

Escalonador de Horários para o Curso de Ciência da Computação

Juliano Pereira Lima, Rafael Ballottin Martins

Laboratório de Inteligência Aplicada – Escola do Mar Ciência e Tecnologia -
Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI)
Rua Uruguai, 458 - 88302-202 – Itajaí- SC – Brasil

julianogutierrez@hotmail.com, ballottin@univali.br

Abstract. *In each academic period, managers of the majority of educational institutions work out in a manual and strenuous manner, the schedules of courses offered, trying to meet all the availability restrictions of the involved. In the scientific literature, this problem is called Timetabling, has a combinatorial character, and is mostly defined as belonging to the class of NP problems (for nondeterministic polynomial time). Through analysis of results obtained by heuristics applied in correlated works, a scheduler was developed for a course of computer science using the Tabu Search metaheuristic.*

Resumo. *Em cada período acadêmico, gestores da maioria das instituições de ensino trabalham de forma manual e extenuante, nos horários dos cursos oferecidos, tentando atender a todas as restrições de disponibilidade dos envolvidos. Na literatura científica, esse problema é denominado Timetabling, tem caráter combinatório e é definido principalmente como pertencente à classe de problemas NP (por tempo polinomial não determinístico). Através da análise dos resultados obtidos por heurísticas aplicadas em trabalhos correlatos, foi desenvolvido um escalonador para um curso de Ciência da Computação utilizando a metaheurística Busca Tabu.*

1. Introdução

A confecção da grade de horários por partes de instituições de ensino é periódica e imprescindível, mas frequentemente é de difícil realização. Chefes de departamento, coordenadores de curso, e até professores dedicam muito de seu tempo de trabalho, buscando manualmente disposições de horários de aulas das disciplinas ofertadas que satisfaçam as restrições de disponibilidade de seus respectivos professores [Vieira e Macedo 2011].

Esse problema é denominado *Timetabling* na literatura, é de caráter combinatório complexo, e tem sido objeto de pesquisa desde o final da década de 1950. A estrutura de grades de horários e suas especificidades variam entre países, devido a diferenças entre os sistemas educacionais e projetos pedagógicos aplicados pelas instituições de ensino [Alvarez-Valdez, Crespo e Tamarit 2002].

Pelo fato de cada instituição de ensino possuir particularidades em relação a forma de aplicação de seus respectivos projetos pedagógicos, o emprego e implementação de softwares genéricos para alocação de horários de aula no âmbito universitário se torna pouco praticável [Martins 2010].

Metaheurísticas são uma classe de heurísticas mais recentes, que possuem como diferencial ferramentas que reduzem o risco de paradas prematuras em espaços de soluções longe do melhor possível [Bittencourt 2010]. Esse diferencial é obtido através da geração de novas soluções de partida, permitindo assim que a busca aconteça de forma inteligente e tendenciosa, e não de forma aleatória.

De forma geral, uma metaheurística pode ser vista como uma estrutura algorítmica que objetiva principalmente evitar as desvantagens da melhoria iterativa, ou seja, evitar com que a solução fique presa em uma solução ótima local [Stützle 1999]. O uso de metaheurísticas têm aumentado significativamente a capacidade em encontrar soluções de alta qualidade para problemas de otimização combinatória, em tempo [Dorigo e Stützle 2010].

Neste contexto, o presente trabalho desenvolveu um escalonador de horários de aula, vislumbrando a diminuição dos esforços empregados na elaboração da programação de aulas do curso de Ciência da Computação da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI). Para isso foi utilizada a metaheurística Busca Tabu.

2. Busca Tabu

Dentro das metaheurísticas, se destaca a Busca Tabu, desenvolvida por Fred Glover em 1986. A técnica utiliza uma estrutura de memória para guiar a busca e continuar a exploração do espaço de soluções, evitando a formação de ciclos e o retorno a um ótimo local previamente visitado [Terra e Radaelli 2007].

