo aluno. Como pode ser observado, dos 97 alunos selecionados para o estudo apenas 4 realizaram uma matrícula com carga horário maior do que a sugerida pela meta-heurística e em 5 casos foram iguais as cargas horárias. No entanto, em 88 casos a carga horária sugerida pela abordagem proposta foi superior.

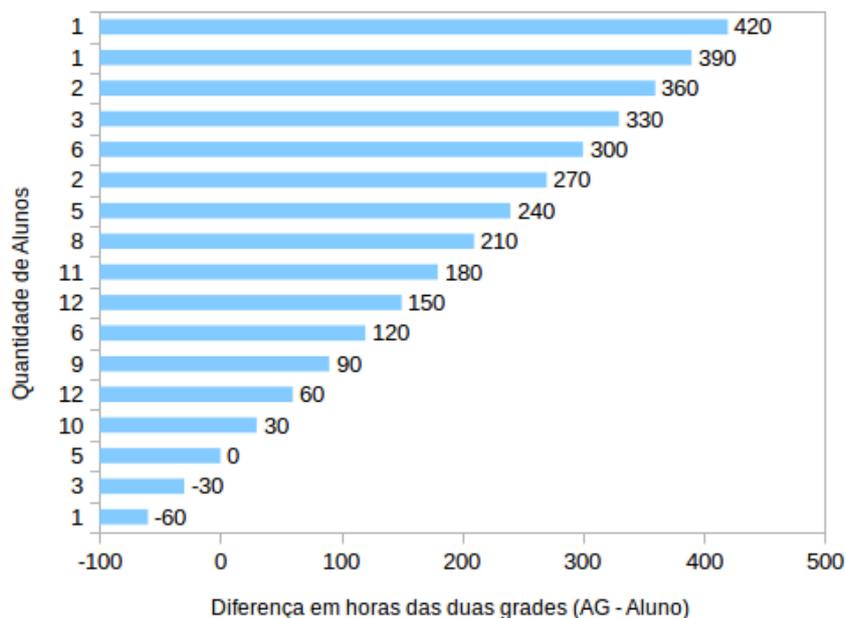


Figura 5: Comparativo AG vs Aluno

A Tabela 2 exibe o resumo dos resultados obtidos no teste *t-Student* emparelhado. A diferença média entre a carga horária sugerida pelo AG foi de 144 horas. Uma vez que o *p-value* é menor que 0.05, concluímos que a carga horária sugerida pelo AG fornece resultados diferentes



da carga horária de uma matrícula manual. Especificamente, os dados indicam que a carga horária proposta pelo AG é, em média, maior do que a carga horária de uma matrícula realizada de forma manual pelo aluno com um nível de confiança de 95%.

Tabela 2: Resumo dos Resultados do Teste de Hipótese

μ_1	μ_2	Limite Inferior	$\mu_1 - \mu_2$	Limite superior	<i>p-value</i>
AG	Aluno	125.555	144	∞	2.2e-16
CF	Aluno	140.4195	159	∞	2.2e-16
CF	AG	9.12762	15	∞	3.263e-05

A Figura 6 ilustra o gráfico com a diferença em horas entre a grade de horário sugerida pelo CF e a carga de horário realizada na matrícula pelo aluno. Como pode ser observado, dos 97 alunos selecionados para o estudo apenas 1 realizou matrícula com carga horário maior do que a sugerida pela meta-heurística e em 5 casos foram iguais as cargas horárias. No entanto, em 91 casos a carga horária sugerida pela abordagem proposta foi superior.

