



“INOVAÇÃO, CULTURA E MEIO AMBIENTE”



MODELO DE MINIMIZAÇÃO DO TOTAL DE SALAS UTILIZADAS PARA O PROBLEMA DE ALOCAÇÃO DE TURMAS EM SALAS DE AULA

Ana Flávia Bitencourt de Andrade⁽¹⁾ (anaflaviabittencourtt@hotmail.com), Vinicius Caldas Becho⁽¹⁾ (viniciusbecho@gmail.com), Joaquim José da Cunha Júnior⁽¹⁾ (joaquim.jose@prof.unibh.br)

⁽¹⁾ Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI BH) – Instituto de Engenharia e Tecnologia - Av. Prof. Mário Werneck, 1685 - Estoril - Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. CEP 30455-610

RESUMO: A cada início de período letivo, as instituições de ensino precisam alocar as turmas ingressantes nas salas de aula existentes em suas estruturas físicas. No Centro Universitário de Belo Horizonte (UNI-BH), essa tarefa é feita manualmente, sendo bastante dispendiosa. O presente trabalho trata do desenvolvimento de um modelo de minimização do total de salas utilizadas, a fim de solucionar o problema de alocação de salas de aula da instituição. O problema de alocação de salas é conhecido na literatura como Course Timetabling e vem sendo muito abordado nos últimos anos. Nesse trabalho, o processo de minimização foi modelado matematicamente e busca a automatização do processo de alocação das salas para, dessa forma, conseguir uma melhor utilização da estrutura física da instituição. O modelo formulado leva em consideração restrições como a impossibilidade de uma turma ser alocada em duas salas ao mesmo tempo, a impossibilidade de uma sala alocar duas turmas ao mesmo tempo e a necessidade de uma sala possuir capacidade suficiente para acomodar os alunos de uma turma. Com o intuito de validar o modelo matemático desenvolvido, criou-se um problema teste muito similar à situação verificada na instituição e o resultado obtido forneceu soluções viáveis para o problema. Em trabalhos futuros, espera-se poder associar ao modelo apresentado uma minimização da distância percorrida pelos estudantes, podendo -se implantar o sistema na instituição

PALAVRAS-CHAVE: alocação de salas de aula, minimização, otimização na gestão acadêmica.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento econômico alcançado pelo Brasil nas últimas décadas vem impulsionando o mercado a buscar uma mão-de-obra mais especializada. Em consequência disso, foram criadas políticas públicas de incentivo ao ingresso e a permanência no ensino superior, como por exemplo, os programas FIES e ProUni. Assim, nos últimos anos, observou-se uma elevação no número de matrículas nos cursos de graduação no país. De acordo com o último Censo, realizado em 2010 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE, o aumento foi de 7,1% de 2009 a 2010 e de 110,1% de 2001 a 2010. (IBGE, 2011)

Em virtude do cenário relatado, a cada semestre, as instituições de ensino superior precisam atentar-se minuciosamente à alocação das disciplinas ofertadas nas salas de aula existentes em suas estruturas físicas, obedecendo a algumas restrições como a capacidade máxima de cada sala, a

quantidade de alunos e a disponibilidade de horário dos professores, para obter uma utilização eficiente de seu espaço físico.

O problema de alocação de salas é conhecido na literatura por *University Course Timetabling* ou somente *Course Timetabling* e está presente como um processo intermitente nos calendários universitários. Soluções oriundas de estudos e formulações matemáticas estão sendo desenvolvidas e testadas para sanar as particularidades e interesses específicos de cada instituição de ensino. Segundo Burke (2007), um conjunto de eventos necessita de ser alocado em um determinado número de intervalos de tempo, sujeito a restrições, as quais, frequentemente, tornam o problema muito difícil de solucionar em circunstâncias do mundo real.

