Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, Volume 2, Número 1, 2016

Uma investigação do problema de elaboração de grade horária (timetabling problem)

Verçosa, L. F. V
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil
lfvv.eliane@dsc.upe.br

Loiola, E. M.
Escola Politécnica de Pernambuco
Universidade de Pernambuco
50.720-001 - Recife, Brasil

Resumo *Este trabalho apresenta o problema de elaboração de grade horária (timetabling problem) no contexto do curso de Engenharia de Computação da Universidade de Pernambuco e também a geração de uma solução viável para uma instância do problema. Para tanto, utiliza-se dos conceitos de escalonamento e coloração de grafos que são amplamente discutidos e exemplificados.*

Abstract *This work show the timetabling problem in the contexts of Computer Engineering course of the University of Pernambuco and even generate na feasible solution for one instance of this problem. For doing that, is used scheduling concepts and graphs coloring that are largely discussed and exemplified.*

1 Introdução

A definição de escalonamento é uma descrição do ordenamento de recursos no tempo ou no espaço, tentando alcançar com sucesso um determinado objetivo e respeitando o conjunto de limitações impostas (Beasley, 1997). O problema de escalonamento está relacionado a inúmeras aplicações nas áreas de planejamento de produção, programação de horário, escala de trabalho entre outros.

O problema de elaboração de grade horária de universidades é uma variação do problema de escalonamento, mais conhecido como *timetabling problem*, cujo principal objetivo é alocar um conjunto de professores a um conjunto de horários e salas satisfazendo as restrições envolvidas. Tais restrições podem ter natureza impeditiva ou não impeditiva. A violação de restrições de natureza impeditiva está relacionada com soluções que são inviáveis, já a violação de restrições não impeditivas está relacionada com soluções que apesar de serem viáveis não são soluções desejadas. Uma solução desejada é aquela que satisfaz todo o conjunto de restrições associadas ao problema.

O caso geral é NP-árduo (Even *et al.* 1976). Na literatura existe uma variedade de técnicas propostas para resolver o *timetabling problem* e suas variações (Schaerf, 1999). Entre elas estão diversas metaheurísticas tais como *tabu search* e algoritmos genéticos (Chu and Fang, 1999; Santos *et al.* 2005). O *timetabling problem* também pode ser visto como um problema de coloração de grafos (Even *et al.* 1976), tornando-se uma abordagem alternativa para o problema.

Esta pesquisa foi aplicada no contexto da Universidade de Pernambuco, usando como estudo de caso a grade horária do curso de Engenharia de Computação.

No curso de Engenharia de Computação e demais cursos da Escola Politécnica da Universidade de Pernambuco (UPE) cabem aos coordenadores, de seus respectivos cursos, as tarefas de estabelecer os horários das disciplinas do curso e distribuí-las entre os professores de acordo com os horários preestabelecidos. O principal objetivo é evitar choques de horários entre professores habilitados e disponíveis, entre outras restrições. Todo esse trabalho é feito de forma manual possuindo assim as desvantagens citadas anteriormente.

2 O problema do Escalonamento

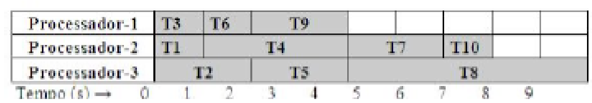
Em Viana (1996) encontramos a definição matemática a seguir para o problema de escalonamento.

Dado um conjunto de n de tarefas independentes com tempos de duração $t_1, t_2, \ldots, t_n$, onde ti é o tempo de execução da tarefa i, e um conjunto de m processadores idênticos, inicialmente ociosos, que funcionam em paralelo. Distribuir (escalonar) as n tarefas pelos m processadores de forma a minimizar o tempo de execução, considerando que cada tarefa será executada uma única vez em um dos processadores. Ou seja:

$$\min Z \geq \sum_{i-j}^{n} t_i x_{ij}, j \in \{1,\ldots,m\} \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, i \in \{1,\ldots n\} \qquad \forall i, j \text{ , e } x_{ij} \in \{0,1\} \quad (1.2)$$

A expressão (1.2) nos mostra a restrição de que cada tarefa só é executada uma única vez em algum dos processadores unicamente. No entanto, observa-se que um processador poderá executar diversas tarefas. Já a expressão (1.1) nos mostra que deseja-se minimizar z, ou seja, minimizar o tempo total de execução das tarefas em cada processador. As Figuras 1 e 2 apresentam um exemplo retirado de Viana (1996), neste exemplo podemos observar uma lista de tarefas antes e após seu escalonamento.



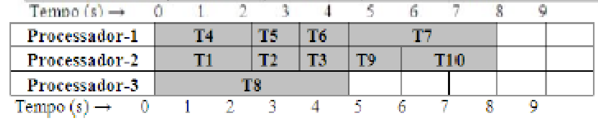


Fig 1. Distribuição de tarefas antes do escalonamento.

Fig 2. Distribuição de tarefas após escalonamento.

