

MODELAGEM E SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE DESIGNAÇÃO DE EQUIPES DE MANUTENÇÃO NA COMPESA

Flavio de Oliveira Freire (UFPE)

freire.flavioliveira@hotmail.com

Tatiana Balbi Fraga (UFPE)

tatiana.balbi@ufpe.br



No setor de serviços, problemas de designação aparecem com grande frequência. Para cada problema existe uma solução que minimiza os custos e mantém ótima a qualidade do serviço. Este trabalho propõe o uso de uma metodologia eficiente no processo de designação de equipes de manutenção para atendimento de ordens de serviço em uma importante empresa de distribuição de água no estado de Pernambuco. Para tanto, esse problema é modelado matematicamente como um problema de programação linear e resolvido através da aplicação da ferramenta Solver do MS Excel. O modelo é construído considerando as seguintes restrições: número de trabalhadores disponíveis, importância relativa de cada equipe de manutenção no atendimento das ordens de serviço e a utilidade de cada equipe de manutenção no atendimento das ordens de serviço. Como resultado, é possível concluir que o modelo apresentado, assim como sua solução através do Solver, se mostram importantes ferramentas no auxílio do processo de tomada de decisão da empresa e geram resultados ótimos com baixo custo computacional e decisório.

Palavras-chave: designação, alocação de tarefas, manutenção

1. Introdução

Uma eficaz e eficiente gestão dos recursos hídricos se faz continuamente necessária por toda organização pública ou privada, e especialmente por aquelas responsáveis pela distribuição de água para a população, já que este recurso é vital para a subsistência humana. Em regiões de seca, e baixos índices pluviométricos ou de baixa quantidade de água potável disponível, esta gestão torna-se ainda mais crítica. Dentro desse contexto, no Estado de Pernambuco, encontra-se a COMPESA – Companhia Pernambucana de Saneamento. Sendo a única empresa responsável por todos os projetos de saneamento e distribuição de água em mais de 90% do Estado, a COMPESA conta com diversas unidades gerenciais para realização de seus serviços. (COMPESA, 2016)

Atualmente, os desafios que a COMPESA enfrenta para uma boa gestão não são poucos: limitações administrativas e financeiras devido a empresa ser parte governamental e parte privada; seca em várias regiões do Estado; morte de alguns volumes hídricos como barragens, rios, represas, etc; e baixa quantidade de colaboradores para realização de manutenção e outros serviços em contraste com sua extensa área de atuação. Com relação ao último tipo de problema (foco do nosso trabalho), as unidades gerenciais têm autonomia para designar qual colaborador irá realizar cada uma das atividades de manutenção necessárias, dentro de suas particularidades. Entretanto, é válido salientar que este tipo de problema merece especial atenção tendo em vista ser presente no dia-a-dia da empresa e possuir grande influência na qualidade do serviço prestado percebida pelo cliente.

Na literatura, vemos este tipo de problema sendo tratado como problema de alocação/designação de tarefas/colaboradores/recursos/etc. para as mais variadas aplicações. Como exemplo, podemos citar o trabalho de Cafarate *et al.* (2011) que aborda o problema de alocação de tarefas para multiagentes na construção de projetos de software. Esse trabalho leva em consideração os interesses dos colaboradores, bem como os ganhos para empresa em usar as habilidades dos funcionários e a facilidade na aceitação da gestão do projeto. Outro exemplo é o abordado por Sales, Müller e Simonetto (2015) que tratam o problema da designação de salas de aulas para disciplinas em uma universidade, tendo em vista uma melhor utilização das salas de aula, ou seja, que turmas com maior quantidade de alunos sejam alocadas em salas de aula maiores, sem que haja conflitos de horários das aulas. Já Gomes *et al.* (2015), apresentam um problema de alocação de grãos de café para