A Busca Tabu é uma abordagem algorítmica poderosa que tem sido aplicada com muito sucesso a diferentes problemas combinatórios. Em diferentes trabalhos abordados que a Busca Tabu foi utilizada, foi ressaltada a capacidade de lidar com um conjunto de restrições complexas [Gomes 2009].

Utilizando o conceito de vizinhança, o algoritmo parte de uma solução inicial, movendo-se para a melhor solução da vizinhança a cada interação, não permitindo movimentos a soluções visitadas recentemente [Sequeira 2015]. De acordo com Glover e Laguna (1997) o uso da estrutura de memória da Lista Tabu é baseado em quatro conceitos principais:

- Memória por Recência - Guarda os atributos que mudaram em um passado recente. O principal objetivo é evitar ciclos, através da manutenção por um determinado tempo dos registros dos atributos dos caminhos já percorridos pelo algoritmo;
- Memória por Frequência - Armazena a frequência que determinadas características aparecem na solução, fazendo com que o algoritmo não visite caminhos que apresentem estas características;
- Memória por Qualidade - Serve como base de aprendizado de qualidade de soluções geradas. Através de incentivos, que são fornecidos a ações que geram boas soluções, enquanto penalidades são atribuídas às soluções ruins. Pode ser usada também para identificar elementos comuns em boas soluções;
- Memória por Influência - Considera o impacto em qualidade e eficiência que determinada característica tem sobre uma solução durante a busca.

Geralmente o uso da memória baseada em frequência é associado à criação de penalidades ou incentivos para modificar a avaliação dos movimentos, gerando uma diversificação maior de soluções [Simas 2007]. Em geral, tamanhos pequenos da lista Tabu permitem a exploração de soluções perto dos ótimos locais, enquanto uma lista de tamanho grande obriga a busca a se distanciar de ótimos locais [Simas 2007].

A Busca Tabu tem por base três princípios o uso de estruturas de dados tipo Fila (Lista Tabu) para manutenção do histórico de evolução da busca, o uso de mecanismo de controle para fazer um balanceamento entre aceitação ou não de uma nova solução e a incorporação de procedimentos que alternam as estratégias de diversificação e intensificação [Viana 1998]. A Figura 1 ilustra a interação entre esses componentes.

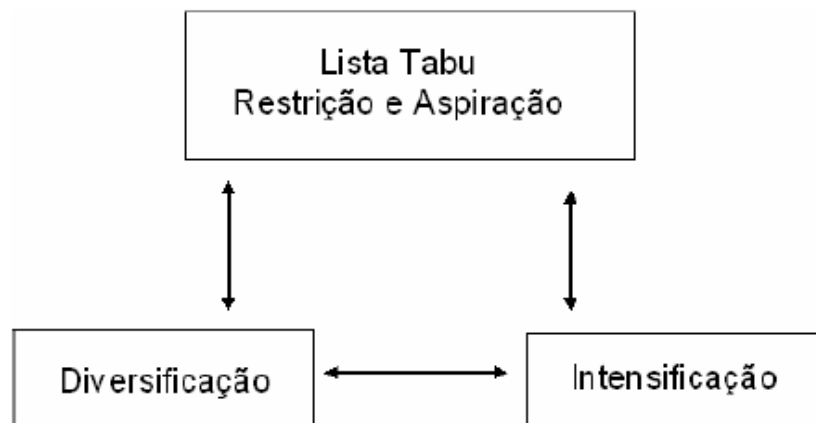


Figura 1. Componentes da Estratégia da Busca Tabu

Fonte: Viana (1998).

O número de vizinhos N é determinado de acordo com o quanto se deseja expandir a busca dentro do espaço de solução. A geração de vizinhos e escolha da qualidade são entradas fornecidas pelo usuário, aplicando transformações a uma determinada solução e criando um ponto no espaço de busca.