3 O problema de Elaboração de Grade Horária

O problema de elaboração de grade-horária trata-se de uma variação do problema de escalonamento, onde é preciso escalonar uma quantidade de professores (unidades de processamento) para uma quantidade de aulas (tarefas) de maneira que sejam satisfeitas certas restrições pedagógicas e administrativas. Souza *et al.* (2000) definem o problema e abordam um método de resolução heurístico que melhora resultados existentes na literatura e Souza *et al.* (2001) tratam de novos procedimentos para melhoria das soluções encontradas no trabalho anterior. O procedimento definido em Souza *et al.* (2000) consiste basicamente em diminuir o somatório da função objetivo de cada professor respeitando à restrições (administrativas e pedagógicas). Essa função mede essencialmente a qualidade do horário de cada professor levando em conta fatores de maior ou menor peso sendo dada por:

$$f\,o = \sum_{i=1}^{m} f\,q = \sum_{i=1}^{m} \alpha_i * b_i + \beta_i * v_i \qquad (1.3)$$

Onde:

$f\ o$ = somatório das funções objetivos dos professores;

f_i^o = função objetivo do professor i;

b_i = horário ocioso entre dois horários de aula de um mesmo professor (buracos);

v_i = número de dias em que um professor está envolvido em alguma atividade;

α_i e β_i = pesos que refletem a importância relativa de b_i e v_i;

m = quantidade de professores;

O exemplo abaixo retirado de Souza *et al.* (2000) nos esclarece o objetivo do procedimento proposto, veremos que não será necessário descrever as restrições para entendimento do exemplo. A Tabela 1 mostra o fragmento do quadro Q_i de horários de professores. Cada linha *i* representa um professor (*i = t1, t2, t3, t4*) e cada coluna *k* um horário (*k = h1, h2, h3, h4, h5*) de um dia da semana. Cada par (*i*, *k*) da tabela representa a atividade do professor *i* no horário *k,* cada uma dessas atividades equivale a um encontro m_{ij} onde *i* representa um professor e *j* uma turma. *c1, c2, c3* e *c4* são turmas. Um traço (-) significa indisponibilidade do professor, enquanto uma célula vazia indica que não há atividade no horário. A coluna f_i^o indica o valor da função objetivo de cada professor, expressa em (1.3), com α_i = 1 e β_i = 0.

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	fo_i
t_1	c_1		c_2	c_2		1
t_2	c_2			c_1	c_1	2
t_3		c_2	c_1	c_3	c_2	0
t_4	c_3	c_1	c_3	c_4	-	0

Fig 3. Quadro Q_1.

Por exemplo, a função *fo*1 = 1 indica que há um intervalo vazio entre dois horários do professor *t1* e assim por diante. Temos então que $f\ (Q_1) = 1 + 2 + 0 + 0 = 3$. Para melhorar essa função objetivo o procedimento associa um grafo para cada turma e por meio da manipulação de ciclos de custo negativo melhora a função objetivo. Dessa forma, após a aplicação do procedimento, obtemos a Figura 4, onde destacamos as mudanças de escalonamento.

	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	fo_i
t_1			c_2	c_2	c_1	0
t_2	c_2		c_1	c_1		1
t_3	c_1	c_2		c_3	c_2	1
t_4	c_3	c_1	c_3	c_4	-	0

Fig 4. Quadro $Q_1^{'}$ com melhoria da função objetivo.

A manipulação de ciclos de custo negativo possui basicamente o seguinte entendimento: a mudança no horário da aula de uma turma implica numa reação em cadeia, ocasionando outras mudanças a serem realizadas na turma de maneira que o horário liberado pela primeira modificação seja ocupado por outro professor fechando assim um ciclo. Isso pode ser observado com a mudança do horário da aula da Turma *c1* de *h1* para *h5* que implicou na seguinte seqüência de mudanças: (*c1, t1*) $h_1 \rightarrow h_5$ $\rightarrow$ (*c1*, *t2*) $h_5 \rightarrow h_3$ $\rightarrow$ (*c1*, *t3*) $h_3 \rightarrow h_1$. Esse mesmo procedimento é realizado para cada turma.

Outro algoritmo que consiste na transferência de um professor de uma turma para outra em um mesmo horário é encontrado em (Souza *et al.*, 2001). Neste algoritmo, uma solução inicial é gerada por um procedimento construtivo parcialmente guloso, sendo seguido de uma busca tabu como procedimento de busca local. Quando é gerada uma solução sem sobreposições, mas com algum outro tipo de inviabilidade, aciona-se um procedimento para tentar recuperar a viabilidade. Sendo bem sucedido, ele é novamente acionado agora para tentar melhorar a agenda dos professores. Após um número de iterações sem melhorias, todo o processo (fase construtiva e busca local) é repetido até que uma condição de parada seja satisfeita. O algoritmo proposto em (Souza *et al.*, 2001) é uma melhoria do algoritmo proposto em (Souza *et al.*, 2000).

4 Definição do Grafo do Timetabling Problem

Existem diversos tipos de coloração para os grafos, tais como: coloração de vértices, de arestas, e total. Nosso problema aborda a coloração de vértices. A seguir serão apresentados algumas definições de grafos extraídos de Friedmann *et al.* (2010) importantes para essa pesquisa.

Definição 1. Coloração própria de *G* é uma atribuição de cores aos elementos do grafo, sejam vértices, arestas ou ambos, de tal forma que elementos adjacentes recebem cores distintas.

Definição 2. Uma *t*-coloração de *G* é uma coloração com *t* cores que são capazes de colorir um grafo (não necessariamente o menor conjunto de cores).

Tem-se então a definição matemática para a coloração de vértices dada a seguir.

