

UTILIZAÇÃO DE METAHEURÍSTICAS PARA ELABORAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO DE TÉCNICOS DE ENFERMAGEM

Arthur Tórgo Gómez

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS
São Leopoldo - RS

Maira Regina Poltosi

Universidade do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS
São Leopoldo - RS
mpoltosi@etandart.com.br

Resumo

Problemas de produtividade de pessoal afetam todas as áreas de negócio, inclusive a da saúde. A elaboração das escalas de trabalho é uma tarefa realizada manualmente na maioria dos hospitais, consumindo muito tempo e nem sempre atendendo a legislação e normas internas. Neste contexto, uma ferramenta para a elaboração das escalas de trabalho torna-se importante. Este trabalho apresenta uma abordagem para a geração de escalas de trabalho para técnicos de enfermagem, de acordo com restrições legais e em um tempo computacional satisfatório. De modo obter maior nível de satisfação dos funcionários, a ferramenta busca atender preferências de folgas e distribuição justa dos plantões impopulares. A proposta é aplicar a metaheurística Busca Tabu combinada com Algoritmo Genético. Foram realizados experimentos com casos de teste baseados em dados reais, visto que não foram encontrados na literatura casos de teste adequados. Os resultados obtidos são satisfatórios mostrando a viabilidade da solução.

Palavras-Chaves: Escalas de trabalho; Busca Tabu; Algoritmo Genético.

Abstract

Problems of personnel affect all areas of business, including the healthcare providers. The generation of nurse rosters is a hand-made and time-consuming task in the majority of hospitals and does not always comply to the legislation and the internal rules. In this context, a tool for nurse rostering becomes important. This research presents an approach for the generation of rosters for the nursing technicians, according to the hospital's operational rules and legislation constraints in a satisfactory computational time. It also aims at giving the employees a higher level of satisfaction, concerning their rest days preferences and fair distribution of unpopular shifts. The proposal is to apply a Tabu Search metaheuristic combined with a Genetic Algorithm. Experiments were carried out with artificial test cases based on real data, since test cases have not been found in literature. The results are satisfactory showing the solution feasibility.

Keywords: Rostering; Tabu Search; Genetic Algorithm.

1. INTRODUÇÃO

Problemas de produtividade e rotatividade de pessoal afetam os custos das empresas. Os provedores de cuidados de saúde também sofrem com estes problemas, sendo que nesta área, o controle de custos não pode comprometer a qualidade do atendimento. Em consequência disso, os hospitais e a classe médica estão buscando intensivamente medidas efetivas de aumento da produtividade do pessoal. A falta de ferramenta computacional para a elaboração das escalas de trabalho de pessoal de enfermagem faz com que a maioria dos hospitais e clínicas realizem esta tarefa manualmente. É uma tarefa demorada visto que as escalas devem atender a a legislação e normas internas vigentes e ainda satisfazer o pessoal, requisitos geralmente conflitantes.

Na literatura encontra-se muitos trabalhos sobre o problema de elaboração de escala de trabalho como pode-se ver em Burke et al (2004b) e Ernst et al (2004a, 2004b). As variações são observadas tanto nas áreas de aplicação e definição do problema como nos métodos de solução empregados: Jaumard et al (1998), Chun et al (2000), Barboza et al (2003), Meisels e Schaerf (2003) e em Özcan (2005).

Devido ao grande número de variáveis e restrições envolvidas, classifica-se como um problema de otimização NP-Difícil (Burke et al, 2003). Casos reais do problema têm sido tratados com metaheurísticas: *Simulated Annealing* como em Dowling et al (1997), Busca Tabu em Dowsland (1998) e Burke et al (1998) e Algoritmos Genéticos em Burke et al (2001) e Özcan (2005).

Este trabalho propõe um modelo para a geração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem de um hospital em Porto Alegre. Foram levantadas as regras operacionais do hospital e as restrições da legislação que devem ser atendidas. De modo obter um maior nível de satisfação dos funcionários busca-se atender as preferências de dias de folga e distribuição equitativa dos plantões nos sábados, domingos e feriados.

O artigo está organizado da seguinte forma: na seção 2 são comentados aspectos que envolvem a elaboração de escalas de trabalho de pessoal de enfermagem. O modelo proposto e a arquitetura da aplicação implementada são apresentados na seção 3. A seção 4 descreve os experimentos realizados e, finalizando, as conclusões são apresentadas na seção 5.

2. DESCRIÇÃO DO PROBLEMA

Os problemas de escalonamento de pessoal abrangem a determinação apropriada da necessidade de força de trabalho, a alocação e a designação de tarefas à esta força de trabalho de acordo com os requisitos internos e externos de uma organização. A elaboração das escalas de trabalho corresponde a etapa de alocação de pessoal a períodos de tempo e, opcionalmente, locais.

Para prestar o atendimento 24 horas, nos 7 dias da semana, a área da saúde adota escala por turnos. Uma escala mensal de enfermagem apresenta a distribuição da equipe de uma enfermaria, considerando todos os dias do mês e os turnos de trabalho: geralmente, manhã, tarde e noite. Na escala, também são registradas as ausências: folgas, férias e licenças.

A escala mensal tem a estrutura de uma matriz bidimensional onde cada linha corresponde à escala de um técnico, também chamada de escala individual, e as colunas representam os dias do período que está sendo considerado. A Figura 1, a seguir, apresenta um modelo de escala mensal.