armazenagem e exportação, tendo como objetivo uma melhor utilização dos espaços disponíveis para as operações, assim como a simplificação dos trajetos percorridos nas manipulações dos produtos. Também se pode citar o trabalho de Abidi *et al.* (2014), que trata do problema de designação de melhores vagas em um estacionamento, levando em consideração a redução do tempo e as distâncias gastas ao procurar as vagas. Em um contexto um tanto diferente, mais humanitário, tem-se o trabalho de Özdemirel, Gökgür e Eliyi (2012), que aborda o problema da designação de pessoas para recepção de doações. Nesse trabalho, o objetivo principal consiste em determinar um plano de doações através do qual as doações sejam realizadas para aqueles que mais necessitam e da forma mais adequada, tendo em vista a distância entre o doador e o receptor, a renda do receptor, a idade do receptor, o número de dependentes do receptor, entre outros fatores. Em outro contexto, Pinheiro *et al.* (2015) tratam o problema da designação de profissionais acadêmicos em equipes de apoio para a organização de um evento universitário, agrupando-os de acordo com os seguintes tópicos: artigos, mini-cursos, divulgação, palestras, workshops, coffee break, mesa-redonda, etc.). A designação desses profissionais aos grupos deve acontecer segundo os pesos que os acadêmicos dão a cada grupo (expressando suas preferências) e suas habilidades. Adicionalmente, tem-se o trabalho de Teixeira (2011) que trata do problema de alocação de vagões gôndolas para realização de transportes para uma empresa logística, tendo em vista a limitação de vagões da empresa e a grande quantidade de clientes, e objetivando uma maior lucratividade. Já Stacanelli *et al.* (2015) trata da designação de um plano ótimo do mix de produtos para a produção semanal de um laticínio com o objetivo de maximizar sua margem de contribuição e minimizar os custos de transporte.

No presente trabalho, trataremos do problema relacionado à baixa quantidade de colaboradores, frente ocorrência de solicitações de manutenção. Esse problema será abordado como um problema de designação de atividades com o objetivo de maximizar a qualidade na prestação de serviços percebida pelo cliente.

Visando o objetivo deste trabalho, as próximas seções serão organizadas da seguinte forma: na Seção 2, o problema abordado é discutido de forma detalhada; na Seção 3 é apresentado um modelo matemático para problema abordado; na Seção 4, é feito um estudo de caso para validação do modelo apresentado; e, finalmente, na Seção 5, são apresentadas as conclusões sobre o trabalho realizado.

2. Problema de alocação de funcionários para realização de serviços para a COMPESA

Dentre as 21 unidades gerenciais (metropolitanas ou regionais) que a COMPESA dispõe, foi escolhida para realização deste trabalho a GNR UNA (Gerência de Unidade de Negócios Regional Una), pois esta se encontra em localidade acessível ao autor. Esta unidade gerencial presta serviços de distribuição de água para 22 localidades no estado de Pernambuco. A Tabela 1 apresenta a relação entre as localidades e municípios para os quais a GNR-UNA presta seus serviços.

Tabela 1 – Relação entre as localidades e cidade onde a GNR-UNA presta serviços

Cód	Localidade	Município
1	Agrestina	Agrestina
2	Cruz De Água Branca	Agrestina
3	Altinho	Altinho
4	Angelim	Angelim
5	Barra Do Jardim	Caruaru
6	Barra Do Riachão	São Joaquim Do Monte
7	Batateira	Belém De Maria
8	Belem De Maria	Belem De Maria
9	Canhotinho	Canhotinho
10	Cupira	Cupira
11	Jurema	Jurema
12	Santo Das Queimadas	Jurema
13	Lagoa Dos Gatos	Lagoa Dos Gatos
14	Lagoa De Souza	Lagoa Dos Gatos
15	Maraial	Maraial
16	Panelas	Panelas
17	Cruzes	Panelas
18	Palmeirina	Palmeirina
19	Quipapá	Quipapá

