

MODELAGEM EM DUAS FASES PARA A PROGRAMAÇÃO DE ESCALAS DE TRABALHO EM UMA PRESTADORA DE SERVIÇOS: ESTUDO DE CASO CONSÓRCIO RIO CIDADÃO**Valdecy Pereira**

Universidade Federal Fluminense - Departamento de Engenharia de Produção
Rua Passos da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil.
valdecy.pereira@gmail.com

Jovemara Moreira Barbosa

Consórcio Rio Cidadão – Unidade São Gonçalo
Avenida São Gonçalo, 100, Boa Vista, São Gonçalo Shopping, 24466-315, SG/RJ, Brasil.
jovemara.santos@riocidadao.com.br

Helder Costa Gomes

Universidade Federal Fluminense - Departamento de Engenharia de Produção
Rua Passos da Pátria 156, São Domingos, 24210-240, Niterói, RJ, Brasil.
hgc@vm.uff.br

RESUMO

O presente trabalho propõe uma modelagem em duas fases para automatizar a programação de escalas de trabalho em um programa do Consórcio Rio Cidadão. A primeira fase se trata de uma modelagem linear e inteira que, dada as demandas dos postos de trabalho, a necessidade de dois funcionários para a abertura dos postos de trabalho e um conjunto de escalas possíveis, determina o número mínimo de pessoal necessário para o período de uma semana de atendimento. A segunda fase se trata de um modelo binário que atende as necessidades específicas da empresa, que são: a alta rotatividade dos funcionários entre os postos, as preferências em relação às horas de almoço e a existência de funcionários volantes que possam ser realocados para atendimento de postos com picos de demanda. A solução da modelagem foi superior a solução manual, e também implementada na unidade em questão.

PALAVRAS CHAVE. Escala de trabalho, Modelagem Linear e Inteira, Modelagem Binária.

Área principal: SE - PO em Serviços

ABSTRACT

The present paper proposes a two-phase model to solve a work schedule problem at the company consortium Rio Cidadão. The first phase is a linear and integer model that, given the demands of jobs and a set of possible schedules, determines the minimum number of employees needed for the period of one week of care. The second phase is a binary model that meets the specific needs of the company, which are: the need of a high staff turnover among the workstations, the need for two employees to open the workstations, preferences regarding lunch hours and the existence of flexible employees that can be reallocated to care workstations with peaks in demand. The solution of the proposed model was superior to the manual solution and was also implemented in the unit.

KEYWORDS. Work Schedule. Linear and Integer Model. Binary Model.

Main area: SE - OR in Services

1. Introdução

Ernst et al (2004) definem escala de trabalho, como o processo de construção de horários de trabalho para os funcionários de uma organização, para que possam satisfazer a demanda por seus produtos ou serviços. O processo que envolve a determinação do número mínimo de funcionários, com habilidades específicas necessárias para atender as demandas, também deve observar todas as regulamentações trabalhistas e acordos laborais relevantes. Os autores encontraram um grande número de aplicações da programação de escalas de trabalho como, por exemplo, em companhias aéreas e de ferrovias, sistemas de saúde, serviços de emergência, como polícia, ambulância e bombeiros, *call centers*, e muitas outras organizações de serviço, como hotéis, restaurantes e lojas de varejo.

Barda et al (2003) asseguram que a programação de escalas de trabalho eficaz tornou-se um dos principais meios pelos quais as organizações de serviços podem permanecer competitivas. Escalas de trabalho mal elaboradas podem levar a um excesso de oferta de trabalhadores com muito tempo ocioso, ou uma suboferta com uma conseqüente perda de negócios.

Burke et al (2004) afirmam que a programação automática de escalas de trabalho não são ainda muito comuns e a importância de uma abordagem sistemática para criar boas escalas é muito elevado, especialmente na área da saúde, onde é inaceitável o não atendimento total das necessidades dos pacientes, como também os requerimentos especiais pra as escalas dos funcionários. Os autores ainda afirmam que as escalas automatizadas têm um potencial significativo para diminuir o tempo do processo de definição das escalas e também de gerar soluções com mais qualidade do que as soluções manuais.

Dada a importância estratégica que uma programação eficaz de escalas de trabalho automáticas podem atingir, o presente trabalho propõe uma modelagem em duas fases para automatizar as escalas de trabalho em um programa do Consórcio Rio Cidadão. O programa em questão é um programa de atendimento ao cidadão e ao empresário do Governo do Estado do Rio de Janeiro, coordenado pela JUCERJA (Junta Comercial do Estado do Rio de Janeiro), tendo como objetivo reunir, num mesmo espaço físico, entidades públicas (Municipais, Estaduais e Federais) e privadas, fornecendo aproximadamente 400 serviços de utilidade pública, tais como: emissão da carteira de identidade e habilitação, emissão da carteira profissional, consulta ao SPC, assistência jurídica, entre outras atividades.

O objetivo do presente trabalho trata especificamente, de formular uma programação automática das escalas de trabalho em um programa do Consórcio Rio Cidadão, localizado na cidade de São Gonçalo. A modelagem poderá ser generalizada para aos demais programas do consórcio, pois possuem os mesmos processos e requisitos de atendimento, ambos regulados por meio de um edital.

