

UTILIZAÇÃO DA METODOLOGIA PROGRAM EVALUATION AND REVIEW TECHNIQUE (PERT) E CRITICAL PATH METHOD (CPM): ESTUDO DE CASO NA MANUTENÇÃO DE UM MOTOR A DIESEL

Mateus Vanzetta
mateusvanzetta@id.uff.br
UFF

Carlos Francisco Simões Gomes
cfsg1@bol.com.br
UFF

Marcos dos Santos
marcosdossantos@ime.eb.br
IME

Resumo:No contexto militar, a disponibilidade de navios é baseada na confiabilidade e essa na manutenção dos meios. Por isso, as manutenções precisam ser assertivas e ocorrer no tempo certo. Por outro lado, esse tipo de situação não ocorre em todas as ocasiões em que há serviço de manutenção. Isso pode ocorrer porque os gestores não estão cientes ou priorizando as atividades críticas que não podem ser atrasadas. Este estudo realiza uma análise com base na rede utilizando Program Evaluation and Review Technique (PERT) e Critical Path Method (COM) para a manutenção de um motor a diesel modelo VOLVO PENTA, modelo D-49 MS, que é utilizado como propulsão principal no mar. Foram levantadas as tarefas que são executadas na manutenção preventiva através de manuais. Além dos manuais, informações coletadas no local do estudo de caso alimentaram os prazos otimista, provável e pessimistas das atividades. Foi realizado o sequenciamento das atividades globais da manutenção, construção da rede e definição das atividades críticas. Além disso, foi possível verificar a importância dessa ferramenta ao notar que

ela permite uma visualização simples do sequenciamento das atividades e identificar quais delas são críticas, auxiliando nas decisões de planejamento e execução de manutenção pelos gestores.

Palavras Chave: PERT/CPM - Manutenção - Disponibilidade - -

1. INTRODUÇÃO

A Floresta Amazônica é uma região extremamente importante para o planeta. Nessa região vivem uma grande diversidade de seres vivos, dentre esses, alguns são de exclusividade da região. Pode-se destacar uma grande quantidade de plantas, e animais, que são pesquisados com finalidades medicinais. Além da existência de uma vasta área de água doce. (POZZETTI; FERREIRA; MENDES, 2020)

A Marinha do Brasil tem grande responsabilidade nessa área e, de modo geral, para o cumprimento da sua missão, os navios de superfície da Marinha buscam ter um elevado nível de disponibilidade dos sistemas. A disponibilidade é sustentada pela confiabilidade e pelos aspectos que permitem um rápido retorno do equipamento e pela suportabilidade, que significa que ter os recursos necessários. Para alcançar essa disponibilidade, é necessário que haja um planejamento do apoio para manutenção. No que tange à gestão da manutenção, é possível afirmar que a qualidade e consistência do planejamento influenciam diretamente na eficiência da sua execução. (MOURA, 2020).

Segundo Neto (2017) tanto para projetos de grande como de pequeno porte, o planejamento é uma ferramenta essencial. Portanto, sua presença pode ser essencial para o sucesso do empreendimento. Com o Método do Caminho Crítico, é muito importante acompanhar todas as fases da obra para saber quando e onde fazer uma intervenção rapidamente para evitar que a obra sofra danos posteriores, como adicionais ou contratações intempestivas de funcionários.

O objetivo deste estudo é identificar e analisar as redes de atividades a serem realizadas ao longo de uma manutenção preventiva de um motor a diesel de um navio, levantando a duração otimista, provável, pessimista e duração média de cada atividade utilizando o PERT e verificar qual o caminho crítico, utilizando o CPM, identificando as atividades que não podem sofrer atraso. A justificativa do trabalho é embasada no fato de que conhecendo-se esse caminho crítico do serviço de manutenção, as atividades podem ser realizadas de forma assertiva e no tempo correto e, dessa forma, é possível manter o navio disponível pelo maior tempo possível e realizar o reparo com menor custo, sem perda da qualidade.

O modelo de motor em questão é o VOLVO PENTA D-49 MS e é considerada as etapas da maior revisão de 15.000 horas. Esse motor é projetado para atender aos requisitos mais exigentes, como propulsão principal marítima ou acionamento de gerador marítimo. (VOLVO PENTA, 2023).

Na primeira seção foi feita a introdução ao presente trabalho, com um breve contexto sobre o assunto, a explanação do objetivo, justificativa e estudo bibliométrico. Na segunda seção aborda-se de forma mais aprofundada sobre os principais temas do artigo, a partir de uma revisão bibliográfica sobre manutenção, rede PERT/CPM e sua construção. A metodologia do artigo é descrita na terceira seção, seguida do estudo de caso, na quarta seção. Na quinta seção são feitas as considerações finais sobre o tema.

1.1 ESTUDO BIBLIOMÉTRICO

A fim de identificar os artigos relevantes ao tema, um levantamento bibliométrico foi realizado nas bases Scopus e Web of Science.