Segundo Neufeld *et al.* (1974) o problema de grade-horária (professor-turma) é definido como a seguir: um conjunto de professores $T = \{t_i\}$ com i = 1,..., α; um conjunto de turmas $C = \{c_j\}$ com $j = 1, \dots, \beta$; um conjunto de horários $H = \{H_k\}$ com $k = 1, \dots, t$. O produto cartesiano $\alpha\ x\ \beta$ é representado pela matriz $R = [\ r_{ij}\ ]$, onde $r_{ij} \geq 0$. O valor r_{ij} é igual ao número de horários que o professor t_i encontra a turma c_j . O problema de grade-horária deve satisfazer certas condições pré-estabelecidas. Essas condições são restrições de indisponibilidade e encontros pré-estabelecidos. Seja n, $1 \leq n \leq rij$, o enésimo encontro entre o professor t_ie a turma c_j

representado por m_{ij}^n. $M_{ij}^n = \{M_{ij}^1, \dots, M_{ij}^{r_{ij}^n}\}$ representa todos os encontros r_{ij} .

Seja $M_j = \bigcup_{i=1}^{\alpha} r_{ij}$ então M_j representa os encontros da turma c_j com todos os professores $t_i \in T$.

Qualquer solução para o problema de grade horária descreve todos os horários r_{ij} em que cada encontro m_{ij}^n das turmas c_j = *1,...,β* com os professores t_i = *1,...,* α devem acontecer.

Seja *G* um grafo com um conjunto de vértices *V* e um conjunto de arestas não direcionadas *E*. Define-se *V* tal que seus vértices v∈V possuem uma correspondência um-para-um com os encontros M_{ij}^n.

Assim, cada vértice será representado por v_{ij}^n onde *i* representa a turma, *j* o professor e *n* o enésimo encontro entre os dois. v_{ij} corresponderá a M_{ij} e V_j corresponderá a M_j.

Define-se por fim o conjunto de arestas *E* do grafo *G* como $E = E^1 \cup E^2$ onde $E^1 = \bigcup_{j=1}^{\beta} E_j$, com $E_j = \{(v, v') | v, v' \in V_j, v \neq v'\}$ e $E^2 = \bigcup_{i=1}^{\alpha} E_{ijj}$, onde $E_{ijj} = \{(v, v') | v \in V_{ij},\ v' \in V_{ij}\}$ para todo $j \neq j'$ com r_{ij}, $r_{ij}{}'$ > 0 e $E_{ijj'} = \emptyset$ caso contrário.

Assim, nota-se que o conjunto E^1 especifica que todos os vértices de uma mesma turma, $v \in V_j$, estarão interconectados, assim como E^2 nos diz que todos os vértices de turmas diferentes (*j* e *j'*), mas que possuem o mesmo professor *i* também serão interconectados. Para facilitar a compreensão, criamos um exemplo básico dado para os conjuntos dados a seguir:

$$T = \{t_1, t_2, t_3\}$$
$$C = \{c_1, c_2\}$$
$$H = \{h_1, h_2, h_3, h_4, h_5\}$$
$$M_1 = \{m_{11}^1, m_{11}^2, m_{21}^1, m_{21}^2, m_{31}^1\}$$
$$M_2 = \{m_{12}^1, m_{12}^2, m_{22}^1, m_{22}^2, m_{32}^1\}$$

Para cada M_{ij}^n haverá um vértice v_{ij}^n correspondente. Desta forma, obtém-se o grafo a seguir.

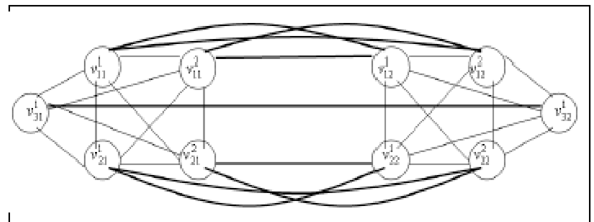


Fig 5. Grafo de grade-horária.

A Figura 1 permite visualizar e compreender melhor o problema. As arestas do subconjunto E^2 estão em negrito para melhorar a visualização por meio da distinção entre as arestas do subconjunto E^1 e as arestas do subconjunto E^2.

5 Coloração do Grafo do Timetabling

Para efetuar a coloração, as restrições são gradativamente inseridas. Primeiro se estabelece uma relação do problema de coloração com um problema de grade-horária sem qualquer tipo de restrição.

Seja $L = l_1,\ l_2, \dots, l$ suponha que os horários h_1, $h_2, \dots, h_t \in H$ correspondem respectivamente às cores = $l_1, l_2, \dots, l_t$. A atribuição do horário h_k a um encontro m_{ij}^n corresponde a atribuição da cor l_k para o vértice v_{ij}^n.

Uma vez que qualquer solução para o problema de grade-horária descreve todos os horários r_{ij}em que cada encontro m_{ij}^n das turmas c_j = *1,...,* β com os professores t_i = *1,...,* α devem acontecer, então a correspondência estabelecida cria uma relação um-para-um entre todas as soluções possíveis para o problema e todas as *t*- olorações possíveis para o grafo correspondente.

