

## Uma aplicação de algoritmos genéticos ao problema de *timetabling* A genetic algorithms application to the *timetabling* problem

Alfredo Ricardo de Faria Passos<sup>1</sup>

Elkin Yesid Veslin Díaz<sup>2</sup>

Magda Judith Morales Tavera<sup>3</sup>

Marcelo Neder Machado<sup>4</sup>

Plácido Mateus Jequenesse<sup>5</sup>

**Resumo:** O problema de *timetabling* tem extrema relevância para o planejamento de organizações de uma forma geral, incluindo-se aqui as atividades e eventos acadêmicos. Apesar desta importância, encontrar uma boa solução viável para este problema é uma tarefa difícil dada a complexidade computacional presente nos algoritmos conhecidos capazes de tal feito. Este trabalho aplicou Algoritmos Genéticos na busca de uma configuração desejável para um problema de *timetabling* utilizando os dados referentes às apresentações do Trigésimo Nono Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, encontrado alocações com características de boas soluções para o problema proposto.

**Palavras-chave:** Algoritmos Genéticos; *timetabling*; *crossover*; mutação.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, [alfredorp33@yahoo.com.br](mailto:alfredorp33@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, [elkinyes@hotmail.com](mailto:elkinyes@hotmail.com)

<sup>3</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro, [magditam@gmail.com](mailto:magditam@gmail.com)

<sup>4</sup> MRS Logística S.A., [marceloneder3@hotmail.com](mailto:marceloneder3@hotmail.com)

<sup>5</sup> Universidade Ednuardo Mondlane, [placidomateus@yahoo.com.br](mailto:placidomateus@yahoo.com.br)

**Abstract:** The timetabling problem is extremely important for organizational planning in general, including academic-related activities, such as academic events. Despite this importance, finding a good feasible solution for such problems is a difficult task given the computational complexity present in the known algorithms capable of doing so. This work applied Genetic Algorithms in the search of a desirable configuration for a specific timetabling problem, using data related to the presentations and other activities of the Thirty-ninth Brazilian Symposium on Operational Research (XL SBPO). The solutions found presented expected characteristics of a good solution to the proposed problem.

**Keywords:** Genetic Algorithms; timetabling; crossover; mutation.

## 1. Introdução

O problema da alocação de uma grade horária (*timetabling* de agora em diante) de cursos ou de eventos é central no cotidiano das organizações públicas e privadas; tendo grande relevância também na academia. A importância da elaboração do *timetable* que obedeça a tais prerrogativas, contudo, é algo muito difícil de se tratar: como se verá mais adiante neste trabalho, o problema em questão pertence à classe dos problemas NP-Completo.

Uma alocação eficiente tem que atender a restrições de recursos, instalações, datas e possíveis demandas e mesmo expectativas dos diversos agentes envolvidos nos eventos que se deseja agendar.

O fato de este problema pertencer à classe de problemas NP-Completo, significa que, entre outras coisas que o tempo para se chegar a uma solução ótima para este tipo de problema cresce exponencialmente com o tamanho da instância utilizada.

Devido à importância do problema, diversas formalizações e métodos de solução foram propostos, sendo de particular relevância os métodos baseados em meta-heurísticas. Nesse sentido, o desenvolvimento de soluções baseadas em algoritmos genéticos tem ganhado bastante destaque entre as soluções com meta-heurísticas apresentadas, por questões relativas ao seu alto grau de paralelização computacional e conseqüente melhor desempenho computacional.

## 2. Organização do Estudo

Este artigo está organizado da seguinte forma: na primeira seção se faz uma pequena introdução e considerações iniciais sobre o problema de *timetabling*, se fazendo uma descrição geral do problema, de sua complexidade computacional e suas implicações. A segunda seção trata da organização do artigo e de sua estruturação. A terceira seção apresenta o problema de *timetabling* com algumas de suas características gerais. A quarta seção aborda com detalhes o problema a ser tratado, sua formulação como um problema de otimização combinatória e sua codificação para ser tratado por Algoritmos Genéticos; incluindo considerações sobre os mecanismos de crossover e mutação adotados.

A quinta seção descreve os resultados obtidos e a sexta seção traça as conclusões finais deste trabalho.

## 3. Uma breve revisão do problema de *timetabling*

Os problemas de *timetable* consistem em subconjuntos dos problemas de *scheduling* (e como tais compartilham as mesmas propriedades já citadas no item anterior, inclusive, obviamente suas peculiaridades e complexidade computacional).

De uma forma geral, consistem na preocupação de se obter uma alocação de recursos (professores, alunos/ouvintes e aparelhos didáticos como retroprojetores e *datas-show*); usualmente em salas ou auditórios, para a execução de aulas ou de palestras, de forma a se obedecer a uma série de restrições e se atender de forma ótima uma dada função objetivo (específica do problema).

As restrições envolvidas nesses tipos de problema geralmente são de diversas naturezas:

a) Disponibilidade de recursos materiais: usualmente a disponibilidade de recursos materiais relacionados com a execução das aulas ou a apresentação de seminários, palestras etc., exerce influência determinante na execução das mesmas, podendo impor restrições à realização destas atividades. Nesse sentido a disponibilidade da infraestrutura de apoio (retroprojetores, dentre outros recursos; representando assim, restrições para o problema).

b) Restrições de caráter temporal: os diversos agentes e recursos envolvidos nesses problemas (professores, palestrantes, alunos, salas, etc.) geralmente não se encontram disponíveis ao mesmo tempo e nas mesmas quantidades, o que implica na necessidade de um estudo detalhado das condições e datas em que esses recursos estarão disponíveis. A diferenciação dessas condições de disponibilidade de cada agente e recurso envolvido impõem restrições de natureza temporal ao problema, que devem ser satisfeitas na busca de uma solução ótima para o mesmo.

c) Restrições relativas às expectativas e preferências impostas pelos agentes: os diversos agentes envolvidos podem ter diferentes expectativas sobre o que seria o resultado ótimo do problema ou então sobre condições em que as aulas/palestras poderiam se dar. Professores podem ter preferência por lecionarem somente em alguns dias específicos da semana e não trabalharemos em outros, etc.

d) Restrições financeiras: determinadas configurações que poderiam ser candidatas a soluções viáveis do problema podem se tornar inviáveis, se, por exemplo, o custo de operação de uma dada configuração de *timetable*, envolver custos operacionais muito elevados, ou despesas muito altas para se reunir os recursos necessários, nas condições especificadas.

Por fim, todo problema de *timetable* busca uma solução (ou seja, uma alocação de professores/palestrante e recursos em cada unidade de tempo especificada –*time slot* - em cada sala/auditório) que atribua um valor ótimo a uma dada função objetivo.

Para o caso de *timetables* de calendários acadêmicos de colégios ou universidades, diversas formulações foram propostas. Como respaldo para o desenvolvimento deste artigo seus autores analisaram os trabalhos de (COLORNI, DORIGO, VITTORIO, 2007), (LUCAS, PALAZZO, FERRUGEM, 2000), (LEWIS, PAECHTER, 2007), (LOBO, 2005), (LEE, EL-SHARKAWI, 2008), (PETROVIC, YANG, DROR, 2006), (PETROVIC, YANG, DROR, 2004), (PINHO, MONTEVICH, MARINS, 2007), (WALL, 1996) e (YANG, 2004); todos tratando desse tipo de *timetable*.

#### 4. Estudo de caso: o problema do XL Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional

O trabalho apresentado neste artigo visou fazer uma aplicação de Algoritmos Genéticos a um problema particular de *timetable*: um simpósio científico de Pesquisa Operacional, organizado pela Sociedade Brasileira de Pesquisa Operacional (SOBRAPO), em João Pessoa, no Estado da Paraíba (em particular o evento foi realizado no Hotel Tropical Tambaú).

Este tipo de evento (um Simpósio Científico) possui algumas características específicas que o diferenciam dos problemas de *timetabling* aplicados a construção de uma grade horária para cursos (sejam de colégio ou universitários), quais sejam:

- a) Nesse evento, os palestrantes já possuem seus temas de apresentação fixados a priori. Portanto, o binômio palestrante-tema já se encontra fixado antes da execução de qualquer algoritmo.
- b) Diferentemente do *timetabling* (TT) da grade horária de cursos regulares e periódicos, o problema de TT de um simpósio gostaria que temas similares ficassem os mais concentrados possíveis na grade; seja agrupando-os em sessões ou em diferentes sessões.
- c) É extremamente relevante a preocupação de se evitar que apresentações em temas correlatos e que possam despertar interesse do mesmo público se deem ao mesmo tempo.

Outras características do TT de Simpósios: esses tipos de TT's devem levar em consideração ainda, restrições relativas ao tempo que um palestrante poderia levar para se deslocar de uma sala para outra, de forma a não se atrasar na sua apresentação.

