Proposta de um Modelo Matemático para o Problema de Programação de Equipes de Manutenção Industrial em uma Empresa de Óleo e Gás

Thomas Edson Viana De Souza Coelho thomasedsoncoelho@yahoo.com.br Transpetro S/A
Edwin Benito Mitacc Meza emitacc@gmail.com ICT/UFF
Dalessandro Soares Vianna dalessandro@ucam-campos.br ICT/UFF

Resumo

Este artigo apresenta a proposta de um modelo matemático para o problema de programação de equipes para a execução das ordens de serviço de manutenção industrial em uma empresa do setor de óleo e gás, considerando a existência de uma mão-de-obra especializada heterogênea, categorizada em um agrupamento de trabalhadores de habilidades específicas. Para validação do modelo foram desenvolvidos cenários que representam uma ou mais semanas típicas nos trabalhos das equipes de manutenção. Os resultados obtidos atingem o objetivo imediato de se obter um cronograma de execução das ordens de serviço. Se comparado a cenários reais, o modelo proposto mostrou-se eficiente na melhoria da programação das equipes, onde a priorização e categorização dos serviços e equipamentos deixaram mensuráveis e justificáveis a grade de programação, sobretudo considerando a expertise das equipes envolvidas.

Palavras chaves

Programação de Equipes, Manutenção Industrial, Modelagem Matemática, *Staff Scheduling*, *Operational Research*.

1. Introdução

A partir da ampla pesquisa realizada entre as diversas empresas do país, a Associação Brasileira de Manutenção e Gestão de Ativos – ABRAMAN emite, a cada dois anos, um Documento Nacional contendo informações sobre a situação da área de manutenção do país. Assim, segundo o Documento Nacional 2017, o percentual de trabalhadores das empresas atuando na manutenção aumentou, principalmente a mão-de-obra qualificada, o que tem mostrado um aumento da percepção da importância da manutenção dos ativos na sua gestão pelas empresas (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 2017).

Não obstante os dados da ABRAMAN nos últimos anos, sobre o setor de Petróleo, foi registrada uma elevada queda do preço do petróleo a partir de 2011, se acentuando de 2013 a 2015 e causando um grande impacto em toda a indústria. Esse impacto pode ser observado através dos dados do Anuário Estatístico da Agência Nacional do Petróleo (AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS, 2017). Desta forma as empresas têm sido forçadas a se adaptar à nova realidade do preço do barril e assim, desde 2014, início da queda no valor da *commodity*, o setor cancelou bilhões em investimentos fazendo as empresas optar pelo corte de gastos em suas operações.

Neste cenário, as atividades de manutenção vêm sendo repensadas e redirecionadas de forma a contribuir com os resultados da empresa. Assim, deve-se assegurar à área operacional uma capacidade produtiva compatível com a demanda e a um custo que não sacrifique o preço final do produto – e consequentemente a sua competitividade no mercado – ou a margem de lucro da empresa. Portanto, houve uma grande mudança na consciência e no conceito gerencial acerca das inovações e custos referentes às políticas, práticas e procedimentos de manutenção. A atividade de manutenção passou a ser uma estratégia indispensável à produção, sendo considerada também, uma das bases de toda a atividade industrial.

Consequentemente, a gestão da manutenção precisa estar sustentada por uma visão de futuro traduzida por metas estratégicas e regida por processos de gestão ou caminhos estratégicos (“melhores práticas”) para se alcançar esta visão (PINTO, 2003). Mesmo seguindo essas melhores práticas, a natureza do serviço de atendimento ao cliente pela execução dos serviços de manutenção sempre irá requerer uma busca por melhoria contínua. Prioridades de atendimento, tipo de manutenção, limitação da equipe de técnicos e expertise para a intervenção em máquinas pesadas, complexas ou estratégicas sempre será um desafio em busca de inovações. Como minimizar as dificuldades práticas em atender as ordens de serviço, fazendo com que sejam executadas dentro do tempo estimado buscando alta qualidade e baixo custo é o questionamento central do presente trabalho. É importante ressaltar que, este problema é do tipo NP-hard e é tratado como um problema de programação de equipes conhecido como *Crew Scheduling Problem*.

