

# UM MODELO PARA PLANEJAMENTO DE CURTO PRAZO DE PARADAS DE MANUTENÇÃO<sup>1</sup>

Sérgio Assunção Monteiro<sup>2</sup>  
Alexandre Donato<sup>3</sup>  
Nelson Maculan<sup>4</sup>

## Resumo

Neste trabalho, é apresentado um modelo para apoiar o planejamento de curto prazo de paradas para manutenção. A escolha das atividades que devem ser aplicadas em cada parada é feita a partir da avaliação da disponibilidade de recursos e do benefício entre executá-las em um determinado período, pois, se houver uma relação de dependência, pode-se aumentar o custo futuro.

**Palavras-chave:** Manutenção; Programação mista; Planejamento.

## A PLANNING MODEL FOR SHORT-TERM MAINTENANCE OF STOPPAGES

### Abstract

In this work, it's presented a model to support the short-term planning of maintenance stoppages. Activities that should be prioritized during each maintenance stop are selected considering the evaluation of resource availability as well as the benefit of executing them in a given time, because the existence of precedencies could represent the increase of future costs.

**Key words:** Maintenance; Mixed programming; Planning.

<sup>1</sup> Contribuição técnica ao 67º Congresso ABM - Internacional, 31 de julho a 3 de agosto de 2012, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação (Convergência Latina).  
sergio.monteiro@conv.com.br

<sup>3</sup> MBA em Enseed, França (Convergência Latina). alexandre.donato@conv.com.br

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia de Sistemas e Computação (UFRJ/COPPE). maculan@cos.ufrj.br

## 1 INTRODUÇÃO

O planejamento de paradas é um dos principais processos responsáveis para que sejam alcançadas as metas de qualidade da manutenção e da produção, pois é a partir do mesmo que são feitos os planejamentos de estoques, alocação de pessoas e de oficinas. Uma das técnicas utilizadas é adequar as paradas a um padrão recomendado pelo fabricante, que é conhecido por parada de manutenção para revisão, em que, após um período determinado de tempo, é feita a aplicação de um determinado conjunto de atividades padronizadas nos componentes dos equipamentos. No entanto existem outras atividades que podem ocorrer entre estas paradas, que são determinadas através de rotinas de inspeção que buscam detectar a existência de um mau funcionamento de um componente pode afetar a disponibilidade do equipamento, o que pode causar diversos transtornos.

Neste trabalho, o modelo conduz a um planejamento com a priorização das atividades que devem ser executadas em determinados períodos delimitados de tempo que são chamados de janelas de tempo. É levada em consideração, ainda, a existência de relações de dependências entre algumas atividades e a redução do tempo de máquina parada. Desta forma, o objetivo do modelo proposto é o de construir as diretrizes para um planejamento global que potencializará o alcance das metas estabelecidas de manutenção e de produção em um horizonte de curto prazo.

### 1.1 Revisão Bibliográfica

O planejamento tanto voltado para a produção, quanto para a manutenção é fundamental para a organização das atividades a serem executadas com o objetivo de se atender as metas pré-estabelecidas. Ambos os problemas têm recebido atenção da indústria e do meio acadêmico. Podemos encontrar alguns exemplos voltados para o problema de planejamento aplicado para a produção em Moraes et al.,<sup>(1)</sup> Santos, Rodrigues e Latre,<sup>(2)</sup> Nozick e Morlok,<sup>(3)</sup> Vieira, Soares e Gaspar Júnior,<sup>(4)</sup> Costa, Souza e Pinto,<sup>(5)</sup> e Latre, Rodrigues e Rodrigues.<sup>(6)</sup>