Voltando ao Simpósio analisado, o mesmo foi realizado entre os dias 02 a 05 de setembro (onde somente nos três primeiros dias são feitas apresentações de temas, sendo o último dia ocupado exclusivamente com minicursos; portanto desconsiderado do trabalho).

Para se ilustrar as dimensões deste evento, o simpósio desenvolveu em 5 salas, contando com 235 palestrantes e 246 exposições. Tais exposições foram agrupadas em seções, de acordo com a natureza de seus temas (os diversos temas foram agrupados em 17 áreas do conhecimento).

A elaboração de uma TT para esse tipo de problema se depara com uma série de restrições, algumas das quais não podem ser violadas de forma alguma, para que se possa garantir que uma solução viável para o mesmo foi alcançada costuma-se chamar esses tipos de restrições de *Hard*. Este trabalho seguirá esta terminologia.

Outras restrições, por outro lado, não inviabilizam uma solução, mas impõem restrições relacionadas com aspectos desejáveis que a mesma deveria atender. Tais soluções são também chamadas de *Soft* (que novamente também se seguirá neste trabalho).

Mais especificamente, as restrições *Hard* e *Soft* relacionadas ao problema de TT do Simpósio em questão são:

#### Restrições *Hard*:

- a) Não pode haver coincidência de horários, isto é, duas apresentações coincidindo no mesmo *time slot* (de duração de 30 minutos). Isso se traduz na impossibilidade de duas apresentações (do mesmo apresentador, ou de apresentadores diferentes) tiverem ao menos um *time slot* em comum, ou seja, no mesmo horário e na mesma sala. Assim, não pode haver coincidência
- b) Cada apresentador pode apresentar no máximo três trabalhos, por imposição da própria organização do evento;
- c) Existem restrições relacionadas ao tempo necessário para os apresentadores se deslocarem de uma sala para outra.
- d) Não pode haver apresentações da mesma área no mesmo horário, em salas diferentes.
- e) Outras restrições: dizem respeito à capacidade das salas, recursos disponíveis, infraestrutura do hotel, em geral, etc.

#### Restrições *Soft*:

- a) Seria desejável que apresentações de seções que possam despertar interesse no mesmo público não se dessem no mesmo horário, em salas diferentes.
- b) Também seria desejável que restrições ligadas às preferências de cada autor por dias e horários também pudessem ser satisfeitas, na medida do possível.
- c) Seria interessante que apresentações da mesma sessão ficassem as mais concentradas possíveis no calendário.

Com base nessas características e restrições se procedeu então à formulação do problema, elaboração de premissas e hipóteses simplificadoras e subsequente solução do problema por AG's, como descrito a seguir.

### **4.1 Formulação do problema e sua solução via AG's**

Inicialmente, faz-se necessário devido à complexidade do problema, se assumir algumas simplificações e hipóteses; que visam facilitar a modelagem e a implementação inicial de um código de AG para o problema inicial (que é um dos propósitos deste artigo); deixando para outra oportunidade - ou como sugestão de implementação para interessados no tema – uma modelagem que leve em consideração mais detalhes e restrições que de fato existem no problema real.

A seguir, para que se possa buscar uma solução desse problema por AG's se faz necessário representar uma solução nos moldes requeridos pelo citado algoritmo; isto é, precisa-se definir o que vem a ser um indivíduo (ou um cromossoma) e os genes que o compõe.

A seguir, precisa-se estabelecer um critério sobre como serão gerados os indivíduos iniciais de uma população; de seleção (ao menos parcialmente aleatorizado) desses indivíduos para cruzamento (que dê mais chance de reprodução aos indivíduos mais bem adaptados); de um método de cruzamento; de um método de mutação dos novos indivíduos gerados; e de um método que estabeleça critérios de como a população evoluirá, uma vez que novos pares de indivíduos são gerados em cada cruzamento.

Este artigo irá seguir cada um desses passos na ordem anunciada, o que será feito de agora em diante.

#### **4.2 Hipóteses e simplificações adotadas no tratamento do problema em questão**

a) Para o estabelecimento de restrições do problema de TT analisado, partiu-se da hipótese simplificadora de que, seja qual for o palestrante e sala que se encontre, não haveria tempo hábil para que o mesmo pudesse se deslocar de uma sessão para outra, em outra sala, em horários seguidos (assumindo-se que cada apresentação completa de cada tema deve durar no máximo trinta minutos, como imposto pela própria SOBRAPO).

Por exemplo, se um palestrante se encontra na sala um no horário de 09h00min e deveria apresentar outro tema, em outra sala, no horário que começa às 09h30min, assume-se que não haveria tempo para que pudesse se deslocar sem se atrasar na apresentação subsequente.

Esta hipótese visou simplificar o problema analisado, dispensando a necessidade de se estudar a localização relativa de cada sala e a identificação dos reais (ou prováveis) tempos de deslocamento entre cada par de salas, em cada faixa de horário.

b) como cada tema é apresentado por três autores simultaneamente, seria mais difícil se tratar o problema de acordo com as restrições hard e soft apresentadas na sessão anterior. Em função destas dificuldades, e do caráter de primeira abordagem (simplificada) do problema por este artigo, se considerou como sendo o apresentador do trabalho, o autor correspondente ao primeiro nome citado na lista de trabalhos aprovados pela SOBRAPO para o evento.

c) ignorou-se as restrições relativas à disponibilidade de recursos (como data shows, microfones, etc.), infraestrutura do local (banheiros, capacidade dos refeitórios, capacidade das salas que abrigariam as diferentes sessões, etc).

d) também se ignorou as possíveis preferências por cada palestrante por dias e horários. Possíveis preferências, por parte dos ouvintes por dias e horários de cada sessão também foram ignoradas no problema.

e) outras restrições que possam incorrer no TT em questão, de ordem financeira, tecnológica etc. também foram ignoradas.

f) os minicursos e demais atividades do evento que não sejam as apresentações dos temas em cada sessão, foram desconsiderados do problema. A sessão reservada de homenagem ao

Almirante Mário J. Ferreira Braga também será considerada uma sessão de apresentação, só que seus itens constituintes serão mantidos sempre os mesmos.

g) convencionou-se que cada sessão terá que ter no mínimo três apresentações (logo com duração mínima de uma hora e meia) e no máximo seis (com duração máxima de três horas).

h) Apresentações que não formem um número mínimo para constituírem uma sessão poderiam ser incorporadas em sessões denominadas Diversos, de acordo com a necessidade. Contudo, tal necessidade não ocorreu nas implementações efetuadas neste trabalho.

Existe mais uma simplificação adotada, que será tratada quando da definição de indivíduo e gene, na subseção seguinte.

### **4.3 Representação da Solução para fins de implementação de AG e definição de indivíduo e gene**

Como a representação de uma solução em AG's depende do problema particular que se estuda (isto é, dependente do domínio do problema) faz-se necessário definir o que é uma solução neste problema (e por consequência, o que é um indivíduo), e como representá-la; assim como representar cada elemento constituinte desta solução (o gene).

É fácil verificar que o que configura uma solução deste problema é uma alocação completa nos horários (*time slots* de 30 minutos) de palestrantes, com os seus respectivos temas. Logo, um cromossoma é uma alocação qualquer de palestras- palestrantes nas cinco salas, ao longo dos três dias de apresentações.

Assim, uma solução do TT em questão é uma alocação, nos horários e dias disponíveis (representados por *time slots* de 30 minutos), dos palestrantes/temas. Obviamente, essas soluções têm que ser viáveis (satisfazer a todas as restrições *hard* simultaneamente) e deveriam satisfazer da melhor forma possível as restrições *soft*.

Para fins de simplificação da formulação do problema, dado sua complexidade ainda existente e o tamanho do indivíduo, se estará considerando como Gene, um agrupamento de seis *time slots* que poderão conter até seis apresentações da mesma sessão.

Logo, um Gene (cada célula da Tabela 1 apresentada na sessão de tabelas, para este AG-Modificado apresentado é um agregado de grupos de seis *time slots*, que serão preenchidos por até seis apresentações de mesma sessão. O que se verifica é que (com exceção da sessão EQAE, agrupando cinco artigos diferentes), em cada gene estarão seis apresentações, ocupando assim 03h00min de duração, em uma das cinco salas disponíveis. (cada Gene ocupa assim seis *time slots* de 30 minutos, consecutivos).

Não houve necessidade de se criar sessões que agrupassem temas que não sejam da mesma área. Para maiores detalhes sobre a simbologia adotada para representação de cada área sobre as quais se darão as sessões do evento, vide Tabela 2 no final deste artigo (a única sessão



que aglomera apresentações de áreas que a princípio não são tão próximas é a chamada EQAE, que corresponde a uma aglomeração de apresentações de temas relacionados à economia e à qualidade. Mas, neste caso, essa sessão já estava presente na própria organização inicial do evento).

Tal simplificação busca reduzir o esforço computacional do AG empregado, assim como se obter mais rapidamente um modelo (embora mais simplificado) para que possa ser testado e avaliado mais rapidamente, devido à substancial redução de elementos da tabela horária.