O presente artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 1 foi apresentada a contextualização do problema de programação de escalas de trabalho e a sua importância, os principais objetivos do trabalho e uma breve descrição do objeto de estudo, o programa da unidade São Gonçalo. Na seção 2, é apresentada uma revisão da literatura envolvendo diferentes modelagens e aplicações para a resolução do problema de escala de trabalho com dados reais ou experimentais. Na seção 3, as características e as necessidades do objeto de estudo de caso são detalhadas.

Na seção 4, é apresentada a primeira fase da modelagem que se trata da aplicação de um modelo linear e inteiro, baseado em uma modelagem sugerida por Hillier e Lieberman (2006), que dada as demandas dos postos de trabalho, a necessidade de pelo menos dois funcionários para a abertura dos postos de trabalho e um conjunto de escalas possíveis, determina o número mínimo de funcionários necessários para o período de uma semana de atendimento.

Na seção 5, é apresentada a segunda fase da modelagem, que se trata de um modelo binário que atende as necessidades específicas da empresa, que são: a alta rotatividade dos funcionários entre os postos de trabalho, as preferências em relação às horas de almoço e a existência de funcionários volantes que possam ser realocados para atendimento a qualquer momento para postos com picos de demanda. Na seção 6 os resultados encontrados pela modelagem são analisados e comparados com a solução manual e o presente trabalho se encerra na seção 7 com conclusões sobre a modelagem e a indicação de trabalhos futuros.

2. Revisão da Literatura

Nesta seção é apresentada uma breve revisão da literatura sobre o problema de escala de funcionários. A revisão é apresentada em ordem cronológica, e para uma compreensão mais aprofundada sobre a modelagem apresentada em cada trabalho sugere-se a leitura dos artigos originais.

Bean e Bean (1985) resolveram o problema da programação de escalas de trabalho de uma grande biblioteca acadêmica, com requisitos de disponibilidade e de flexibilidade de horários altamente restritos. O problema foi modelado através de uma programação binária, e os autores afirmaram que modelo construído obteve soluções superiores as soluções manuais correntes, levando apenas 1,2 segundos para ser resolvida ao invés de muitas horas para se achar a solução à mão.

Brown e Mesak (1992) desenvolveram um modelo binário que faz a programação automática de escalas de trabalho de funcionários de uma rede farmácias. A programação é feita pela atribuição de farmacêuticos temporários que possam substituir provisoriamente, farmacêuticos de tempo integral ou simplesmente ajudá-los em momentos de pico de demanda. O horizonte de planejamento possui duas semanas e durante esse período restrições de salários, custos de viagem, acordos contratuais e aspectos operacionais, também são levados em conta. Os autores afirmam que o modelo gera uma solução ótima e consistente com a programação corrente, e o maior benefício encontrado pela modelagem foi a redução dos custos de operacionais.

Barda et al (2003) apresentaram um modelo linear e inteiro puro que faz a programação de escalas de trabalho da empresa *United States Postal Service*, o modelo também permite reduzir o tamanho da força de trabalho, considerando diversos cenários. O objetivo principal do modelo é o de atender às necessidades diárias a um custo mínimo, sem violar acordos trabalhistas e regulamentos governamentais. Os autores concluíram que o problema era resolvido rapidamente, e que economias substanciais podiam ser atingidas se algumas políticas da empresa fossem revistas.

Ertogral e Bamugabel (2008) descreveram uma compreensível metodologia para o desenvolvimento de escalas de trabalho em um *call center* bilíngue (árabe e Inglês), de uma empresa de telecomunicações. A abordagem envolve duas partes principais, na primeira parte, as demandas semanais eram calculadas através de um modelo de simulação. Na segunda parte dois modelos lineares e inteiros, (um modelo que considera a existência funcionários temporários e um segundo que não), são utilizados para realizar a programação das escalas. Os autores geraram uma solução em conseguiram atender a demanda semanal com um grupo reduzido de funcionários e os autores perceberam que a utilização de funcionários temporários consegue gerar soluções com mais qualidade.

Maenhout e Vanhoucke (2011) propuseram uma meta-heurística evolutiva, que opera em um conjunto ótimo de soluções de Pareto, para resolver o problema de reprogramação de escalas de trabalho de um grupo de enfermagem. A reprogramação é necessária quando acontecimentos inesperados invalidam parcialmente uma escala de trabalho gerada previamente. Os autores afirmam que o procedimento proposto apresenta um desempenho consistentemente e de boa qualidade em diferentes cenários de reprogramação.

Stolletz e Brunner (2012) abordaram um problema de programação escalas de trabalho de médicos. O objetivo a modelagem é a de minimizar as horas pagas de acordo com as restrições dadas pelos contratos de trabalho, o modelo também integra as preferências dos médicos em relação aos horários. Os autores atingiram resultados numéricos que mostraram que a modelagem proposta alcança soluções de alta qualidade, que permitem total flexibilidade de horários, e de maneira muito mais rápida do que as soluções manuais.