Escala de Trabalho																														
Período: abr/maio 2005	Unidade: CTI					Turno: Tarde					Função: Técnicos de enfermagem																			
Nome	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Téc 1					F			F							F										F					
Téc 2						F									F			F								F				F
Téc 3		F		F									F			F		Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe	Fe
Nro.Func.	3	2	3	2	2	2	3	2	3	3	3	3	2	3	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1

Legenda: Ad - Advertência
 AM - Atestado Médico
 AP - Atestado prova
 AT - Acidente de Trabalho
 C - Curso
 Co - Compensação
 F - Folga
 Fe - Férias
 L - Licença

Figura 1 - Modelo de escala mensal.

Na geração da escala mensal, de modo a obter-se resultados de boa qualidade, devem ser considerados a legislação trabalhista, normas da instituição, regras e dinâmica da enfermagem, características da clientela e da equipe de enfermagem e a humanização da escala.

Por ser um fator que influencia fortemente o nível de satisfação com o trabalho, afetando inclusive a retenção dos profissionais, a escala deve atender, da melhor forma possível, às necessidades pessoais de cada funcionário.

2.1. RESTRIÇÕES OBRIGATÓRIAS

As restrições obrigatórias devem ser atendidas para que uma escala seja viável. Neste trabalho foram consideradas como obrigatórias as seguintes restrições:

- Cobertura mínima: As folgas devem ser planejadas de forma garantir o número mínimo necessário de profissionais em assistência, de acordo com a demanda de cada turno/dia.
- Intrínseca: Um técnico deve ser designado a no máximo um turno por dia.
- Folgas: Deve ser concedido no mínimo o número de folgas obrigatórias por lei. Horas trabalhadas além da carga horária regulamentada e os feriados trabalhados são convertidos em folgas em folgas adicionais. O total de folgas concedidas não pode ultrapassar o número de folgas obrigatórias mais o número de folgas adicionais a que o técnico possa ter direito.
- Disponibilidade: Se em determinado dia o técnico está em licença ou férias, não pode ser escalado para o trabalho.

2.2. RESTRIÇÕES DESEJÁVEIS

As restrições desejáveis representam um conjunto de fatores que contribuem para adequar o modelo à aplicação. Neste aspecto, na modelagem elas são passíveis de relaxação. É praticamente impossível encontrar uma escala que atenda a todos os requisitos desejáveis BURKE et al (2004a) e que são freqüentemente conflitantes (GASCON et al, 2000).

As restrições desejáveis são:

- Solicitações: Para promover a satisfação dos funcionários, busca-se conceder folgas em datas solicitadas. Serão penalizadas as datas de folgas solicitadas e não concedidas.
- Distribuição dos plantões: Distribuir os plantões em dias impopulares de forma equitativa entre os funcionários. É calculado o desvio padrão da distribuição de plantões em sábados, domingos e feriados como penalidade.
- Fim-de-semana: Considera-se pena a cada funcionário que não receber uma folga em um sábado e em um domingo ou em um sábado e um feriado.
- Folgas adicionais: Conceder o máximo possível de folgas adicionais que um técnico possa ter direito. Penaliza por folga adicional não concedida.
- Intervalo: Respeitar ao máximo o intervalo entre as folgas determinado por lei. Esta restrição é desejável visto que, na prática, há flexibilidade para este prazo, assim as relaxações são penalizadas. Há um prazo de relaxação de maior tolerância e menor tolerância para relaxações maiores que este prazo.
- Cobertura ideal: Apesar de haver um número mínimo obrigatório de pessoal em assistência, há um número mínimo ideal de pessoal a ser alocado a cada turno/dia. A preferência é trabalhar com o máximo possível de pessoal alocado. Deve-se evitar ter menos que o número mínimo ideal de pessoal alocado, pois sobrecarrega demais a equipe. São penalizadas as ocorrências de cobertura abaixo do mínimo ideal.

2.3. FORMULAÇÃO

A função objetivo (FO) avalia a qualidade da solução indicando o quanto as restrições desejáveis estão sendo satisfeitas. A cada uma das restrições é atribuído um peso, que influenciará na importância desta variável na FO. As variáveis que compõem a FO estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1 – Lista de variáveis da FO.

X	Representa a solução como o conjunto de todas as variáveis de decisão x_{ijk} .
$F_s(X)$	Função Solicitações – calcula uma penalidade por folgas solicitadas, por técnico, e não atendidas.
$F_p(X)$	Função Distribuição dos plantões – avalia, em toda a escala, a justiça na distribuição dos plantões, aos sábados, domingos e feriados.
$F_f(X)$	Função Fim-de-semana – penaliza se o técnico não recebeu folga em um sábado e um domingo ou em um sábado e um feriado.
$F_a(X)$	Função Folgas adicionais – penalidade que contabiliza folgas adicionais de cada técnico não concedidas na escala.
$F_i(X)$	Função Intervalo – penaliza os intervalos entre folgas que excederam o limite legal mas estão dentro da relaxação permitida.
$F_{i+}(X)$	Função Intervalo+ - penaliza os intervalos entre folgas que excederam o limite legal além da relaxação permitida.
$F_c(X)$	Função Cobertura – penalidade para as ocorrências de cobertura abaixo do mínimo ideal.
x_{ijk}	É a variável binária cujo valor 1 indica se o técnico i está alocado ao turno j no dia k , 0 caso contrário.

As funções Solicitações, Fim-de-semana, Folgas adicionais, Intervalo e Intervalo+ são calculadas para cada técnico, representados nas linhas da escala. A função Cobertura examina os dias do período da escala, que estão dispostos nas colunas da escala. Por sua vez, a função Distribuição dos plantões avalia a escala de cada técnico em relação aos demais, considerando todos os dias do período, obtendo uma visão completa da escala.