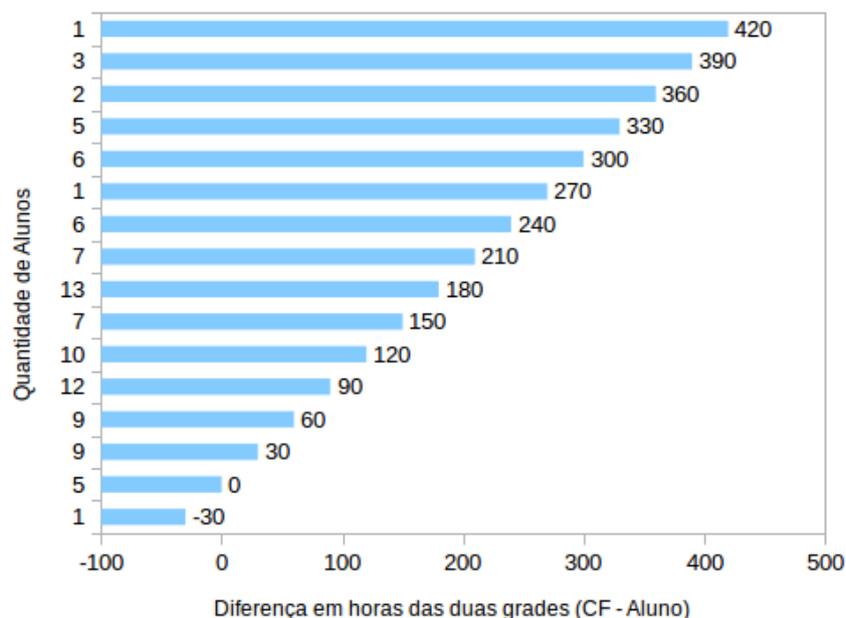


Figura 6: Comparativo CF vs Aluno

A diferença média entre a carga horária sugerida pelo CF foi de 159 horas. Uma vez que o *p-value* é menor que 0.05, concluímos que a carga horária sugerida pelo CF fornece resultados diferentes da carga horária de uma matrícula manual. Especificamente, os dados indicam que a carga horária proposta pelo CF é, em média, maior do que a carga horária de uma matrícula realizada de forma manual pelo aluno com um nível de confiança de 95%.

A Figura 7 ilustra o gráfico com a diferença em horas entre a grade de horário sugerida pelo CF e o AG. Como pode ser observado, em 6 casos o AG propôs uma carga horária superior ao CF. Não houve diferença em 54 casos, e em 37 casos a carga horária proposta pelo CF foi superior ao AG. Uma vez que o *p-value* é menor que 0.05, concluímos que a carga horária sugerida pelo CF fornece resultados diferentes da carga horária sugerida pelo AG.

Os dados apresentados indicam que a carga horária proposta pelo CF é, em média, maior do que a carga horária sugerida pelo AG com um nível de confiança de 95%. Outro fator importante observado nos experimentos foi a diferença do custo computacional entre o AG e CF. O tempo de

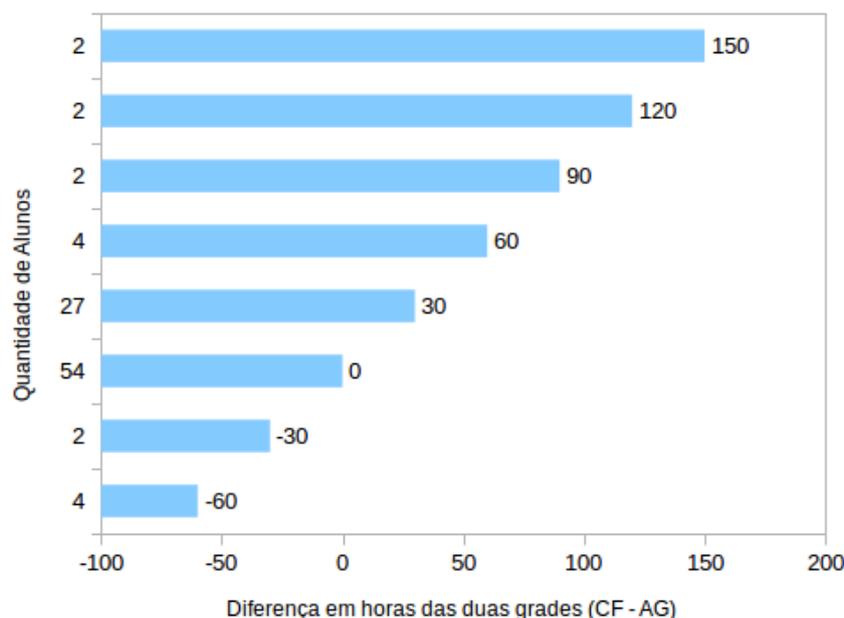


Figura 7: Comparativo CF vs AG

execução dos experimentos com todos os 97 alunos selecionados foi de 5 horas e 25 minutos para o AG e 3 minutos para o CF.

7. Conclusão

Este artigo apresentou uma abordagem de proposta de grades de horários personalizada para cada aluno a partir dos horários disponibilizados pelos colegiados acadêmicos. A abordagem leva em consideração o histórico escolar do aluno e também a importância de cada disciplina para a conclusão do curso dentro de um prazo menor. A proposta foi testada utilizando as meta-heurísticas AG e CF. O estudo experimental mostrou que a abordagem proposta produz uma grade de horário melhor, em média, do que a grade construída pelo aluno de forma manual.

A principal contribuição deste estudo é abordar o problema de construção de horários utilizando a perspectiva do aluno, uma vez que a perspectiva da gestão da instituição de ensino superior tem sido amplamente estudada (recursos = salas disponíveis x horários dos professores x disciplinas). Nesta linha de raciocínio, este trabalho inclui a outra parte interessada, o aluno, na pergunta de pesquisa "Como montar uma grade de horário eficiente?".