Embora os autores deste artigo estejam cientes de que esta última simplificação compromete a qualidade da solução encontrada, esta última representou uma solução inicial para se lidar com as dimensões do problema e uma avaliação inicial do AG empregado.

Por esta mesma razão, pelo fato de tal simplificação, não corresponder à prática encontrada em trabalhos que utilizaram AG's na solução de problemas de TT's semelhantes (todas as aplicações de AG's em problemas de TT que os autores estudaram e analisaram antes deste trabalho se restringiram ao problema de TT de cursos regulares universitários ou colegiais) acha-se melhor se referir à solução proposta neste trabalho como Algoritmos Genéticos Modificados (AGM's) aplicados a um TT de Seminário.

Com esta última simplificação, adota-se neste trabalho o modelo de tabela horária (onde serão alocados os binômios palestrante-tema) como Tabela 1 na sessão de tabelas.

Note-se que, com o modelo de tabela escolhido, se evitou trabalhar com matrizes de três dimensões. Nesta tabela, cada coluna representa uma sala, onde serão alocadas as sessões (todas as salas podem acomodar qualquer sessão).

Importante notar que em cada linha da Tabela 1, têm-se faixas de horários de 3 horas de duração. Em cada linha, para célula (gene) constituinte de cada indivíduo gerado, pode-se ter ou não o uso dos seis *time slots* (o número mínimo de *time slots* a ser utilizado em cada célula da tabela é de três, uma vez que cada sessão tem que ter duração mínima de uma hora e meia. Da mesma forma o número máximo de *time slots* utilizados em cada célula é de seis, uma vez que a duração máxima de cada sessão é de três horas).

Devido a características específicas do código implementado, tanto na geração dos indivíduos iniciais da população, como nos indivíduos gerados por crossover elimina-se automaticamente as violações das restrições *hard* de todos os tipos. Isso se deve ao fato de que, ao se gerar os indivíduos da população inicial, se faz uma série de checagens para garantir que os indivíduos atendem a todas elas (contudo, tal para a operação de mutação não se pode garantir a viabilidade imediata dos cromossomas-filho. Para estes, deve-se efetuar checagens de viabilidade como será explicado mais adiante).

Com relação aos indivíduos gerados por crossover e submetidos a uma dada taxa de mutação, por características específicas que se buscou conservar nos cromossomas-pai, os filhos também continuam atendendo a todas as restrições *hard*.

Além disso, constata-se que as restrições *hard* tipo b) e e) já estão automaticamente satisfeitas -b) está automaticamente satisfeita pelo fato de que não há mais de três temas associados ao mesmo palestrante no evento e e) foi ignorada para fins de simplificação da análise do TT e implementação de uma solução simplificada por AGM's)-.

#### 4.3.1 Codificação dos dados

Para cada conjunto palestrante e tema necessita-se de uma codificação que facilite o algoritmo utilizado na busca de violações de restrições. Para tanto, se utilizou uma estrutura de dados composta por dois códigos. O primeiro, formado por números de 1 a 17 representam as áreas sobre as quais as sessões se darão. O segundo, de 1 a 235 representam os palestrantes. Com essa estrutura, se identifica o binômio palestrante e área da sua apresentação.

Como pode acontecer (e de fato acontece com os dados do evento analisado) um mesmo palestrante pode apresentar mais de um tema na mesma sessão ou ao longo de diferentes áreas. Isso não representa, contudo, um obstáculo para a codificação utilizada por razões relacionadas à forma como o código do algoritmo foi implementado.

A codificação escolhida para cada tema e sessão se encontra nos Anexos deste trabalho na Tabela 1, na sessão de tabelas.

#### 4.3.2 Determinação da função objetivo

A função objetivo utilizada nesta implementação de AG's visando uma solução deste TT incorporou penalidades para as violações das restrições *soft* envolvidas e consideradas no problema.

Mais especificamente, se descompôs as violações das restrições em fatores que atribuem pesos diferentes a cada violação de cada tipo de restrição *soft* existente, já que os indivíduos criados, em cada iteração do algoritmo implementado, só são aceitos se respeitarem a todas às restrições *hard*. Deduz-se imediatamente que o objetivo do AGM implementado é minimizar a soma das violações e, portanto, o valor dessa função.

Essa mesma função servirá como função objetivo e função de *fitness*, a guiar cada iteração do AGM em busca de soluções melhores. O problema de otimização combinatória (*timetabling*) aqui apresentado busca a minimização da seguinte função objetivo:

$$1) \quad \phi(s_{\Delta_1}, s_{\Delta_2}) = \beta_1 \times s_{\Delta_1} + \beta_2 \times s_{\Delta_2}$$

Onde o parâmetro  $\beta_1$  da função tem o valor de -1. Representa o peso, na função objetivo, da variável de decisão  $s_{\Delta 1}$ . O parâmetro  $\beta_2$  o valor de 1. É o peso, na função objetivo, da variável de decisão  $s_{\Delta 2}$ .

A variável  $s_{\Delta 1}$  representa o número de repetições de apresentações, em horários contíguos, do mesmo autor, na mesma sessão. Isso seria caracterizado pela repetição do código do autor, nas condições mencionadas. Portanto, quanto maior o valor de  $s_{\Delta 1}$ , mais apresentações, em horários contíguos de um mesmo autor ter-se-ia na grade horária.

$s_{\Delta 2}$  é o número de repetições de apresentações de temas afins, nos mesmos horários. Portanto, quanto maior o valor desta variável de decisão, maior o número de casos nos quais se verificaria apresentações de temas afins, nos mesmos horários, em salas diferentes, no evento. Como se verá na próxima sessão, as restrições *hard* estão sendo checadas e eliminadas no momento da criação dos indivíduos. Por este motivo, não há necessidade de explicitá-las em  $\phi(s_{\Delta 1}, s_{\Delta 2})$ .

O problema de otimização combinatória (OC) a ser resolvido pelo AGM proposto é portanto:

Minimizar :  $\phi(s_{\Delta 1}, s_{\Delta 2})$

sujeito a :  $s_{\Delta 1}, s_{\Delta 2} \in \mathbb{Z}^+$

Esta formulação se justifica pois, a solução de um problema de OC por meio de algoritmos genéticos necessita somente de informação sobre o valor da função objetivo (os indivíduos gerados automaticamente satisfazem às restrições *hard*).

O primeiro fator ( $\beta_1 \times s_{\Delta 1}$ ) visa atribuir o valor -1 a cada ocorrência de apresentações do mesmo autor, em horários contíguos, dentro de cada sessão (o que é desejável, devendo, portanto, implicar que, quanto mais contíguas as apresentações de um autor forem, mais desejável é a solução; desde que se respeite as demais restrições, especialmente as *hard*).

Como se busca minimizar tal função objetivo, tal fator visa atribuir contribuições para que se reduza o valor dessa função. Assim, o algoritmo busca, em cada Gene, ao logo dos diversos *time slots* que o compõe, uma busca por apresentações, em horários contíguos, do mesmo autor.

A cada repetição de apresentações, por um mesmo autor, em horários contíguos, se conta uma unidade e adiciona-se esse valor à variável  $s_{\Delta 1}$ . Como seu coeficiente é -1, na prática se está somando -1 cada vez que se conta a repetição mencionada.

O segundo fator da função objetivo ( $\beta_2 \times s_{\Delta 2}$ ) visa capturar a última restrição *soft* a se tratar: o fato de que apresentações afins (que possam interessar o mesmo público) deveriam se possível, não se darem em horários paralelos (em salas diferentes, no mesmo horário).

A função objetivo, no que tange a esse aspecto, atribui um valor de +1 para cada ocorrência de temas afins, nessas condições. Isto é, se faz uma checagem, em cada linha correspondente a cada time slot, se há ocorrências deste fato. E a cada uma delas, se atribui +1 à função objetivo. A função objetivo assim composta, avalia o efeito líquido de  $\beta_1 \times s_{\Delta 1}$  e  $\beta_2 \times s_{\Delta 2}$ , pela soma dos dois componentes.

### 4.3.3 Descrição do AGM utilizado

O AGM utilizado é composto das seguintes etapas:

Avaliam-se os indivíduos (viáveis) da população em uma dada etapa do algoritmo na função objetivo criada. Deve-se destacar que, por conta das características do código utilizado, sempre se garante que indivíduos viáveis são os obtidos (cada *timetable* na população – sejam da população inicial, sejam dos filhos em cada iteração- são gerados de forma que todas as restrições hard são satisfeitas simultaneamente. Ou seja, eles só são mantidos pelo código, se forem viáveis). Pelo fato de todos os indivíduos serem sempre viáveis, todos serão avaliados no que tange às violações das restrições *soft*.

Avaliam-se os indivíduos (viáveis) da população em uma dada etapa do algoritmo na função objetivo criada.