A estratégia utilizado na Base Scopus foi a pesquisa dos termos em *TITLE-ABS-KEY* "Critical Path Method", "maintenance" e "engine" e filtro de somente artigos. Na base de dados da Web of Science foi pesquisado em Tópicos os termos "Critical Path Method", "maintenance" e "engine", além do filtro de somente artigos para ver como estão relacionadas

ou não os termos na literatura. A pesquisa foi realizada em 01 de junho de 2023 e avaliado os últimos 6 anos (a partir de 2018). A Tabela 1 mostra as estratégias de pesquisa utilizadas e os resultados encontrados.

Tabela 1: Estratégia de busca e resultados.

Estratégia	Scopus	WEB OF Science	Duplicatos
"Critical Path Method"	178	124	103
"Critical Path Method" and "maintenance"	6	3	2
"Critical Path Method" + "engine"	0	0	0
"Critical Path Method" and "maintenance" and "engine"	0	0	0

Fonte: Autores (2023)

Foram encontrados 10 documentos somando os resultados de todas as estratégias. A Tabela 2 apresenta estes resultados, sem contar os documentos repetidos.

Tabela 2: Artigos encontrados na literatura sobre o tema.

Título	Fonte	Base	Ano
<i>Analysis Of Control of Costs and Time with Earned Value Method on Road Maintenance Projects in Palmerah District West Jakarta</i>	<i>Civil Engineering and Architecture</i> 7(3 A), pp. 27-34	Scopus	2019
<i>Assessments Regarding the Planning and Control of Activities and Resources for Ship Repair and Maintenance Works</i>	<i>Scientific Bulletin of Naval Academy</i> 24(1), pp. 201-210	Scopus	2021
<i>Integrated Scheduling Algorithm for Dynamic Adjustment of Equipment Maintenance Start Time</i>	<i>Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Mechanical Engineering</i>	Scopus	2021
<i>Critical Path Method to Accelerate Automotive Maintenance Duration</i>	<i>International Journal of Scientific and Technology Research</i> 9(3), pp. 6777-6782	Scopus	2020
<i>Critical Project Planning and Spare Parts Inventory Management in Shutdown Maintenance</i>	<i>Reliability Engineering and System Safety</i>	Scopus	2022
<i>Procedure Structuring for Programming Aircraft Maintenance Activities</i>	<i>Revista de Gestao</i> 27(1), pp. 2-20	Scopus	2020
<i>Application Of Last Planner System to Modular Offshore Wind Construction</i>	<i>JOURNAL OF CONSTRUCTION ENGINEERING AND MANAGEMENT</i>	Web of Science	2020

Fonte: Autores (2023)

Ainda foi avaliado um artigo, que apesar de ser de 2012, foi o único que atendia aos 3 termos está na tabela 3 e descreve a manutenção de um motor de turbina de uma aeronave.

Tabela 3: Artigo encontrado que atendia todas os critérios.

Título	Fonte	Base	Ano
<i>Aircraft Maintenance Planning Using Fuzzy Critical Path Analysis</i>	<i>International Journal of Computational Intelligence Systems</i>	<i>Scopus</i>	2012

Fonte: Autores (2023)

Como se vê, as publicações na literatura mais recentes nas bases pesquisadas são poucas.

Foi utilizado a mesma estratégia de busca para a “*Program Evolution and Review Technique*” relacionando com “*maintenance*” e “*engine*” e não foi encontrado nenhum artigo.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. MANUTENÇÃO

A manutenção pode ser descrita como uma combinação de ações técnicas e administrativas como objetivo de manter um item funcionando de acordo com as especificações de seu projeto; restaurando-o a essas condições, evitando falhas e garantindo a operação dentro especificações predefinidas. Este amplo conceito de manutenção inclui atividades rotineiras, inspeções periódicas e substituições preventivas, entre outras (FOGLIATO E RIBEIRO, 2009).

Para a realização da revisão de 15.000 horas de um motor, existe a necessidade que o equipamento não esteja em uso, ou seja, consiste em manutenção de desligamento. Segundo Zhu *et al.* (2022), atividades de manutenção que não possam ser realizadas em condições normais de produção e que só pode ser realizada se o equipamento não estiver em uso são referidos como manutenção de desligamento; os termos interrupção e recuperação são aproximadamente equivalentes. A manutenção de desligamento consiste em desmontagem, inspeção abrangente, reparo e substituição de peças e revisão geral.

Essa grande manutenção de desligamento, tem prazo elevado e o equipamento fica indisponível. Segundo Manea *et al.* (2021), o tempo, entendido como o período total de trabalho de manutenção a bordo de um navio na doca de reparação (seca ou flutuante) e/ou no cais de um estaleiro, é um componente essencial na gestão dos trabalhos de manutenção, influenciando tanto os custos como a observância dos termos contratuais.

Desta forma buscar a melhor forma e local de realizar a manutenção é essencial. Segundo Junqueira *et al.* (2018), o tempo de execução da manutenção é um fator importante na hora de escolher um centro de serviços. Portanto, é importante que as empresas de manutenção, reparo e revisão (MRO) busquem reduzir o tempo de inatividade de manutenção para permanecer competitivo. Assim como satisfazer o cliente. As atividades de manutenção precisam ser realizadas adequadamente. A duração das atividades de manutenção tem impacto na diminuição da fidelidade do cliente. (MARIT *et al.*, 2020).