Petrovic e Berghe (2012) desenvolveram uma metodologia que faz a comparação qualitativa dos modelos e das soluções geradas por diferentes tipos de programação automática de escalas de trabalho de um grupo de enfermagem. A comparação é formulada como um problema multicritério, pois a comparação direta feita apenas pela análise das soluções produzidas, não é suficiente para julgar uma modelagem. Os autores afirmam que conseguiram cobrir uma lacuna existente na análise dos problemas de programação de escalas e que os critérios utilizados poderiam ser aplicados a qualquer outro tipo de problema de programação de escalas de trabalho.

3. Características do Estudo de Caso

Nesta seção são apresentadas características do programa - Unidade São Gonçalo, que serviu como base para o desenvolvimento do trabalho.

O programa fornece serviços de utilidade pública, tais como: emissão da carteira de identidade e habilitação, emissão da carteira profissional, consulta ao SPC, assistência jurídica, entre outras atividades. Os serviços são prestados através de postos de trabalho (ou polos de atendimento) separados em diferentes setores de um ambiente físico comum. O horário de atendimento é de segunda-feira à sexta-feira de 8h às 18h e sábado de 9h às 13h. Devido a baixa demanda aos sábados, não será necessário automatizar as escalas para esse dia (a escala de sábado possui pouca complexidade e pode ser resolvida manualmente).

Cada funcionário deve cumprir uma jornada diária 8 horas de trabalho e mais 1h de horário de almoço (de 11h às 12h, de 12h às 13h, de 13h às 14h ou 14h às 15h). As escalas de trabalho são três: a primeira é de 7h:30 as 16h:30 (preferencialmente, mas não obrigatoriamente, os horário de almoço devem ser de 11h às 12h ou de 12h às 13h), a segunda é de 8h às 17h (preferencialmente, mas não obrigatoriamente, os horário de almoço devem ser de 13h às 14h ou de 14h às 15h) e finalmente a terceira é de 9h às 18h (preferencialmente, mas não obrigatoriamente, os horário de almoço devem ser de 13h às 14h ou de 14h às 15h).

A primeira escala de trabalho é a mais restrita de todas e exige que se tenham pelo menos dois funcionários, que serão responsáveis pela abertura dos postos de trabalho. O número de funcionários do segundo e o terceiro horário de entrada podem variar de acordo com as demandas exigidas. Os postos de trabalho podem ser de dois tipos, postos de trabalho fixo ou postos de trabalho móvel.

Os postos de trabalho fixo são compostos por uma equipe de funcionários da empresa parceira (pública ou privada) juntamente com no mínimo um e no máximo dois funcionários do Consórcio Rio Cidadão, esses últimos têm como principal tarefa dar suporte a equipe da empresa parceira. Existem ao todo 10 postos de trabalho fixo (10 empresas parceiras diferentes) e cada um possui sua própria faixa de horários de atendimento, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1- Demanda dos Postos de Trabalho Fixo

Horários		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	Nº Mínimo de Funcionários	Nº Máximo de Funcionários
08:00	09:00	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	7	14
09:00	10:00	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	7	14
10:00	11:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	18
11:00	12:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	18
12:00	13:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	10	20
13:00	14:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	18
14:00	15:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	18
15:00	16:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	9	18
16:00	17:00	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	8	16
17:00	18:00	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	8	16

Na primeira coluna da Tabela 1, é indicado o horário inicial da faixa de atendimento e na segunda coluna é indicada a sua hora de término (cada uma possuindo então, 1 hora de duração). Como as atividades se iniciam às 8h e terminam às 18h existem ao todo 10 faixas de atendimento.

Da terceira até a décima segunda coluna, são apresentados os 10 postos de trabalho e os horários de atendimento são representados da seguinte maneira: o número 1 indica que o atendimento é necessário naquela faixa e 0 representa o contrário. Os postos de trabalho P01, P03, P05, P06, P07, P08 e P10 precisam de atendimento das 8h às 18h, o posto de trabalho P02 precisa de atendimento das 10h às 18h, o

posto de trabalho P04 precisa de atendimento das 10h às 16h e finalmente o posto de trabalho P10 precisa de atendimento de 12h às 13h. Ainda na Tabela 1, a décima terceira coluna exibe o número mínimo de funcionários para cada hora, e esse número é calculado pelo somatório dos valores 1 em cada faixa de atendimento, por fim a décima quarta coluna exibe o número máximo de funcionários para cada hora, e é calculado se dobrando o número mínimo de funcionários.

Os postos de trabalho móvel, três ao todo, são serviços do tipo: organização das filas formadas nos postos de trabalho fixo, apoio geral aos clientes nos corredores tirando dúvidas sobre os serviços prestados e a realização de tarefas em postos de trabalho que não pertencem a empresas parceiras, como por exemplo, operar a fotocopiadora. Outra característica dos pontos de trabalho móvel é que a sua demanda é mais instável, por isso é preciso ter funcionários de contingência para atender as flutuações que possam ocorrer durante todo o horário de expediente (das 8h às 18h), portanto os postos de trabalho móvel podem apresentar faixas de atendimento com durações de tempo variadas (de frações de hora até horas completas).