O problema de seleção de intervalos ou periodicidade para manutenção preventiva foi analisado em Santos, Colosimo e Motta,<sup>(7)</sup> Almeida,<sup>(8)</sup> Leal Júnior, Baffa Júnior e Garcia,<sup>(9)</sup> Cavalcante e Almeida,<sup>(10)</sup> Sanchezb et al.<sup>(11)</sup> e Bartholomew-Biggs, Zuo e Li.<sup>(12)</sup> Em Nakagawaa e Mizutanib,<sup>(13)</sup> são abordados alguns modelos de manutenção para um intervalo de tempo infinito. Em Nicolai e Dekker,<sup>(14)</sup> é feita uma revisão na literatura de diversos modelos para a manutenção de sistemas multi-componentes com dependência econômica, estocástica e estrutural. Em Dekker,<sup>(15)</sup> é feita uma revisão na literatura de diversas aplicações de modelos de manutenção. Em Scarf,<sup>(16)</sup> são apresentadas um conjunto de técnicas que auxiliam na priorização de atividades voltadas para a manutenção.

O presente trabalho contribui no sentido de alinhar o planejamento da execução das atividades de manutenção com as prioridades pré-estabelecidas da produção refletidas através dos custos associados à parada dos equipamentos em cada janela de tempo.

### 1.2 Conceitos Básicos

Para facilitar a compreensão deste trabalho, nesta seção, são apresentadas algumas definições.

*Manutenção é a combinação de ações técnicas, administrativas e de supervisão, com o objetivo de manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida, ou seja, fazer o que for preciso para assegurar que um equipamento ou máquina opere dentro de condições mínimas de requerimentos e especificações.<sup>(17)</sup>*

Algumas atividades de manutenção só podem ser realizadas em sequência devido a dependência dos itens que compõem os sistemas. A seguir, é apresentado o conceito de família de atividades desenvolvido neste trabalho.

*Família de atividades é um conjunto de atividades que se relacionam entre si, sob os aspectos físicos ou lógicos, para serem executadas. Isto significa que para atividades que pertençam à mesma família, as mesmas só podem ocorrer em série, enquanto que, para as demais, a execução pode ocorrer em paralelo.*

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

A descrição de um modelo de planejamento de paradas para manutenção que tenha aplicação prática envolve alguns desafios. Como exemplo, tem-se:

- obtenção do registro correto de dados das atividades;
- ambiente de trabalho dinâmico;
- dimensão das instâncias;
- aderência ao plano de trabalho;
- dimensionamento das janelas de tempo;
- descrição correta das restrições; e
- mapeamento entre atividades planejadas e corretivas e de suas respectivas probabilidades de ocorrência.

O cenário para o qual o modelo foi desenvolvido pode ser descrito como:

dado um conjunto de equipamentos que possuem um estoque de atividades para serem executadas em um determinado horizonte de tempo e um conjunto limitado de recursos humanos e de oficinas, para executá-las, o objetivo do modelo é a redução:

- do tempo de máquina parada;
- do custo temporal da execução das atividades;
- e do custo de ocorrência de atividades corretivas.

Na Figura 1, são apresentados os principais itens a serem considerados na formulação do modelo de otimização, tais como modelos distintos de equipamentos, recursos humanos, oficinas, estoque de atividades e janelas de tempo.