2.2. REDES DE PLANEJAMENTO PERT/CPM

O projeto envolve a realização de atividades interligadas, que consomem tempo e recursos. As dependências tecnológicas entre as atividades são dadas por certas restrições tecnológicas, financeiras, materiais e/ou de pessoal. Cada atividade corresponde a um evento inicial e um evento final. As atividades que não podem ser iniciadas até depois de um evento serão precedidas por atividades que devem ser concluídas nesse evento (MANEA *et al.*, 2021).

O controle em um projeto geralmente envolve três aspectos principais, a saber: custo, tempo e recursos humanos. Utilizando a análise de Planejamento de Rede como uma função de

controle com o método CPM no cálculo da diferença de custo e tempo necessários para concluir o trabalho com um orçamento e cronograma planejados (AKBAR *et al.*, 2019).

O PERT, que tem como objetivo calcular o tempo provável de execução de uma tarefa, surgiu em um contexto militar: foi desenvolvido sob o patrocínio do escritório de projetos da marinha americana (*U.S. Navy Special Projects Office*) em 1958 como uma ferramenta de gerenciamento para a programação e o controle do projeto Polaris. Já a análise CPM foi desenvolvida em 1957 para auxiliar na programação de manutenções e paradas em fábricas de processamento químico e utiliza os valores médios das operações. (DAVIS *et al.*, 2001).

Segundo Slack (2009) a análise de redes através das técnicas PERT/CPM ajudam no planejamento e controle de projetos, na visualização das informações, através das redes (grafos) ou das barras do Diagrama de Gantt, criadas pelas relações de precedência e sucessão das atividades a partir do sequenciamento das atividades, do planejamento e controle da execução de diversos tipos de projetos.

Quando os tempos de atividade no projeto são determinísticos e conhecidos, o CPM tem se mostrado uma ferramenta útil no gerenciamento de projetos de maneira eficiente para enfrentar esse desafio. (ATLI E KAHRAMAN, 2012).

No método CPM a preparação é feita determinando os detalhes das atividades, adicionando duração a cada atividade, identificando atividades anteriores, determinando a sequência de atividades e descrevendo em rede, organizando o tempo de conclusão de cada atividade, para que a atividade fosse identificada se está em caminho crítico ou não. (MARIT *et. al* 2020).

2.3. CONSTRUÇÃO DA REDE PERT/COM

A partir da aplicação da técnica PERT/CPM no processo de entrega, pôde-se visualizar melhor a interdependência entre as atividades do processo. Na sequência, com o caminho crítico definido, tem-se a possibilidade de realizar o gerenciamento dos tempos envolvidos a partir da obtenção dos fatores que limitam cada atividade. (SANTOS, 2020).

Para Martins e Laugeni (2005), no cálculo de PERT é necessário atribuir três durações distintas para cada atividade: i) duração otimista - A, ii) duração mais provável - M, e iii) duração pessimista - B, em seguida, feita as três estimativas de cada atividade o próximo passo é a determinação da iv) duração média - T.

Ainda para Martins e Laugeni (2005), para se calcular T, utiliza-se a fórmula fornecida pela expressão: $T = (A + 4.M + B) / 6$. Após encontrar o valor de T de cada atividade, aplica-se o algoritmo do método do caminho crítico para a determinação da duração do projeto, e que de acordo com Tubino (2009), está relacionado a sequência de atividades que não possuem folga, ou seja, caso haja atraso na execução destas, o projeto também terá seu tempo total comprometido.

De acordo com Keelling e Branco (2014) as folgas podem ser definidas em:

- Folga total: espaço de tempo que uma atividade pode ser adiada sem comprometer um projeto;
- Folga livre: tempo que é possível atrasar o início de uma atividade sem interferir no início das atividades sucessoras.

Nos diagramas de rede, para cada evento definido, tem-se dois tempos para cálculo, sendo o tempo cedo e o tarde, representados numericamente na rede (PRADO, 2004).

O cálculo de tempo dos eventos envolve seu Cedo e Tarde, os quais são definidos por Tubino (2009) da seguinte forma:

- Cedo: É o tempo necessário para que o evento seja atingido, desde que não haja atrasos imprevistos nas atividades antecedentes deste evento. Desta forma, podemos calcular o cedo de um evento como o valor máximo entre todos os valores dos tempos de conclusão das atividades que chegam a este evento, calculado, para cada atividade, como o resultado da soma do Cedo do evento inicial desta atividade mais o valor do seu tempo de execução.

- Tarde: É a última data de início das atividades que partem deste evento de forma a não atrasar a conclusão do projeto. Desta forma, podemos calcular os tardes dos eventos como o valor mínimo entre todos os valores dos tempos de início das atividades que partem deste evento, calculado, para cada atividade, como o resultado da subtração do tarde do evento aonde esta atividade chega menos o valor do seu tempo de execução.

De acordo Ulbricht *et. al* (2020), os cálculos dos tempos de tempo mais cedo, mais tarde e folga podem ser feitos da seguinte forma:

- Tempo inicial mais cedo (IMC): O tempo inicial mais cedo de cada tarefa, é calculado tomando-se o maior (máximo) tempo final mais cedo (FMC) das atividades que a antecedem.