A empresa impõe uma restrição em relação ao atendimento dos postos de trabalho fixo, um funcionário não pode ficar “centralizado” em único posto de trabalho, de preferência a cada faixa de atendimento o funcionário deveria atender postos de trabalho diferentes. Essa imposição é necessária para que qualquer funcionário seja apto a atender qualquer posto de trabalho a qualquer momento e também garante que o conhecimento das tarefas de um único posto não fique retido por uma única pessoa. Essa estratégia também permite diminuir o impacto causado pelas faltas ou pela troca de funcionários, outra vantagem dessa estratégia é que uma flexibilidade de atendimento é criada quando um posto de trabalho fixo é alocado para dois funcionários, pois um dos dois (denominado funcionário volante) pode ser removido para outro posto de trabalho fixo ou móvel que apresente algum pico de demanda. Normalmente as soluções manuais não conseguem atender completamente as restrições descritas anteriormente e levam em média 3 dias para serem feitas.

Em resumo a empresa necessita da automatização da escala de trabalho que contemple: a minimização de funcionários necessários para o período de uma semana de atendimento, a necessidade de pelo menos dois funcionários para a abertura dos postos de trabalho, que escala possua uma alta rotatividade dos funcionários entre os postos de trabalho, que as preferências em relação às horas de almoço sejam atendidas e a existência de funcionários volantes que possam ser realocados para atendimento de postos com picos de demanda.

Os modelos apresentados nas seções 4 e 5 foram resolvidos por meio da planilha eletrônica *Microsoft Excel 2010*, através do suplemento *freeware OpenSolver* (MASON; DUNNING, 2010) na sua versão 1.9. O computador utilizado possui a plataforma *Windows 7*, com uma arquitetura de 64-bits, com um processador de quatro núcleos *Quad Core*, com 2,40 GHz para cada núcleo e 8 GB de memória DDR 2. Todas as soluções geradas levaram menos de 1 segundo para serem encontradas.

4. Primeira Fase – Viabilidade e Cálculo da Força de Trabalho Mínima

Nesta seção é apresentado o modelo matemático linear e inteiro da primeira fase da modelagem proposta e também os resultados obtidos pela aplicação do modelo.

A primeira fase da modelagem se trata da aplicação de um modelo linear e inteiro, baseado em uma modelagem sugerida por Hillier e Lieberman (2006), que determina o número mínimo de funcionários necessários para o período de uma semana de atendimento, dada as demandas dos postos de trabalho, a necessidade de pelo menos dois funcionários para a abertura dos postos de trabalho e um conjunto de escalas pré-definidas. O conjunto de escalas pré-definidas e a demanda dos postos de trabalho são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Conjunto de Escalas e Demanda

Horários		i	h=1	h=2	h=3	h=4	h=5	h=6	Demanda
07:30	08:00	0	1	1	0	0	0	0	2
08:00	08:00	1	1	1	1	1	0	0	7
09:00	10:00	2	1	1	1	1	1	1	7
10:00	11:00	3	1	1	1	1	1	1	9
11:00	12:00	4	0	1	0	1	1	1	9
12:00	13:00	5	1	0	1	0	1	1	10
13:00	14:00	6	1	1	1	1	0	1	9
14:00	15:00	7	1	1	1	1	1	0	9
15:00	16:00	8	1	1	1	1	1	1	9
16:00	17:00	9	0	0	1	1	1	1	8
17:00	18:00	10	0	0	0	0	1	1	8

Na primeira coluna da Tabela 2 é indicado o horário inicial da faixa de atendimento e na segunda coluna é indicada a sua hora de término, a faixa de atendimento de 7h:30 às 8h, também foi incluída. A terceira coluna representa a faixa de atendimento i , sendo $i = 0; \dots; 10$. A quarta coluna ($h = 1$) representa a escala de trabalho de 7h:30 às 16h:30 com horário de almoço das 11h às 12h, pode-se notar que o horário de saída dessa escala foi alterado de 16h:30 para às 16h. Essa alteração foi necessária, pois os postos de trabalho fixos só podem ser atendidos em faixas de atendimento com hora cheia. Se algum funcionário for alocado para essa escala, obrigatoriamente a última meia hora da jornada de trabalho será para atender um posto de trabalho móvel. A quinta coluna ($h = 2$) também representa a escala de trabalho de 7h:30 às 16h:30, mas com horário de almoço das 12h às 13h, o horário de saída dessa escala também foi alterado de 16h:30 para às 16h. A sexta coluna ($h = 3$) representa a escala de trabalho de 8h às 17h, com horário de almoço das 11h às 12h; a sétima coluna ($h = 4$) representa a escala de trabalho de 8h às 17h, com horário de almoço das 12h às 13h; a oitava coluna ($h = 5$) representa a escala de trabalho de 9h às 18h, com horário de almoço das 13h às 14h; a nona coluna ($h = 6$) representa a escala de trabalho de 9h às 18h, com horário de almoço das 14h às 15h e finalmente a décima coluna representa a demanda mínima para cada faixa de atendimento i , a demanda é representada pelo número de funcionários mínimos da Tabela 1 e a exigência da empresa em se ter exatamente dois funcionários para abrir os postos de trabalho no horário das 7h:30. O modelo da primeira fase é representado por:

$$\min \sum_h \sum_i e_{h,i} \quad (01)$$

s.a

$$\sum_h e_{h,0} \geq 2 \quad (02)$$

$$\sum_h e_{h,i} \geq D_i, \forall i \quad (03)$$

$$e_{h,i}: \text{inteiro}$$

Onde:

$e_{h,i}$ = indica o número de funcionários que pertencem a escala h e que trabalham durante a faixa de atendimento i .