20	São Bento Do Sul	São Bento Do Sul
21	Ibirajuba	Ibirajuba
22	Cachoeirinha	Cachoeirinha

Fonte: COMPESA, GNR-UNA

De acordo com as informações apresentadas na Tabela 1, nota-se a vasta extensão da rede de distribuição que a COMPESA, através da GNR – UNA, atende. Sendo assim é compreensível que uma considerável quantidade de problemas de campo (problemas que acontecem fora do escritório da GNR-UNA) possa ocorrer diariamente. Esses problemas podem possuir as mais diversas naturezas, como por exemplo:

- Vazamento/desperdício de baixíssima quantidade;
- Perca por contaminação (água não distribuída);
- Parada de funcionamento (requer manutenção simples);
- Água contaminada distribuída para população;
- Quebra de maquinário, etc.

É importante ressaltar que a natureza do problema indica o grau de importância atribuído a um problema com relação as suas possíveis consequências. Por exemplo: água contaminada distribuída para a população é considerado um item de grande importância porque sua consequência coloca em risco a saúde das pessoas; por outro lado, o vazamento/desperdício de baixíssima quantidade pode ser considerado um item de pequena importância, tendo em vista não envolver dano ao fator humano e nem possuir custo elevado.

Para solução das ordens de serviço, a GNR-UNA conta apenas com as equipes: elétrica (1 funcionário), mecânica (2 funcionários), laboratorial (1 funcionário) e hidráulica (3 funcionários). Esse baixo número de funcionários geralmente não atende à quantidade de ordens de serviço que a empresa recebe. Isso fica claro quando, por exemplo, num mesmo dia, ocorrem três ordens de serviço para a equipe elétrica (com apenas 1 funcionário) prestar manutenção. Tendo em vista que a área de prestação de serviços é extensa, geralmente, uma equipe consegue atender uma ou duas ordens de serviço por dia, deixando os excedentes para o dia posterior. Como resultado da grande quantidade de ordens de serviço frente ao baixo número de funcionários disponíveis, a gestão deve decidir sobre a priorização das ordens de serviço, algo que geralmente ocorre de forma empírica. Outro fator conflitante pode ocorrer é

quando uma ordem de serviço solicita mais de uma equipe de trabalho, o que dificulta ainda mais o trabalho da gestão.

Tendo em vista a complexidade da decisão para a priorização das ordens de serviço e a designação dos profissionais, este trabalho apresenta uma proposta de solução por meio do uso da programação linear, tratando a referida problemática como um problema de designação/alocação de profissionais para solução de problemas de manutenção.

A próxima seção deste trabalho é dedicada a modelar matemática generalizada deste problema específico.

3. Modelagem do problema

O problema acima descrito pode ser representado conforme o modelo apresentado a seguir.

Dado que:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se um funcionário da equipe } i \text{ é designado para a tarefa } j \\ 0, & \text{se não é designado} \end{cases}$$

$$y_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se a tarefa } j \text{ é totalmente resolvida} \\ 0, & \text{caso contrário} \end{cases}$$

$$\text{maximizar } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m G_j Y_j \quad (1)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq Q_i \quad \text{para } i = 1, \dots, n \quad (2)$$

$$x_{ij} \leq u_{ij} \quad \text{para } i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} u_{ij} - F_j Y_j = 0 \quad \text{para } j = 1, \dots, m \quad (4)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad , \quad y_{ij} \in \{0,1\} \quad \text{para } i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m \quad (5)$$

Onde:

n representa o número de equipes;

m representa o número de tarefas;

G_j representa o grau de importância da tarefa j ;

Q_i representa a quantidade de funcionários que pertencem a equipe i ;

F_j representa a quantidade de funcionários de equipes distintas que são necessários para realização da tarefa j ;

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{se um funcionário da equipe } i \text{ é necessário para realização da tarefa } j \\ 0, & \text{se não é necessário} \end{cases}$$