Neste sentido, o objetivo geral deste trabalho consiste em propor um modelo matemático para o problema da programação de equipes para a execução dos serviços de manutenção industrial (ordens de serviço de manutenção), em uma empresa do setor de óleo e gás.

2. Revisão da Literatura

Existem, na literatura, vários trabalhos relacionados à programação de equipes. Em Ernst et al. (2004) foram identificadas 28 categorias de métodos usados em problemas de programação de pessoas. Este número expressivo deve-se ao fato de que não é possível a construção de um único modelo matemático que se adeque a qualquer problema. Cada problema possui características específicas, que devem ser levadas em consideração no momento de elaboração do modelo matemático. Dentre os modelos estudados por Ernst et al. (2004), pode-se destacar os modelos de problemas do tipo *scheduling*: programação de tripulações (*crew scheduling*), programação de escalas de enfermeiras (*nurse rostering*) e programação de quadro de horários (*timetabling*). Já em Van den Bergh et al. (2012) as publicações foram categorizadas em 4 principais tópicos: 1) características do pessoal (tipo de contrato, individual/equipe); 2) restrições, performance e flexibilidade; 3) métodos de solução e incorporação de incertezas e 4) área de aplicação.

Cabe ressaltar que a maioria dos problemas de programação de equipes e tarefas tem três classes de variáveis independentes, que são chamadas de dimensões, segundo De Causmaecker et al. (2003): pessoal (P), tempo (T), e tarefas ou deveres (D). Estas três variáveis (P, T, D) definem um espaço de dimensão tridimensional. Neste espaço, a maioria das posições é infactível devido às restrições dos problemas abordados, que podem ser rígidas ou flexíveis, dependendo do problema tratado. Assim, alguns trabalhos podem-se destacar no problema da programação de equipes no setor de manutenção.

Cravo (2009) aborda o problema de manutenção industrial como um problema de escalonamento de projetos com restrição de recursos e múltiplos modos de processamento, conhecido como MRCPSP (*Multi-mode Resource Constrained Project Scheduling Problem*), visando melhorar o tempo de parada para manutenção de equipamentos. Devido a sua complexidade foi proposto a implementação da metaheurística GRASP para sua resolução.

Já em Biagioni Júnior (2008) é proposto um modelo para programação de atividades e alocação de técnicos que executam tarefas de instalação, manutenção preventiva e visita diagnóstica em equipamentos utilizados na produção de bens de consumo em escala industrial. O modelo proposto faz a alocação do técnico para cada uma dessas requisições programadas, minimizando o custo total da operação dentro do horizonte de planejamento. Por outro lado, em Marchioro (2006) aborda-se o problema de escalonamento de tarefas considerando determinadas restrições tecnológicas pré-definidas, como: número máximo de profissionais e ferramental disponível em certo instante de tempo, número de profissionais necessários para a realização de uma tarefa, especialidades técnicas dos profissionais, rede de precedências entre as operações para realizar uma tarefa, tarefas com instante de início agendado, data de início iminente (mais cedo) para a realização de uma tarefa, prioridade de execução das tarefas, entre outras.

Cabe ressaltar que, alguns trabalhos não são direcionados à programação de equipes, mas à manutenção de equipamentos como visto em Aradi (2015) onde busca-se resolver o problema de planejamento de operações de manutenção submarina através das perspectivas de programação de tarefas e dimensionamento de frota. O problema consiste em determinar a melhor sequência de tarefas a serem atendidas por embarcações considerando compatibilidade, regras de sequenciamento e tamanho da frota.

3. Descrição do problema

Elaborar um modelo de programação de equipes de trabalho não é uma tarefa trivial, já que exige o estudo de um volume muito grande de informações, o que o torna um problema de difícil resolução devido à ocorrência de uma variedade de conflitos entre os diversos elementos envolvidos.