Estabelece-se uma probabilidade de cada indivíduo  $R_i$  (um TT completo) ser selecionado em sorteio aleatório. Para tanto, calcula-se seu valor  $f(R_i)$  na função objetivo. Divide-se então esse valor pelo somatório dos valores de todas as imagens de todos os indivíduos contratantes na população nessa iteração. Ou seja, atribui-se uma probabilidade de seleção para cada indivíduo, pela fórmula:

$$P_{\text{seleção indivíduo}} = \frac{f(R_i)}{\sum_H f(R_j)}$$

Note-se que, a função objetivo, ao menos em tese, pode atingir valores positivo e negativos, para cada indivíduo, em uma dada iteração. Para se calcular as probabilidades mencionadas acima, se recorreu ao seguinte artifício: em cada iteração, se subtraiu o valor de cada indivíduo, na função objetivo, do maior valor da função objetivo obtido naquela iteração. A seguir, se calcula o módulo de cada uma dessas diferenças. São com esses módulos que são utilizados no cálculo das probabilidades acima (vide comentários no código para maior detalhe).

Utiliza-se o mecanismo de roleta para se escolher dois indivíduos (podendo o mesmo indivíduo ser sorteado duas vezes e cruzar consigo mesmo).

Procede-se ao crossover desses indivíduos.

Submete-se os dois filhos (novas TT's) a uma dada probabilidade de mutação (a rigor, o operador de mutação foi utilizado em quatro versões, uma com taxa de mutação de 5%, uma com 3% outra com taxa de 1% e mais uma com taxa de 10%. Ou seja, na realidade foram

utilizados quatro versões do algoritmo de AGM utilizado, um com taxa de 3%, outro com taxa de 5% e outro com taxa de 1% e uma última com taxa de 10%). Também será posteriormente explicado como se dá essa etapa no algoritmo implementado. Após a mutação, cada filho pode ou não permanecer viável. Há, portanto uma checagem de viabilidade de cada um dos dois filhos, após a mutação.

Caso os dois filhos sejam viáveis, não há nenhum problema a mais a ser considerado, e ambos são incluídos na população. Caso só filho um seja viável, somente este filho viável será incluído na população, o outro é descartado (neste caso, só haverá a saída de um indivíduo, na população anterior, para a entrada deste filho viável).

Por fim, se nenhum dos dois filhos após a mutação forem viáveis, ambos serão descartados e então o algoritmo gira a roleta novamente para a seleção de dois novos pais e o processo de crossover e mutação se dão novamente. O (s) filho (s) é (são) incluído (s) na população, substituindo o (s) pior (es) indivíduos da população anterior (os elementos da população são ranqueados dos melhores para os piores e o s piores são eliminados para a entrada dos cromossomas filhos).

A nova população assim constituída é avaliada, elemento a elemento, na função objetivo. Repete-se o mecanismo da roleta e seleciona-se aleatoriamente dois indivíduos para *crossover*.

#### **4.3.4 O Mecanismo de *crossover* adotado**

O mecanismo de operador utilizado se dá da seguinte forma: o cromossoma pai e mãe são divididos pela metade (ou seja, estabelece-se uma linha divisória entre a 36ª linha e a 37ª linha do TT-pai. Faz-se o mesmo com o TT-mãe). Um cromossoma filho é formado pela parte superior do pai e inferior da mãe. O outro é formado pela parte superior da mãe e inferior do pai.

Pode-se garantir pela forma como os cromossomas-pai foram gerados, que todas as restrições hard, nos filhos sempre serão automaticamente satisfeitas (para detalhes de implementação vide código com comentários e explicações).

#### **4.3.5 O Mecanismo de mutação adotado**

O mecanismo de mutação utilizado é composto por geração aleatória de números no intervalo [0; 1000]. Esses números aleatórios são atribuídos, também aleatoriamente a cada time slot do TT. A seguir, em cada Gene (agregado de seis time slots) se procede a uma busca por números menores do que 50 – para o caso de taxas de mutação de 5% -. Caso haja dois elementos, em time slots diferentes, menores que 50 em um Gene, os mesmos trocam de posição.

No caso de taxas de mutação de 3%, 1% ou 10% se substituído valor de 50 por 30, 10 ou 100 respectivamente. Ou seja, este trabalho implementou quatro versões do AGM em questão: cada uma com uma taxa de mutação diferente (que cobriram, conforme já mencionado, as taxas

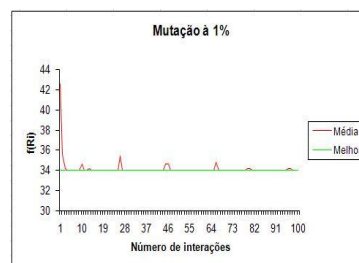
de 1%, 3% 5% e 10%). As taxas de mutação escolhidas se basearam principalmente no trabalho de (PINHO, MONTEVICH, MARINS, 2007).

## 5. Resultados obtidos

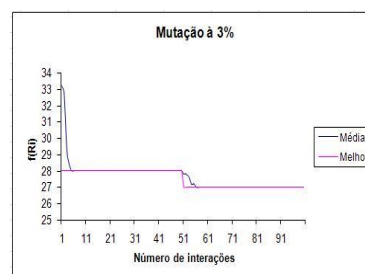
Implementou-se o AGM explicitado neste artigo para as quatro taxas de mutação mencionadas anteriormente. Adotou-se como critério de parada o número de iterações (ou gerações). Os gráficos 1 a 4 abaixo resumem os resultados obtidos, com 100 iterações, do AGM implementado. Cada gráfico se refere a uma taxa de mutação adotada no algoritmo. Além disso, em cada gráfico se compara a melhor solução obtida ao longo das 100 iterações com médias em cada iteração.

Cada média é calculada da seguinte maneira: em cada iteração do algoritmo se terá uma dada população, composta por um conjunto de cinco indivíduos (conforme já explicitado anteriormente, em cada iteração, um ou dois cromossomas filhos são incluídos na população – sempre composta de um número de cinco indivíduos – para a saída do pior – ou dos dois piores indivíduos -). Se avalia cada um desses indivíduos na função objetivo e se calcula a média desses valores.

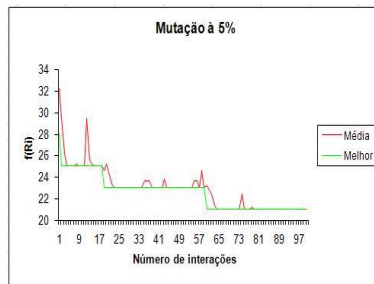
Assim, para cada iteração se terá uma população de cinco composição diferente (pelo menos um indivíduo da população, numa dada iteração, não sobreviverá à próxima iteração, saindo da população), e se estará calculando a média dos valores da função objetivo em cada uma dessas iterações.



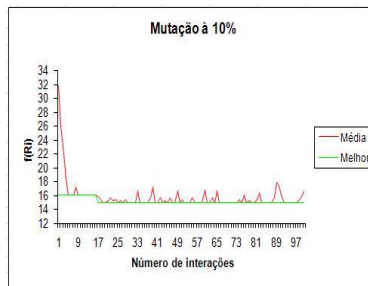
**Gráfico 1:** Resultados Obtidos com Taxa de Mutação de 1%.



**Gráfico 2:** Resultados Obtidos com Taxa de Mutação de 3%.



**Gráfico 3:** Resultados Obtidos com Taxa de Mutação de 5%.



**Gráfico 4:** Resultados Obtidos com Taxa de Mutação de 10%.

## 6. Conclusões

Analisando-se os resultados obtidos, com as quatro taxas de mutação adotadas, verifica-se que os mesmos atenderam aos propósitos da formulação de uma solução adequada viável do problema pois: todas as restrições *hard* foram respeitadas e em todas as soluções encontradas, predominaram alocações nas quais os *time slots* da manhã, tarde e noite foram totalmente preenchidos com apresentações da mesma área.

Adicionalmente, verifica-se que, em função das restrições e das simplificações adotadas, em todas as quatro soluções obteve-se alocações com salas vazias, em pelo menos um dos turnos e em pelo menos um dos dias do evento. Pode-se argumentar que este fato pode ter externalidades positivas, como por exemplo, economia de energia da sala e de demais recursos (como demanda de retroprojetores e funcionários para limpeza).

Como se pode constatar pela análise dos resultados sumarizados nos gráficos apresentados, as melhores soluções encontradas em cada iteração tendem a permanecer como as melhores por muitas iterações (no AGM com taxa de mutação de 1% a melhor solução encontrada, logo na primeira iteração, se manteve até a última iteração do algoritmo e, no AGM com taxa de mutação de 3% só houve uma mudança da melhor solução encontrada em uma dada iteração).

Os autores deste trabalho acreditam que, parte dessa estabilidade da melhor solução encontrada em cada iteração se deve às simplificações adotadas visando uma primeira abordagem no tratamento deste (complexo) problema; em particular as simplificações adotadas na definição e delimitação de um Gene como sendo um agregado de seis apresentações de mesma área.