Dessa forma, a função objetivo (1) busca maximizar a importância total das tarefas cujos atendimentos serão priorizados. As restrições em (2) indicam que, para cada equipe, o número de funcionários alocados às diferentes tarefas deve ser menor ou igual ao número de membros da equipe. Já as restrições em (3) informam que um funcionário só poderá ser designado para realização de determinada tarefa se o mesmo for necessário. As restrições em (4) indicam que uma tarefa só será considerada totalmente resolvida caso funcionários de todas as equipes necessárias sejam designados para a realização mesma. Essas mesmas restrições impõem que os funcionários só serão designados para as tarefas que serão totalmente resolvidas. Finalmente, as restrições em (5) informam a natureza das variáveis de decisão utilizadas.

Para o cálculo do Grau de Importância das diferentes tarefas, G_j , foi utilizada a seguinte equação:

$$G_j = \left(T_j \times (L_j + P_j \times K) \right)^{N_j} \quad \text{para } j = 1, \dots, m \quad (6)$$

Onde:

N_j representa a classificação da tarefa j em relação à sua natureza;

L_i representa a vazão de água perdida estimada em litros/hora envolvida na tarefa j ;

P_j representa o número estimado de pessoas afetadas pelo problema da tarefa j ;

T_j representa o número estimado de pessoas afetadas pelo problema da tarefa j ;

e K é a vazão média de água (em litros) distribuída por hora por pessoa.

É válido salientar que a construção da equação (6) deve ser elaborada junto à gestão da empresa, de modo que esta, de fato, represente o Grau de Importância que a empresa atribui a cada ordem de serviço. Para tanto, se sugere que N_j para o tipo de natureza do problema e seja obtido com base na Escala Likert, neste caso de 5 pontos. Já o valor de P_j é o valor referente ao censo de cada região afetada pelo problema j . Esse valor pode ser adquirido juntos às prefeituras das respectivas cidades ou ainda junto ao IBGE através do seu endereço eletrônico (<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/uf.php?coduf=26>). Os outros valores da equação (6) devem ser adquiridos junto à empresa prestadora de serviços.

Na próxima seção deste trabalho, é apresentada uma problemática real ocorrida na GNR-UNA, bem como sua solução, de acordo com o modelo apresentado através do software MS Excel.

4. Validação do Modelo

Para validação do modelo proposto, foram utilizados dados da GNR – UNA, bem como uma lista de ordens de serviço ocorridas em um dia aleatório do presente ano. A tabela abaixo apresenta esta lista de ordens de serviço para cada valor do índice j .

Tabela 2 – Tabela de relação do índice j e as informações básicas de ordens de serviço

Fonte: COMPESA, GNR-UNA

Sequencialmente, torna-se necessário a definição i e Q_i para cada uma das equipes, assim

Índice j	Localidade	Equipe	Necessidade (F_j)	Descrição
1	ETA Quipapá	Elétrica	1 funcionário	Verificar mau-funcionamento do CMB
2	ETA Cupira	Mecânica	1 funcionário	Substituir rolamento do CMB
3	ETA Cupira	Mecânica	2 funcionário	Problema de sucção da bomba dosadora
4	ETA Quipapá	Mecânica	1 funcionário	Problema na bomba de sulfato
5	ETA Maraial	Mecânica	1 funcionário	Problema de sucção na bomba de sulfato
6	ETA Maraial	Hidráulica	1 funcionário	Ruptura na rede adutora próxima a ponte

como o valor das utilidades U_{ij} . Essas informações são apresentadas nas Tabelas 3 e 4, respectivamente.