D_i = indica a demanda necessária da faixa de atendimento i .

A equação 01 representa a função objetivo que tem como meta a minimização do número de funcionários necessários para atender a demanda esperada. A equação 02 representa a exigência da empresa em se ter pelo menos dois funcionários na faixa de atendimento $i = 0$. Por fim, a equação 03 representa o atendimento das demandas i dos postos de trabalho fixos para cada hora.

Com as informações da Tabela 2, a modelagem proposta foi implementada e a solução gerada foi a seguinte: para $(h = 2) \rightarrow 2$ funcionários; para $(h = 3) \rightarrow 2$ funcionários; para $(h = 4) \rightarrow 3$ funcionários; para $(h = 5) \rightarrow 2$ funcionários e para $(h = 6) \rightarrow 6$ funcionários. Significando que o número mínimo de funcionários é de 15, sendo que 2 funcionários entram as 7h:30; 5 funcionários entram as 8h e 8 funcionários entram as 9h. Essas são as informações necessárias para poder se implementar a segunda fase da modelagem, as informações relacionadas aos horários de almoço, podem ser descartadas, pois o modelo binário proposto para a segunda fase, consegue gerar outros horários de almoço que também são ótimos e respeitam as restrições.

Um último aspecto a ser analisado é que como o número mínimo de funcionários é 15, significa que durante a faixa de atendimento de 9h às 10h todos os funcionários estarão presentes (pois os horários de entrada são 7h:30, 8h e 9h), porém conforme pode ser visto na Tabela 1 durante esse horário o número máximo de funcionários permitidos é de 14, portanto obrigatoriamente 1 funcionário deverá ser alocado para um posto de trabalho móvel durante esse horário. A solução gerada pelo modelo binário da segunda fase consegue sinalizar esse aspecto.

5. Segunda Fase– Designação dos Postos de Trabalho e Atendimento de Preferências

Nesta seção é apresentado o modelo matemático binário da segunda fase da modelagem proposta e também os resultados obtidos pela aplicação do modelo.

A segunda fase da modelagem se trata de um modelo binário que atende as necessidades específicas da empresa, que são: a alta rotatividade dos funcionários entre os postos de trabalho, as preferências em relação às horas de almoço e a existência de funcionários volantes que possam ser realocados para atendimento de postos com picos de demanda. O índice i representa as faixas de atendimento, sendo $i = 0, \dots, 10$. O índice j representa os postos de trabalho fixo, sendo $j = 1, \dots, 10$ e k representa o número total de funcionários $k = 1, \dots, 15$ (calculado na primeira fase da modelagem). O conjunto k representado pelos elementos variando de m até n indica o total dos funcionários que entram nos horários de 7h30 e 8h (calculado na primeira fase como 7 ao todo), o conjunto k representado pelos elementos variando de o até p indica o total dos funcionários que entram no horário das 9h (calculado na primeira fase como 8 ao todo). O modelo da segunda fase é representado por:

$$\begin{aligned} \max \sum_i \sum_j \sum_k \alpha_{i,j,k} \cdot x_{i,j,k} + \beta \cdot \sum_j \sum_{k=m}^n (x_{1,j,k} + x_{6,j,k} + x_{7,j,k}) \\ + \beta \cdot \sum_j \sum_{k=o}^p (x_{2,j,k} + x_{4,j,k} + x_{5,j,k}) \quad (04) \end{aligned}$$

s.a

$$\sum_j x_{i,j,k} \leq 1, \forall i, \forall k \quad (05)$$

$$\sum_j \sum_k x_{0,j,k} \geq 2 \quad (06)$$

$$\sum_i \sum_j x_{i,j,k} \leq 8, \forall k \quad (07)$$

$$\sum_{i=4}^7 \sum_j x_{i,j,k} \leq 3, \forall k \quad (08)$$

$$l_{i,j} \leq \sum_k x_{i,j,k} \leq u_{i,j}, \forall i, \forall j \quad (09)$$

$$\sum_j x_{0,j,k} + \sum_j x_{9,j,k} \leq 1, \forall k \quad (10)$$

$$\sum_j x_{0,j,k} + \sum_j x_{10,j,k} \leq 1, \forall k \quad (11)$$

$$\sum_j x_{1,j,k} + \sum_j x_{10,j,k} \leq 1, \forall k \quad (12)$$

$$x_{i,j,k} \in \{0; 1\}$$

Onde:

$\alpha_{i,j,k}$ = peso aleatório que varia de 1 até 100 que tem como principal função aumentar a dispersão da alocação dos funcionários k aos postos de trabalho fixo j .

$x_{i,j,k}$ = variável de decisão binária que aloca em uma faixa de atendimento i , um funcionário k em um posto de trabalho fixo j , se o seu valor for igual a 1. Caso contrário o seu valor será igual a 0.

β = peso de valor grande o suficiente que bonifica a função objetivo caso as preferências de horários de almoço sejam atendidas

$l_{i,j}$ = indica a demanda mínima que um posto de trabalho j necessita durante uma faixa de atendimento i . O seu valor pode ser 1 se existir demanda ou 0 caso não exista.