Por fim são adicionadas as restrições de indisponibilidade e de encontros pré-estabelecidos. Uma vez que h_k se relaciona com a l_k cor ,dizer que um professor *x* está indisponível em um horário h_k equivale a dizer que todos os vértices do tipo v_{xj}^n não poderão receber a cor l_k. A mesma linha de raciocínio é válida para uma turma *y* indisponível em um horário h_k. Já, dizer que um professor *z* terá um encontro n pré-estabelecido com uma turma w em um horário h_k, significa dizer que o vértice correspondente v_{zj}^{n} será obrigado a receber de antemão a cor l_k. Esta restrição está presente no estudo de caso do projeto, ou seja, na grade horária do curso de Engenharia de Computação da POLI, já que os horários dos professores do ciclo básico são pré-estabelecidos.

Para facilitar a assimilação desses conceitos apresentamos o grafo do exemplo anterior acrescentando-se as seguintes restrições: professor $t3$ está indisponível em $h1$ e $h2$; professor $t1$ precisa encontrar turma $c2$ em $h3$ e $h4$. Iremos utilizar as seguintes cores:

$$h_1 \rightarrow l_1 = \text{vermelho}$$
$$h_2 \rightarrow l_2 = \text{azul claro}$$
$$h_3 \rightarrow l_3 = \text{amarelo}$$
$$h_4 \rightarrow l_4 = \text{verde}$$
$$h_5 \rightarrow l_5 = \text{rosa}$$

Desta forma, temos uma solução viável para coloração do grafo com as restrições dadas:

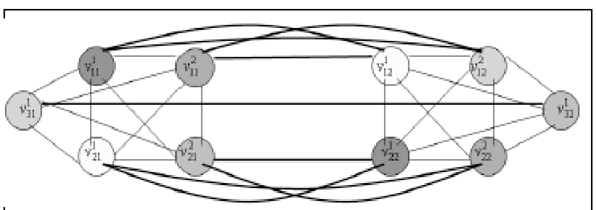


Fig 6. Solução viável para o problema de grade horária.

Observa-se que uma solução viável para o problema pode não ser uma solução ótima.

6 Algoritmo de Coloração

A formulação por grafo para o problema permite atender os requisitos a seguir:

1. Nenhum professor poderá ministrar aulas em mais de uma turma ao mesmo tempo;
2. Nenhuma turma poderá ter aula com mais de um professor ao mesmo tempo;
3. Os professores poderão ministrar aulas somente em seus horários disponíveis;
4. As turmas poderão ter aulas do ciclo profissional somente em horários que não estiverem reservados às disciplinas do ciclo básico.

Assim, o algoritmo de coloração, baseado em Silva et al. (2010), consultará o grafo para satisfazer as restrições 1 e 2, e criará as restrições 3 e 4.

São parâmetros de entrada do algoritmo: o grafo G e um vértice s, o primeiro a ser colorido. O conjunto Y representa o conjunto de vértices não coloridos. O parâmetro horário-cor corresponde (no final da execução do algoritmo) ao resultado da coloração e representa um vetor que possui em cada posição um conjunto de vértices (cada vértice é um encontro n entre um professor e uma turma) os quais receberão a mesma cor (horário).

O algoritmo é mostrado pelo pseudocódigo abaixo, cujos passos são repetidos enquanto houver vértices não coloridos no grafo:

Passo 1. Definir uma nova posição no vetor Horário[cor] (novo horário);

Passo 2. Adicionar em Horário[cor], dentre os vértices não coloridos, aqueles que atendem às restrições do problema;

Passo 3. Incrementar o número de cores.

```
Algoritmo Coloração (G(V, A), s)
   cor ← 1;
   Horário[cor] ← s;
   Y ← V – {s}
   Enquanto Y ≠ { } faça
      Para todo v | v ∈ Y faça
         Se ((Horário[cor] não possui vértice adjacente a v) e
           (professor de v está disponível em cor) e
           (turma de v não possui aula de disciplina do básico) e
           (professor de v não deu aula no dia) então
              Horário[cor] ← v;
              Y ← Y – {v};
         Fim-Se
      Fim-Para
      cor ← cor + 1;
   Fim-Enquanto
   Retorna Horário;
Fim-Algoritmo
```

Fig 7. Algoritmo de Coloração do Grafo do *Timetabling Problem*.

A condição “Se Horário[cor] não possui adjacente” verifica através do grafo se as condições 1 e 2 são satisfeitas. A condição “Se professor está disponível em cor” verifica a condição 3 e por último, a condição “Se turma não possui aula de disciplina do básico” verifica a condição 4. Finalmente a condição “Se professor de v não deu aula no dia” impede que um mesmo professor e uma mesma turma possam se encontrar duas vezes no mesmo dia (cada encontro tem duração de uma hora e cinqüenta minutos).

7 Estudo de Caso do Curso de Engenharia de Computação

Na Escola Politécnica de Pernambuco (núcleo das engenharias da Universidade de Pernambuco), o vice- coordenador Dr. Sérgio Campello é atualmente o responsável por elaborar semestralmente a gradehorária de todas as turmas e professores do curso de Engenharia de Computação. Em entrevista com ele foi possível coletar importantes informações a respeito de como é feito todo o processo. Primeiro, é necessário dois a três dias para montar manualmente todos os horários e em seguida mais três ou quatro dias para fazer mudanças de acordo com as necessidades e preferências dos professores. Assim, temos abaixo uma descrição passo-a-passo de todo o processo:

1º PASSO: Distribuir todas as disciplinas disponíveis para todos os docentes. Nessa distribuição a quantidade de atribuições (administrativas, acadêmicas, etc.) de cada docente e sua disponibilidade são levados em conta para saber quantas disciplinas o professor deverá assumir. Estes fatores podem ser, por exemplo: cargo administrativo (como coordenador, por exemplo), orientação de TCC, aulas no mestrado, etc.