A busca por melhores soluções se dá através de verificação de qualidade da solução encontrada na vizinhança em relação a melhor solução até o momento, desde que não esteja contida na lista Tabu. Como critério de parada para refinamento da solução, é adotada a condição de que a solução ideal seja encontrada ou o tempo máximo de execução especificado esteja esgotado.

O fluxograma disposto na Figura 2 mostra o fluxo de execução da Busca Tabu, abordando desde a solução inicial gerada até avaliação da solução corrente de acordo com critério de parada aplicado.

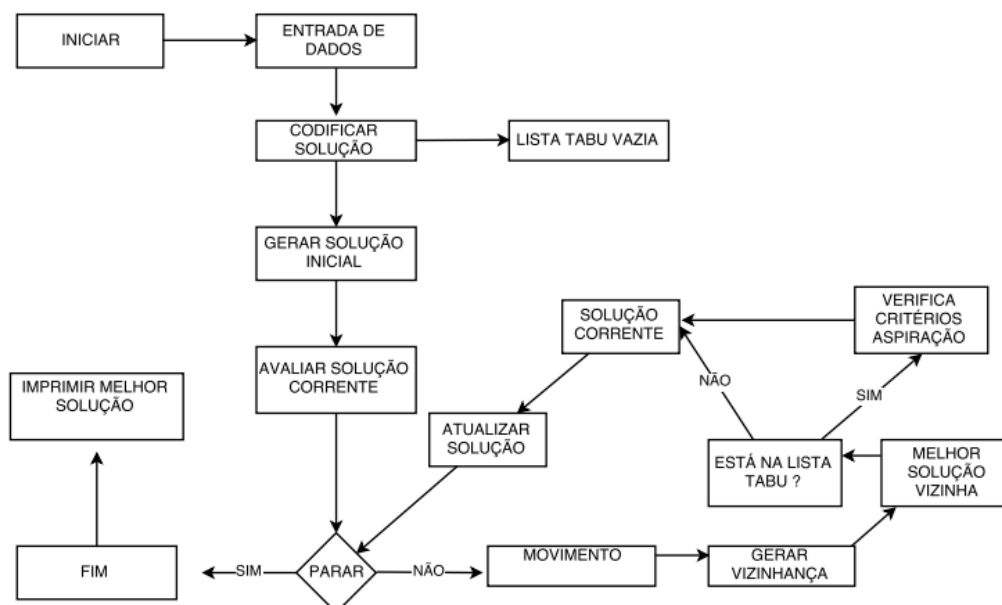


Figura 2. Fluxograma de execução da Busca Tabu

3. Modelagem do problema

As aulas são ministradas no período noturno, comumente de segunda a sexta, das 19:00h às 22:30h. As disciplinas contidas no curso apresentam as cargas horárias semestrais de 32, 36, 72, 108, 144 e 288.

O curso avaliado prevê em seu projeto pedagógico a oferta de 44 disciplinas ao longo de 10 períodos letivos, e é composto por 31 docentes, que também ministram aulas em outros cursos da universidade. Parte dos docentes também exercem atividades de pesquisa científica na universidade ou em outras instituições de ensino, além de atividades administrativas ou em segmentos da iniciativa privada.

As restrições que o escalonador deve atender foram levantadas em entrevista com a coordenação do curso, sendo as restrições fortes elencadas:

- Professores não podem ser alocados para ministrarem duas ou mais disciplinas no mesmo horário;
- Disciplinas de até 36 horas de carga semestral devem ter datas alocadas ao longo do semestre em um único dia da semana;
- Professores não podem ter horário agendado para lecionar disciplinas fora de seu horário cadastrado;
- Professores não podem ter horário agendado para lecionar disciplinas em dias em que não é desejável para os mesmos ministrarem aulas.

As restrições fracas devem sempre que possível, serem satisfeitas para melhorar a qualidade da grade de horários geradas. As restrições fracas levantadas foram as seguintes:

- Um conjunto de disciplinas podem ser definidas para serem ministradas no mesmo dia;
- Um conjunto de disciplinas de períodos diferentes podem ser definidas para não serem ministradas no mesmo horário;
- É preferível que disciplinas de 108 horas de carga horária semestral, tenham sua carga horária distribuída em no máximo dois dias na semana ao longo do semestre;
- É desejável para a coordenação do curso que seja possível definir um dia na semana ao longo do semestre letivo em que uma determinada disciplina não seja ministrada.