A partir da abordagem proposta neste estudo, o aluno pode reduzir o tempo de permanência no curso ao priorizar a realização de matrículas em disciplinas que são pré-requisitos e sem deixar de maximizar a sua carga horária no semestre. Outra contribuição deste estudo é que ele indica que a utilização do CF pode ser mais eficiente em termos de custo computacional do que a do AG, obtendo resultados melhores como foi observado no experimento. Uma explicação plausível para essa maior eficiência computacional do CF em relação ao AG é a geração de grade de horário não válida quando são aplicados os operadores de cruzamento e mutação do AG, pois só é possível verificar se o horário é viável após a aplicação destes operadores, enquanto no CF, que utiliza um grafo completamente conectado, a medida que a formiga percorre o grafo são removidos os nós que podem gerar choque de horários com as disciplinas que foram percorridas, desta forma, o CF não gera soluções infactíveis.

Como trabalho futuro, pretendemos disponibilizar a abordagem proposta como uma ferramenta WEB permitindo assim que um número maior de alunos possam utilizar essa proposta.

Referências

Basir, N., Ismail, W., e Norwawi, N. M. (2013). A simulated annealing for tahmidi course timetabling. *Procedia Technology*, 11:437 – 445.



- Bolaji, A. L., Khader, A. T., Al-Betar, M. A., e Awadallah, M. A. (2014). University course timetabling using hybridized artificial bee colony with hill climbing optimizer. *Journal of Computational Science*, 5(5):809 – 818.
- Casemiro, M. V., Miranda, D. S., e Wanner, E. F. (2014). Desenvolvimento de um modelo híbrido baseado em algoritmo genético e busca tabu para resolução do problema de quadro de horários escolar. In *Anais do XLVI SBPO*, p. 1870–1878.
- Cirino, R. B. Z., Santos, M. O., e Delbem, A. C. B. (2015). Aplicação da metaheurística agc para o problema de alocação de aulas à salas. In *Anais do XLVII SBPO*, p. 1745–1755.
- Ciscon, L. A., Oliveira, A. C., Hipólito, T. R., Alvarenga, G. B., e Roullier, A. C. (2008). O problema de geração de horários: Um foco na eliminação de janelas e aulas isoladas. In *Anais do XXVII SBPO*, p. 1724–1732. SOBRAPO.
- Cooper, T. B. e Kingston, J. H. (1996). The complexity of timetable construction problems. In *Selected Papers from the First International Conference on Practice and Theory of Automated Timetabling*, p. 283–295. Springer-Verlag.
- Davis, L. D. e Mitchell, M. (1991). *Handbook of Genetic Algorithms*. Van Nostrand Reinhold.
- Di Gaspero, L. e Schaerf, A. (2001). Tabu search techniques for examination timetabling. In Burke, E. e Erben, W., editors, *Practice and Theory of Automated Timetabling III*, volume 2079, p. 104–117. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany.
- Dorigo, M. e Di Caro, G. (1999). New ideas in optimization. chapter The Ant Colony Optimization Meta-heuristic, p. 11–32. McGraw-Hill Ltd., UK.
- Glover, F. e Kochenberger, G. A. (2003). *Handbook of metaheuristics*. Kluwer Academic Publishers.
- Hamawaki, C. D. L., Yamanaka, K., Oliveira, R. C., e Hamawaki, O. t. (2005). Alocação de grade horária em instituições de ensino superior utilizando algoritmos genéticos. In *Anais do IV SIRC/RS*.
- Holland, J. H. (1992). *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA, USA.
- Pillay, N. e Banzhaf, W. (2010). An informed genetic algorithm for the examination timetabling problem. *Applied Soft Computing*, 10(2):457 – 467.
- Silva, A. B., Betemps, C. M., e Heinen, M. R. (2014). Algoritmos genéticos na obtenção de uma grade de horários com múltiplos cursos para uma instituição de ensino. In *Anais do V Encontro Anual de Tecnologia da Informação (5º EATI)*, p. 239–246.
- Socha, K., Sampels, M., e Manfrin, M. (2003). *Ant Algorithms for the University Course Timetabling Problem with Regard to the State-of-the-Art*. Springer Berlin Heidelberg.
- Sá, M. A. C., Wanner, E. F., e Sarubbi, J. F. M. (2015). Quadro de horários escola: Uso de algoritmo memético para acelerar a convergência do método evolutivo. In *Anais do XLVII SBPO*, p. 1958–1969.