Observando-se os Gráficos 1 a 4, pode-se verificar também que a qualidade da solução, medida pelo valor da função objetivo, melhora a medida que a taxa de mutação do AGM adotado aumenta. Também pode se constatar que, a média das soluções, em cada iteração, convergiu rapidamente (logo nas primeiras iterações) para a melhor solução encontrada. Mesmo quando há mudança na melhor solução encontrada, a média das soluções torna a convergir rapidamente para a nova melhor solução encontrada. Os autores acreditam que se pode evitar, ao menos parcialmente, essa rápida convergência por meio do abandono de algumas das simplificações adotadas e da implementação de procedimentos de escalonamento (*scaling*) da função objetivo, como efetuado em (COLORNI, DORIGO, VITTORIO, 2007).

**Tabela 1:** Modelo de Cromossoma utilizado.

	Sala 1	Sala 2	Sala 3	Sala 4	Sala 5
Seg					
Seg					
Seg					
Seg					
terç					
terç					
terç					
terç					
Qua					
Qua					
Qua					
Qua					

**Tabela 2:** Codificação e Afinidades Entre Áreas:

		AA	AGP	DEA	EE	EDU	EF	EQAE	EST	INME	LGT	MC	MH	OC	PG	PM	SIM	TG
Aplicações Agropecuárias e Meio Ambiente	AA	1000	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
Administração e Gestão da Produção	AGP	0	1000	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
Análise Envoltória de Dados	DEA	0	0	1000	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Energia Elétrica	EE	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Aplicação na Área de Educação	EDU	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Economia e Finanças	EF	0	1	0	0	0	1000	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Economia Qualidade e Envoltória de Dados	EQAE	1	0	1	0	0	1	1000	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estatística	EST	0	1	0	0	0	1	1	1000	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Almirante	INME	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0
Logística e Transporte	LGT	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0	0	0	0	0
Multicritério	MC	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	1	0	0	0	0
Metaheurística	MH	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	1	0	1	0	1
Otimização Combinatória	OC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1000	0	1	0	0
Petróleo e Gás	PG	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1000	0	0	0



Programação Matemática	PM	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1000	0	1
Simulação	SIM	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1000	0
Teoria dos Grafos	TG	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1000

Legenda: 0 não tem relação; 1 tem relação; 100 nunca pode ser simultâneo

Tabela 3: Solução Ótima Encontrada com Mutação a 1%

		DIA 01					DIA 02					DIA 03					
		SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	
MANHÃ - HORÁRIO 01	01	Alina de Lima / Operações de	Ricardo de M / Análise de e	Maria Cecília / Um estudo pr	Francisco VV / Um aplicativo	Nelson Lessar / Planejamento	Aquiles Kalaf / Uma Abordagem	Ingrid Teles / Metodologia	Paulo Almeida / O Problema d	Adilson Sassi / A Heurística	Roberta Stau / A probablis	Gustavo Rochv / Testes locais				Lia Yamamoto / Estudo Comp	
	02	Kelly Vilasbo / Propriedades	Valdir Melo / Uma Heuríst	Danielle Mor / Modelo multi	Luiz Eduardo / Uma metaheur	Francisco Mar / A exploração	Alessandra C / Utilização d	Alysson Costa / Alocação de	Anna Dolejal / Algoritmos D	Isay Souza / Um Algoritmo	Eric Guedes / Modelo DEA d	Marcelo Amar / Estimativa de				Rodrigo Golf / Algoritmo Ge	
	03	Carolina Mena / A MIP Aplicad	Rafael Paul / Edge search	Cleodimar Fav / Uma Aplicação	Lia Mara Bor / Heurística G	Paulo França / Entoque Mult	Moacir Glans / Aplicação de	Fabiola Guer / Controle de	André Renato / Subset Moves	Cláudia Pink / O problema h	Marcus Souza / Custos opera	Fernanda Col / Implementaçã				Luciana Lee / Reformulaçã	
	04	Luis Ernesto / Modelo Não l	Alina Silva / Larga em A	Hugo Ayres / Algoritmo ev	José André d / Algoritmo He	Flávio Pinho / Análise - B		Waldemar Mat / Reconfiguraç	Daniel Ludov / Sistemas do	Gislaine Per / Um estudo na	Silvio Gomes / Avaliação do	Luzia Vidal / O Algoritmo				Luiz Biondi / Classificaç	
MANHÃ - HORÁRIO 02	05	Sérgio Aguiar / Metodologia	Nair Abreu / Conjecturas	José Francisco / Avaliação da	Cláudio Tole / A Genéico AI	Luiz F. Auler / Modelagem ev		Reinaldo Cas / Provisão de	João Sarubb / Computando L	Marcia Maria / Sessão, Escop	Paulo Santos / Aplicações d	Gutenberg Har / Incoerças e				Vitória Pure / Um algoritmo	
	06	Roberto Que / Um Método Pr		Carlos Raoni / Upper Bounds	Pier Eral / Multicriter			Cristiane Za / Método da Fu	Adriana Char / Uma abordagem		Patrícia Ovi / Avaliação do						
	07	Adelina Cris / Aplicação DE	Edna Mello / Comportamen	Alana Magalh / Multi-chavea	Sergio Luiz / Modelo hiera	Fernando de / Metaheuríst	Vinícius Mde / Numérica SI	Rodrigo Sant / Problema de	Buhen Neves / Análise de u	Haroldo Sant / Formulação E	Edgar Carnev / Codificação					Rodrigo Rosa / Uma Abordagem	
	08	Gloria Trova / Direcção y	Alexander Ab / Modelo de ot	Maristela Sa / Um Método He	Vanessa Rani / Programação	Lincoln Silv / Aplicação de	Carla Berker / Um Estudo ba	Luciana Assi / Heurísticas	Flávia Campol / OLGA, Otimiz	André Moreir / A new set of	Eduardo Zamb / Um modelo de	Gilberto Mul / Um Modelo pa	Fabio Luiz U / SIMANFIS, SI				Christian Gu / Otimização d
TARDE - HORÁRIO 01	09	Regilda Mena / Redução dos	Samuel Jurk / Uma Classe d	Roger Rocha / Algoritmo Ge	Carlos Silva / Uma Aplicação	Marcos Flávi / Uma Abordagem	Marcela Gon / Avaliação d	Marcia Samed / Modelagem de	Braulio Lara / Alocação de	José Francis / Modelos de r	Hélio Fuchig / Análise comp	Annibal Sant / Independência				Bruno Prata / Dimensioname	
	10	Isis Lins / Evaluation o	Genival Pires / Análise de l	Alexsandro Av / Heurísticas	Cláudio Lins / Planejamento	Cristiane Sa / Desenvolvi	Mônica Amara / Replanejamen	André Luiz d / Sistema de l	Albino Lopes / Project Fina	Ozanival Dan / Comparação d	Aldo Pessanr / Estratégia d	Celso Sakura / Minimizac					
	11	Helder Mend / Uma análise	Edelson Per / Propostas Pa	André Renato / A Lower Bou	Étlio Souza / Variável Nel	Antonio Chav / Aplicação do	Fabiano Leal / Análise do e	André dos Sa / Estratégia h	Debora Cruz / Otimização d	Marcos Anton / Aceleração d	Rubén Lázaro / Algoritmo pa	Eli ezer Cost / Competição					
	12		Diogo Bazeir / Uma implem	Ana Paula Sa / Uma implem	Fabio Ovi / Desenvolvi	José André d / Um Algoritmo	Francisco Sa / A simulação	Fláudio Pinh / Avaliação de		Horacio Yana / Limitante in	Aguinaldo A / O Método da						
TARDE - HORÁRIO 02	13	Roberta Stau / Influência d	Luis Espejo / Localização	José Maria A / Um Sistema d	Renato Lins / Uma Nova For	Cristiano Ca / Modelo multi			Mitre Dourad / Um Algoritmo		Fernanda Sou / Uma abordagem	Rodrigo Ribe / Um Modelo Ca				André Corderv / LOBO, Leam	
	14	Nilson Torre / O Modelo SIM	Sheila da Ro / Relacionamen	Narcia Fampa / Condição de	Fabio Hernan / O Problema d	Camila Dutra / Operacionais			Jean Martins / Transformaç		Tarcisio Bar / Heurísticas	Alexandre Fa / Problema de				Étlio Abe / Agricultura	
	15	Paulo Cesar / Avaliação da	Francisco Cu / Uma Classe d	Samuel Jurk / An Integer P	Roger Rocha / Algoritmo Ge	Carlos Silva / Uma Aplicação	Marcos Flávi / Uma Abordagem	Marcela Gon / Avaliação d	Marcia Samed / Modelagem de	Braulio Lara / Alocação de	José Francis / Modelos de r	Hélio Fuchig / Análise comp	Annibal Sant / Independência				
	16		Plácido Pinh / Um Ambiente	Emilio Birg / An Augmentad	Nair Abreu / Uma caracter				Maria Cris / Otimização C		Vinicius Ama / Heurística d						Samuel Jurk / Qual é o men
TARDE - HORÁRIO 02	17		Vania Campos / Análise da M	Maristela Sa / Uma Abordagem	Julio César / Teorema de H			Ademir Const / Algoritmo Ba		Italo Lima / Limites para							
	18		Hugo Bassi / Heurísticas	Cláudio Vei / Um estudo de	Sebastian Al / Maximização						André Subram / GRASP/VND sp						
	19	Maisa Mendov / As Arquivet	Juliano Yora / Simulação de	Glauber Cini / O Problema d	Eliane Gomes / Produção -	Daniela H. L / Formulações			Christian Re / Uma Aplicação	José Lassano / O Problema d		Leticia Takai / Precificação	Ricardo Pach / Modelagem e	Alexandre Fa / Análise da A	Maximilian Nel / Construção d		
	20	Albino Olive / Redes Neural	Adriana Mora / Simulação de	Hélio Junio / Sobre o prob	Tatiana Doda / Avaliação do	José André d / Formulações			Marcel Vlei / Design Efec	Geraldo Ribe / Metaheuríst		José Vizaín / Estratégia d	Rui Veloso / Sustentabil	Alcides de C / Um Método He	João Vitor D / Comparando a		
	21	Gisele Santov / Use of Radia	André Pinto / Projeto de a	Gustavo Sil / Proposições	Edson Barros / Proposições	Leticia Rodr / Um Time Assa			Nandamudi VV / Towards obta	Fernando de / Metodologia		Henrique Hip / Modelagem de	Helenice Flo / Minimização	Luciana Gong / Proposta e A	Thelma Prete / Quality Anal		
	22	Eduardo Sati / Precificação	Roberto Piro / Utilização d	Frederico Sar / Modelo de FI	Fernando Rod / Modelos DEA	Lucas Olive / O Problema D			José Florio / Modelagem na	Martin Gomez / Integrating		Luiz Guillier / Avaliação Eq	Fernando San / Ferramenta e	Robinson Hot / Sobre o caso	Ludmila Mar / Determinação		
	23	José Augusto / Uma Aplicação	Luciana Ferr / Análise da v	Mayron Alme / Algoritmos G	Bruno Prata / Aplicação da	Marcos Negre / Um Algoritmo			Marta Freitas / Estudo da Te	Antônio Rodr / Análise do c		Adamo Santar / Aplicação de	André Cruz / Uma Abordagem	Sabrina Oliv / Uma Arquitet	Rachel Abrav / Estatística		
	24	Jaqueline Ma / Simulação Mo		Alexandra Gu / Análise da e	Mariana Rodr / Eficiência d	Ricardo Sant / A Heurístic			Luiz Nunes / Processo Mar		Lucliano Lins / Evolução har		Cláudio Rochv / Aplicação HI	Carlos Franc / SAD, THOR con	Elias Tampon / Uma Metaheur	Fernando Mor / Comparação e	