Neste trabalho, o problema de programação de equipes assume a existência de uma mão-de-obra especializada heterogênea, categorizada em um agrupamento de trabalhadores de habilidades específicas. Assim, neste caso, o corpo técnico (profissionais) é dividido em três especialidades: Mecânica, Elétrica e Instrumentação. Os serviços que envolvem os profissionais técnicos de mecânica referem-se à manutenção corretiva ou preventiva de sistemas pneumáticos e hidráulicos, sistemas rotativos de baixa ou alta velocidade, alinhamentos de subconjuntos, etc. Já os serviços de elétrica estão divididos em duas categorias: montadores de linhas, que trabalham com sistemas de transporte e distribuição em alta tensão, e montadores de instalações elétricas, que trabalham com tensões definidas para baixa tensão, utilizadas no uso doméstico e

industrial. Por último, os técnicos de instrumentação são responsáveis pela conservação e manutenção dos sistemas de instrumentação nos processos industriais. É importante ressaltar que, o corpo técnico de cada especialidade é constituído de profissionais subdivididos em: Júniores, Plenos e Sêniores. Esta característica hierárquica baseada na antiguidade profissional é adotada na indústria em questão, conforme Tabela 1.

Tabela 1 – O Corpo Técnico em percentual (por Especialidade).

Profissionais	**Especialidade**			**TOTAL**
	Mecânica	**Elétrica**	**Instrumentação**	
Sêniors	12%	10%	17%	13%
Plenos	14%	14%	14%	14%
Júniores	74%	76%	69%	73%

Fonte: Petrobras Transporte S/A.

Por outro lado, os serviços são expressos em Ordens de Serviço e se apresentam como Serviços de Manutenção Mecânica, Manutenção Elétrica, Manutenção de Instrumentação e Manutenção Conjunta. Além disso, em relação à natureza da manutenção, este pode ser Corretiva ou Preventiva. A Tabela 2 descreve a natureza dos serviços na empresa em estudo.

Tabela 2 – Tipo de Serviço de Manutenção (pela Natureza dos Serviços).

Natureza do Serviço	**Especialidade**			**TOTAL**
	Mecânica	**Elétrica**	**Instrumentação**	
Preventiva	57%	84%	18%	47%
Corretiva	43%	16%	82%	53%

Fonte: Petrobras Transporte S/A.

A prioridade de atendimento é também considerada como característica de cada serviço, sendo estes divididos em prioridade Baixa (30 dias para atendimento), Média (7 dias para atendimento), Alta (24 horas para atendimento) e Emergência (atendimento imediato). A Tabela 3 apresenta as prioridades dos serviços levantados num determinado período.

Tabela 3 – Prioridade em números (pela Natureza dos Serviços).

Prioridade	**Especialidade**			**TOTAL**
	Mecânica	**Elétrica**	**Instrumentação**	
Baixa	44%	16%	32%	31%
Média	51%	81%	68%	66%
Alta	5%	3%	0%	2%

Emergência	0%	0%	0%	0%

Fonte: Petrobras Transporte S/A.

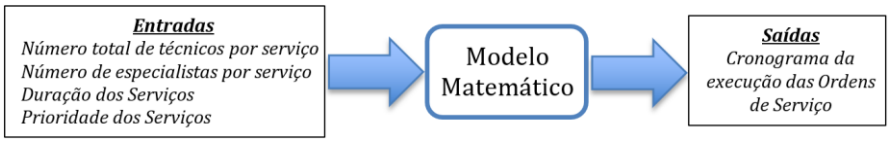
É importante ressaltar que o tempo de duração do serviço corresponde ao tempo de realização em horas. Este tempo é composto por uma série de passos que envolvem desde o tempo para liberação do equipamento, passando pelo tempo de deslocamento até a área industrial, o tempo de execução propriamente, o tempo de desmobilização, retorno e finalização do serviço. Serviços de baixa duração tendem a ser executados em menos de 4h. Serviços de média duração de 4h a 8h (1 dia útil) e serviços de alta duração tendem a se prolongar por mais de um dia.