- Tempo final mais cedo (FMC): O mais cedo possível que se pode concluir uma tarefa. É calculado tomando-se o tempo inicial mais cedo de uma tarefa, e adicionando-se o tempo de duração D.

-Tempo inicial mais tarde (IMT): O IMT é calculado pela diferença entre o tempo final mais tarde (FMT) e a duração da tarefa D.

-Tempo final mais tarde (FMT): O tempo mais tarde que poderá ocorrer o fim de uma determinada tarefa. Equivale ao menor tempo inicial mais tarde (IMT) dentre todas as atividades sucessoras.

As folgas correspondentes a cada atividade são calculadas pela diferença entre o tempo final mais tarde (FMT) e o tempo final mais cedo (FMC), ou ainda pela diferença entre o tempo inicial mais tarde (IMT) e o tempo inicial mais cedo (IMC).

3. METODOLOGIA

A metodologia dessa pesquisa pode ser considerada como aplicada, pois tem o objetivo de gerar conhecimento para aplicação prática para solucionar problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Do ponto de vista da abordagem do problema, considera-se a pesquisa qualitativa, pois é elaborada a partir da observação do processo de manutenção dos equipamentos, obtendo sua interpretação e análise dos dados. É necessário destacar que esta pesquisa faz uma avaliação quantitativa por utilizar a técnica de planejamento e controle PERT/CPM no processo de manutenção, ou seja, traduzindo, em números, informações que posteriormente serão classificadas e analisadas.

Inicialmente, foi realizado um levantamento bibliográfico sobre manutenção e métodos PERT/CPM e a construção de sua rede. Para a obtenção dos resultados, foi realizada um acompanhamento e levantamento de dados de revisões de 15.000 horas realizadas em motores Volvo Penta D-49 MS em 2018 e 2021 para avaliar o sequenciamento de atividades e prazos de execução, assim como foi analisada o esquema de manutenção para motores marítimos comerciais entre D-25 e D-65 da Volvo Penta, assim como os itens do Pregão Eletrônico (PE) 31/2016 e 11/2020 da Organização Militar Prestadora de Serviços Estação Naval do Rio Negro, cujo objeto é contratação de serviço de reparo de motores de combustão principal (MCP) a diesel, marca VOLVO PENTA, modelo D-49 MS, empregados nos Navios subordinados ao Comando da Flotilha do Amazonas (ComFlotAM).

O próximo passo foi a determinação dos tempos otimistas, mais prováveis e pessimistas de cada atividade. A determinação dos tempos mais prováveis foi feita através de cronogramas de revisões de 15.000 realizadas em motores em 2018 e 2021. A determinação dos tempos otimistas e pessimistas foram realizadas a partir de levantamentos realizados junto à Oficiais Engenheiros da Marinha do Brasil, responsáveis pelos contratos das Licitações do Pregão Eletrônico (PE) 31/2016 e 11/2020 e que também acompanharam a execução dos reparos e com as empresas terceirizadas que venceram as licitações.

Posteriormente, foi utilizada a ferramenta PERT/CPM. Com as informações adquiridas a partir dos tempos de cada operação, foi calculado a duração média e realizou-se o sequenciamento das atividades, calculou-se o tempo de processamento de cada tarefa e as folgas e determinou-se o caminho crítico do serviço de manutenção em questão.

Importante ressaltar que o motor Diesel é composto por Componentes Principais e Sistemas Auxiliares. Os componentes principais são: cilindro, pistão, biela, virabrequim, volante, cabeçote, carter, entre outros. Sistemas auxiliares são sistema de alimentação, sistema de arrefecimento, sistema de lubrificação, sistema de exaustão, entre outros. Os Componentes principais e sistemas auxiliares podem sofrer manutenção, na maioria, de forma independente, não sendo uma restrição para realização delas começarem ao mesmo tempo.

4. ESTUDO DE CASO

A extensão da Amazônia brasileira é de aproximadamente 5.200.000 km², correspondendo a 59% do território nacional. Essa região abriga a maior biodiversidade do planeta e a maior bacia hidrográfica do mundo. Esses são os principais motivos que levam as autoridades brasileiras a definirem a região como estratégica para o país, cuja segurança é de responsabilidade do Estado, sendo exercida pelas Forças Armadas (PAIVA, 2014).

Os navios Navios-Patrolha Fluvial (Classe Roraima) e Navios-Patrolha Fluvial (Classe Pedro Teixeira) realizam patrulhas fluviais na Bacia Amazônica, operações em rios e ações de apoio às populações ribeirinhas, aumentando a presença da MB nas fronteiras e na fiscalização dos rios. (MARINHA, 2023).

A manutenção desses Navios fica sob responsabilidade da própria Marinha do Brasil de forma a garantir a prontidão dos nossos meios navais militares. Na Região Amazônica a manutenção dos navios fica a cargo da Estação Naval do Rio Negro (ENRN), de acordo com a sua missão institucional, de prover serviços de manutenção e reparo compatíveis com as facilidades disponíveis aos navios da MB. (MARINHA B, 2023). Esses serviços são grande parte através de processos licitatórios, como o de manutenções dos motores do modelo Volvo Penta D-49 MS da Classe Roraima e do NaPaFlu Raposo Tavares (pertencente à Classe Pedro Teixeira).