Cada cor representa uma área, vide legenda.

Tabela 4: Solução Ótima Encontrada com Mutação a 3%

		DIA 01					DIA 02					DIA 03				
		SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05
MANHÃ-HORÁRIO 01	01	Alire de Lima/ Operação d	José Francis/ Modelos de r	Albino Oliver/ Redes Neural	Pedro Corra/ Integração d	Sérgio Luiz/ Modelo Hier	Plácido Pinh/ Um Ambiente	Alessandra G/ Utilização d	Gerardo Agui/ Metodologia	Emerson Stii/ Escalonament	Roberto Pro/ Utilização d				Fernando de/ Metaheuristi	Maria Crist/ Otimização C
	02	Nesander Ab/ Alocção de	Alysson Cost/ Alocção de	Eduardo Sali/ Precificação	José Francis/ Avaliação da	Suslen Neves/ Análise de u	Marcela Gonz/ Avaliação d	Maisa Mendon/ As Arquitetu	Rely Villacy/ Propriedades	Elisete Abe/ Agricultura	Fabiano Les/ Análise do e				Claudio Toles/ A Genetic AI	José André d/ Formulações
	03	José Maria A/ Um Sistema d	Rubén Lázaro/ Algoritmo pa	José Augusto/ Uma Aplicação	Camilla Dutra/ Operacionais	Roger Rocha/ Algoritmo Ge	Hugo Bassi/ Heurísticas	Mosair Gians/ Aplicação de	Edelaine Per/ Propostas Pa	Ricardo Pach/ Modelagem e	Luciano Ferr/ Análise da v				Alexandre Fe/ Análise da A	André Moreir/ A new set of
	04	Francoisa Ca/ Uma Classe d	Waldemar Mat/ Reconfiguraç	Aquiles Kats/ Uma Abordage	Cleodimar Fe/ Uma Aplicação	Debora Cruz/ Otimização d	Mayron Alme/ Algoritmos G		Ernesto Bieg/ An Augmented	Marcos Onel/ A Scale Spac	Juliana Yonir/ Análise de				Tarcisio Bar/ Heurísticas	Horacio Yana/ Limitante in
	05	Luiz Ernasta/ Modelo Não L	Ingrid Teles/ Metodologia	Gisele Sant/ Use of Radia	Hugo Ayres/ Algoritmo ev	Vanessa Rere/ Programação	Varia Campos/ Análise da M		Adilson Xavi/ A Resolução	Fernando Sarv/ Ferramenta p	Adriana Mora/ Simulação de				Rodrigo Col/ Algoritmo Ge	André Renato/ A Lower Boun
MANHÃ-HORÁRIO 02	06		Aquinaldo A/ O Método da	Jaqueline Me/ Simulação Mo			Alexandra Gu/ Análise da e		Diego Basso/ Uma Interse	Helenice Flai/ Minimização					Carlos Silve/ Uma Aplicaç	João Soteli/ Decisões MULT
	07		Érto Sousa/ Variável Nei	Samuel Jurk/ Qual é o men	Marietela Sa/ Um Método He	Luciana Assi/ Heurísticas	Marietela Sa/ Uma Abordage	Fabiola Guer/ Controle de	Frederico Sa/ Modelo de Fi	Tatiana Dods/ Avaliação do	Aline Silva / Largura em A		Fernando Mor/ Comparação e			Mitre Dourad/ Um Algoritmo
	08		Flavio Campos/ CLGA, Ginz	Tufi Soares / An Integrate	Ademir Costa/ Algoritmo Ba	Plácido Pinh/ Avaliação de	Marcelo Farias/ Computing Si	Luiz Guillher/ Avaliação Eco	André Luiz d/ Sistemas de I	Érico Guedes / Modelo DEA d	Valdir Melo / Uma Heuristi		João Vitor D/ Comparando a			André Renato/ Subsets Moves
	09		Márcia Saneir/ Modelagem de	André Cordry/ LOBO, Leama	Adriana Cher/ Uma abordagem	Rodrigo Sant/ Problema de	Cláudio Vaz/ Um modelo de	Reinaldo Cas/ Previsão de	Rodrigo Rosa/ Uma Abordage	Eliane Gomes/ Produção -	Sulamita Kle/ Colouring Th		Fábio Luiz U/ SIMANFIS, Si			Daniel Ludov/ Sistemas do
	10		Fabrizio Oli/ Desenvolvi	Paulo Sergio/ O Ensino de	Marco Anton/ Aceleração e	Glauber Cint/ O Problema d	Sisay Souza/ Um Algoritmo	Aldo Pessari/ Estratégia d	Bruno Prata/ Dimensioname		Nair Abreu / Uma caracte					Czarivald Dav/ Comparação d
TARDE-HORÁRIO 01	11		Albino Lopes/ Project Fina		Alexandro A/ Heurísticas	Hélio Junio/ Sobre o prob	Roberto Quir/ Um Método Pr	Cristiane Ze/ Método da Fu	Christian Gu/ Otimização d	Sebastian A/ Maximização					Ana Paula Sa/ Uma implemen	
	12		Claudio Lino/ Planejamento		Alana Migaly/ Multi-chaves	Marta Cruz / Simulação do	Érika Martir/ Comportamen	Cláudio Roch/ Aplicação HI	Sheila da Ro/ Relacionamen						Ricardo Sant/ A Heuristic	
	13	Edson Barbo/ Proposições	Haroldo Sant/ Formulação E	André dos Sa/ Estratégia h	André Cruz/ Uma Abordage	Luiz F. Auri/ Modelagem ev	Marcel Vieti/ Design Effic	Vitória Pure/ Um algoritmo		Hélio Fuchig/ Análise comp			Luiz Nunes/ Método evolu		José André d/ Um Algoritmo	
	14	Roberta Stau/ Influência d	Braulio Lara/ Alocção de		Rui Veloso / Sustentabili	Nilton Lessa/ Planejamento	Rachel Abrav/ Estatística	Sabrina Oliv/ Uma Arquitet		Martin Gomez/ Integrating			Gastão Gomes/ Um Modelo em		Arand Subram/ GRASP/VND -	
	15	Fernanda Rod/ Modelos DEA	Anna Dolejs/ Algoritmos D	Gustavo Silv/ Otimização I	Carlos Franc/ SAD THOR com	Petr Ekel/ Multicriteri	Marcelo Amar/ Estimação de	Cristiane Sar/ Desenvolvi		Celso Sakura/ Minimização			Gustavo Roch/ Testes boot		Luciana Lee / Reformulação	
TARDE-HORÁRIO 02	16	Marcus Souza/ Custos opera	Paulo Almeida/ O Problema d	Luiz Espejo / Localización		Francoisa Mar/ A exploração	Marta Freitas/ Estudo da Te	Lincoln Silv/ Aplicação de		Alexandre Fa/ Problema de			Lucimila Mat/ Determinação		Lia Yamamoto/ Estudo Compa	
	17	Patrícia Oli/ Avaliação do	Isato Lima/ Limites para			Paulo Franca/ Enfoque Multi	Arnivald Sant/ Independênci	José André d/ Algoritmo He		Rodrigo Oliv/ Aplicação do			José Flori/ Modelagem ma		Alcides de C/ Um Método He	
	18	Paulo Cesar / Avaliação da	Jean Martins/ Transformaç			Flavio Pinho/ Análise - S	Gutemberg He/ Incoerências e	Antonio Chav/ Aplicação da		Fabrizio Cos/ Ferramenta C			Maxstaley Ne/ Construção d			
	19	Edgar Carreir/ Codificação	Vinicius Mor/ Numerical Si	Fábio Hernan/ O Problema d	Louanna More/ A MIP Approx	Paulo Santos/ Aplicações d	José Lassano/ O Problema d		Vinicius Ama/ Heurística d	Gloria Troves/ Dirección y			Thelma Preter/ Quality Anal	Marcos Negre/ Um Algoritmo	Luiz Blonds / Classificaç	Luciano Lins/ Evolução har
	20	José Vizcain/ Estratégia d	Francoisa Sa/ A simulação	Nair Abreu / Conjecturas	Márcia Maria/ Gestão Escor	Nilton Torres/ O Modelo SIM	Fabio Branco/ Análise Multi		Francoisa de/ Heurística H	Isis Lins / Evaluation o			Nandamudi Vi/ Towards obje	Leticia Rodr/ Um Time Assi	Luiz Eduardo/ Uma metaheur	Gilberto Mol/ Um Modelo pa
TARDE-HORÁRIO 02	21	Eduardo Zamb/ Um modelo de	Arselmo Pito/ Projeto de a	Renato Lanes/ Uma Nova For	Claudia Fink/ O problema d	Silvio Gomes/ Avaliação do	Geraldo Ribe/ Metaheuristi		Carlos Rasari/ Upper Bounds	Regilda Mene/ Redução dos			Fernanda Col/ Implementaçã	Daniela H. L/ Formulações	Luciana Gong/ Proposta e A	Rodrigo Ribe/ Um Modelo Ca
	22	Henrique Hip/ Modelagem de	Carla Berker/ Um Estudo ba	Júlio César / Teorema de H	Genival Pavu/ Análise do I	Mariana Rodr/ Eficiência d	Eli ezer Cost/ Competição e		Lia Mara Box/ Heurística G	Helder Mend/ Uma análise			Luiz Nunes/ Processo Mar	Lucas Olivei/ O Problema D	Fernanda Sou/ Uma abordagem	
	23	Leticia Takai/ Precificação	Mônica Amara/ Replanejamen	Ricardo de M/ Análise do c	Gustavo Per/ Um estudo so	Roberta Stau/ A probabilis	Antônio Rodr/ Análise do c		Elias Tempov/ Uma Metaheur	Adelina Cris/ Aplicação DE			Christian Re/ Uma Aplicaç	Samuel Jurk/ An Integer P	Robinson Hol/ Sobre o calc	
	24	Adamo Santiar/ Aplicação de	Marcos Flávi/ Uma Abordage	Rafael Pauli/ Edge search	Alina Michel/ Métodos Num	Bruno Prata/ Aplicação da	Fernando de / Metodologia		Francoisa Vi/ Um arcabouço				Luiza Vidal / O Algoritmo	João Sarutubi/ Computando L	Rodrigo Golf/ Algoritmo Ge	