Considerando que as funções representam penalidades pelo não atendimento de restrições desejadas, o objetivo é minimizar o valor da FO.

Para separar o problema em subproblemas, reduzindo o espaço de busca (BURKE et al, 2004a) e obter ganhos computacionais e na qualidade da solução final, como sugerido por Blöchliger (2004), as escalas são elaboradas separadamente por enfermaria/turno visto que as equipes são específicas de cada enfermaria e para cada turno.

3. DEFINIÇÃO DO MODELO

A seguir é apresentada a arquitetura da ferramenta que foi desenvolvida e como as metaheurísticas Busca Tabu e Algoritmo Genético foram aplicados nesta ferramenta.

3.1. ARQUITETURA

O processo de elaboração de uma escala começa com a construção de uma escala inicial a partir de parâmetros informados: período (mês/ano) para o qual elaborar a escala, número de técnicos, cobertura ideal requerida, relaxação permitida na cobertura, intervalos máximo e mínimo desejado entre as folgas, a relaxação permitida no intervalo máximo e pesos das variáveis da FO. O objetivo é obter uma escala viável, onde apenas os requisitos obrigatórios são atendidos sem preocupação com a qualidade da escala construída. A cobertura diária poderá ser atendida com ou sem relaxamento e apenas as folgas obrigatórias serão concedidas.

Esta escala gerada será a solução inicial para o processo principal que inicia pela Busca Tabu (BT). A escala resultante no final da BT é submetida ao Algoritmo Genético (AG), como forma de diversificação. A escala diversificada realimentará uma nova Busca Tabu para refinamento da solução. Este ciclo termina quando um número de diversificações informado previamente for atingido ou quando o AG não conseguir melhorar a escala. A Figura 2, a seguir, esquematiza esta arquitetura.

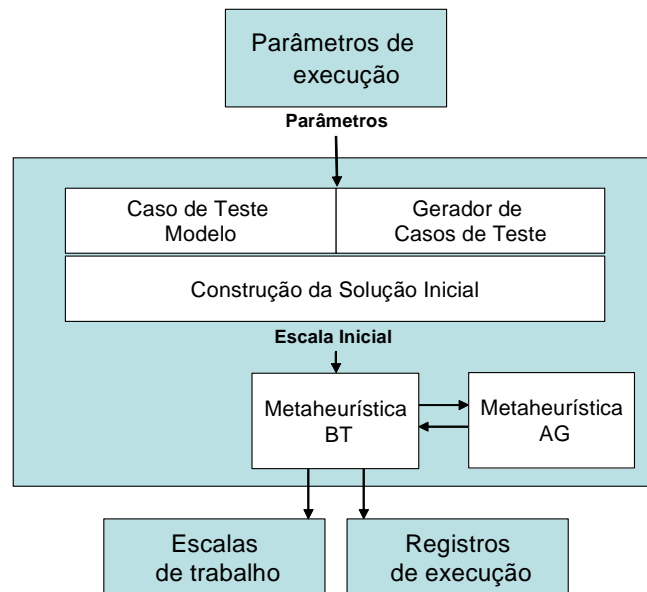


Figura 2 - Arquitetura do Modelo.

As informações específicas de cada técnico, como dias de preferência de folgas, última folga do período anterior, número de folgas adicionais e indisponibilidade, são fornecidas pelo caso de teste modelo ou pelo gerador de casos de teste, que simulam dados que na prática seriam obtidos em uma base de dados.

No final do processo, o sistema apresenta a melhor escala obtida, onde está indicado, a cada dia, se os técnicos estarão em assistência ou em folga. Também são expostos o percentual de melhora obtida na função objetivo em relação à escala inicial, o valor de cada parcela que compõem a função objetivo e a melhor iteração da última execução da BT. Durante o processo de busca são gravadas informações que auxiliam no acompanhamento e entendimento do processo.

3.2. BUSCA TABU

O método de Busca Tabu, sugerido por Glover (1989), é um procedimento iterativo para a solução de problemas de otimização combinatória. Começando com uma solução inicial viável s_0 , a cada iteração é explorado um subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s . A solução s' de V com melhor valor, segundo a função de avaliação (função objetivo) f , torna-se a nova solução corrente, mesmo que s' seja pior que s . Este critério de escolha é utilizado para escapar de um ótimo local.

Para evitar que o algoritmo retorne a uma solução gerada anteriormente e fique preso em um ótimo local, existe um mecanismo de memória de curto prazo chamado de Lista Tabu. A Lista Tabu clássica mantém os movimentos reversos aos últimos $|T|$ movimentos realizados e funciona como uma fila de tamanho fixo e disciplina FIFO (*first in - first out*). Portanto, o objetivo dessa lista é tentar evitar movimentos que levem a regiões já visitadas do espaço de soluções. Os últimos movimentos realizados são armazenados nesta lista e permanecem proibidos, com estado tabu, por um dado número de iterações, chamado *tabu tenure*. Assim, na exploração do subconjunto V da vizinhança $N(s)$ da solução corrente s , ficam excluídos da busca os vizinhos s' que são obtidos de s por movimentos que constam na Lista Tabu.