A quantidade de técnicos para cada serviço multiplicado pelo tempo de execução caracteriza o Homem-Hora da tarefa. Pode ser 1 profissional, 2 profissionais ou mais. Por questões de segurança, uma boa prática é a aplicação de duplas para realização de serviços, por mais simples que estes serviços sejam. Deve-se levar em conta que anualmente são pré-definidas manutenções preventivas que envolvem paradas programadas e, uma vez coincidindo com a semana de programação, parte da mão-de-obra fica indisponível para outras tarefas por ter que realizar de tais manutenções preventivas.

4. Formulação e Modelagem Matemática do problema

A formulação do modelo matemático proposto consiste na programação de uma equipe de manutenção (mecânica ou elétrica ou instrumentação), de modo que os profissionais técnicos disponíveis possam atender a demanda de serviços de manutenção dentro do tempo de duração destes serviços. Todas as ordens são para manutenção corretiva (em maior quantidade) e preventiva. A Figura 1 apresenta os dados de entrada para o modelo proposto bem como as saídas que este deverá fornecer após resolução do modelo.

Figura 1 - Dados de entrada e saída do modelo matemático proposto



Assim, conforme a Figura 1, a partir dos dados referentes às Ordens de Serviço como duração, prioridade e característica do corpo técnico necessário, o problema de programação de equipes consiste em determinar o momento, em horas do dia, em que cada serviço deve ser executado, criando assim uma grade de programação. Desta forma, para formular matematicamente este problema, os seguintes índices, parâmetros e variáveis de decisão foram definidos:

Índices:

$i \rightarrow representa\ as\ ordens\ de\ serviço;$

$j \rightarrow representa\ as\ horas\ disponiveis\ para\ programação\ das\ ordens\ de\ serviço.$

$k \rightarrow representa\ os\ tipos\ de\ especialidades;$

Parâmetros:

$TMAX \rightarrow$ *número máximo de horas para programação das ordens de serviço*;

$T \rightarrow$ *conjunto de horas disponiveis para programação* $\{1, 2, 3, \ldots, TMAX\}$;

$S \rightarrow$ *conjunto de todas as ordens de serviço*

$E \rightarrow$ *conjunto dos tipos de especialidade* $(1 - seniores, 2 - plenos, 3 - juniores)$

$HHM \rightarrow$ *Média de custo* $H - H$ *dos profissionais disponiveis* $(sênior, pleno\ e\ júnior)$

$P1 \rightarrow$ *penalidade associada a cada serviço não atendido*

$P2 \rightarrow$ *penalidade por não respeitar a prioridade/categoria*

$DUR_i \rightarrow$ *indica a duração em horas do serviço* i

$HMAX_i \rightarrow$ *indica o tempo máximo para execução do serviço* i

$TAMEQUIPE_i \rightarrow$ *indica o tamanho da equipe necessária para a realização do serviço* i

$PRIO_i \rightarrow$ *indica a prioridade do serviço* i

$CAT_i \rightarrow$ *indica a ordem de precedência do serviço* i *pela categoria do equipamento*

$HHEspec_k \rightarrow$ *indica o custo do HH por especialidade* k $(1 = seniores, 2 - plenos, 3 - juniores)$

$TAMESPEC_k \rightarrow$ *indica o número de técnicos disponiveis por especialidade* k

$MINESPEC_{ik} \rightarrow$ *indica o número mínimo de técnicos requisitados com a especialidade* k *para o serviço* i.