A partir da tabela do esquema de manutenção para motores marítimos comerciais entre D-25 e D-65 da Volvo Penta, da análise do PE 31/2016 e 11/2020 e dos dados obtidos no acompanhamento do reparo foi elaborado a tabela 4, com a descrição de cada atividade, sua respectiva duração otimista, provável e pessimista, assim como a duração média.

A partir dos tempos otimista, provável e pessimista levantados e utilizando a fórmula de média do PERT foi possível calcular a duração média de cada atividade.



K	Serviço limpeza do resfriador de óleo lubrificante do motor, incluindo a limpeza química com produto não abrasivo, teste hidrostático, substituição das juntas de vedação, elemento do filtro de óleo lubrificante, montagem e teste de funcionamento.	J	20	24	28	24,0
L	Substituição dos filtros de óleo lubrificante e filtro by-pass do óleo lubrificante.	k	2	6	10	6,0
M	Revisão da bomba injetora de combustível, incluindo a desinstalação, desmontagem, inspeção do estado dos rolamentos, carcaça, eixo, elementos de injeção e juntas, montagem, teste e regulagem em bancada apropriada, instalação e calagem da bomba injetora no motor e teste de desempenho no motor com fornecimento de laudo técnico.		28	80	88	72,7
N	Substituição dos filtros de combustível, filtro separador de água e óleo.	M	2	4	6	4,0
O	Inspeção dos bicos injetores, incluindo a limpeza, teste dos bicos injetores, posterior checagem da sincronização de injeção de combustível, calibragem e teste de pressão.	M	16	28	40	28,0
P	Substituição individual dos bicos injetores completo ou Reparo individual dos bicos injetores, incluindo a substituição do elemento, mola e demais componentes avariados	O	10	12	14	12,0
Q	Serviço de reparo da turbina de gases do motor, incluindo a desmontagem, limpeza através de jato abrasivo, substituição do rotor; rolamentos, retentores, montagem e balanceamento dinâmico do rotor, substituição das juntas, filtro de ar, instalação no motor e teste de funcionamento.		48	68	76	66,0
R	Revisão geral do sistema de admissão, incluindo o reparo dos tubos de ar e a substituição de juntas e retentores.	Q	10	14	18	14,0
S	Revisão geral dos coletores e os tubos de escape incluindo o reparo dos tubos, a substituição de juntas e retentores.	Q	20	48	56	44,7
T	Revisão geral, inspeção, limpeza e teste hidrostático da mufla, com emissão de laudo, com substituição, se necessário e fornecimento de peças pela contratada.	Q	10	16	20	15,7
U	Revisão da bomba d'água do circuito fechado, incluindo a desmontagem, limpeza, substituição de rolamentos, vedações, selos, anéis de vedação e montagem, correia, tensores, instalação no motor e teste de desempenho no motor.		10	18	24	17,7



V	Revisão da bomba d'água do circuito aberto, incluindo a desmontagem, limpeza, substituição de rolamentos, vedações, selos, anéis de vedação e montagem, correia, tensores, instalação no motor e teste de desempenho no motor.		10	18	24	17,7
X	Inspeção e limpeza química do after-cooler quanto a presença de corrosões e rachaduras, teste de estanqueidade a fim de identificar vazamentos, incluindo a substituição de gaxetas, retentores e componentes avariados.		40	60	68	58,0
Z	Inspeção e limpeza química do tanque de expansão incluindo teste hidrostático, substituição de gaxetas, retentores e componentes avariados.	X	10	12	14	12,0
Y	Inspeção e limpeza química do trocador de calor incluindo a substituição de gaxetas, inspeção do eletrodo de zinco e troca do líquido de arrefecimento.	Z	16	40	60	39,3
AA	Revisão geral do alternador incluindo a desmontagem, reparo e limpeza química do estator e escova, substituição das correias e esticadores, rolamentos, buchas, induzido, porta escovas, automático primário, secundário e regulador de voltagem, montagem e teste de funcionamento no motor.		16	18	20	18,0
AB	Revisão geral do motor de partida. Incluindo reparos no rotor, estator e demais componentes, limpeza química, substituição de rolamentos e teste de funcionamento do solenoide de parada.		16	18	20	18,0
AC	Revisão geral dos painéis de controle local e remoto, calibração e teste dos instrumentos de controle, com substituição sensores, manômetros, pirômetros, termostatos, válvulas termostáticas.		20	24	30	24,3
AD	Serviço de alinhamento a laser do conjunto motriz em relação a linha de eixo do navio com ferramenta especial, teste de funcionamento com emissão de laudo técnico.	C,H, I, L, N,P,Y	12	20	28	20,0
AE	Teste de funcionamento no cais.	R,S, T, U, V, AA, AB, AC, AD	2	4	6	4,0
AF	Teste de funcionamento no mar/rio.	AE	8	12	16	12,0

Fonte: Autores - Adaptado do PE 31/2016 e 11/2020 da ENRN (2023)

Seguindo as atividades elencadas na Tabela acima, elaborou-se a rede PERT/CPM do problema em questão, conforme demonstrado na Figura 1.

Atividades podem acontecer de forma paralela, não sendo uma restrição para realização delas começarem ao mesmo tempo, devido as empresas licitadas não possuírem restrição de mão de obra.