Para implementação do escalonador, foi definida uma função de avaliação que deve ser minimizada. Avaliando a qualidade de cada solução de grade de horário gerada, servindo como parâmetro para guiar a heurística por todo o espaço de busca da solução.

Essa função é decomposta entre o número de restrições fortes quebradas multiplicada por um peso relativo a restrições fortes, e entre o número de restrições fracas quebradas e multiplicadas por um peso relativo a restrições fracas. Quanto mais próximo ao valor da função de avaliação estiver de 0, maior é a qualidade da solução obtida em relação ao cumprimento de restrições fortes e fracas.

4. Geração da Solução Inicial

A solução inicial é gerada utilizando as disponibilidades de professores cadastradas anteriormente, já relacionado todas as disciplinas que cada qual lecionará em cada período letivo. Nesta etapa não é considerada nenhum tipo de restrição, podendo ser

alocada para um conjunto de disciplinas o mesmo horário de aula para seu respectivo professor titular.

Cada professor pode lecionar uma ou mais disciplinas, sendo que no processo de alocação de horário de determinada disciplina, são inseridos apenas horários disponíveis já cadastrados previamente do mesmo. São alocadas todas as disciplinas que serão consideradas na geração da grade de horário. Cada solução tem um coeficiente de qualidade, que é um valor inteiro inicializado com zero. O coeficiente de qualidade de uma solução é dado pela equação 1:

$$C(S) = (nH * pH) + (nW * pW) \quad (1)$$

Nh é o número de restrições fortes quebradas e seu respectivo valor atribuído de penalidade é pH . Nw é o número de restrições fracas quebradas e seu respectivo peso atribuído de penalidade é pW .

5. Aplicação da Busca Tabu

Após a geração da solução inicial, a solução é refinada pelo algoritmo da Busca Tabu, gerando soluções vizinhas a cada iteração na busca no espaço de solução. O número de vizinhos é variável, de forma a ter um valor que contemple tempo de execução aceitável e qualidade satisfatória. Para geração de cada solução vizinha, é alterada uma disponibilidade de horário para disciplinas alocada.

A cada iteração da busca Tabu, é explorada o melhor vizinho não contido na lista Tabu. A função de aspiração implementada só permite um movimento Tabu se o movimento for de melhor qualidade que o movimento atual da iteração. Nas situações em que todas as soluções vizinhas são Tabu, o movimento Tabu mais antigo é retirado da lista.

A condição de parada de execução se dá ao atingir um determinado número de iterações sem encontrar melhor solução, valor esse definido via parâmetro, ou o coeficiente de qualidade da solução ser igual a zero, não restringindo assim qualquer restrição forte ou fraca.

A equação 2 representa matematicamente o comportamento adotado pela função de avaliação, na qual é decomposta em duas partes, sendo a primeira $H(s)$ apresentada na equação 3, e a segunda $W(s)$, apresentada na equação 4, referente ao não atendimento das restrições fracas.

$$f(S) = H(s) + W(s) \quad (2)$$

Sendo $H(S)$ dada por:

$$H(S) = M \sum_{i=H1}^{H5} h_i(S) \quad (3)$$

E $W(S)$ por:

$$W(S) = N \sum_{j=W1}^{W5} w_j(S) \quad (4)$$

Onde:

h_i e w_j , são o número de vezes que as restrição fortes $i \in H\{1..4\}$ e as restrições fracas $j \in W\{1..4\}$ não são atendidas na solução S . M é um parâmetro de penalidade associado ao não atendimento das restrições fortes e N é um parâmetro de penalidade associado ao não atendimento das restrições fracas.