Variáveis de Decisão:

$x_{ij} = \begin{cases} 1 & se\ o\ serviço\ i\ foi\ alocado\ na\ hora\ j \\ 0 & caso\ contrário \end{cases}$

$u_i = \begin{cases} 1 & se\ o\ serviço\ i\ foi\ atendido \\ 0 & caso\ contrário \end{cases}$

$tini_i = indica\ o\ tempo\ de\ início\ do\ serviço\ i$;

$tfim_i = indica\ o\ tempo\ de\ fim\ do\ serviço\ i$;

$y_{ik} = informa\ o\ número\ de\ técnicos\ da\ especialidade\ k\ que\ deve\ ser\ associado\ ao\ serviço\ i$;

$z_{ijk} = informa\ a\ quantidade\ de\ técnicos\ de\ uma\ especialidade\ k\ fazendo\ o\ serviço\ i\ no\ tempo\ j$;

$inf_i = informa\ o\ número\ de\ violações\ associadas$ às $prioridades\ /precedência\ do\ serviço\ i$;

Utilizando esta notação, o problema pode ser formulado como:

$$MIN = HHM \times \sum_{i \in S} tfim_i + P1 \times \sum_{i \in S} (1 - u_i) + \sum_{i \in S} \sum_{k \in E} (y_{ik} \times HHEspec_k \times DUR_i) + P2 \times \sum_{i \in S} inf_i \quad (1)$$

s.a

$$\sum_{\substack{j \in T \\ j \leq HMAX_i}} x_{ij} = DUR_i \times u_i \qquad \forall\, i \in S \quad (2)$$

$$tini_i \leq j \times x_{ij} + TMAX \times (1 - x_{ij}) \qquad \forall\, i \in S, \forall j \in T \mid j \leq HMAX_i \quad (3)$$

$$tfim_i \geq j \times x_{ij} \qquad \forall\, i \in S, \forall j \in T \mid j \leq HMAX_i \quad (4)$$

$$tfim_i - tini_i = DUR_i \times u_i - 1 \qquad \forall\, i \in S \quad (5)$$

$$tfim_i \leq HMAX_i + TMAX \times (1 - u_i) \qquad \forall\, i \in S \quad (6)$$

$$\sum_{k \in E} y_{ik} = TAMEQUIPE_i \qquad \forall\, i \in S \quad (7)$$

$$y_{ik} \geq MINESPEC_{ik} \qquad \forall\, i \in S, \forall\, k \in E \quad (8)$$

$$z_{ijk} \geq y_{ik} - TAMEQUIPE_i \times (1 - x_{ij}) \qquad \forall\, i \in S, \forall j \in T \mid j \leq HMAX_i, \forall\, k \in E \quad (9)$$

$$\sum_{i \in S} z_{ijk} \leq TAMESPEC_k \qquad \forall\, i \in S, \forall j \in T \mid j \leq HMAX_i, \forall\, k \in E \quad (10)$$

$$inf_{i1} \geq tini_{i2} - tini_{i1} - TMAX \times (2 - u_{i1} - u_{i2}) \qquad \forall\, i1, i2 \in S | i1 \neq i2, PRIO_{i2} > PRIO_{i1} \quad (11)$$

$$inf_{i1} \geq tini_{i2} - tini_{i1} - TMAX \times (2 - u_{i1} - u_{i2}) \; \forall\, i1, i2 \in S | i1 \neq i2, PRIO_{i2} = PRIO_{i1}, CAT_{i2} > CAT_{i1} \quad (12)$$

$$inf_i \geq (1 - u_i) \times PRIO_i \times CAT_i \qquad \forall\, i \in S \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in S, \forall j \in T \quad (14)$$

$$u_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in S \quad (15)$$

$$tini_i \geq 1 \qquad \forall i \in S \quad (16)$$

$$fim_i, inf_i \geq 0 \qquad \forall i \in S \quad (17)$$

$$y_{ik} \in \mathbb{Z}^+ \qquad \forall i \in S, \forall k \in E \quad (18)$$

$$z_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i \in S, \forall j \in T, \forall k \in E \quad (19)$$