A Lista Tabu pode proibir movimentos para boas soluções que ainda não foram visitadas. Assim existe um mecanismo que retira, sob certas circunstâncias, o estado tabu de um movimento chamado função de aspiração. O algoritmo Busca Tabu emprega dois critérios de parada do procedimento: a realização do número máximo de iterações sem melhora no valor da melhor solução ou a aproximação da melhor solução a um limite conhecido.

No modelo proposto, a cada iteração da BT são examinadas duas vizinhanças. A primeira vizinhança atua como uma pequena diversificação da escala uma vez que seus movimentos alternam a escala de um técnico/dia, entre folga e trabalho. Como na construção da solução inicial são atendidas apenas as folgas obrigatórias do período, este movimento visa atender a restrição Folgas adicionais indicando quantas, para quem e quando, folgas adicionais conceder. A cada técnico com direito a receber mais folgas do que já está designado, é verificado para qual dia a concessão de uma folga resulta em uma menor FO. Também é verificado se o número de folgas concedidas para este técnico, é maior que o número de folgas obrigatórias. Em caso positivo, avalia-se o impacto na FO causado pela substituição de cada folga por trabalho. Entre estas duas possibilidades, conceder ou retirar folga, o movimento que resultar na menor FO é realizado na escala.

A segunda vizinhança é gerada por movimentos de troca (swap). São avaliadas todas as trocas entre as escalas diferentes (folga ou trabalho), de cada técnico/dia diferentes, de acordo com a disponibilidade dos técnicos e que resultem em escalas viáveis, ou seja, atendem os requisitos de cobertura e o número de folgas concedidas a cada técnico não é menor que o número de folgas obrigatórias nem maior que o número de folgas obrigatórias mais as folgas adicionais. A cada iteração, é realizado na escala o movimento que resultar na menor FO.

3.3. ALGORITMO GENÉTICO

Esta metaheurística é inspirada na metáfora dos mecanismos evolucionários encontrados na natureza. Usualmente, uma população inicial é gerada aleatoriamente ou através de alguma heurística. Como no caso biológico, não há evolução sem diversidade. Desta forma é importante que a população inicial cubra a maior área possível do espaço de busca, com um maior número de soluções, sem importar se são viáveis ou não.

Os operadores genéticos são as regras que permitem a manipulação dos indivíduos da população (cromossomos). A operação de *crossover*, cruzamento ou recombinação, é um processo sexuado, ou seja, envolve mais de um indivíduo, que permite a obtenção de filhos a partir da troca de fragmentos de cromossomos dos pais. Existem vários modos de realizar este cruzamento. A operação de mutação cria um novo indivíduo por alteração nos cromossomos. Basicamente, é selecionada uma posição num cromossomo e o valor do gene é alterado. Como critério de parada, normalmente é utilizado o critério do número máximo de gerações.

Os algoritmos genéticos têm sido utilizados na solução de problemas de escalonamento de pessoal, subproblemas e variantes, especialmente escalas de trabalho de enfermeiros e tripulações de ônibus como consta em ERNST et al (2004a). Neste modelo o AG é aplicado como uma forma de diversificação mais agressiva que o movimento de diversificação realizado na BT. Enquanto o movimento da BT altera a escala de um técnico/dia, o AG troca várias escalas técnico/dia buscando atingir regiões do espaço de soluções que os movimentos da Busca Tabu não alcançaram. Segundo Burke (2004a) “A eficiência da Busca Tabu pode ser aumentada aplicando diversificação”.

Neste modelo, o AG implementado seleciona a população inicial da escala resultante da BT, sendo a escala de cada técnico um candidato a indivíduo desta população. Cada escala individual é um cromossomo e cada dia é um gene. Para não aumentar em demasia o tempo de processamento, a atuação do AG está restrita a buscar melhorias nas escalas individuais que não estão atendendo satisfatoriamente restrições consideradas mais importantes, uma pelo objetivo geral da escala e outra pelo aspecto legal. Deste modo, serão selecionadas as escalas individuais com o valor da função Solicitações maior que um (mais de uma data de folga solicitada não atendidas) e/ou com o valor da pena Fim-de-semana igual ao um (técnico não tem folgas em um sábado e em um feriado ou em um sábado e em um domingo). O parâmetro

Tamanho da População limita o número máximo de indivíduos que serão selecionados. O AG prossegue se no mínimo dois indivíduos forem selecionados.

A cada iteração, são selecionados dois indivíduos da população inicial, que ainda não cruzaram entre si. Chamaremos estes indivíduos de pai 1 e pai 2, a partir dos quais será criada uma população de filhos. Não é aplicada função de adaptabilidade específica para selecionar os pais, mas todos os indivíduos da população inicial foram selecionados previamente de acordo com as regras expostas acima.

A probabilidade de cruzamento é de 100% e a de mutação é de 0%. É gerado aleatoriamente um ponto de separação e os pais são combinados para gerar os dois filhos da primeira geração. O parâmetro número de gerações indica quantos cruzamentos deverão ser realizados. A cada geração, dois filhos são criados a partir dos filhos da geração anterior. Um maior número de gerações promove uma maior fragmentação e mistura dos genes dos pais originais, maior será a população de filhos e com maior variedade de indivíduos.

Após as gerações, é verificado se algum filho substitui o pai 1 com maior diminuição na FO. Em caso positivo, o pai é substituído e é eliminado da população inicial, caso contrário o pai permanece para futuros cruzamentos. Este mesmo processo de substituição é repetido para o pai 2. Todos os filhos gerados são descartados e o algoritmo retorna a selecionar dois pais da população inicial.