6. Experimentos e Análise dos Resultados

Para os experimentos foram utilizadas 3 instâncias de conjuntos de dados, sendo uma com dados de disponibilidade e titularidades de disciplinas reais do corpo docente de um curso de Ciência da Computação, totalizando 43 disciplinas. As demais instâncias utilizadas para testes são dados fictícios, com configurações de número de disciplinas e disponibilidades de horários variadas. Na segunda instância foram consideradas 47 disciplinas e uma maior variedade de disponibilidades de horário do corpo docente. Na terceira instância de testes foram consideradas 48 disciplinas, na qual as atribuições de aulas do corpo docente foram maiores, havendo mais disciplinas ministradas por determinados professores.

A Tabela 1 apresenta o número de disciplinas, número de professores e número de disponibilidades possíveis de horário para cada instância de teste.

Tabela 1 - Parâmetros utilizados nas instâncias de teste

Instância	Número de Disciplinas	Número de Professores	Número de Disponibilidades Possíveis de Horário
1	43	26	48
2	47	28	62
3	48	29	56

O escalonador foi executado 10 vezes para cada instância de testes. Foram investigados quais os fatores são determinantes para melhor configuração do escalonador, assim como quais relações foram observadas nas instâncias de testes que possam ter impactado o desempenho. Os parâmetros utilizados na execução da Busca Tabu nos testes documentados estão dispostos na Tabela 2.

Tabela 2 - Configurações utilizadas no algoritmo da Busca Tabu

Parâmetro	Valor
Número Máximo de Iterações Sem Melhorar da Solução	5000
Tamanho da Lista Tabu	150
Peso das Restrições Fortes	1000
Peso das Restrições Fracas	10

O principal obstáculo identificado para soluções de qualidade observado na execução da instância de dados reais foi a situação de disponibilidade de professores que ministram em períodos letivos distintos uma disciplina de carga horária de 90 horas semestrais, que obrigatoriamente é dividida em pelo menos 2 dias, e uma disciplina de carga horária de 60 horas semestrais.

Essa situação foi a de principal quebra de restrições fortes, observada ao longo dos testes. Nas demais instâncias de teste fictícias, em que foram removidas essas situações, foi ratificado que foi o principal fator de impacto para quebra de restrições fortes e fracas, assim como no tempo de execução.

A Tabela 3 apresenta os tempos de execução para cada instância de teste. Foi observado que o tempo de execução variou principalmente em razão número de soluções vizinhas alocadas e das situações de disciplinas de carga horária maior que 60 horas.

Tabela 3 - Tempo médio de execução dos testes

Instância	Número de Disciplinas	Número de Soluções Vizinhas	Tempo (s)
1	43	215	5,49
		430	50,12
		860	111,2
2	47	235	7,38
		470	61,8
		940	114,43
3	48	240	19,46
		480	390,36
		960	784,51

A qualidade é o coeficiente de cumprimento das restrições fortes e fracas quebradas resultante da função de avaliação, sendo que o valor ideal é o mais próximo de zero. A qualidade das soluções geradas variou em razão do valor da vizinhança, e das configurações de disponibilidade para as disciplinas. A Tabela 4 elenca as restrições fortes e fracas violadas no processo de geração de solução inicial, assim como no processo de refinamento da Busca Tabu para cada instância de teste, com valores relativos aos obtidos da média de dez execuções do escalonador para cada instância de teste.

Todas as restrições fortes foram consideradas nas instâncias de teste, e a restrição fraca aplicada foi que seria desejável que um conjunto de disciplinas de períodos diferentes não fossem alocadas no mesmo dia da semana no período letivo. Na instância 1, de dados reais, na configuração de 860 vizinhos, todas as restrições foram atendidas, atingindo coeficiente de qualidade igual a 2, quebrando em média duas restrições fracas, assim como na instância 2.