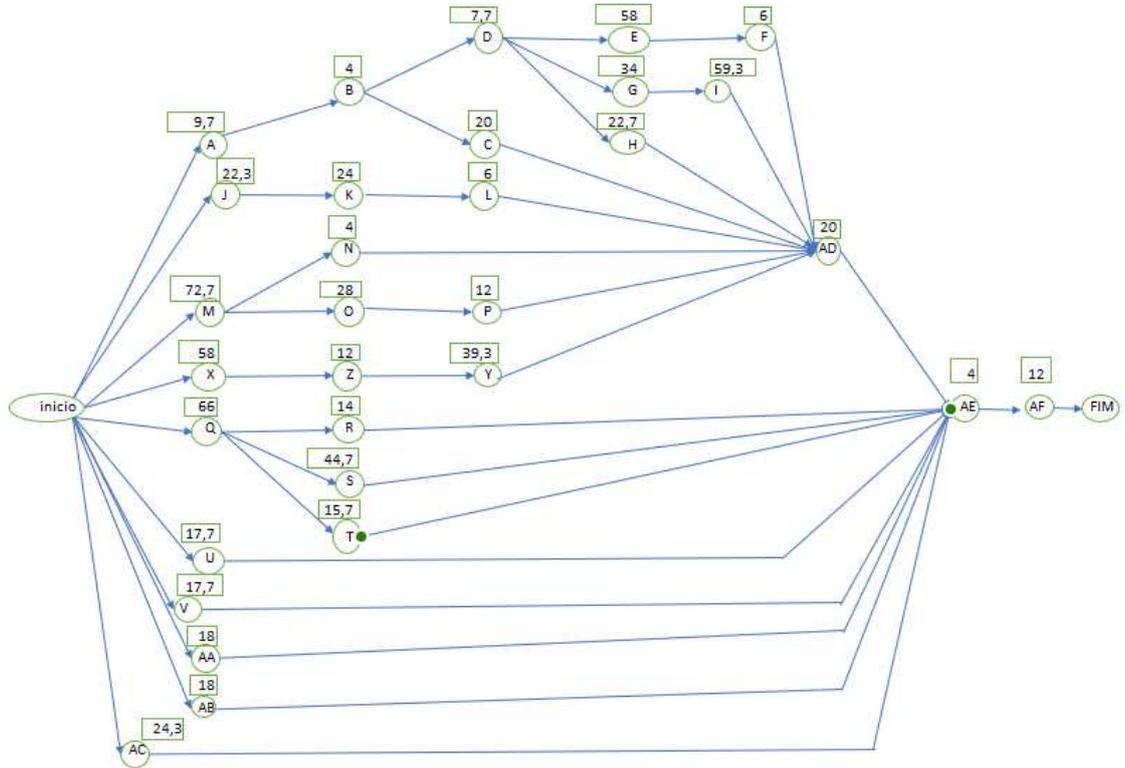


Figura 1: Rede PERT/CPM.

Fonte: Autores (2023)

Após foi elaborado a tabela 5 com os tempos de IMC, FMC, IMT, FMT e folga de cada atividade para determinar o caminho crítico e as folgas de cada atividade.

Tabela 5: IMC, FMC, IMT, FMT e folga das atividades.

Atividade	IMC	FMC	IMT	FMT	Folga
A	0,0	9,7	0,0	9,7	0,0
B	9,7	13,7	9,7	13,7	0,0
C	13,7	33,7	94,7	114,7	81,0
D	13,7	21,3	13,7	21,3	0,0
E	21,3	79,3	50,7	108,7	29,3
F	79,3	85,3	108,7	114,7	29,3
G	21,3	55,3	21,3	55,3	0,0
H	21,3	44,0	92,0	114,7	70,7
I	55,3	114,7	55,3	114,7	0,0
J	0,0	22,3	92,3	114,7	92,3
K	22,3	46,3	84,7	108,7	62,3
L	46,3	52,3	108,7	114,7	62,3

M	0,0	72,7	14,0	86,7	14,0
N	72,7	76,7	110,7	114,7	38,0
O	72,7	100,7	74,7	102,7	2,0
P	100,7	112,7	102,7	114,7	2,0
Q	0,0	66,0	24,0	90,0	24,0
R	66,0	80,0	120,7	134,7	54,7
S	66,0	110,7	90,0	134,7	24,0
T	66,0	81,7	119,0	134,7	53,0
U	0,0	17,7	117,0	134,7	117,0
V	0,0	17,7	117,0	134,7	117,0
X	0,0	58,0	5,3	63,3	5,3
Z	58,0	70,0	63,3	75,3	5,3
Y	70,0	109,3	75,3	114,7	5,3
AA	0,0	18,0	116,7	134,7	116,7
AB	0,0	18,0	116,7	134,7	116,7
AC	0,0	24,3	110,3	134,7	110,3
AD	114,7	134,7	114,7	134,7	0,0
AE	134,7	138,7	134,7	138,7	0,0
AF	138,7	150,7	138,7	150,7	0,0

Fonte: Autores (2023)

Portanto, foi possível determinar o caminho crítico estudado e as folgas da manutenção. Assim, as tarefas com tempo de folga total igual a zero são consideradas críticas. Os tempos podem ser verificados na Tabela 5 e a representação do caminho crítico, na Figura 2.