O processo de cruzamento termina quando não há mais um mínimo de dois indivíduos na população inicial que ainda não cruzaram entre si ou quando os indivíduos restantes já cruzaram entre si mas não obtiveram melhoria.

4. EXPERIMENTOS

Os experimentos foram realizados em um computador com processador Intel 1.66 GHz Duo Core e 1 Gb de RAM, com o sistema operacional Windows XP Professional Versão 2000 Service Pack 2 em velocidade de processamento Normal. A aplicação foi desenvolvida em uma *thread*, utilizando apenas um processador.

A falta de casos de teste padronizados, devido às variações nos modelos propostos e de resultados reconhecidos, dificulta a comparação dos resultados deste trabalho. Como casos de testes têm sido utilizados geradores de casos de teste aleatórios como em Özcan (2005), casos artificiais baseadas em dados reais, em Dowland (1998) ou dados de casos reais como em Burke et al (1998; 2001; 2003; 2004a). Neste trabalho foi utilizado um caso de teste artificial baseado em dados reais coletados em um grande hospital de Porto Alegre.

As seguintes condições foram aplicadas em todos os experimentos: 20 técnicos, sendo um técnico indisponível por todo o período devido a licença e três profissionais ausentes por quinze dias, em férias. Para todos os dias a cobertura mínima ideal é de 14 técnicos permitindo o relaxamento na cobertura de uma pessoa, As variáveis da FO com pesos para uma solução não tendenciosa, tamanho da lista tabu em 10 e o número máximo de iterações na BT sem melhoria igual a 50, intervalo entre folgas máximo de 6 dias e mínimo de 4 dias. Sem executar diversificações com o AG. Qualquer alteração de um destes parâmetros, consta na descrição do experimento.

4.1. SOLUÇÃO NÃO TENDENCIOSA

A solução não-tendenciosa (SNT) é aquela em que cada parcela da FO contribui da mesma forma que as demais, sem haver privilégio de alguma variável. Para obter uma SNT os pesos das parcelas da FO foram calibrados de forma normalizar os valores que cada parcela pode assumir. Para tanto, o aplicativo foi executado 50 vezes aplicando apenas a BT. Todas execuções usaram os mesmos parâmetros excetos os pesos que receberam valores inteiros gerados aleatoriamente seguindo uma distribuição normal de 0 a 100. O processo foi repetido para cada mês, com o mesmo caso de teste, parâmetros e pesos gerados.

Para cada mês foi calculada a proporção de cada variável em relação a variável Intervalo+ que apresentou, em todos os meses, o maior valor. A proporção foi calculada pela divisão da média amostral da variável Intervalo+ pela média amostral das demais variáveis.

Finalmente foi calculada a média aritmética dos valores obtidos nos doze meses para compor um conjunto de pesos representativos para a SNT.

4.2. PRIVILEGIANDO VARIÁVEIS

Alterando os valores dos pesos é possível anular ou privilegiar a participação da respectiva variável na função objetivo. A fim de avaliar o comportamento das demais variáveis quando uma é privilegiada, o modelo foi executado 6 vezes para cada variável, com o valor do peso SNT da variável privilegiada multiplicado por 1, 2, 5, 10, 50 e 100 a cada execução. Os comportamentos mais significativos que observados foram:

- Ao privilegiar as variáveis Folgas adicionais e Solicitações de folgas prejudica-se a Cobertura ideal.
- O favorecimento da variável Distribuição dos plantões lesa a variável Fim-de-semana e Folgas adicionais. Neste caso, como a variável Cobertura ideal tem comportamento inversamente proporcional ao da variável Folgas adicionais, é favorecida junto a variável Distribuição dos plantões.
- A variável Intervalo privilegiada sobrecarrega a variável Intervalo+ e a recíproca também é verdadeira. Estas duas variáveis quando privilegiadas prejudicam as variáveis Fim-de-semana, Folgas adicionais e Distribuição dos plantões.

Analisando os resultados com os testes com variáveis privilegiadas, confirma-se a dificuldade em elaborar uma escala de trabalho: há muitos conflitos.

4.3. INFLUÊNCIA DA VARIAÇÃO DOS MESES

Gerando escalas nas mesmas condições de teste para cada mês, foram verificadas diferenças significativas no número de iterações realizadas na BT, na FO resultante e no percentual de melhoria obtidos.

O problema abordado trata do escalonamento dos dias de folgas. O número de dias de folga é calculado com base no número de domingos e de feriados que acontecem em cada mês, nota-se então, a influência do período de planejamento sobre a escala.

Quanto mais domingos e feriados ocorrem no período, mais folgas devem ser distribuídas e fica mais difícil conseguir atender as restrições de cobertura. Outro fator que atua em conjunto com o número de dias de folga é o número de dias do período, que pode ser de 28 a 31 dias. Quanto mais longo o período, mais fácil distribuir as folgas e maior o espaço de soluções.

A quantidade de sábados em um mês, além dos domingos e feriados no período, também exerce influência. Se por um lado um maior número de domingos e feriados dificulta a satisfação da restrição de cobertura, por outro, o maior número de sábados, domingos e feriados facilita o atendimento às restrições de Fim-de-semana e Distribuição dos plantões.

Para comprovar este fato foi calculado um índice denominado de “grau de dificuldade”, que é proporção do número de dias de folgas pelo número de dias “não-folgas” do mês - número de dias do mês menos o número de folgas deste mês. A Tabela 2 apresenta, para cada mês, os resultados obtidos nas escalas e o grau de dificuldade calculado.

Tabela 2 - Resultados obtidos mês a mês para o ano de 2007.