Tabela 4 - Média do não atendimento das Restrições Fortes e Fracas

Instância	Tamanho Vizinhança	Solução Inicial		Solução Final	
		Restrições Fortes	Restrições Fracas	Restrições Fortes	Restrições Fracas
1	215	53,4	5,2	1,5	2,5
	430	52,5	4,5	0	2,5
	860	52,5	5,5	0	2
2	235	76,5	9,5	2	5,5
	470	74,2	9,4	1,5	4,7
	940	79,8	9,5	0	2
3	240	95,3	9,7	4	7,5
	480	97,5	8,5	3,7	5,4
	960	95,2	9,3	2	3,5

A qualidade das soluções obtidas resultou em grades de horário de utilização prática para a coordenação do curso avaliado, na configuração de 860 vizinhos. Percebeu-se uma proporcionalidade entre número de soluções vizinhas, qualidade de solução gerada e maior tempo de execução. Para valores de vizinha maior, a solução apresentou maiores valores de quebra de restrição e tempo de execução significativamente maior.

O gráfico disposto na Figura 3 apresenta o número de restrições quebradas em relação ao número de interações necessárias até o escalonador atingir a condição de

parada, na instância de dados reais, na configuração de 860 vizinhos, na qual nenhuma restrição forte ou fraca foi quebrada. A cada iteração em que é encontrada uma determinada solução de coeficiente de qualidade mais baixo, o número de iterações sem melhora é zerado. Os dados de qualidade da execução evidenciada no gráfico da Figura 3 foram obtidos com um total de 5847 execuções da Busca Tabu.

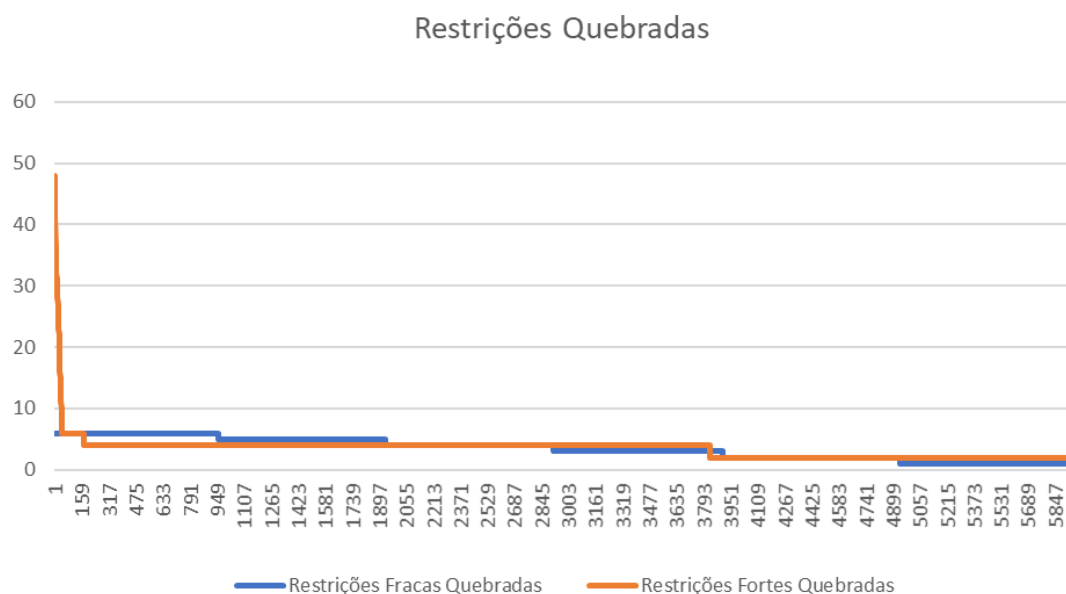


Figura 3. Restrições Fortes e Fracas Quebradas x Número de Interações

7. Conclusões e Trabalhos Futuros

Os resultados obtidos pela execução do escalonador para as instâncias 1 e 2 com 860 e 940 soluções vizinhas respectivamente atenderam todas as restrições fortes e em média quebrou 2 restrições fracas. Foi evidenciada através dos experimentos a relação existente entre número de vizinhança, qualidade de solução gerada e tempo de execução.