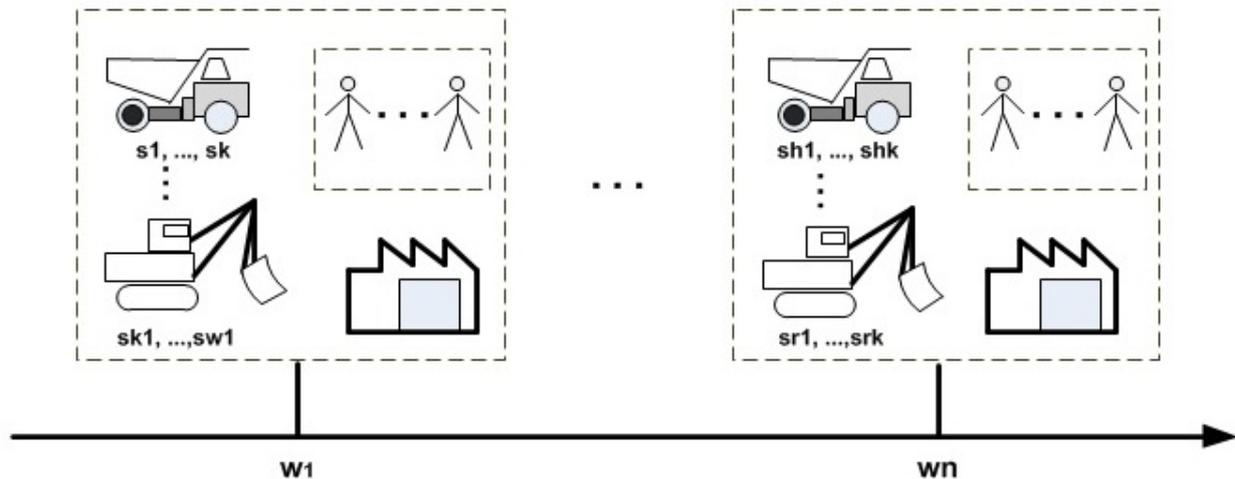


Figura 1: Cenário do planejamento de paradas.

Nas próximas subseções, serão descritos os conjuntos, as constantes, as variáveis de decisão, a função objetivo e as famílias de restrições do modelo proposto.

## 2.1 Conjuntos

O modelo proposto considera os seguintes conjuntos:

- $E$  representa o conjunto de equipamentos;
- $M$  representa o conjunto de famílias de equipamentos;
- $W$  representa o conjunto de janelas de tempo;
- $S$  representa o conjunto de atividades;
- $Q_s$  representa o conjunto formado por janelas de tempo em que a atividade  $s$  deve ser executada;
- $P_s$  representa o conjunto formado janelas de tempo em que a atividade  $s$  não pode ser executada;
- $C_e$  representa o conjunto de famílias de atividades relacionadas ao equipamento  $e$ ;
- $\Gamma^-(s)$  representa o conjunto das atividades que, se não forem executadas, podem dar origem a atividade  $s$ ;
- $G$  representa o conjunto de grupos de mão-de-obra;
- $MO_g$  representa o conjunto de atividades que podem ser executadas pelo grupo de mão-de-obra  $g$ ;
- $O$  representa o conjunto de oficinas; e
- $A_o$  representa o conjunto de atividades que podem ser executadas na oficina  $o$ .

## 2.2 Constantes

O modelo proposto considera as seguintes constantes:

- $JT_w$  é o comprimento da janela de tempo  $w$ ;
- $NHO_{o,w}$  representa a quantidade de horas disponíveis da oficina  $o$  na janela de tempo  $w$ ;

- $NHMO_{g,w}$  representa a quantidade de horas disponíveis na mão-de-obra  $g$  na janela de tempo  $w$ ;
- $NP_s$  é a quantidade de pessoas que devem trabalhar na atividade  $s$ ;
- $NHMP_s$  é a quantidade de horas de manutenção em que o equipamento fica parado para executar a atividade  $s$ ;
- $HD$  é a quantidade de horas disponíveis para a manutenção no período limitado por  $|W|$ ; e
- $NHMan_s$  é a quantidade de horas de manutenção. Ela é dada por:  

$$NHMan_s = NP_s NHMP_s$$

### 2.3 Variáveis de Decisão

O modelo proposto considera as seguintes variáveis de decisão:

- $h_{e,w} \in R^+$  é a variável de decisão que informa a quantidade de horas paradas do equipamento  $e$  na janela de tempo  $w$ ;
- $h_{e,w,o} \in R^+$  é a variável de decisão que informa a quantidade de horas paradas do equipamento  $e$  na janela de tempo  $w$  na oficina  $o$ ;
- $h_{e,w,g} \in R^+$  é a variável de decisão que informa a quantidade de horas paradas do equipamento  $e$  na janela de tempo  $w$  pelo grupo de mão-de-obra  $g$ ;
- $\delta_{s,w} \in \{0,1\}$  é a variável de decisão indicadora que, quando for igual a 1, significa que a atividade  $s$  foi executada na janela de tempo  $w$ ;
- $\delta_{s,w,o} \in \{0,1\}$  é a variável de decisão indicadora que, quando for igual a 1, significa que a atividade  $s$  foi executada na janela de tempo  $w$  na oficina  $o$ ; e
- $\delta_{s,w,g} \in \{0,1\}$  é a variável de decisão indicadora que, quando for igual a 1, significa que a atividade  $s$  foi executada na janela de tempo  $w$  pelo grupo de mão-de-obra  $g$ .