Meses	Melhor Iteração	FO Obtida	% Melhoria	Grau de dificuldade
Janeiro	58	269,8919	67,72	19,23%
Fevereiro	45	359,8236	48,84	27,27%
Março	38	231,8952	74,81	14,81%
Abril	41	504,8702	41,18	30,43%
Maior	56	261,209	68,42	19,23%
Junho	104	191,4687	75,01	20,00%

Julho	76	229,5414	74,35	19,23%
Agosto	41	325,5816	61,14	14,81%
Setembro	107	425,6445	43,9	30,43%
Outubro	98	298,7984	65,13	19,23%
Novembro	41	311,5793	57,85	25,00%
Dezembro	37	225,0171	54,15	24,00%

Comparando o grau de dificuldade de cada mês com a variável Folgas adicionais do respectivo mês, obtemos um grau de correlação de 0,9354 e com a variável Cobertura, a correlação é de 0,9129. Por sua vez, as correlações entre as variáveis Solicitações e Distribuição dos plantões com o grau de dificuldade apresentam um comportamento inversamente proporcional, sendo de -0,7434 e -0,8286, respectivamente.

O comportamento da FO obtida em relação ao grau de dificuldade é apresentado no gráfico abaixo, Figura 3. A linha referente ao grau de dificuldade está associada à escala da direita. A correlação da FO com o grau de dificuldade é de 0,72. Mesmo que a correlação de algumas variáveis com o grau de dificuldade sejam inversas, a tendência é uma relação diretamente proporcional. Para as demais variáveis, as correlações se situam no intervalo de -0,7 a 0,7, sendo consideradas menos significativas.

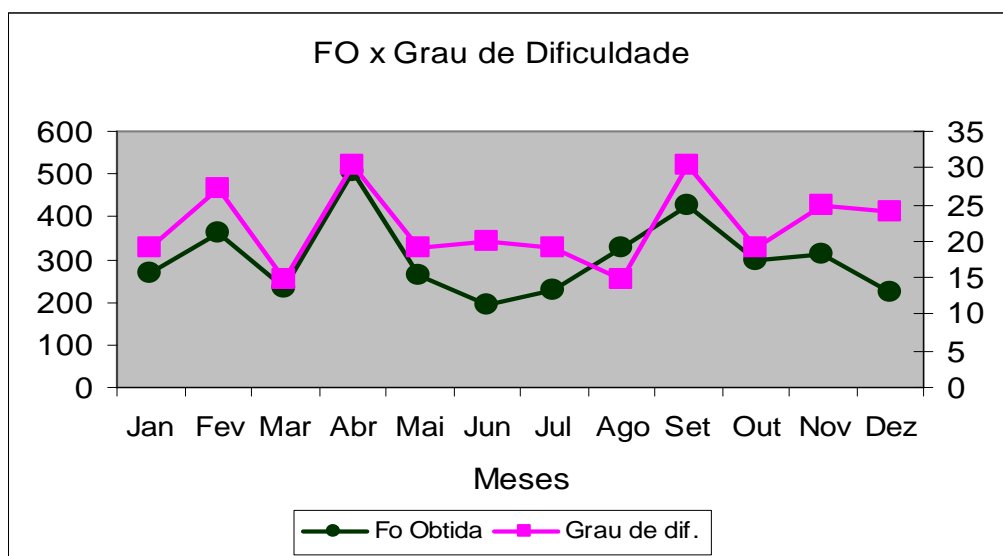


Figura 3 - Comportamento da FO e Grau de dificuldade.

Cabe observar que o número de sábados, domingos e feriados móveis de cada mês é diferente de um ano para outro, portanto os graus de dificuldade também se alteram a cada troca de ano.

4.4. EXPERIMENTOS COM BT E AG

Para avaliar o desempenho em termos de ganho na FO e impacto no tempo de processamento foram realizados experimentos ativando o processo de diversificação da escala pelo AG. Usando o caso de teste com LT igual a 30, para o mês de janeiro, tamanho da população 20, e com 5 gerações foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Experimento com BT e AG.

Etapa	FO Inicial	FO Obtida	% Melhoria	Tempo
BT	836,144	269,8919	67,72	00:21:39

AG	269,8919	259,3452	3,91	00:00:01
BT	259,3452	213,8326	17,55	00:14:21
AG	213,8326	213,8326	0,00	00:00:01

Além da melhoria na FO propiciada pelo AG, neste caso é 3,91%, a BT que sucede este ciclo de AG, propicia mais uma melhoria de 17,55% na FO. O segundo ciclo do AG não obteve ganhos, sendo finalizado o processo. A FO foi reduzida em 74,43%, sem a execução do AG teria sido de 67,72%. Uma preocupação com o AG seria o aumento no tempo computacional, porém o algoritmo proposto para o AG demonstrou ser bastante rápido.

Com a variação do parâmetros número de gerações do AG em um mesmo caso de teste, é possível verificar que como o aumento da população de filhos gerados é maior, aumenta a possibilidade de encontrar filhos que substituam os pais com vantagens para a FO. A figura 4 apresenta estes resultados de um caso de teste com 12 técnicos.