Cada cor representa uma área, vide legenda.

Tabela 5: Solução Ótima Encontrada com Mutações a 5%

	DIA 01					DIA 02					DIA 03					
	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	SALA 01	SALA 02	SALA 03	SALA 04	SALA 05	
MANHÃ-HORÁRIO 01	01	Nilton Torre/ O Modelo SIM	Claudio Roch/ Aplicação Hi	Anselmo Pitor/ Projeto de a	Gilberto Mu/ Um Modelo pa	Fernando de/ Metaheuristi	Regilda Mene/ Redução dos	Renato Lanes/ Uma Nova Pa	Petr Eke/ Multicriteri	Eduardo Sali/ Precificação	Danielle Moz/ Modelo multi	João Vitor D/ Comparando a	Glauber CRT/ O Problema d		Alexandre Ab/ Modelo de o3	
	02	Edson Barbo/ Proposições	Cristiane Za/ Método da Fu	Marcos Fláv/ Uma Abordage	Luciano Lins/ Evolução har	Vinicus Arne/ Heurística d	Gloria Trova/ Dirección y	Julio Cesar / Teorema de H	Francisco Ma/ A exploração	Jaqueline Ma/ Simulação Mo	Maria Cecili/ Um estudo pr	Luiza Vidal / O Algoritmo	Vanira Campos/ Análise da M		Gerardo Agui/ Metodologia	
	03	Bruno Prata/ Aplicação da	Alysson Cost/ Alocação de e	Fabiano Lesa/ Análise do e	Rodrigo Ribe/ Um Modelo Ca	Lia Mara Bor/ Heurística G	Antonio Chav/ Aplicação do	Isis Lins / Evaluation o	Sulamita Kie/ Colouring th	Nilton Lessa/ Planejamento	Gisele Santo/ Use of Radia	Cleodimar Fe/ Uma Aplicaçã	Luz Nunes/ Processo Mar	André Luiz d/ Sistema de i		Luis Erneste/ Modelo Não E
	04	Paulo Cesar / Avaliação da	Rubén Lázaro/ Algoritmo pa	Audiana Mors/ Simulação da	Fabrizio Cos/ Ferramenta C	José André d/ Algoritmo He	Helder Mendó/ Uma análise	Adelina Cris/ Aplicação DE	Isis Lins / Evaluation o	Sebastiani Ka/ Conjecturas	Paulo Frantz/ Análise - S		Luz Nunes/ Método evolu			Chauca Pin/ O problema d
	05	Fernanda Rod/ Modelos DEA	Eduardo Zamb/ Um modelo de	Carla Berkely/ Um Estudo ba	Hélio Fuchij/ Análise comp	Hélio Fuchij/ Estudo Compa	Adelina Cris/ Aplicação DE	Fátima Herna/ O Problema d	Luiz F. Aut/ Modelagem ev				Guilherme He/ Incertezas e	Christian Gu/ Otimização d		Roberto Quil/ Um Método Pr
	06	Roberta Slav/ Influência d	Henrique Hip/ Modelagem de										Guilherme He/ Incertezas e	Rodrigo Sant/ Problema de		Marcos Negr/ Uma Abordage
MANHÃ-HORÁRIO 02	07	Vanessa Renn/ Programação	Álmi da Lira/ Operação ot	Eliesser Cost/ Competição e	Fernando Sar/ Ferramenta p	Vitória Puer/ Um algoritmo	Roberta Slav/ A probabilis	Voldeemar Mat/ Reconfiguraç	José Francis/ Avaliação da	Rafael Paul/ Edge search	André Renato/ Subset Moves		Letícia Ross/ Um Time Assi		Alexandra Ca/ Análise da e	
	08	Cláudio Lino/ Planejamento	Diogo Basso/ Uma Ferrame	Celso Sakami/ Minimização	Ricardo Pave/ Modelagem e	Sabrina Oliv/ Uma Análise	Mariana Rod/ Eficiência d	Alde Pessany/ Estratégia d	Pedro Correi/ Integração d	Ricardo de M/ Análise do c	Marietela Sav/ Um Método He		Carinival Dav/ Comparação d		Marcos Gonz/ Evaluación d	
	09	Suelen Neves/ Análise de v	Alino Mizel/ Método Num	Rodrigo Octav/ Aplicação do	Carlos Franç/ SAD THOR com	Francisco de/ Heurística H	Silvio Gomes/ Avaliação do	Aguinaldo A/ O Método da	Cristiano Ca/ Algoritmo ev	Valdir Melo / Uma Heuristi	Horacio Yana/ Limitante in		Marcos Negr/ Decisão Mult		Luis Espejo / Localización	
	10	Paula Camp/ OLGA, Otim	Genival Paver/ Análise do v			Luiz Biondi / Classificação		Letícia Takai/ Precificação	Hugo Ayres/ Algoritmo ev	Nair Abreu / Uma caracte	José André d/ Formulações		André Renato/ A Lower Boun			
	11	Roger Rocha/ Algoritmo Ge	Emanuel Birg/ An Augmented			José André d/ Um Algoritmo		Reinaldo Cas/ Previsão de	Camilla Dutra/ Operacional	Aline Silva / Largura em A	Daniela H. L/ Formulações			João Soletti/ Decisão Mult		
	12		Marcia Figue/ Computing St				Anansi Sabere/ GRASP/VND sp		Fabiola Guer/ Controle de			Adriana Chet/ Uma abordage		Ricardo Sant/ A Heuristic		
TARDE-HORÁRIO 01	13	Alana Magalh/ Multi-chave	Edgar Carrei/ Codificação	Martin Gomez/ Integrating	André Cruz/ Uma Abordage	Samuel Jurki/ Qual é o men	Alexandre Fe/ Análise da A	Marcel Vieira/ Design Effic		Mayron Alme/ Algoritmos G			Stacy Souza/ Um Algoritmo	Gustavo Roch/ Testes boot	Elias Tempov/ Uma Metaheur	
	14	Haroldo Sant/ Formulação E	Luiz Guilha/ Avaliação Ec	Geraldo Ribe/ Metaheuristi	Eliete Abe / Agricultura	Paulo Sergio/ O Ensino de	Carlos Raoni/ Upper Bounds	Fernando Moz/ Comparação e		Sheila da Ro/ Relacionamen			Edwison Pa/ Propostas Pa	Lucimila Mar/ Determinação	Fernanda Sou/ Uma abordage	
	15	Daniel Ludov/ Sistemas de	Adamo Santar/ Aplicação de	Antônio Rod/ Análise do c	Rui Veloso / Sustentabili	Tuffi Soares / An Integrate	Claudio Toal/ A Genetic Al	Rachel Abrav/ Estatística		Hélio Junio/ Sobre o prob			Kely Villaco/ Propriedades	Gastão Gomes/ Um Modulo em		Rodrigo Goff/ Algoritmo Ge
	16	André Moreir/ A new set of	Ingrid Teles/ Metodologia	Alexandre Fa/ Problema de	Marcos Ome/ A Scale Spac	André Corden/ LOBO: Learn	Luciana Lee / Reformulação			Plácido Pinh/ Avaliação de			Gustavo Pav/ Um estudo so	Fábio Luiz U/ SIMANFIS: SI		Rodrigo Goff/ Algoritmo Ge