A principal dificuldade está associada ao tamanho do problema. No caso do *Course Timetabling*, há um grande número de professores, estudantes e salas, ligados de diversas maneiras por objetivos e condições e, por isso, cada procedimento de solução deve levar em conta um elevado número de variáveis e restrições. Sendo assim, a alocação de salas realizada manualmente, como ocorre em algumas instituições, torna-se praticamente inviável, dada a dimensão do problema. ALVAREZ-VALDES e CRESPO e TAMARIT (2002).

Com base nessas definições, o presente projeto apresentará o desenvolvimento de um modelo matemático orientado a auxiliar no processo de alocação de turmas nas salas de aula do Centro Universitário de Belo Horizonte – UNI-BH, obedecendo às restrições básicas do problema e, conseqüentemente, otimizando a utilização do espaço físico da instituição.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O problema da alocação de salas, também conhecido na literatura como *University Course Timetabling*, consiste na distribuição de aulas, com horários pré-definidos, a salas, obedecendo-se um conjunto de restrições tais como a capacidade das salas, o número de alunos, dentre outras.

Segundo Bardadym (1996), a alocação de salas é caracterizada ou como parte integrante do problema de planejamento de cursos universitários (*course timetabling*) ou como um problema proveniente dele (*Classroom assignment*). Para este segundo cenário, considera-se que as salas dos cursos universitários já estejam previamente definidas, ou seja, que já estejam determinados os horários de início e término das aulas de cada turma e de cada disciplina.

A literatura trata o problema de alocação de salas como sendo da ordem NP-difícil (Even et al. 1976) o que, em situações reais, torna a sua solução computacional bastante laboriosa – o computador pode ficar vários dias processando as informações para fornecer a melhor solução. Além disso, o resultado obtido pode ser insatisfatório em vários aspectos. Por exemplo, pode surgir insatisfação dos professores e alunos com relação a um possível aumento de deslocamento.

Embora tenham sido desenvolvidas diversas ferramentas matemáticas e computacionais destinadas a solucionar o problema de alocação de salas nas universidades, cada problema apresenta aspectos próprios que o tornam singular. Segundo Asratian e Werra (2002), a resolução do *course timetabling*

está fortemente ligada ao tipo de universidade e às características da mesma. Por isso, não há um modelo universal que possa ser empregado em qualquer lugar, cada universidade deve elaborar o seu próprio modelo, de acordo com as necessidades e aspectos físicos.

2.1 TIMETABLING

Segundo Burke et al. (2007), o problema genérico de *timetabling* aparece de diversas maneiras, incluindo determinação de escalas de trabalho de enfermeiras (*Nurse Rostering*), alocação do quadro de horários de eventos esportivos (*Sport Timetabling*), alocação do quadro de horários de transportes (*Transportation Timetabling*) e alocação de salas de aula (*University Timetabling*).

A complexidade de um *University Timetabling* instiga engenheiros e pesquisadores que visam oferecer uma solução satisfatória a um problema frequente, enfrentado por instituições de ensino nas últimas décadas. Essa adversidade periódica se restringe a variáveis específicas de cada período a ser analisado.

Sendo assim, o trabalho de agendamento e distribuição feito manualmente torna-se improficiente, necessitando de vários dias de trabalho, além de, possivelmente, gerar insatisfação dos alunos e professores.

2.2 ESTRATÉGIAS PARA A SOLUÇÃO DO PROBLEMA

Como já descrito anteriormente, o problema de alocação de salas é tratado como NP-difícil (Even et al. 1976), o que, em casos reais, dificulta ou mesmo torna irrealizável a sua solução por métodos exatos. Sendo assim, o problema é normalmente tratado através de técnicas heurísticas. A heurística é definida como sendo uma técnica que procura soluções viáveis (próximas da otimalidade) a um custo computacional moderado, porém, sem estar habilitada a garantir a otimalidade nem garantir o quão próximo a solução obtida está da solução ótima (ver Castro (2003)).