$u_{i,j}$ = indica a capacidade máxima que um posto de trabalho j pode ter durante uma faixa de atendimento i . O seu valor pode ser 2 se existir demanda ou 0 caso não exista.

A equação 04 que representa a função objetivo possui as seguintes metas:

- a) Dispersar ao máximo a alocação dos funcionários em relação aos postos de trabalho.

Um peso $\alpha_{i,j,k}$ gerado aleatoriamente entre 1 e 100 e associado a variável de decisão $x_{i,j,k}$, tem como principal função aumentar a dispersão da alocação dos funcionários k aos postos de trabalho j . Esse aumento da dispersão vem do fato de que, dependendo do peso gerado, uma designação

seja mais atraente em detrimento a outra, fazendo assim, que o modelo gere soluções que maximizem as alocações entre os pares $j-k$ (dada a aleatoriedade dos pesos).

- b) Atender ao máximo as preferências de horários de almoço dos funcionários que entram às 7h:30 e às 8h.

Um peso β , grande o suficiente, garante a maximização das variáveis binárias x_{1j_k}, x_{6j_k} e x_{7j_k} . Essas variáveis indicam respectivamente à alocação nas faixas de atendimento, de 8h às 9h, de 13h às 14h e de 14h às 15h. Se todas essas variáveis binárias assumirem o valor de 1 significa que, dadas as restrições, os únicos horários disponíveis para o almoço serão de 11h às 12h e de 12h às 13h. Pode-se notar que os funcionários que entram às 7h:30 também podem ser representados pela variável x_{1j_k} , pois o funcionário que entra às 7h:30 obrigatoriamente está presente na empresa às 8h. Testes empíricos demonstraram que como os pesos α_{i,j_k} variam de 1 a 100, o peso β grande o suficiente para garantir a maximização das preferências do horário de almoço seria o valor de 100. Os funcionários representados pelos elementos variando de m até n (7 ao todo) compõe essa parcela da função objetivo.

- c) Atender ao máximo as preferências de horários de almoço dos funcionários que entram às 9h.

Um peso β , grande o suficiente, garante a maximização das variáveis binárias x_{2j_k}, x_{4j_k} e x_{5j_k} . Essas variáveis indicam respectivamente à alocação nas faixas de atendimento, de 9h às 10h, de 11h às 12h e de 12h às 13h. Se todas essas variáveis binárias assumirem o valor de 1 significa que, dadas as restrições, os únicos horários disponíveis para o almoço serão de 13h às 14h e de 14h às 15h. O peso β grande o suficiente para garantir a maximização das preferências é o mesmo, portanto também possui o valor de 100. Os funcionários representados pelos elementos variando de o até p (8 ao todo) compõe essa parcela da função objetivo.

A equação 05 indica que um funcionário k não pode estar em dois postos de trabalho diferentes ao mesmo tempo. A equação 06 indica que pelo menos dois funcionários precisam estar presentes no horário de entrada 7h:30. A equação 07 indica que a jornada de trabalho nos postos fixos não pode exceder 8h, um valor menor do que 8h indica que os funcionários estão alocados em postos móveis. A equação 08 obriga que no período entre 11h e 14h, exista uma hora de almoço disponível. A equação 09 indica as demandas de atendimento de cada posto de trabalho fixo, sendo no mínimo 1 e no máximo 2 funcionários quando o atendimento é necessário e 0 caso o contrário. As equações 10 e 11 garantem que quando um funcionário entra às 7h:30, ele deixe de atender um posto fixo às 16h, e por fim a equação 12 garante que quando um funcionário entra às 8h, ele deixe de atender um posto fixo às 17h. Pode-se notar que as demais restrições e a composição das equações 10, 11 e 12 também garantem implicitamente que um funcionário que entre às 9h deixe de atender um posto fixo às 18h, sendo assim essa restrição se torna redundante não sendo necessário inseri-la no modelo.

6. Aplicação e Resultados

Nesta seção os resultados encontrados pela modelagem são analisados e comparados com a solução manual. O modelo da segunda fase possui 1.650 variáveis de decisão binárias e 113 restrições. Como pode ser visto na Tabela 3, o valor 1 indica a alocação para um posto de trabalho fixo e o valor 0 indica a não alocação (podendo indicar a alocação a um posto móvel, horário de almoço ou horário de saída). A solução encontrada pelo modelo atendeu completamente as preferências de horário de almoço e a necessidade de se ter pelo menos dois funcionários no horário de 7h:30 (funcionários F04 e F07). O funcionário F07 precisará ser alocado em um posto móvel no horário de 9h às 10h (aspecto descrito no final da seção 4).

Tabela 3 – Alocação de Funcionários – Solução da Modelagem

Horários		Funcionários														
		F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13	F14	F15
7:30	8:00	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	9:00	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9:00	10:00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
10:00	11:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11:00	12:00	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12:00	13:00	0	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
13:00	14:00	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
14:00	15:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1
15:00	16:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16:00	17:00	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
17:00	18:00	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1

A Tabela 4 apresenta a solução manual que não contempla oficialmente a entrada de dois funcionários às 7h:30, o número de funcionários é maior, 17 ao todo e existe um demasiado contingente com alocação igual a 0. O funcionário F03 foi alocado simultaneamente em dois postos de trabalho no horário de 12h às 13h e de 14h às 15h.