A Função Objetivo minimiza o tempo de fim dos serviços (*makespan*), o número de serviços não atendidos, o custo em H-H gasto com funcionários e o número de tarefas alocadas antes de uma prioritária. A restrição (2) garante que quantidade de horas alocadas do serviço i deve ser igual a sua duração. A inequação (3) calcula o tempo de início do serviço i. A restrição (4) calcula o tempo de fim do serviço i. A equação (5) garante que a diferença entre o início e o fim do serviço i deve ser igual a sua duração. A inequação (6) assegura que o momento de conclusão do serviço i tem que ser inferior ao limite máximo. A equação (7) garante que o número total de profissionais técnicos de cada especialidade k para cada serviço i deve respeitar ao estipulado. Para a inequação da restrição (8) o número de profissionais de cada especialidade k alocados para cada serviço i deve respeitar a quantidade mínima requisitada de cada especialidade. A restrição (9) calcula a quantidade de funcionários da especialidade k alocados ao serviço i no dia j. A inequação (10) garante que a quantidade de funcionários da especialidade k alocados no dia j não ultrapasse a quantidade disponível. A

restrição (11) verifica se está cumprindo-se a relação de precedência; os serviços prioritários devem ser naturalmente alocados primeiro. A inequação (12) verifica se, tendo a mesma prioridade, o serviço cujo equipamento se mostra de maior importância (caracterizado pela categoria A/B/C do equipamento) foi precedido na programação. A restrição (13) verifica, caso algum serviço não seja atendido, que sua prioridade seja levada em consideração. O domínio das variáveis é descrito nas expressões (14) a (19).

5. Validação do Modelo – Testes e Resultados

Para validar o método proposto foram desenvolvidos cenários que representam uma ou mais semanas típicas nos trabalhos das equipes de manutenção. Para estes cenários algumas simulações permitem demonstrar como o modelo matemático desenvolvido pode ajudar a agrupar os serviços. A seguir exemplificamos 2 destes cenários.

5.1. Cenário 1

Neste cenário temos uma distribuição de serviços de Mecânica que intercalam tarefas de manutenção corretiva (MCOR) e preventiva (MPRV), conforme mostrado na coluna "Tipo" na Tabela 4. Um detalhe é a presença de uma ordem de serviço (OS9) de longa duração: 30h (uma ordem de manutenção corretiva de alta importância – "Cat" A). A coluna "Hora Max" corresponde a uma tolerância a mais para a execução da ordem de serviço, trazendo sua realização para, no máximo, a hora especificada. Neste cenário todos os serviços demandam uma dupla de técnicos, porém exigindo um número mínimo de profissionais para sua execução (sênior, pleno e júnior). Estas exigências podem ser justificadas pela prioridade alta dos serviços e categoria elevada dos equipamentos (que levem à necessidade de seniores e plenos para seu atendimento) além da distribuição estratégica de técnicos juniores. Cabe ressaltar que, a equipe disponível para atender estes serviços é formada por: 1 sênior, 1 pleno e 5 júniores.

Tabela 4 – Dados de Entrada para o Cenário 1.

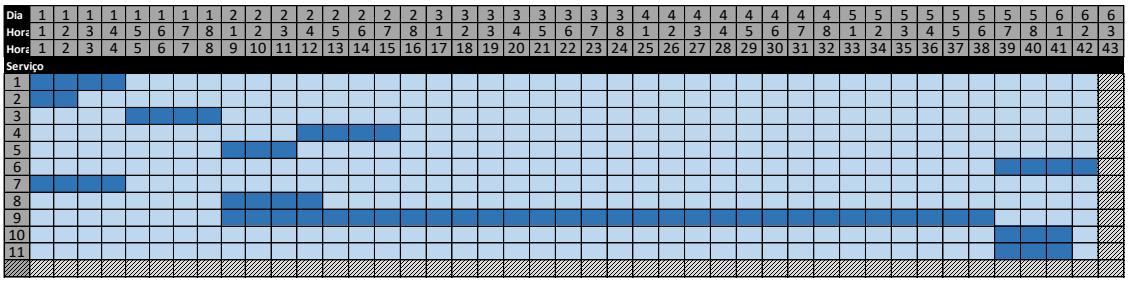
							Equipe para execução			
OS	**Serviço**	**Cat**	**Prior.**	**Dur (h)**	**Tipo**	**Hora Max (h)**	**Qtd**	**Min S**	**Min P**	**Min J**
OS1	Manutenção no redutor	C	Alta	4,0	MPRV		2	1	1	0
OS2	Repor nível de óleo	B	Alta	2,0	MPRV		2	0	0	2
OS3	Manutenção e Calibração	A	Média	4,0	MPRV		2	1	1	0
OS4	Manutenção e Calibração	A	Baixa	4,0	MPRV		2	0	0	2
OS5	Apertar gaxeta	B	Média	3,0	MPRV		2	0	1	1
OS6	Amaciar e lubrificar	A	Baixa	4,0	MCOR	50	2	1	0	0
OS7	Vazamento de óleo	B	Alta	4,0	MCOR		2	0	0	1
OS8	Manutenção e Calibração	A	Baixa	4,0	MPRV		2	0	0	0