### 2.4 Função Objetivo

No item (2.1), foram mencionados os objetivos do modelo de otimização que estão associados aos momentos mais adequados de executar as atividades, evitar a ocorrência de atividades corretivas devido a postergação excessiva de atividades planejadas e a minimização do tempo de equipamento parado.

O custo da execução de cada atividade  $s \in S$ , em uma dada janela de tempo  $w$ , é dado por  $c_{s,w}$ . O custo do tempo parado de um dado equipamento  $e$ , em uma determinada janela de tempo  $w$ , é dado por  $d_{e,w}$ . Portanto a função objetivo é dada por:

$$\min \sum_{\substack{\forall s \in S \\ \forall w \in W}} c_{s,w} \delta_{s,w} + \sum_{\substack{\forall s \in S \\ \forall w \in W}} d_{e,w} h_{e,w} \quad (1)$$

Na primeira parcela de (1), são contemplados os custos para execução de cada atividade. Na segunda parcela, são tratados os custos do equipamento parado. Algumas atividades possuem uma relação de dependência. Em outras palavras, o custo da sua execução depende da execução ou não de sua atividade relacionada precedente até uma dada janela de tempo. O tempo para que uma atividade corretiva  $c$  ocorra desde a postergação de sua respectiva atividade planejada  $s$  é dado por  $k_{c,s}$ .

## 2.5 Restrições do Modelo de Otimização de Paradas

As restrições do modelo são referentes à limitação de recursos de mão-de-obra disponíveis, imposição de períodos em que a parada para manutenção é ou não obrigatória, tempo disponível para equipamento fora de operação e lógica de dependência entre as atividades. A seguir, de (2) a (15) são apresentadas as famílias de restrições do modelo proposto.

$$\sum_{\forall w \in W} \delta_{s,w} \leq 1, \forall s \in S, \quad (2)$$

$$\sum_{\forall w \in W} \delta_{s,w} = 1, \forall s \in S, |\Gamma^-(s_c)| = 0, \quad (3)$$

$$\sum_{\forall w \in Q_s} \delta_{s,w} = 1, \forall s \in S, \quad (4)$$

$$\sum_{\forall w \in P_s} \delta_{s,w} = 0, \forall s \in S, \quad (5)$$

$$\sum_{w=k_{c,s}+1}^{|W|} \delta_{c,s} \geq 1 - \sum_{w=1}^{k_{c,s}} \delta_{s,w}, \forall c \in S: |\Gamma^-(s_c)| > 0, \forall s \in \Gamma^-(s_c), \quad (6)$$

$$\sum_{\forall s \in A_o} NHMan_s \delta_{s,w,o} \leq NHO_{o,w}, \forall o \in O, \forall w \in W, \quad (7)$$

$$\sum_{\forall s \in MO_g} NHMan_s \delta_{s,w,g} \leq NHMO_{g,w}, \forall g \in G, \forall w \in W, \quad (8)$$

$$\sum_{\forall o \in O} \delta_{s,w,o} = \delta_{s,w}, \forall s \in S, \forall w \in W, \quad (9)$$

$$\sum_{\forall g \in G} \delta_{s,w,g} = \delta_{s,w}, \forall s \in S, \forall w \in W, \quad (10)$$

$$h_{e,w} \geq \sum_{\forall F \in C_e, \forall s \in F} NHMP_s \delta_{s,w}, \forall e \in E, \forall w \in W, \quad (11)$$

$$h_{e,w} \leq JT_w, \forall e \in E, \forall w \in W, \quad (12)$$

$$h_{e,w} \geq \sum_{\forall o \in O} h_{e,w,o}, \forall e \in E, \forall w \in W, \quad (13)$$

$$h_{e,w} \geq \sum_{\forall g \in G} h_{e,w,g}, \forall e \in E, \forall w \in W, \quad (14)$$

$$\sum_{\forall e \in E_m, \forall w \in W} h_{e,w} \leq HD_m, \forall m \in M. \quad (15)$$