O grande empecilho à utilização das técnicas heurísticas é que a maioria delas é muito específica para um problema particular, podendo não ser eficientes ou praticáveis na solução de uma classe mais extensa de problemas. A partir disso, foram desenvolvidos estudos no sentido de melhorar as técnicas heurísticas, sem causar danos à sua principal característica, que é a flexibilidade. Assim, viabilizou-se o aparecimento das técnicas conhecidas como “Metaheurísticas” (ver Castro (2003)).

O mesmo autor afirma que as metaheurísticas são procedimentos destinados a encontrar uma boa solução, eventualmente a ótima, consistindo no emprego, em cada etapa, de uma heurística dependente, a qual deve ser modelada para cada problema específico.

Em 2002 foi realizada a segunda competição internacional de *timetabling*. O evento foi organizado por *Metaheuristics Network* e patrocinado por *Practice and Theory of Automated*

Timetabling (PATAT) e teve a participação de pessoas de diversas nacionalidades (ver Valério (2013)).

O desafio proposto na competição consistia em alocar um conjunto de eventos em salas convenientes, dispondo de 45 intervalos de tempo (9 horários por dia e 5 dias úteis na semana). Como resultado da competição foram publicados vários artigos, fornecendo boas referências para o tema (ver Valério (2013)).

Grande parte das soluções propostas baseou-se nas técnicas metaheurísticas, como por exemplo, Algoritmos Genéticos (AGs), *Simulated Annealing (SA)*, Busca Tabu, dentre outros. Segundo Castro (2003), o método de algoritmos genéticos fundamenta-se em analogias com processos naturais, inspirando-se em princípios da evolução natural; o método AS explora uma possível semelhança com a termodinâmica e o método BT utiliza-se de uma memória flexível para transformar o procedimento de busca mais eficiente.

3. MODELAGEM MATEMÁTICA

Segundo Kripka e Kripka e Silva (2011), normalmente, em um problema de alocação de salas, procura-se minimizar uma função objetivo que consiste num somatório das próprias restrições do problema. Na presente formulação, considera-se que existe um conjunto limitado de salas, um conjunto de turmas que cursam disciplinas diferentes e que precisam ser alocadas nessas salas. Por isso, a alocação deve respeitar às seguintes restrições:

- a capacidade da turma deve ser maior ou igual ao número de alunos inscritos;
- as aulas de duas disciplinas não podem ocorrer simultaneamente em uma mesma sala;
- a aula de uma disciplina não pode ocorrer em mais de uma sala ao mesmo tempo.

Para encontrar a melhor solução para o problema, todas as restrições descritas devem ser obedecidas simultaneamente. Em função das considerações feitas, formulou-se o seguinte modelo:

Parâmetros:

D – total de disciplinas

S – total de salas

H – total de horários

T – total de turmas

D_i – Demanda da disciplina i , em alunos

C_j – Capacidade da sala j , em alunos

M_{ki} – Matriz binária que indica se uma disciplina i deve ser alocada em um horário k

P_{il} – Matriz binária que indica se uma disciplina i pertence a uma turma l

Variáveis:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{se a disciplina } i \text{ foi alocada a sala } j \text{ no horário } k \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\beta_{jl} = \begin{cases} 1, & \text{se a sala } j \text{ será utilizada pela turma } l \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{Minimizar } Z: \sum_{j=1}^S \sum_{l=1}^L \beta_{jl} \quad (1)$$

sujeito a:

$$x_{ijk} * D_i \leq C_j \quad \forall \quad i = 1, \dots, D; j = 1, \dots, S; k = 1, \dots, H \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^D x_{ijk} = 1 \quad \forall \quad j = 1, \dots, S; k = 1, \dots, H \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^S x_{ijk} \geq M_{ki} \quad \forall \quad i = 1, \dots, D; k = 1, \dots, H \quad (4)$$

$$\beta_{jl} \geq P_{il} \quad \forall \quad i = 1, \dots, D; j = 1, \dots, S; k = 1, \dots, H; l = 1, \dots, T \quad (5)$$