2º PASSO: Para cumprir com o passo acima, um questionário é enviado para o time de docentes. Neste questionário, o docente poderá informar suas disciplinas preferidas e horários disponíveis. Na primeira tabela o docente deverá informar suas restrições de horário e na segunda, suas preferências de horário.

3º PASSO: Após a coleta dos dados, o horário de cada turma e de cada docente é elaborado manualmente. Sendo necessário considerar que os horários das disciplinas do ciclo básico são fixos e não podem sofrer qualquer alteração. Sendo assim, cada horário é elaborado buscando sempre otimizar de modo a atender as necessidades dos professores, ou seja, tentando reduzir a quantidade de dias de trabalho e os "buracos" existentes entre uma aula e outra de cada professor. Minimizar a quantidade de dias de trabalho dos professores é uma das maiores dificuldades, assim como evitar choques de disciplinas para alunos que tenham sido reprovados. Além disso, é preciso levar em conta a quantidade de feriados no semestre em questão. Por exemplo, se em um semestre há muitos feriados na terça, então muitas segundas serão imprensadas, consequentemente, deve-se evitar a alocação de uma mesma disciplina nestes dois dias, caso contrário será difícil repor as aulas perdidas e cumprir a carga horária semestral para a mesma.

4º PASSO: Se necessário o Vice-Coordenador ainda poderá fazer modificações nos horários de turmas e professores de maneira a satisfazer as "restrições de última hora" (não especificadas nos questionários dos professores) e restrições de professores que porventura não preencheram o questionário (nesse caso dar-se-á preferência aos que preencheram o questionário).

8 Resultados

Foram usados a linguagem Java e o ambiente eclipse para implementar os algoritmos e gerar a solução. O estudo de caso foi feito com as seguintes variáveis:

- Utilizou-se a grade-horária elaborada manualmente em 2010.2 para saber as disciplinas lecionadas por cada um dos 19 professores do ciclo profissional.
- Estabeleceu-se que existem apenas três horários para execução de aulas por dia (segunda a sexta): 7:10h às 8:50h, 8:50h às 10:30h e 10:30h às 12:00h.
- Utilizou-se o conjunto de 10 turmas onde cada uma se encontra em um período diferente.
- Não foi incluído no estudo de caso disciplinas lecionadas fora desse conjunto de horários.

Para geração dos resultados foram seguidos os seguintes passos:

Passo 1. Geração do grafo descrito em 3

Passo 2. Coloração do grafo através do algoritmo descrito em 4.1

No Passo 1 são usados três arquivos no formato txt para gerar o grafo definido em Koffman etal. (2008). O arquivo ProfessorHorário especifica os horários indisponíveis dos professores, ProfessorTurma, a quantidade de aulas entre cada par professor-turma e RestriçãoHorárioTurma, os horários das disciplinas do ciclo básico. Assim como pode ser visualizado na Figura 8, o arquivo ProfessorTurma corresponde a uma matriz binária $A = [aij]$ em que o valor $aij = 1$ significa que o professor j está disponível (não tem compromisso pessoal impeditivo) para lecionar no horário i. Analogamente, se $aij = 0$ então professor j estará indisponível. A partir desses arquivos o programa gera internamente o grafo.

```
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1
1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 0 1
1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 0 1 1 0 1 1 1 0 1 0 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 1 1 0 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1
1 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1
1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 0 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
1 1 1 1 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
```

Fig 8. Arquivo ProfessorHorário, colunas representam professores (0 a 18) e linhas representam horários (0 a 15).

Para facilitar a leitura, a Figura 9 mostra o nomes dos professores correspondentes às colunas da matriz ProfessorHorário. A Figura 10 mostra a matriz $B = [bij]$ do arquivo ProfessorTurma, onde o valor bij mostra a quantidade de aulas do professor j para a turma i. Por fim, a Figura 11 mostra o arquivo RestriçãoHorárioTurma onde cada linha possui os horários indisponíveis das turmas de cada período. O caracter '-' indica que a turma da linha correspondente não possui horários indisponíveis. Com essas instâncias foi gerado o grafo do Passo 1. Para execução do Passo 2 escolheu-se primeiramente um vértice inicial de maneira que resulta-se em menor função objetivo (descrita em 3.2). Após isso foram gerados os resultados mostrados nas Figuras 12 e 13.

```
0     Bruno Fernandes
1     Byron Leite
2     Carmelo
3     Daniel Chaves
4     Edison
5     Eliane
6     Fernando Buarque
7     Genésio
8     Gustavo Carvalho
9     Simone Santos
10    José Paulo
11    Luis Menezes
12    Maria Lencastre
```

Fig 9. Relação de professores.

```
0 2 0 0 0 0 1 0 0 0 0 2 0 0 0 1 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
2 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 2 2 2 0 2 0 2 2 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 2 0 2 0 0 0 0 0 0 0 2 0 2 2 2 2 0
0 0 0 0 0 0 2 0 2 0 2 2 0 0 0 2 0 2 1
2 0 2 0 0 2 0 0 2 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0
0 0 0 0 2 0 0 0 2 2 2 2 2 2 0 0 0 0 0
2 0 0 2 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
```