A família de restrições (2) garante que se a atividade  $s$  for executada no período de avaliação, ela ocorrerá apenas uma vez. A família de restrições (3) garante que todas as atividades  $s$  planejadas devem ser executadas no período de avaliação. A família de restrições (4) indica que a atividade  $s$  é obrigada a ser executada em determinadas janelas de tempo definidas por  $Q_s$ . A família de restrições (5) indica que a atividade  $s$  não pode ser executada em determinadas janelas de tempo definidas por  $P_s$ . A família de restrições (6) impõe que se a atividade planejada  $s$  não for executada até  $k_{c,s}$ , então a atividade corretiva  $c$  deverá ocorrer. A família de restrições (7) indica que o número de horas para resolver um conjunto de atividades não pode exceder o número de horas de cada oficina  $o$  disponível na janela  $w$ . A família de restrições (8) indica que o número de horas para resolver um conjunto de atividades não pode exceder o número de horas de cada grupo de mão-de-obra  $g$

disponível na janela  $w$ . A família de restrições (9) indica que cada atividade  $s$  só pode ser executada em uma única oficina. A família de restrições (10) indica que cada atividade  $s$  só pode ser executada por um único grupo de mão-de-obra. A família de restrições (11) limita a quantidade de horas de equipamentos parados para manutenção pelo número de horas de máquina parada estimado para executar as atividades, sendo que, estas são segmentadas por suas respectivas famílias. A família de restrições (12) limita a quantidade de horas de equipamentos parados para manutenção na janela de tempo  $w$  pelo comprimento de horas da mesma. A família de restrições (13) representa o tempo de máquina parada do equipamento  $e$  é dado pela soma do tempo de máquina parada em todas as oficinas em que o mesmo teve atividades executadas. A família de restrições (14) representa o tempo de máquina parada do equipamento  $e$  é dado pela soma do tempo de máquina parada em todos os grupos executaram suas atividades. A família de restrições (15) limita o tempo de máquina parada para cada equipamento segmentado pela disponibilidade do seu modelo.

### 3 RESULTADOS

Nesta seção, são apresentados os resultados computacionais alcançados. Foi utilizado o Xpress-Mosel 3.0.3 e um computador com a configuração Intel(R) Core TM 2 CPU 6400@2.13GHz, 2GiB. Nas Tabelas 1 e 2 podem ser vistos, respectivamente, o dimensionamento dos problemas e os resultados computacionais, onde:

- **prob** é o nome do problema;
- **# os** é o número de atividades;
- **# eqtos** é a quantidade de equipamentos;
- **# var** é a quantidade total de variáveis;
- **# bin** é a quantidade apenas das variáveis binárias;
- **# restr** é a quantidade de restrições do problema;
- **sol int (s)** é o valor da solução ótima do problema inteiro misto;
- **sol linear (s)** é o valor da solução ótima do problema linear;
- **tempo int (s)** é o tempo, medido em segundos, para obter a solução ótima mista;
- **tempo linear (s)** é o tempo, medido em segundos, para obter a solução ótima linear.