Função objetivo (1) visa minimizar a soma do total de salas que cada turma utiliza, o que significa que esse valor pode ser maior que o total de salas. O conjunto de restrições (2) garante que uma disciplina só pode ser alocada em uma sala que tenha capacidade maior ou igual a demanda. O conjunto de restrições (3) garante que, em cada sala, em cada horário, apenas uma disciplina pode ser alocada. O conjunto de restrições (4) que garante que o horário estabelecido para uma determinada disciplina será respeitado (uma sala será alocada para a disciplina). O Conjunto de restrições (5) obriga que se uma sala tenha sido utilizada pelo menos uma vez para uma determinada turma variável β assume valor igual a 1, que indica que uma sala foi utilizada por uma turma.

4. TESTES

Para validar o modelo proposto foram realizados vários testes em instâncias que simulam situações reais, porém, com um número menor de turmas, salas e disciplinas.

Em uma instância de teste, denominada Test15A definiu-se que há cinco turmas (T1, T2, T3, T4 e T5), cinco disciplinas (A, B, C, D e E), cinco salas (S1, S2, S3, S4 e S5) e que cada turma possui dois horários disponíveis por dia: o Horário 1, que compreende o período de 19:00hs às 20:40hs e o Horário 2, que compreende o período de 20:55hs às 22:35hs. Considerou-se que a disciplina E

possui um horário de estudos independentes e, por isso, os alunos não precisam estar alocados em uma sala.

Para garantir que as restrições do problema fossem obedecidas, criou-se uma matriz, representada na Tabela 1, que atribui o número 1 a uma turma, associada a uma disciplina em um único horário do dia. Assim, naquele horário, a turma só pode ter uma disciplina e estar alocada em uma sala.

TABELA 1. Matriz binária que indica se uma disciplina deve ser alocada em um horário Test15A

	Seg		Ter		Qua		Qui		Sex	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
T1A	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0
T1B	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
T1C	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
T1D	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
T1E	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
T2A	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
T2B	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0
T2C	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
T2D	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
T2E	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
T3A	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
T3B	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
T3C	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
T3D	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
T3E	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
T4A	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
T4B	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
T4C	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
T4D	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0
T4E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
T5A	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0
T5B	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0
T5C	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
T5D	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
T5E	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

A tabela 2 apresenta uma simulação da alocação das turmas para os cinco dias letivos.

TABELA 2. Simulação da alocação de turmas Test15A

	Horário	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex
Turma 1	1	T1A	T1C	T1E	T1D	T1B
	2	T1B	T1D	T1A	T1C	
Turma 2	1	T2A	T2C	T2B	T2E	T2D
	2	T2B		T2D	T2A	T2C
Turma 3	1	T3A	T3A	T3D	T3C	T3E
	2	T3B	T3C		T3D	T3B
Turma 4	1	T4A	T4B		T4C	T4D
	2	T4B	T4A	T4C	T4D	T4E
Turma 5	1	T5E	T5B	T5D	T5A	T5B
	2	T5A	T5C	T5C		T5D

A solução ótima para a instância Test15A foi obtida com a utilização de 5 salas de aula, sendo que a turma 1 foi alocada na sala 3, a turma 2 foi alocada na sala 2, a turma 3 foi alocada na sala 4, a turma 4 foi alocada na sala 1 e a turma 5 foi alocada na sala 5.

Esse teste foi realizado em um computador com processador Core i7, com 8GB de Memória RAM utilizando o solver Cplex 11 com suas configurações padrão. O tempo computacional foi inferior a 1 segundo.

5. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

Neste projeto foi apresentado um modelo matemático inicial para a solução do problema de alocação de salas em uma instituição de ensino superior.

O desenvolvimento desse modelo é de suma importância, pois, mesmo sendo bastante simples, ele é capaz de fornecer respostas viáveis para o problema o que, muitas vezes, é um desafio mesmo para problemas reais de pequeno e médio porte. Além disso, ele é capaz de reduzir o número de salas utilizadas por cada turma, proporcionando uma melhor utilização da estrutura física da instituição.