Fig 10. Arquivo ProfessorTurma

```
5 7 10 14
1 2 3 6 7 9 11 13
0 3 4 5 9 11 12 13
0 8 9 10 12 13 14
-
-
-
-
-
-
```

Fig 11. Arquivo RestriçãoHorárioTurma

1º período básico 2010.2 - Eng.da Computação - FERAS

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10	LP-L.Prog.Imper. - Byron	LP-L.Prog.Imper. - Byron	Lógica - Luis Menezes		
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Inf e Sociedade - Fernando Buarque	Lógica - Luis Menezes	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico	
D	9:40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20	Int.Engenharia - Sérgio Murilo	Disciplina do Básico			Disciplina do Básico
F	11:20 - 12:10					

Fig 12. Resultado Grade Horária turma 0 (1º período).

2º período básico 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10	Ling. Prog.O. Obj - Genésio	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico	
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Disciplina do Básico	Ling. Prog.O. Obj - Genésio	Disc. do Básico		Disciplina do Básico
D	9:40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20	Disciplina do Básico			Disciplina do Básico	
F	11:20 - 12:10					

Fig 13. Resultado Grade Horária turma 1 (2º Período).

3º período básico 2010.2-manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico	Est Dados - Byron	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Est Dados - Byron		Alg Aplic Comp - Eliane Loiola		Disciplina do Básico
D	09:40 - 10:30		Disciplina do Básico			
E	10:30 - 11:20	Alg Aplic Comp - Eliane Loiola			Disciplina do Básico	
F	11:20 - 12:10					

Fig 14. Resultado Grade Horária turma 2 (3º Período).

4º período básico 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10	Disciplina do Básico	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	L. Prog Funcio - Bruno Fernandes	Disciplina do Básico	Disciplina do Básico
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	L. Prog Funcio - Bruno Fernandes		Disciplina do Básico	Disciplina do Básico
D	9:40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20			Disciplina do Básico		Disciplina do Básico
F	11:20 - 12:10					

Fig 15. Resultado Grade Horária turma 3 (4º Período).

5º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10	CircComb - Daniel Chaves	Redes 1 - Edison	Tcomp - Eliane Loiola	Tcomp - Eliane Loiola	
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Redes 1 - Edison	CircComb - Daniel Chaves	Met Cientifica - Simone Santos	Met Cientifica - Simone Santos	
D	9:40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20	Eng Soft - Genézio	Eng Soft - Genézio	Eletronica - José Paulo	Eletronica - José Paulo	
F	11:20 - 12:10					

Fig 16. Resultado Grade Horária turma 4 (5º Período).

6º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Sist Comunicacao - Carmelo Bastos	Banc Dados - Maria Lencastre	Sist Comunicacao - Carmelo Bastos	Concorrencia - Sérgio Murilo	Concorrencia - Sérgio Murilo
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Banc Dados - Maria Lencastre	Redes 2 - Edison	Circ Sequ - Sérgio Camp	Ana. Proj. Soft - Denis Silveira	Org Comp - Wellington
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Redes 2 - Edison	Circ Sequ - Sérgio Camp	Ana. Proj. Soft - Denis Silveira	Org Comp - Wellington	

Fig 17. Resultado Grade Horária turma 5 (6º Período).

7º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	IA - Fernando Buarque	IA - Fernando Buarque	Cont Processos - Wellington	Met Formais - Luis Menezes	Cont Processos - Wellington
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Compilad. - Gustavo Carv.	Compilad. - Gustavo Carv.	Met Formais - Luis Menezes	Arquit Comp - Sérgio Murilo	Arquit Comp - Sérgio Murilo
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Sist Operacional - José Paulo	Sist Operacional - José Paulo	Adm - Jurany Travassos		

Fig 18. Resultado Grade Horária turma 6 (7º Período).

8º periodo 2010.2 manhã - Eng. da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Proj BD - Eliane Loiola	PDI - Bruno Fernandes	Sist Info - Simone Santos	Sist Info - Simone Santos		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Comunic Digital1 - Carmelo Bastos	Min de dados - Meuser Valença	PDI - Bruno Fernandes	Proj BD - Eliane Loiola		Form de Empreend - Emanuel Leite
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Proj Comp - Gustavo Carv.	Proj Comp - Gustavo Carv.	Comunic Digital1 - Carmelo Bastos	Min de dados - Meuser Valença		Form de Empreend - Emanuel Leite

Fig 19. Resultado Grade Horária turma 7 (8º Período). Aulas em amarelo não foram contempladas pelo programa.

9º periodo 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Ger Redes Comp - Edison	Eng. de Soft Exp. - Gustavo Carv.	Eng. de Soft Exp. - Gustavo Carv.	Mod. e simula. - Maria Lencastre	Semantica - Luis Carlos	Redes Neurais - Meuser
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Ger Proj - Simone Santos	Prot Circ Int - José Paulo	Prot Circ Int - José Paulo	Semantica - Luis Carlos	Redes Neurais - Meuser	
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Mod. e simula. - Maria Lencastre	Ger Redes Comp - Edison	Ger Proj - Simone Santos			
G H	12:10 - 13:00 13:00 - 13:50	PFC - Sérgio Camp.	PFC - Sérgio Camp.				