**Tabela 1:** Dimensão dos problemas

| prob | # os | # eqtos | \# var | # bin | # restr |
|------|------|---------|--------|-------|---------|
| p1   | 747  | 23      | 11550  | 11205 | 8430    |
| p2   | 959  | 23      | 14730  | 14385 | 10472   |
| p3   | 1164 | 23      | 17805  | 17460 | 12600   |
| p4   | 720  | 23      | 11145  | 10800 | 7887    |
| p5   | 1103 | 23      | 16890  | 16545 | 11720   |
| p6   | 1027 | 23      | 15750  | 15405 | 10935   |
| p7   | 992  | 23      | 15225  | 14880 | 10518   |
| p8   | 867  | 23      | 13350  | 13005 | 9123    |
| p9   | 787  | 23      | 12150  | 11805 | 8382    |
| p10  | 1025 | 24      | 15735  | 15375 | 10915   |

**Tabela 2:** Resultados computacionais

| Prob | sol int        | sol linear     | tempo int (s) | tempo linear(s) |
|------|----------------|----------------|---------------|-----------------|
| p1   | 1015.100000024 | 1015.100000024 | < 10          | < 10            |
| p2   | 1343.500000045 | 1343.500000045 | < 10          | < 10            |
| p3   | 1744.050000288 | 1744.050000288 | <10           | < 10            |
| p4   | 1222.350000151 | 1222.350000151 | < 10          | < 10            |
| p5   | 1337.900000036 | 1337.900000036 | < 10          | < 10            |
| p6   | 1270.750000127 | 1270.750000127 | < 10          | <10             |
| p7   | 1767.100000001 | 1767.100000001 | < 10          | < 10            |
| p8   | 1241.970000213 | 1241.970000213 | < 10          | < 10            |
| p9   | 1122.190000162 | 1122.190000162 | < 10          | < 10            |
| p10  | 1375.350000324 | 1375.350000324 | < 10          | < 10            |

Os problemas testes são adaptações de aplicações reais na indústria. Cada janela de tempo tem o comprimento de uma semana e o período de avaliação foi de três semanas. Em algumas situações, uma mesma atividade poderia dar origem a várias outras, desde que não fosse executada em determinada janela de tempo. Em outras situações, uma atividade destino poderia ter várias possíveis atividades como origem.

#### 4 DISCUSSÃO

O modelo proposto neste trabalho reflete a experiência dos autores na avaliação de situações reais com um enfoque na área de manutenção de equipamentos móveis de grande porte utilizados na mineração. Neste ambiente, o planejamento das paradas deve dar suporte aos setores de produção e manutenção para a organização interna de cada um deles. A área de produção precisa que o equipamento esteja o mais disponível possível e com um nível de confiabilidade aceitável para reduzir as chances de que ele quebre no campo. Por outro lado, a área de manutenção precisa saber como priorizar as atividades a serem executadas, afim de evitar o potencial surgimento de problemas originados por uma má avaliação e, além disso, como organizar estas atividades de forma a explorar melhor o conceito de família de atividades e, portanto, reduzir o tempo de máquina parada. Nesse sentido, o modelo proposto trabalha com todos estes itens através do mapeamento entre problemas, da exploração de famílias de atividades e de janelas de tempo, dimensionadas em uma semana, que permitem aos gestores fazer ajustes que melhor se adaptem à sua realidade dinâmica. Os resultados obtidos vieram de simulações baseadas em dados reais e as primeiras avaliações mostram que a modelagem acrescenta uma padronização para a entrada de dados, melhor compreensão dos processos de manutenção, descrição das famílias de atividades e relacionamento entre problemas. A este conjunto de características acrescenta-se o fato de ter-se obtido resultados computacionais, para problemas de porte real, que permitem a sua rápida utilização e adaptação em situações práticas. Além disso, o conjunto de famílias de restrições refletem regras, tais como um número mínimo de equipamentos de determinados modelos que devem estar disponíveis, como, por exemplo, a relação entre caminhões, carregadeiras e escavadeiras, que são essenciais na prática.