Em um possível trabalho futuro, será avaliada a possibilidade de adequar o modelo para minimizar a distância percorrida por cada turma, obtendo-se uma resposta ainda mais apropriada para a alocação de turmas na instituição considerando o tratamento de problemas de grande porte. A necessidade da utilização de métodos heurísticos também será avaliada para o tratamento de problemas de grande porte.

6. REFERÊNCIAS

ALVAREZ-VALDES, R.; CRESPO, E.; TAMARIT, J.M. Design and implementation of a course scheduling system using tabu search. *European Journal of Operational Research*, [S.1], n. 176, 2002.

ASRATIAN, A.S.; WERRA, D. A generalized class-teacher model for some timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, [S.1], n. 143, 2002.

BARDADYM, V.A. Computer-Aided School and University Timetabling: The New Wave, *Lecture Notes in Computer Science*, 1153: 22-45.

BURKE, E.K. *et al.* A graph-based hyper-heuristic for educational timetabling problems. *European Journal of Operational Research*, [S.1], n. 176, 2007.

CASTRO, O.M. Resolução do Problema de alocação de salas de aula via *Simulated Annealing*. Monografia Projeto Orientado – Universidade Federal de Ouro Preto, 46p. , 2003.

EVEN, S. *et al.* On the complexity of timetabling and multicommodity flow problems. *SIAM Journal of Computation*, 5: 691-703.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Divulgação dos principais resultados do Censo da Educação Superior 2010, IBGE, 2011. Disponível em: <

KRIPKA, R.M.L.; KRIPKA, M.; SILVA, M.C. Formulação para o problema de alocação de salas de aula com minimização de deslocamentos. XLIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Ubatuba, SP, Brasil, 2011.

VALÉRIO, M.H.S. Um modelo computacional para a resolução do problema de alocação de turmas em salas no Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina. Trabalho de conclusão de Curso em Engenharia Mecânica, habilitação em Produção Mecânica – Universidade Federal de Santa Catarina, 76 p. , 2013.

6. DIREITOS AUTORAIS.

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo das informações contidas neste artigo.

MODEL OF REDUCING THE TOTAL OF ROOMS USED FOR THE PROBLEM OF ALLOCATION OF CLASSES IN CLASSROOMS

Ana Flávia Bitencourt de Andrade⁽¹⁾ (anaflaviabittencourt@hotmail.com), Vinicius Caldas Becho⁽¹⁾ (viniciusbecho@gmail.com), Joaquim José da Cunha Júnior⁽¹⁾ (joaquim.jose@prof.unibh.br)

⁽¹⁾ Universitário de Belo Horizonte (UNI BH) – Instituto de Engenharia e Tecnologia - Av. Prof. Mário Werneck, 1685 - Estoril - Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil. CEP 30455-610

ABSTRACT: *The beginning of the academic term , educational institutions need to allocate freshmen classes in classrooms located on their physical structures . At the University Center of Belo Horizonte (UNI - BH) , this task is done manually and is very expensive . This paper deals with the development of a model for minimizing the total of rooms used in order to solve the problem of allocating classrooms. The room allocation problem is known in literature as Course Timetabling and has been much discussed in recent years. In this work, the minimization process was modeled mathematically and seeks to automate the process of allocation of rooms , thus achieving a better utilization of the physical structure of the institution. The formulated model takes into account constraints such as the inability of a class to be allocated in two classrooms at the same time, the inability to allocate two classes in the same classroom at the same time and the need of a room to have sufficient capacity to accommodate the students in a class. In order to validate the developed mathematical model, it was created a test problem very similar to the situation in the institution and the result gave viable solutions to the problem .The article proposes a mathematical model for the problem of allocating classes in classrooms in order to achieve better utilization of the physical structure of the institution. In future work, it is expected to be able to associate to the model a minimization of the distance traveled by the students , and thus deploying the system in the institution.*

KEYWORDS: *allocation of classrooms, minimization, management optimization academic.*