Tabela 3 – Tabela de relação das equipes com o índice i e Q_i

Equipe i	Elétrica ($i=1$)	Mecânica ($i=2$)	Laboratorial ($i=3$)	Hidráulica ($i=4$)
Q_i	1	2	1	3

Fonte: Os autores

Tabela 4 – Tabela de utilidades U_{ij}

U_{ij}	$j=1$	$j=2$	$j=3$	$j=4$	$j=5$	$j=6$
$i=1$	1	0	0	0	0	0
$i=2$	0	1	1	1	1	0
$i=3$	0	0	0	0	0	0
$i=4$	0	0	0	0	0	1

Fonte: Os autores

Os valores de N_j foram elicitados junto à gestão da GNR-UNA e encontram-se na Tabela 4. Por outro lado, o valor exato do Fator de Conversão K não poder ser fornecido, então foi sugerido usar o valor $K=0,45$.

Já os valores de P_j foram obtidos de acordo com o último censo realizado nas cidades aqui requeridas através do endereço eletrônico do IBGE (2016).

Tabela 5 – Relação entre natureza do problema e grau de dano atribuído

Natureza do Problema	Grau de dano N_i
Vazamento/desperdício de baixíssima quantidade	1
Perca por contaminação (água não distribuída)	2
Parada de funcionamento (requer manutenção simples)	3
Quebra de maquinário	4
Água contaminada distribuída para população	5

Fonte: Os autores

Finalmente, de posse das informações previamente apresentadas, calcula-se o Grau de Importância G_j de cada uma das tarefas. A Tabela 5 apresenta os valores de T_j , L_j , P_j , K , N_j e a resultante de (6), G_j .

Tabela 6 – Valores de D_j , L_j , P_j , K , N_j e G_j .

j	T_j	L_j	P_j	K	N_j	G_j
1	3	39.600	25.686	11	3	2.23×10^{18}
2	4	6.120	23.909	11	3	1.95×10^{16}
3	3	18.000	23.909	11	4	1.25×10^{23}
4	2	39.600	25.686	11	3	6.61×10^{17}
5	2	27.720	11.570	11	4	1.38×10^{23}
6	5	27.720	11.570	11	4	5.40×10^{24}

Fonte: Os autores

Haja vista que o modelo apresentado é linear, o exemplo foi resolvido pelo método Simplex, através da ferramenta Solver do MS Excel, utilizando as equações previamente apresentadas. A simulação computacional levou 0,109 segundos para solucionar o problema e as Figuras 1 e 2, respectivamente, apresentam o resultado da função objetivo e os valores atribuídos para cada uma das variáveis do problema.

Figura 1 – Resultado da Função Objetivo

Função Objetivo	
1	$\text{Máx } Z = \sum G_j Y_j$
	3.79E+20

Fonte: Os autores

Figura 2 – Resultado da designação das variáveis X_{ij} e Y_j

Variáveis X_{ij}						
X_{ij}	J=1	J=2	J=3	J=4	J=5	J=6
i=1	1	0	0	0	0	0
i=2	0	0	0	1	1	0
i=3	0	0	0	0	0	0
i=4	0	0	0	0	0	1

Variáveis Y_j						
Y_j	J=1	J=2	J=3	J=4	J=5	J=6
	1	0	0	1	1	1

Fonte: Os autores

Conforme apresentado nas Figuras 1 e 2, observa-se que:

- 1 funcionário da equipe elétrica foi designado para resolver o problema 1;
- Nenhum funcionário foi designado para resolver o problema 2;
- Nenhum funcionário foi designado para resolver o problema 3;
- 1 funcionários da equipe mecânica foi designado para resolver o problema 4;
- 1 funcionários da equipe mecânica foi designado para resolver o problema 5;
- 1 funcionários da equipe hidráulica foi designado para resolver o problema 6.