OS9	Manutenção mancais	A	Média	30,0	MCOR		2	1	0	0
OS10	Vazamento gaxeta	C	Baixa	3,0	MCOR	50	2	0	0	2
OS11	Vazamento gaxeta	C	Baixa	3,0	MCOR	50	2	0	0	2

Fonte: Petrobras Transporte S/A.

A modo de ilustração, a Figura 2 apresenta o resultado final do cronograma da execução das Ordens de Serviço. É importante ressaltar que, os experimentos computacionais foram executados em um processador Intel 5Y70, CPU 1.10Ghz e 8Gb de memória RAM. O *solver* LINGO 10.0 foi utilizado sob o sistema operacional Windows 10, utilizando o software Excel como interface para informar as entradas bem como mostrar os resultados alcançados após execução do modelo.

Figura 2 - Solução do cenário 1 em forma de Diagrama de Gantt.



Na solução desta simulação as ordens OS6, OS10 e OS11 foram programadas para mais tarde (6º dia útil, ou seja, semana seguinte) uma vez que a mão-de-obra disponível esteve ocupada com as outras ordens que exigiam seus serviços especializados.

5.2. Cenário 2

Igual ao anterior, a Tabela 5 apresenta os dados para este novo cenário. Mas um detalhe que os diferencia é a presença de ordens de serviço de duração média: 8h, 12h e 16h (OS9, OS10, OS11). A equipe disponível para atender estes serviços é formada por: 1 sênior, 3 plenos e 5 júniores.

Tabela 5 – Dados de Entrada para o Cenário 2.

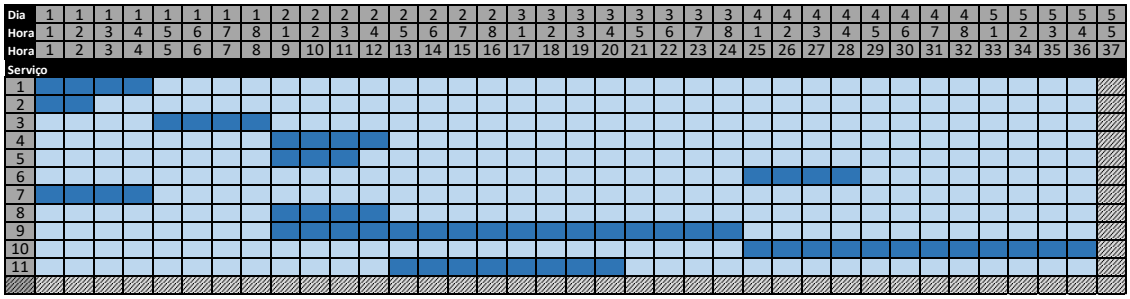
							Equipe para execução			
OS	**Serviço**	**Cat**	**Prior.**	**Dur (h)**	**Tipo**	**Hora Max (h)**	**Qtd**	**Min S**	**Min P**	**Min J**
OS1	Lubrificação	C	Alta	4,0	MPRV		2	1	1	0
OS2	Retirada de motor	A	Alta	2,0	MCOR		2	0	0	2
OS3	Limpar filtro de bomba	A	Média	4,0	MPRV		2	1	1	0
OS4	Sanar vazamento de ar	A	Baixa	4,0	MCOR		2	0	0	2