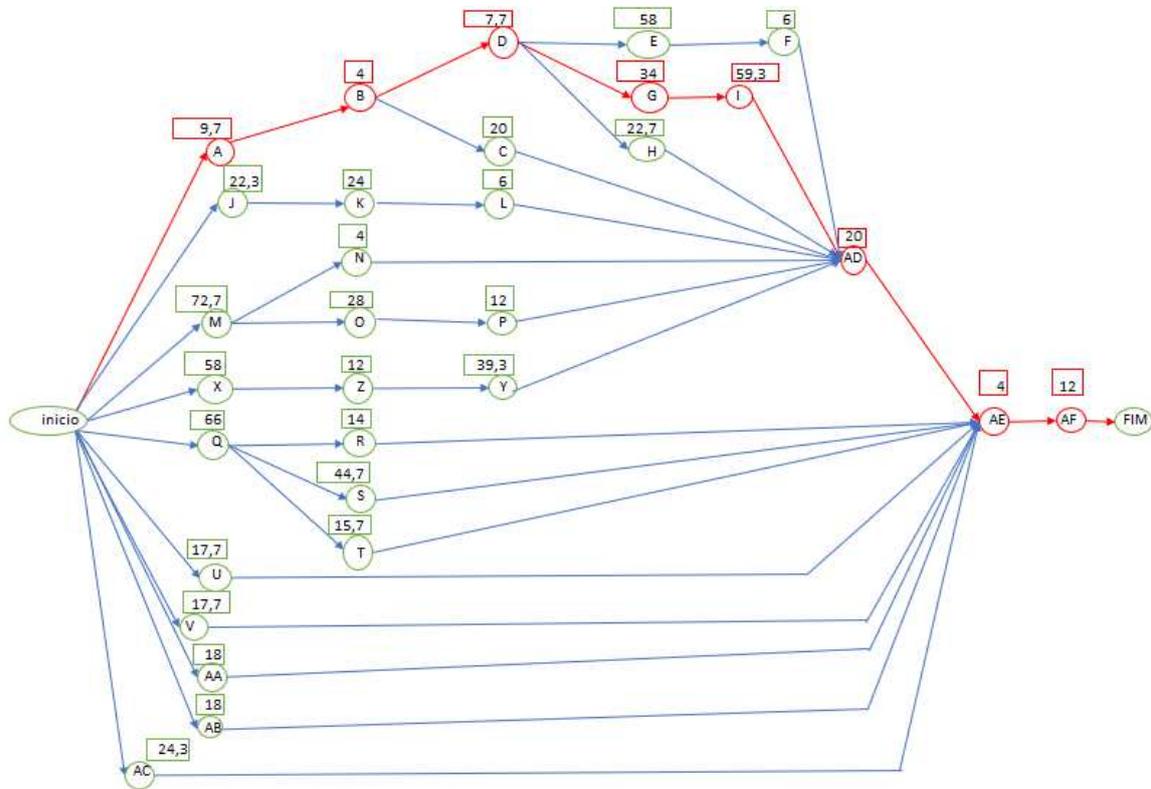


Figura 2: Rede PERT/COM com caminho crítico identificado.

Fonte: Autores (2023)

Portanto, as atividades A, B, D, G, I, AD, AE e AF não podem sofrer atrasos durante a manutenção. O tempo total de duração da manutenção deve ser de 150,07 horas. As folgas apresentadas na Tabela 5 representam o tempo que essas atividades podem atrasar sem que todo o processo seja afetado. Dessa forma, para que haja redução do tempo total de manutenção, deve-se trabalhar as atividades que fazem parte do caminho crítico. É importante ressaltar que as atividades do caminho crítico são inspeções, e testes em componentes principais do motor, com abertura do motor, buroscopia, teste de compressão dos cilindros, inspeção do bloco do motor com testes não destrutivos, inspeção do eixo virabrequim, alinhamento do conjunto motor com linha de eixo e testes de funcionamento.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do método PERT/CPM foi possível avaliar o tempo médio e verificar as atividades críticas do serviço de manutenção, ou seja, que não podem sofrer atraso para que não haja problemas com a disponibilidade motores. Essa ferramenta é de extrema relevância para o mapeamento das etapas do processo em questão, permitindo a fácil visualização de quais atividades podem influenciar diretamente no cronograma de execução. Portanto, deve-se ter uma melhor atenção no planejamento dessas.

Todas as atividades previstas para a consecução de uma revisão de 15.00 horas foram abordadas, com estimativas de tempo condizentes com a realidade e o sequenciamento das tarefas foi adequado às exigências técnicas. A rede PERT/CPM permitiu uma visão abrangente das relações de interdependência entre as etapas do processo estudado. Isso resultou em 31 atividades, das quais 8 foram classificadas como críticas do processo. Caso haja interesse ou possibilidade de reduzir o tempo total de manutenção de 150,07 horas, essas atividades precisam ser analisadas minuciosamente.