Adicionalmente, pela observação do resultado obtido pela simulação, as características da GNR-UNA e das ordens de serviço apresentadas, pode-se concluir que:

- O único funcionário da equipe laboratorial e dois outros funcionários da equipe hidráulica não foram alocados para qualquer uma das atividades de manutenção devido sua não necessidade para as ordens de trabalho apresentadas no dia;
- Adicionalmente, conclui-se que, embora a tarefa 3 ($j=3$) possua um grau de importância G_i maior do que o apresentado pelas tarefas 4 e 5 separadamente, os funcionários da equipe mecânica foram alocados para as tarefas 4 e 5, pois essas tarefas, somadas, apresentam um grau de importância G_i maior que o apresentado pela tarefa 3;
- As tarefas com maior G_i foram atendidas, com exceção da tarefa 3 – como mencionado anteriormente – o que resultará em uma possível postergação das tarefas 2 e 3 caso os funcionários que devem atendê-las não fiquem disponíveis até o fim do expediente de trabalho.

A próxima seção apresenta as conclusões deste trabalho.

5. Conclusão

A partir da realização deste trabalho, conclui-se que tanto o método quanto o modelo utilizados para solucionar a problemática vivenciada na GNR – UNA/COMPESA são de grande utilidade e praticidade para o processo decisório da empresa, bem como para outras

unidades gerenciais da COMPESA ou ainda para outras empresas (dos diversos setores) que apresentem problemas afins.

Sugere-se a implementação deste trabalho através da criação software baseado nas equações aqui apresentadas para facilitar o processo decisório da empresa.

Sugere-se para trabalhos futuros, o uso de outras metodologias que solucionem essa problemática, tendo objetivo de comparação e busca de melhorias ou atualizações dos métodos.

REFERÊNCIAS

- ABIDI, Sofiene et al. A New Heuristic for Solving the Parking Assignment Problem. **Elsevier. Procedia Computer Science**, p.312-321. 2015
- CAFARATE, Modelo De Alocação De Tarefas Com Foco Nas Pessoas Em Projetos De Software. XXXI Encontro Nacional De Engenharia De Produção – ENEGEP, Belo Horizonte, 2011.
- COMPESA. História e Perfil, 2016. Disponível em: <<http://servicos.compesa.com.br/historia-e-perfil/>>. Acessado em 15 de junho de 2016.
- SALES, E.S., MÜLLER, F. F. & SIMONETTO E.O. *Solução Do Problema De Alocação De Salas Utilizando Um Modelo Matemático Multi-Índice. Simpósio Brasileiro de Pesquisa operacional – SBPO*. Porto de Galinhas, 2002.
- GOMES, et al. O problema de designação de locais de armazenagem: aplicação em uma empresa do setor de agronegócio. GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Bauru, Ano 10, nº 3, jul-set/2015, p. 127-138.
- IBGE. Pernambuco: Cupira. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=260500&search=pernambuco|cupira>>. Acesso em: 4 maio 2017.
- IBGE. Pernambuco: Maraial. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?lang=&codmun=260920&search=pernambuco|maraial>>. Acesso em: 04 maio 2016.
- IBGE. Pernambuco: Quipapá. 2016. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=261150>>. Acesso em: 04 maio 2017.
- ÖZDEMIREL, Aybike et al. An assignment and routing problem with time windows and capacity restriction, Elsevier. Procedia – Social and Behavioral Science, p. 149-158. 2012
- PINHEIRO, Manuel Duarte et al. Uma Aplicação da Programação Linear para Designação de Acadêmicos em Equipes de Apoio a Organização de Eventos Acadêmicos: O Caso EEPA-ENPEPRO. **Relainep - Revista Laitno-america de Inovação e Engenharia de Produção**, Curitiba, v. 3, n. 4, p.189-201, 2015.

STACANELLI ET AL. *Aplicação Da Programação Linear Para A Otimização Da Produção Em Um Laticínio Localizado Na Região Centro-Oeste De Minas Gerais.* XXXV Encontro Nacional de Engenharia de Produção – ENEGEP. Fortaleza, 2015.

TEIXEIRA, Vinicius Garcia. *Aplicação De Programação Linear Na Alocação De Vagões Gôndola Para O Transporte De Ferro Gusa Na Mrs Logística S.A.* 2011. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.