Tabela 4 – Alocação de Funcionários – Solução Manual

Horários		Funcionários																
		F01	F02	F03	F04	F05	F06	F07	F08	F09	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16	F17
7:30	8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	9:00	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
9:00	10:00	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0
10:00	11:00	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
11:00	12:00	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
12:00	13:00	0	1	2	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0
13:00	14:00	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0
14:00	15:00	0	1	2	1	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
15:00	16:00	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	0	0
16:00	17:00	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1
17:00	18:00	0	0	0	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	0

A Tabela 5 mostra que a solução da modelagem atendeu em 100% as demandas de cada posto e também atendeu a criação de funcionários volantes.

Tabela 5 – Atendimento aos Postos – Solução da Modelagem

Horários		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
7:30	8:00	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0
8:00	9:00	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1
9:00	10:00	2	0	2	0	2	2	2	2	0	2
10:00	11:00	2	2	2	2	1	2	1	1	0	2
11:00	12:00	1	1	1	1	2	1	1	2	0	2
12:00	13:00	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
13:00	14:00	1	1	1	1	2	1	2	1	0	1
14:00	15:00	1	1	1	1	1	1	2	2	0	1
15:00	16:00	2	1	2	1	1	2	2	2	0	2
16:00	17:00	2	1	2	0	2	2	2	1	0	1
17:00	18:00	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1

A Tabela 6 apresenta a solução manual, que atendeu 91,76% das demandas dos postos de trabalho e no posto P01 três funcionários foram alocados no horário de 15h às 16h.

Tabela 6 – Atendimento aos Postos – Solução da Manual

Horários		P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10
7:30	8:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8:00	9:00	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0
9:00	10:00	2	0	1	0	1	1	1	1	0	2
10:00	11:00	2	1	1	1	1	1	1	1	0	2
11:00	12:00	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
12:00	13:00	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13:00	14:00	2	1	0	1	1	1	1	0	0	0
14:00	15:00	1	1	2	1	1	1	1	0	0	2
15:00	16:00	3	1	0	1	1	1	1	1	0	1
16:00	17:00	2	1	1	0	1	1	1	1	0	2
17:00	18:00	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1

A Tabela 7 apresenta a alta rotatividade da alocação dos funcionários em relação aos postos de trabalho fixo, gerada pela modelagem proposta.

Tabela 7 – Postos e Funcionários – Solução da Modelagem

HORÁRIO		P01		HORÁRIO		P02		HORÁRIO		P03	
8:00	9:00	F07	Livre	8:00	9:00	Livre	Livre	8:00	9:00	F01	Livre
9:00	10:00	F05	F11	9:00	10:00	Livre	Livre	9:00	10:00	F12	F13
10:00	11:00	F01	F14	10:00	11:00	F04	F05	10:00	11:00	F06	F07
11:00	12:00	F07	Livre	11:00	12:00	F08	Livre	11:00	12:00	F09	Livre
12:00	13:00	F04	Livre	12:00	13:00	F11	Livre	12:00	13:00	F09	Livre
13:00	14:00	F03	Livre	13:00	14:00	F07	Livre	13:00	14:00	F02	Livre
14:00	15:00	F04	Livre	14:00	15:00	F02	Livre	14:00	15:00	F01	Livre
15:00	16:00	F04	F10	15:00	16:00	F02	Livre	15:00	16:00	F03	F14
16:00	17:00	F01	F08	16:00	17:00	F13	Livre	16:00	17:00	F02	F05
17:00	18:00	F11	Livre	17:00	18:00	F15	Livre	17:00	18:00	F12	Livre
HORÁRIO		P04		HORÁRIO		P05		HORÁRIO		P06	
8:00	9:00	Livre	Livre	8:00	9:00	F03	Livre	8:00	9:00	F06	Livre
9:00	10:00	Livre	Livre	9:00	10:00	F03	F06	9:00	10:00	F08	F14
10:00	11:00	F09	F13	10:00	11:00	F03	Livre	10:00	11:00	F11	F12
11:00	12:00	F10	Livre	11:00	12:00	F01	F13	11:00	12:00	F14	Livre
12:00	13:00	F06	Livre	12:00	13:00	F15	Livre	12:00	13:00	F03	F08
13:00	14:00	F04	Livre	13:00	14:00	F11	F12	13:00	14:00	F05	Livre
14:00	15:00	F03	Livre	14:00	15:00	F06	Livre	14:00	15:00	F05	Livre
15:00	16:00	F06	Livre	15:00	16:00	F05	Livre	15:00	16:00	F01	F09
16:00	17:00	Livre	Livre	16:00	17:00	F03	F12	16:00	17:00	F11	F14
17:00	18:00	Livre	Livre	17:00	18:00	F09	Livre	17:00	18:00	F13	Livre
HORÁRIO		P07		HORÁRIO		P08		HORÁRIO		P09	
8:00	9:00	F04	Livre	8:00	9:00	F05	Livre	8:00	9:00	Livre	Livre
9:00	10:00	F01	F04	9:00	10:00	F02	F10	9:00	10:00	Livre	Livre
10:00	11:00	F08	Livre	10:00	11:00	F15	Livre	10:00	11:00	Livre	Livre
11:00	12:00	F11	Livre	11:00	12:00	F02	F15	11:00	12:00	Livre	Livre
12:00	13:00	F12	Livre	12:00	13:00	F13	Livre	12:00	13:00	F14	Livre
13:00	14:00	F13	F14	13:00	14:00	F06	Livre	13:00	14:00	Livre	Livre
14:00	15:00	F10	F15	14:00	15:00	F08	F09	14:00	15:00	Livre	Livre
15:00	16:00	F08	F15	15:00	16:00	F07	F13	15:00	16:00	Livre	Livre
16:00	17:00	F09	F15	16:00	17:00	F06	Livre	16:00	17:00	Livre	Livre
17:00	18:00	F10	Livre	17:00	18:00	F14	Livre	17:00	18:00	Livre	Livre
HORÁRIO		P10									
8:00	9:00	F02	Livre								
9:00	10:00	F09	F15								
10:00	11:00	F02	F10								
11:00	12:00	F05	F12								
12:00	13:00	F10	Livre								
13:00	14:00	F01	Livre								
14:00	15:00	F07	Livre								
15:00	16:00	F11	F12								
16:00	17:00	F10	Livre								
17:00	18:00	F08	Livre								