Foi observado também que a situação em que um professor leciona mais de uma disciplina de carga horária maior ou igual a 60 horas semestrais se torna um empecilho para soluções de qualidade, apresentando muitas quebras de restrições fortes e fracas, assim como demanda tempo de execução maior. Esse comportamento observado nas execuções do escalonador elucida pontos importantes a serem considerados em trabalhos do contexto de otimização combinatória que visam utilizar a busca Tabu, de forma que a documentação dos resultados possibilite maior acurácia da escolha da técnica para resolução de problemas similares.

O escalonador desenvolvido gerou soluções aplicáveis com tempos de execução aceitáveis para a coordenação do curso de Ciência da Computação, dando a possibilidade real de alocação de horários de aulas com grande aderência aos interesses do corpo docente, otimizando atividades internas e externas à instituição de ensino. O trabalho identificou também que fatores de configuração na execução da busca tabu e na distribuição de disciplinas entre os docentes do curso de Ciência da Computação impactam na geração de melhores resultados por parte do escalonador, nos quais sua documentação contribuí para desenvolvimento de sistemas que automatizem e aprimorem as atividades de instituições de ensino.

Para trabalhos futuros sugere-se o desenvolvimento ou aplicação de uma heurística existente que melhore o processo de geração da solução inicial, para melhor

refinamento posterior por parte da busca tabu. Propõe-se também a utilização de funcionalidades de programação paralela na execução da função de avaliação, para aumento de desempenho computacional. Por último, aponta-se a possibilidade do aprimoramento do escalonador para utilização da alocação das aulas de professores do curso de Ciência da Computação em outros cursos.

Referências

- Alvarez-Valdes, R., Crespo, E., Tamarit, J.M. Design and implementation of a course scheduling system using Tabu Search. In: *European Journal of Operational Research* 137, pages 512–523, 2012
- Bittencourt, G. C. de., *Modelagem e Implementação de um Sistema Computacional para a Solução de um Problema de Roteamento de Veículos (PRV) com o Uso da Metaheurística Busca Dispersa (Scatter Search)*, 50f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2010.
- Dorigo, M.; Stützle, T. Ant colony optimization: Overview and recent advances. In *Handbook of metaheuristics*, Gendreau, M.; Potvin, J.-Y., Eds.; Springer US: New York, NY, USA, 2010; Vol. 146, pp 227–263.
- Glover, F., Laguna, M. *Tabu Search*, Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA, 1997.
- Gomes, A. *Uma Introdução à Busca Tabu*. Departamento de Ciências da Computação, Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2009.
- Martins, J. P. *O problema do agendamento semanal*. 83 f. Dissertação (Mestrado em Computação) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010.
- Sequeira, M. *Busca tabu para alocação de salas e professores*. 61 f. Trabalho Técnico-científico de Conclusão (Graduação em Ciência da Computação) - Centro de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2015.
- Simas, E. P. L. *Utilizando a busca tabu na resolução do problema de roteamento de veículos*. 144 f. Dissertação (Mestrado em Computação Aplicada) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. 2007.
- Stützle, T. *Local Search Algorithms for Combinatorial Problems: Analysis, Improvements, and New Applications*, In *DISKI*. Infix, Sankt Augustin, Germany, 1999; Vol. 220.
- Terra, I. P., Radaelli, J. L. *Utilização dos métodos de otimização em problemas de timetabling*. In *Principium Online: Iniciação Científica no Unileste-MG*, Coronel Fabriciano, 2007; v. 1.
- Viana, V. *Meta-heurísticas e programação paralela em otimização combinatória*. UFC Edições (EUFCE), Fortaleza, CE, 1998.
- Vieira, F., Macedo, H. *Sistema de alocação de horários de cursos universitários: um estudo de caso no departamento de computação da Universidade Federal de Sergipe*. *Scientia Plena*, v. 7, n. 3, 2011.