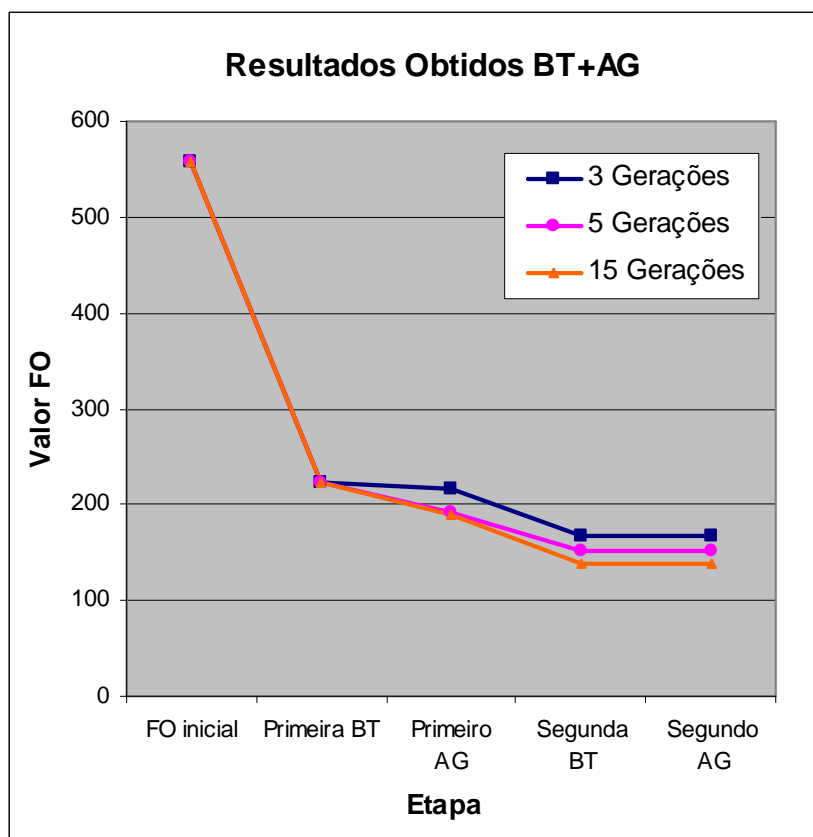


Figura 4 - Resultados obtidos BT+AG.

A primeira etapa BT obtém os mesmos resultados para os três testes. Após a primeira etapa AG, que é afetada pelo parâmetro número de gerações, podemos observar os diferentes caminhos percorridos. Porém teste com 30 gerações obtiveram os mesmos resultados que para 15 gerações.

Em todos os experimentos realizados a execução do processo encerrou ao executar o AG pela segunda vez e não obter melhor FO. Em alguns casos o AG não melhora a escala recebida da BT mesmo com número de gerações mais alto (50 e 100). Muitas escalas individuais, geradas pelo AG inviabilizam a escala geral, outras escalas individuais, por sua vez resultam em FO maior ou igual a que está sendo avaliada. Devido às múltiplas variáveis que compõem a FO e a natureza da escala, diferentes escalas podem resultar na mesma FO.

4.5. VALIDAÇÃO DO MODELO

O desempenho da arquitetura foi testado com o caso de teste com 20 técnicos para um mês completo, de 28 a 31 dias. Nos trabalhos de Özcan (2005) e Burke et al (1998, 2003) também são utilizados casos de testes com 20 enfermeiros, sendo no primeiro para 14 dias e

nos demais para 4 semanas, 28 dias. O hospital pesquisado não possui atualmente equipes maiores que 30 pessoas para um turno de uma enfermaria.

O tempo de execução se situa na faixa de 10 a 26 minutos, normalmente é de 18 minutos, depende do grau de dificuldade do mês. Este resultado é compatível com os tempos encontrados, para o caso de 20 enfermeiros, testados em Burke et al (1998, 2003).

Foi criado um caso de teste para representar a situação de uma escala real: 13 técnicos, 2 ausentes o período todo, período de 31 dias, 4 sábados, 4 domingos e um feriado. Informações como data da última folga e número de folgas adicionais foram obtidas da escala do período anterior. A FO calculada para a escala real é de 417,9768 e a execução deste caso de teste pelo modelo atingiu um resultado de 122,1758. O modelo conseguiu reduzir sensivelmente as penalidades, inclusive as solicitações de folga, quesito muito importante para os técnicos. O tempo de execução foi de 7'45''. Os resultados obtidos estão resumidos na Tabela 4.

Tabela 4 - Avaliação escala real.

	Escala Obtida	Escala Real
Solicitações	27,63177	3,98449
Distrib. dos Plantões	0	32,76162
Fim-de-semana	0	57,8366
Intervalo	0	147,042
Intervalo +	5	28
Folgas Adicionais	55,666	89,0656
Cobertura	33,878	59,2865
FO obtida	122,1758	417,9768

5. CONCLUSÃO

Foi proposto um modelo para a elaboração de escalas de trabalho mensais para os técnicos de enfermagem, de acordo com as regras operacionais do hospital e as restrições da legislação e promovendo maior satisfação dos funcionários com as suas escalas. É uma ferramenta importante para o gerenciamento da parcela mais significativa dos funcionários da área da saúde.

O modelo desenvolvido combina Busca Tabu com Algoritmo Genético explorando o refinamento realizado pela BT e a diversificação promovida pelo AG para obter os melhores resultados. Os testes realizados mostraram que o modelo é robusto, condizente com a realidade, produz escalas de qualidade muito superior às construídas manualmente e em um tempo computacional razoável.

Foi possível verificar os muitos conflitos existentes entre as variáveis da FO: ao privilegiar Folgas adicionais ou Solicitações prejudica-se a variável Cobertura ideal, ao equilibrar os plantões nos finais de semana afeta-se as folgas de fim-de-semana e a variável Folgas adicionais. As variáveis Intervalo e Intervalo+ conflitam entre si e quando privilegiadas prejudicam as variáveis Fim-de-semana, Folgas adicionais e Distribuição dos plantões.