Fig 20. Resultado Grade Horária turma 8 (9º Período). Aula em vermelho não recebeu horário viável.

10º período 2010.2 manhã - Eng.da Computação

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50		Apl Eng de Soft - Genezio	Microcontrol. - Daniel Chaves		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Apl Eng de Soft - Genezio				
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Microcontrol. - Daniel Chaves	Visão Comput. - Bruno Fernandes	Visão Comput. - Bruno Fernandes		

Fig 21. Resultado Grade Horária turma 9 (10º Período).

Bruno Fernandes

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50		PDI - Bruno Fernandes	L. Prog Funcio - Bruno Fernandes		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30		L. Prog Funcio - Bruno Fernandes	PDI - Bruno Fernandes		
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10		Visão Comput. - Bruno Fernand.	Visão Comput. - Bruno Fernand.		

Fig 22. Resultado Grade Horária professor 0 (Bruno Fernandes).

Byron

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	LP-L.Prog.Imper. - Byron	LP-L.Prog.Imper. - Byron	Est Dados - Byron		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Est Dados - Byron				
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10					

Fig 23. Resultado Grade Horária professor 1 (Byron).

Carmelo Bastos

h		segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Sist Comunicacao - Carmelo		Sist Comunicacao - Carmelo		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Comunição Digital 1 - Carmelo				
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10			Comunição Digital 1 - Carmelo		

Fig 24. Resultado Grade Horária professor 2 (Carmelo Bastos).

Daniel Chaves

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	CircComb - Daniel Chaves	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	Microcontrol. - Daniel Chaves		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves	CircComb - Daniel Chaves			
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Microcontrol. - Daniel Chaves	Sinais e Sistemas - Daniel Chaves			

Fig 25. Resultado Grade Horária professor 3 (Daniel Chaves).

Edison

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Ger Redes Comp - Edison	Redes 1 - Edison		Redes 1 - Edison	
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Redes 1 - Edison	Redes 2 - Edison		Redes 2 - Edison	
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Redes 2 - Edison	Ger Redes Comp - Edison		Ger Redes Comp - Edison	

Fig 26. Resultado Grade Horária professor 4 (Edison).

Eliane Loiola

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Proj BD - Eliane Loiola		Tcomp - Eliane Loiola	Tcomp - Eliane Loiola	
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30			Alg Aplic Comp - Eliane Loiola	Proj BD - Eliane Loiola	
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Alg Aplic Comp - Eliane Loiola				

Fig 27. Resultado Grade Horária professor 5 (Eliane Loiola).

Fernando Buarque

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	IA - Fernando Buarque	IA - Fernando Buarque			
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Inf e Sociedade - Fernando Buarque				
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10					

Fig 28. Resultado Grade Horária professor 6 (Fernando Buarque).

Genesio

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50	Ling. Prog.O. Obj - Genésio	Apl Eng de Soft - Genezio			
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Apl Eng de Soft - Genezio	Ling. Prog.O. Obj - Genésio			
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Eng Soft - Genézio	Eng Soft - Genézio			

Fig 29. Resultado Grade Horária professor 7 (Genésio).

Gustavo Carvalho

	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A B	07:10 - 08:10 08:00 - 08:50		Eng. de Soft. Exp. - Gustavo Carv.	Eng. de Soft. Exp. - Gustavo Carv.		
C D	08:50 - 09:40 9.40 - 10:30	Compiladores - Gustavo Carvalho	Compiladores - Gustavo Carvalho			
E F	10.30 - 11:20 11.20 - 12:10	Proj Comp - Gustavo Carv.	Proj Comp - Gustavo Carv.			

Fig 30. Resultado Grade Horária professor 8 (Gustavo Carvalho).

Simone						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10			Sist Info - Simone Santos	Sist Info - Simone Santos	
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Ger Proj - Simone Santos		Met Cientifica - Simone Santos	Met Cientifica - Simone Santos	
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20			Ger Proj - Simone Santos		
F	11:20 - 12:10					

Fig 31. Resultado Grade Horária professor 9 (Simone).

José Paulo						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10					
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40		Prot Circ Int - José Paulo	Prot Circ Int - José Paulo		
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20	Sist Operacional - José Paulo	Sist Operacional - José Paulo	Eletronica - José Paulo	Eletronica - José Paulo	
F	11:20 - 12:10					

Fig 32. Resultado Grade Horária professor 10 (José Paulo).

	hora	segunda
A	07:10 - 08:10	
B	08:00 - 08:50	
C	08:50 - 09:40	
D	9.40 - 10:30	
E	10:30 - 11:20	
F	11:20 - 12:10	

Wellington						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10			Cont Processos - Wellington		Cont Proces Wellingto
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40					Org Comp Wellingto
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20				Org Comp - Wellington	
F	11:20 - 12:10					

Fig 33.
Resultado Grade Horária professor 11 (Luis Carlos).

Maria						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10		Banc Dados - Maria Lencastre		Mod. e simula. - Maria Lencastre	
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40	Banc Dados - Maria Lencastre				
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20	Mod. e simula. - Maria Lencastre				
F	11:20 - 12:10					

Fig 34. Resultado Grade Horária professor 12 (Maria Lencastre).