	17	Italo Lins/ Limites para	José Vizcain/ Estratégia d	Fernando de / Metodologia	Emerson Sti/ Escalonament		Cristiane Sa/ Desenvolvime			Rodrigo Ross/ Uma Abordage			Francisco Cu/ Uma Classe d	Fernanda Col/ Implementaçã		Alcides de C/ Um Método He
	18	Paulo Almeid/ O Problema d	José Francis/ Modelos de r	José Lassano/ O Problema d	Helenice Flo/ Minimização		Fancisco Bar/ Heurísticas			Hugo Bassi / Heurísticas			Artison Xavi/ A Resolução	Marysley Ne/ Construção d		Lincoln Silv/ Aplicação de
TARDE-HORÁRIO 02	19	Erlon Souza/ Variable Nei	Elaine Gomes/ Produção -	Lucas Olive/ O Problema D	Juliana Yona/ Simulação de	Alessandra G/ Utilização d			Leoniz More/ A MP Approx		Alexandro Av/ Heurísticas		Frederico Sa/ Modelo de FI	Luiz Eduardo/ Uma metaheu	José Fricol/ Modelagem m	
	20	Debora Cruz/ Otimização d	Eric Guedes/ Modelo DEA d	Ademir Coma/ Algoritmo Ba	Vinicus Moz/ Numercial SI	Albino Olive/ Redes Neura			Erico Mariz/ Comportament		Marcos Anan/ Aceleração e		Bruno Prata/ Sobre o calc	Roberson Ho/ Estudo da Te	Maria Freitas/ Estudo da Te	
	21	Márcia Sanezi/ Modelagem de	Paulo Santos/ Aplicações d	Nitro Dourad/ Um Algoritmo	Roberto Pira/ Utilização d	Moacir Clares/ Aplicação de			Márcia Maria/ Sessão Econo		Jean Martin/ Transformaçõ		Luciana Assi/ Heurísticas	Carlos Silva/ Uma Aplicaçã	Marcos Amari/ Estimativa de	
	22	Sérgio Luiz/ Um Modelo here	Patrícia Oliv/ Uma implemen	Ana Paula Sav/ Uma Abordage	Luciano Fari/ Análise da v	Aquiles Kalai/ Uma Abordage			José Maria A/ Um Sistema d		Braulio Lins/ Alocação de		Marta Cruz/ Simulação do	Luciana Gen/ Proposta e A	Christian Rai/ Uma Aplicaçã	
	23		Tatiana Doda/ Avaliação do	Anna Dolera/ Algoritmos D	Mônica Amey/ Replanejamen	Maisa Mendon/ As Arquitetu			Christine Vie/ Um problema			Maria Crist/ Otimização C		Plácido Pinh/ Um Ambiente	Francisco Vu/ Uma Abordage	Thelma Prete/ Quality Anal
	24	Albino Lopez/ Projeto Fico	Marcus Souza/ Custos opera	João Sarubbi/ Computando L	Francisco Silv/ A simulação	José Augusto/ Uma Aplicaçã						Samuel Jurki/ An Integer P		André dos Sa/ Estratégia h		Nandamudi V/ Towards o3ta

Cada cor representa uma área, vide legenda.

Tabela 6: Legenda das Tabelas 3 a 5



## 7. Referências

- COLORNI, A., DORIGO, M., VITTORIO, M., 2007, *A Genetic Algorithm to Solve the Timetable Problem*, Submitted to Computational Optimization and Applications Journal.
- DAVIS, E. W., PATTERSON J.H., 1971, An Algorithm for Optimal Project Scheduling Under Multiple Resource Constraints, *Management Science*. vol.17(12), p. 803-817. In: LUCAS, D. C., PALAZZO, L., A., M., FERRUGEM, A. P.2000, *Algoritmos genéticos: um estudo de seus conceitos fundamentais e aplicação no problema de grade horária*, Monografia de Graduação, Universidade Federal de Pelotas.
- PINHO, A. F., MONTEVICH, J., A., B., MARINS, F., A., S., 2007, Análise da Aplicação de Projeto de Experimentos nos Parâmetros dos Algoritmos Genéticos, *Sistemas e Gestão*, vol. 2(3), p. 314-325.
- In: SOARES, Pedro, MAMEDE, Nuno J. *Timetabling Using Demand Profiles*. In: 8<sup>th</sup> Portuguese Conference in Artificial Intelligence, EPIA-97, Coimbra, Portugal. Proceedings...Springer – Verlag Berlin Heidelberg. In: LUCAS, D. C., PALAZZO, L., A., M., FERRUGEM, A. P.2000, *Algoritmos genéticos: um estudo de seus conceitos fundamentais e aplicação no problema de grade horária*, Monografia de Graduação, Universidade Federal de Pelotas.
- GOLDBERG, D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning*, New Jersey, Addison-Wesley.
- LEE, K. Y., EL-SHARKAWI, M. A., 2008, *Modern Heuristic Optimization Techniques*, New Jersey, Wiley.
- REEVES, C. R., 1995, *Modern Heuristic Techniques for Combinatorial Problems*, London, McGraw-Hill. Book Company.
- LEWIS, R., PAECHTER, B., 2007, *Application of the Grouping Genetic Algorithm to University Course Timetabling*, Centre for Emergent Computing, Napier University, Edinburgh.
- LOBO, E. L. M., 2005, *Uma Solução do Problema de Horário Escolar Via Algoritmo Genético Paralelo*, Tese de Mestrado, CEFET, MG.
- PETROVIC, S., YANG, Y., DROR, M., 2006, *Case-based Selection of Initialization Heuristics for Metaheuristic Examination Timetabling*, School of Computer Science and Information Technology, The University of Nottingham.
- PETROVIC, S., YANG, Y., DROR, M., 2004, *Use of Case Based Reasoning In Solving Examination Timetabling Problems*, Computer Science Technical Report No. NOTTCS-TR-2004-6.
- WALL, M. B., A, 1996, *Genetic Algorithm for Resource-Constrained Scheduling*, Tese de Doutorado, Massachusetts Institute of Technology.
- YANG, Y., *Case Based Selection of Initialization Heuristics for Metaheuristic Examination Timetabling*, 2004, Tease de Doutorado, Universidade de Nottingham.