Um fator externo que exerce alta influência sobre as escalas de trabalho é o mês para a qual a escala está sendo elaborada devido ao número de dias de folga que é calculado com base no número de domingos e de feriados que acontecem em cada mês. Soma-se a isso a diferença do número de dias de cada mês. Em meses mais curtos e com mais domingos e/ou feriados, como exemplo fevereiro e abril, é mais difícil de distribuir as folgas mantendo a cobertura mínima.

O desempenho da BT se mostrou muito bom, visto que a cada exploração de vizinhança é realizado um alto número de movimentos, apesar que poucos são viáveis. O AG,

por sua vez, surpreendeu pela rapidez e pela melhoria obtida. Foi importante a decisão de retornar a escala resultante do AG para a BT. Nesta segunda rodada, a BT consegue mais um índice de melhoria, geralmente acima de 10%.

A falta de casos de teste padronizados, devido às variações nos modelos propostos, e de resultados reconhecidos, dificulta a comparação dos resultados desta pesquisa com outras. Para os experimentos foram utilizados um caso de teste modelo baseado em dados reais. Com os pesos da solução não-tendenciosa foi possível obter ótimos resultados em relação às escalas reais, ainda mais considerando que na prática, estas escalas não chegam a ser sequer viáveis. O modelo foi validado com uma escala real onde se mostrou muito superior.

É um problema combinatório realmente muito complexo, cabe aos administradores definirem quais variáveis privilegiar. O modelo oferece esta flexibilidade, tanto permitindo a alteração dos pesos como de parâmetros que configuram os limites de relaxamento aceitos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barboza, A.O., Carnieri, C., Steiner, M.T.A e Siqueira, P.H.** (2003), Técnicas da Pesquisa Operacional no Problema de Horários de Atendentes em Centrais Telefônicas, *Gestão & Produção* v.10 n.1, 109-127.
- Blöchliger, I.** (2004), Modeling Staff Scheduling Problems. A Tutorial, *European Journal of Operational Research* v.158 p.533-542.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D. e Berghe, G.V.,** A Hybrid Tabu Search Algorithm for the Nurse Rostering Problem, em *Simulated Evolution and Learning*, B. McKay et al. (Eds.), *Lecture Notes in Artificial Intelligence* v.1585, Springer, 187–194, 1998.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D. e Berghe, G.V.** (2001), A Memetic Approach to the Nurse Rostering Problem, *Applied Intelligence* 15, 199–214, Kluwer Academic Publishers.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Petrovic, S. e Berghe, G.V.,** Variable Neighbourhood Search for Nurse Rostering Problems, em *Metaheuristics: Computer Decision-Making*, M .G.C. Resende e J. P. de Sousa (Eds.), Kluwer Academic Publishers, 153-172 , 2003.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V. e Landeghem, H.V.,** Novel Metaheuristic Approaches to Nurse Rostering Problems in Belgian Hospitals. J. Leung (Ed.), *Handbook of Scheduling: Algorithms, Models and Performance Analysis*, CRC Press, 44.1–44.18, 2004a.
- Burke, E.K., Causmaecker, P.D., Berghe, G.V. e Landeghem, H.V.** (2004b), The State of the Art of Nurse Rostering, *Journal of Scheduling*, v.7 n.6, 441– 499.
- Chun, A.H.W., Chan, S.H.C., Lam, G.P.S., Tsang, F.M.F., Wong, J., e Yeung, D.W.M.** (2000), Nurse Rostering at the Hospital Authority of Hong Kong, *Atas do 17th National Conference on AAAI and 12th Conference on IAAI*, 951-956.
- Dowling, D., Krishnamoorthy, M., Mackenzie, H. e Sier, D.** (1997), Staff rostering at a large international airport, *Atas de Operations Research* v.72, 125–147.
- Dowland, K. A.** (1998), Nurse scheduling with tabu search and strategic oscillation, *European Journal of Operational Research* v.106 ,393-407.
- Ernst, A., H. Jiang, M. Krishnamoorthy e Sier, D.**(2004a), Staffing Scheduling and Rostering: A Review of Applications, Methods and Models, *European Journal of Operations Research* 153, 3–27.
- Ernst, A., H. Jiang, M. Krishnamoorthy, Owens, B. e Sier, D.** (2004b), An Annotated Bibliography of Personnel Scheduling and Rostering, *Atas de Operations Research* v.127.
- Gascon, V., Villeneuve, S., Michelon, P. Ferland, J.A.** (2000), Scheduling the Flying Squad Nurses of a Hospital Using a Multi-Objective Programming Model. *Anais do Operations Research* v.96, p.149–166.
- Glover, F.** (1989), Tabu Search – parte 1, *ORSA Journal on Computing* v.1 n.3.
- Jaumard, B., Semet, F., Vovor, T.** (1998), A generalized linear programming model for nurse scheduling, *European Journal of Operational Research* v. 107, 1-18.
- Meisels, A., Schaerf, A.** (2003), Modelling and Solving Employee Timetabling Problems, *Atas de Mathematics and Artificial Intelligence*, Kluwer Academic Publishers, 41–59.
- Özcan, E.** (2005), Memetic Algorithms for Nurse Rostering. *Atas de 20th International Symposium on Computer and Information Sciences*, Istanbul.