Meuser							
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta	
A	07:10 - 08:10						Redes Neurais - Meuser
B	08:00 - 08:50						
C	08:50 - 09:40		Min de dados - Meuser Valença		Min de dados - Meuser Valença	Redes Neurais - Meuser	
D	9.40 - 10:30						
E	10:30 - 11:20						
F	11:20 - 12:10						

Fig 35. Resultado Grade Horária professor 13 (Mêuser). Aula em vermelho não recebeu horário viável.

Sérgio Campello						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10					
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40			Circ Sequ - Sérgio Camp		
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20		Circ Sequ - Sérgio Camp			
F	11:20 - 12:10					
		PFC - Sérgio Camp	PFC - Sérgio Camp			

Fig 36. Resultado Grade Horária professor 14 (Sérgio Campello). Aulas em amarelo não foram contempladas pelo programa.

Fig 37. Resultado Grade Horária professor 15 (Sérgio Murilo).

Denis						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10					
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40				Ana. Proj. Soft - Denis Silveira	
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20			Ana. Proj. Soft - Denis Silveira		
F	11:20 - 12:10					

Fig 38. Resultado Grade Horária professor 16 (Denis).

Fig 39. Resultado Grade Horária professor 17 (Wellington).

Jurany Travassos						
	hora	segunda	terça	quarta	quinta	sexta
A	07:10 - 08:10					
B	08:00 - 08:50					
C	08:50 - 09:40					
D	9.40 - 10:30					
E	10:30 - 11:20			Administração - Jurany		
F	11:20 - 12:10					

Fig 40. Resultado Grade Horária professor 18 (Jurany Travassos).

As aulas em amarelo não foram alocadas (já estavam presentes no mesmo horário e dia na gradehorária de 2010.2). Uma aula do Professor Mêuser da disciplina de Mineração de Dados não pôde ser alocada com as restrições vigentes.

9 Conclusão

Nota-se que existe uma relação entre o *timetabling problem* e o problema de coloração de grafos. Segundo Neufeld *et al.* (1974) a coloração do grafo gerará soluções possíveis, mas nem sempre viáveis. Por isso que essa coloração será apenas uma etapa de todo um processo para a geração de eficientes soluções para o problema.

A Seção 3 apresenta o procedimento criado por Souza *et al*. (2000) que visa a melhoria de soluções já existentes. Ele está presente na heurística descrita em Souza *et al*. (2001), mas poderia também melhorar resultados obtidos pela coloração de grafos de Neufeld *et al*. (1974). Souza *et al*. (2000) mostra também a importância de um estudo mais aprofundado de Souza *et al.* (2001) e de outras heurísticas existentes.

O programa feito foi limitado, pois gerou apenas uma solução inicial, porém gera soluções que atendem restrições básicas e pode com melhorias futuras gerar uma grade de horário eficiente.

10 Agradecimentos

Ao PIBIC-POLI pela concessão da bolsa.

Referências

[1] BEASLEY D. Why Evolutionary Computation, in Bäck, T., Fogel, D. B. & Michalewicz, Z. Handbook of Evolutionary Computation, Oxford University Press, 1997.

[2] CHU, S. C; FANG, H. L. Genetic Algorithms vs. Tabu Search in Timetable Scheduling.In: KNOWLEDGE-BASED INTELLIGENT INFORMATION ENGINEERING SYSTEMS, Third International Conference, Adelaide, SA, Australia, 1999, pp. 492-495.

[3] EVEN, S., Itai, A. E., Shamir, A. (1976). *On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems*. SIAM Journal of Computing, 5:691-703.

[4] FRIEDMANN, C.V.P., Markenzon, L., Waga, C.F.E. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42., 2010. Rio Grande do Sul. Algoritmos Polinomiais para Colorações Ótimas em Algumas Famílias de Grafos. Saúde Humana, Saúde Animal e Ecossistema. São Paulo.

[5] KOFFMAN E. B; WOLFGANG P. A. T. *Objetos, Abstração, Estrutura de Dados e Projeto Usando JAVA 5.0*. 1st ed. LTC. 2008. 708p.

[6] NEUFELD, G. A; TARTAR J. *Graph Coloring Conditions for the Existence of Solutions to the Timetable Problem*. Communications of the ACM, v. 17, n. 8, p. 450-453,Agosto, 1974.

[7] SCHAERF, A., *A Survey of Automated Timetabling*, Artificial Intelligence Review, No. 13, 1999, pp. 87-127..

[8] SILVA, D. J; SILVA G. C. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL, 42., 2010. Rio Grande do Sul. Heurísticas Baseadas no Algoritmo de Coloração de Grafos para o Problema de Alocação de Salas em uma Instituição de Ensino Superior. Saúde Humana, Saúde Animal e Ecossistema. São Paulo

[9] SOUZA, M. J. F; MACULAN N; OCHI L.S. *Melhorando Quadros de Horário de Escolas através de Caminhos Mínimos.* Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 1, n. 2, p. 515-524, 2000.

[10] SOUZA, M. J. F; MACULAN N; OCHI L.S. Uma Heurística para o Problema de Programação de Horários em Escolas. Tendências em Matemática Aplicada e Computacional, v. 2,n. 1, p. 213-222, 2001.

[11] VIANA, G. V. R. *Meta-heurísticas para Solução de Problemas de Otimização Combinatória.* 1996. 214 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.