A solução da modelagem se mostrou superior a solução gerada manualmente, tanto em relação ao tempo quanto em relação a qualidade. Os erros de alocação também foram eliminados.

7. Conclusão

O presente trabalho propôs uma modelagem em duas fases para automatizar a programação de escalas de trabalho do Consórcio Rio Cidadão, em específico do programa na unidade São Gonçalo. A primeira fase que é uma modelagem linear e inteira determina o número mínimo de funcionários necessários para o período de uma semana de atendimento, dada as demandas dos postos de trabalho, a necessidade de pelo menos dois funcionários para a abertura dos postos de trabalho e um conjunto de escalas possíveis. A segunda fase é constituída por um modelo binário que atende as necessidades específicas da empresa, que são: a alta rotatividade dos funcionários entre os postos de trabalho fixo, atender as preferências em relação às horas de almoço e a existência de funcionários volantes que possam ser realocados para atendimento de postos com picos de demanda. Uma comparação foi feita com as soluções geradas manualmente e a solução gerada pela modelagem proposta se mostrou superior nos quesitos de tempo (de 3 dias para menos de 1 segundo) e de qualidade, medida pelo atendimento das preferências, a alta rotatividade de funcionários em relação aos postos de trabalho e pelo eliminação dos erros de alocação. Outra medida de qualidade que pode ser mencionada é que a solução proposta foi validada pelos responsáveis da área e que a modelagem é adotada para a programação de escalas pela empresa em questão. Como trabalho futuro sugere-se a integração das duas fases do modelo de modo que seja feito em uma única fase e também a incorporação de modelos de previsão de demanda para todos os tipos de postos de trabalho.

Referências

- Barda, J.F., Binici, C., deSilva, A.H.** (2003), Staff scheduling at the United States Postal Service. *Computers & Operations Research*, 30, 745–771.
- Bean, J.C. e Bean, M.H.** (1985), An Integer Programming Approach To Reference Staff Scheduling. *Information Processing & Management*. Vol 21, Nº 5, pp. 459-464.
- Brown, K.L. e Mesak, H.I.** (1992), Scheduling Professionals in Retail the Pharmacy Chain. *OMEGA International Journal. of Management Science*. Vol. 20, No. 5/6, pp. 671-678.
- Burke, E. K., Causmaecker, P., Berghe, G. V., Landeghem, H. V.** (2004), The State of the Art of Nurse Rostering. *Journal of Scheduling*, 7, 441–499.
- Ernst, A.T., Jiang, H., Krishnamoorthy M., Sier, D.** (2004), Staff scheduling and rostering: A review of applications, methods and models. *European Journal of Operational Research*, 153, 3–27.
- Ertogral, K. e Bamuqabel, B.** (2008), Developing staff schedules for a bilingual telecommunication call center with flexible workers. *Computers & Industrial Engineering*, 54,118–127.
- Hillier, F.S. e Lieberman, G.J.** *Introdução à Pesquisa Operacional*. McGraw-Hill, São Paulo, 8ª edição, 54-56, (2006).
- Maenhout, B. e Vanhoucke, M.** (2011), An Evolutionary Approach for the Nurse Rerostering Problem. *Computers & Operations Research*, 38 1400–1411.
- Mason, A. J. e Dunning, I.** (2010), OpenSolver: Open Source Optimization for Excel. *Proceedings of the 45th Annual Conference of the ORSNZ (Operations Research Society of New Zealand)*. pp. 181-190.
- Stolletz, R. e Brunner, J.O.** (2012), Fair optimization of fortnightly physician schedules with flexible shifts. *European Journal of Operational Research*, 219, 622–629.
- Petrovic, S. e Berghe, G.V.** (2012), A Comparison of two Approaches to Nurse Rostering Problems. *Annals of Operations Research*, 194, 365–384.