Por fim, a ferramenta PERT/CPM se mostrou uma opção interessante e viável para o controle do serviço de manutenção do motor Volvo Penta D-49 MS, pois permitiu o conhecimento do tempo das atividades a fim de maximizar e otimizar a manutenção, auxiliando no gerenciamento do serviço em relação às atividades críticas, alocação de recursos disponíveis, mão de obra, máquinas e redução de tempo e movimentos.

6. REFERÊNCIAS

- AKBAR, S. R., SETIAWAN, A., ISTAMBUL, M. R., & SIDDIQ, R. H. B. A.** Analysis of Control of Costs and Time with Earned Value Method on Road Maintenance Projects in Palmerah District, West Jakarta. *Civil Engineering and Architecture*, 7(3A), 27–34. <https://doi.org/10.13189/cea.2019.071305> 2019.
- ATLI, O., & KAHRAMAN, C.** Aircraft Maintenance Planning Using Fuzzy Critical Path Analysis. *International Journal of Computational Intelligence Systems*, 5(3), 553. <https://doi.org/10.1080/18756891.2012.696920>, 2012.
- DAVIS, MARK M.; AQUILANO, NICHOLAS J.; & CHASE, RICHARD B.** Fundamentos da Administração da Produção. 3ª ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2001.
- ESTEVES, F. M. S., GOMES, C.F.S. ; SANTOS, M. TOMAZ, P. P. M.; MOREIRA, M. A. & COSTA, I. P. A.** Elaboração de Rede PERT/CPM para o Serviço de Manutenção De Helicóptero Militar: Um Estudo De Caso, *Revista SIMEP*, João Pessoa, v2, n.2, 2022, p. 99-109.
- FOGLIATO, F & RIBEIRO, J.L.D.** Confiabilidade e Manutenção Industrial, 1st ed., Elsevier, Rio de Janeiro. (2009).
- JUNQUEIRA, V. S. V., NAGANO, M. S., & MIYATA, H. H.** Procedure structuring for programming aircraft maintenance activities. *Revista De Gestão*, 27(1), 2–20. <https://doi.org/10.1108/rege-02-2018-0026>, 2018.
- KEELLING, R. & BRANCO, R. H. F.;** Gestão de Projetos: uma abordagem global. Saraiva. São Paulo, 2014.
- MANEA, E.; MILITARU, C. & MANEA M. G.,** Scientific Bulletin of Naval Academy, Vol. XXIV 2021, pg.201-210.

MARINHA. Navios-Patrolha Fluvial (Classe Roraima) . Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/navios-patrolha-fluvial-classe-roraima>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

MARINHA. Navios-Patrolha Fluvial (Classe Roraima) . Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/navios-patrolha-fluvial-classe-pedro-teixeira>. Acesso em: 01 de junho de 2023.

MARINHA B. Estação Naval do Rio Negro, Disponível em: https://www.marinha.mil.br/com9dn/enrn_pagina, Acesso em: 01 de junho de 2023.

MARIT, I.Y., NURSANTI, E., & VITASARI, P. Critical Path Method to Accelerate Automotive Maintenance Duration, Nternational Journal Of Scientific & Technology Research Volume 9, Issue 03, 2020.

MARTINS, P. G. & LAUGENI, F. P. *Administração da produção*. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2005.

MOURA, L. V. A. Estudo da Aplicação da Metodologia de Estimativa do Custo de Ciclo de Vida de Meios da Marinha Do Brasil. Universidade Federal Fluminense, Monografia (MBA em Gestão Estratégica da Produção e Manutenção), Niterói, 2020.

NETO, A. P. M; Planejamento e controle de obras técnicas. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe, Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Aracaju, 2017.

NEVES, C. N. R.; SANTOS, M.; GOMES, C. F. S; & QUINTAL, R. S. Utilização do método do caminho crítico em obras no Complexo Naval da Ilha do Governador. Diversitas Journal. 2021.

PAIVA, L. A. F. A liderança estratégica na segurança da Amazônia brasileira: questão de soberania e a gestão ambiental. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares). Escola de Comando e Estado Maior do Exército, Rio de Janeiro, RJ. 2014.

PRADO, D. PERT/CPM. 3 ed. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 2004.

POZZETTI, V. C.; FERREIRA, M. J. N. & MENDES, M. L. DA S. A . Possibilidade do patenteamento do jambu amazônico. Revista Juridica, v. 1, n. 58, p. 605, 8 abr. 2020.

SANTOS. P. V. S., Metodologia Program Evaluation And Review Technique (PERT) E Critical Path Method (CPM): Uma Aplicação No Setor De Serviços Revista de Administração Unimep v18 n1 Janeiro – Abril 2020

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. *Administração da Produção*. 3. ed. São Paulo: Atlas S.a., 2009.

TUBINO, D. F. Planejamento e Controle da Produção: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2009. 189p.

VOLVO PENTA. Al marine engines. Disponível em: <https://www.volvopenta.com/marine/al-marine-engines/?L1=At%20Sea&L2=A1%20engines> Acesso em: 01 de junho de 2023.

ZHU, S., VAN JAARSVELD, W., & DEKKER, R. Critical project planning and spare parts inventory management in shutdown maintenance. *Reliability Engineering & System Safety*, 219, 108197. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2021.108197> 2022.