## 5 CONCLUSÃO

Neste artigo, foi apresentado um modelo de otimização de programação não-linear inteiro-misto desenvolvido para o planejamento de paradas de manutenção de curto prazo. O problema de planejamento de paradas é estratégico para a cadeia produtiva, pois uma parada não-planejada pode gerar diversos transtornos. Dado que o ambiente de trabalho para o qual o modelo foi desenvolvido é muito dinâmico, foi utilizado de um período de planejamento de três semanas para avaliar o impacto da distribuição das decisões para o futuro, mas apenas o resultado das duas primeiras semanas é utilizado. Um ponto importante destacado neste trabalho foi o uso do mapa de dependência de atividades dentro de determinado período. No futuro, serão adicionadas a este trabalho informações relacionadas a fatores externos que podem causar impacto na decisão do melhor momento de parar um equipamento para manutenção e análise de cenários.

## Agradecimentos

Os autores agradecem à Faperj pelo apoio financeiro dado a esta pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- 1 MORAES, E. et al. Um modelo de programação matemática para otimizar a composição de lotes de minério de ferro da mina Cauê da CVRD. *Revista da Escola de Minas*, 59:299-306, 2006.
- 2 SANTOS, E.; RODRIGUES, M.; LATRE, L. Aplicação de interferência lógica em problemas de programação de produção. *Gest. Prod.*, 7(7), Agosto 2000.
- 3 NOZICK, L.; MORLOK, E. A model for medium-term operations planning in an intermodal rail-truck service, *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. *Gest. Prod.*, 31 (2):91-107, March 1997.
- 4 VIEIRA, G.; SOARES, M.; GASPARG JÚNIOR, O. Otimização e planejamento mestre da produção através de algoritmos genéticos. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Outubro de 2002.
- 5 COSTA, F.; SOUZA, M.; PINTO, L. Um modelo de alocação dinâmica de caminhões visando ao atendimento de metas de produção e qualidade. *Anais do III Congresso Brasileiro de Minas a Céu Aberto e III Congresso Brasileiro de Minas Subterrânea*, CD-ROM:8, 2004.
- 6 LATRE, L.; RODRIGUES, L.; RODRIGUES, M. Planejamento e programação da produção em plantas multipropósito operando em batelada na indústria química. *Gestão & produção*, 7(3):283-304, Dezembro 2000.
- 7 SANTOS, W.; COLOSIMO, E.; MOTTA, S. Tempo ótimo entre manutenções preventivas para sistemas sujeitos a mais de um tipo de evento aleatório. *Gest. Prod.*, 14(1):193-202, Janeiro 2007.
- 8 ALMEIDA, A. Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. *Pesquisa Operacional*, 25(1):69-81, Janeiro 2005.
- 9 LEAL JÚNIOR, O.; BAFFA JÚNIOR, P.; GARCIA, H. Otimização da frequência na manutenção preventiva. XXVI ENEGEP, Outubro 2006.
- 10 CAVALCANTE, C.; ALMEIDA, A.. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando promethee ii em situações de incerteza. *Pesquisa Operacional*, 25(2):279-296, Maio a Agosto 2005.
- 11 SANCHEZB, A. et al. Addressing imperfect maintenance modelling uncertainty in unavailability and cost based optimization. *Reliability Engineering and System Safety*, (94):22-32, 2009.

- 12 BARTHOLOMEW-BIGGS, M.; ZUO, M.; LI, X. Modeling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance. *Reliability Engineering and System Safety*, (94):53-62, 2009.
- 13 NAKAGAWAA, T.; MIZUTANIB, S. A summary of maintenance policies for a infinite interval. *Reliability Engineering and System Safety*, (94):89-96, 2009.
- 14 NICOLAI, R. P.; DEKKER, R. Modeling and optimizing sequential imperfect preventive maintenance. *Optimal maintenance of multi-component systems: a review*. August, 2006.
- 15 DEKKER, R. Applications of maintenance optimization models: a review and analysis. *Reliability Engineering and System Safety*, (51):229-240, 1996.
- 16 SCARF, P. A framework for condition monitoring and condition based maintenance. *Quality Technology & Quantitative Management*, 4(2):301-312, 2007.
- 17 ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade, 2004.