OS5	Sanar vazamento válvula	B	Média	3,0	MCOR		2	0	1	1
OS6	Ajustar gaxeta	A	Baixa	4,0	MCOR	50	2	1	0	0
OS7	Limpar filtro bomba	B	Alta	4,0	MPRV		2	0	0	1
OS8	Manutenção e calibração	A	Baixa	4,0	MPRV		2	0	0	0
OS9	Revisar válvula	A	Média	16,0	MCOR		2	1	0	0
OS10	Manut. vaso separador	B	Baixa	12,0	MCOR	50	2	0	0	2
OS11	Revisar válvula esfera	A	Alta	8,0	MCOR	50	2	0	0	2

Fonte: Petrobras Transporte S/A.

A Figura 3 apresenta o resultado final da execução das Ordens de Serviço.

Figura 3 - Solução do cenário 2 em forma de Diagrama de Gantt.



É importante observar pelo cronograma que a ordem OS11 foi atendida mais cedo (2º dia útil) em comparação com a simulação anterior, uma vez que o equipamento atendido é "crítico" (categoria A).

Cabe ressaltar que, se comparando com os cenários reais, o uso da modelagem matemática levou à minimização do tempo de atendimento e se mostrou uma ferramenta eficiente na melhoria da programação das equipes de execução das OS. A priorização e categorização dos serviços e equipamentos deixaram mensuráveis e justificáveis a grade de programação, sobretudo considerando a *expertise* das equipes envolvidas (mensuração do número e experiência das equipes, o que não acontece na prática).

5. Conclusões

O estudo teve como objetivo propor um modelo matemático para a programação das ordens de serviço no setor de manutenção, levando em consideração as características inerentes dentro de uma empresa do ramo de óleo e gás. Analisando os resultados pode-se concluir que o modelo se mostrou capaz de auxiliar na programação das ordens de serviço. Apresentou bons resultados para diferentes instâncias, mas observou-se a necessidade do uso de heurísticas para instâncias de grande porte, devido ao número elevado de variáveis inteiras.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS. *Revista Manutenção e Gestão de Ativos - Edição 164*. Comunicação Interativa Editora, ABNT, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. *Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis: 2017*. Rio de Janeiro: ANP, 2017. Fonte: http://www.anp.gov.br/wwwanp/. Acessado em 22/01/2018.

PINTO, A. K.; NASCIF, J. *Gestão Estratégica e Manutenção Autônoma*. São Paulo: Abraman, 2003.

ERNST, A. T.; JIANG, H.; KRISHNAMOORTHY, M. *Staff Scheduling and rostering: A review of applications, methods and models*. Science Direct. European Journal of Operational Research 153, p.3-27, 2004.

VAN DEN BERGH, J.; BELIËN, J.; DE BRUECKER, P.; DEMEULEMEESTER, E.; DE BOECK, L. *Personnel scheduling: A literature review*. European Journal of Operational Research, 2012.

DE CAUSMAECKER, P.; BERGHE, G. V. *Relaxation of coverage constraints in hospital personnel rostering*. Lecture Notes in Computer Science, vol. 2740, pp. 129–147, 2003.

CRAVO, G. L. *Escalonamento de projetos com restrições de recursos e múltiplos modos de processamento: soluções heurísticas e uma aplicação à Programação de Manutenção Industrial*. Dissertação (Mestrado em Informática), Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Vitória, 2009.

BIAGIONI JÚNIOR, M. *Modelo para programação de atividades e a alocação de técnicos para a instalação e assistência técnica de equipamentos*. Dissertação (Mestrado), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

MARCHIORO, G. B. *O uso da Programação Lógica por Restrições no Problema de Escalonamento de Tarefas com Restrições de Recursos: uma aplicação em Manutenção Industrial*. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia), Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, 2006.

ARADI, T. C. *Planejamento de Operações de Manutenção Submarina*. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, 2015.