



**SECRETARIA DE SEGURANÇA PÚBLICA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS – UEG
COORDENADORIA DE ENSINO – COE
COORDENAÇÃO DE ENSINO PRESENCIAL E DE PÓS-GRADUAÇÃO
ESPECIALIZAÇÃO EM ALTOS ESTUDOS DE SEGURANÇA PÚBLICA**

CRISTIAN WENING SANTANA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA EM CAMINHÕES DE COMBATE A INCÊNDIO DO
CBMGO: Análise de aplicabilidade**

GOIÂNIA – GO

2025



CRISTIAN WENING SANTANA

**MANUTENÇÃO PREDITIVA EM CAMINHÕES DE COMBATE A INCÊNDIO DO
CBMGO: Análise de aplicabilidade**

Artigo apresentado como exigência parcial para conclusão do Curso de Especialização em Altos Estudos de Segurança Pública - CAESP, pela Secretaria de Segurança Pública do Estado de Goiás - SSP e pela Universidade Estadual de Goiás - UEG, sob a orientação do Prof. Dr. Licurgo Borges Winck.

GOIÂNIA – GO

2025

MANUTENÇÃO PREDITIVA EM CAMINHÕES DE COMBATE A INCÊNDIO DO CBMGO: Análise de aplicabilidade

PREDICTIVE MAINTENANCE IN FIREFIGHTING TRUCKS OF CBMGO: Applicability Analysis''

Aluno: Cristian Wening Santana ¹

Orientador: Prof. Dr. Licurgo Borges Winck ²

Resumo: Os caminhões de combate a incêndio são equipamentos de alto custo, essenciais ao serviço bombeiro militar. Por isso, é fundamental que a gestão da manutenção desses caminhões promova a máxima confiabilidade e disponibilidade desse maquinário. Tendo por base esse problema, esta pesquisa teve por objetivo investigar em que medida a manutenção preditiva pode contribuir para o aprimoramento da gestão. Foi realizado um diagnóstico da gestão de manutenção atual e discutiram-se os eventuais benefícios de implantação desta nova filosofia de manutenção. Os resultados mostraram desconformidades com os padrões preconizados pela literatura acadêmica. Isso permitiu, em conjunto com uma análise de custos de mercado, concluir ser viável e vantajosa a implantação da manutenção preditiva na gestão dos caminhões de combate a incêndio do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás.

Palavras-chave: Bombeiros, Caminhão de Incêndio, Manutenção Preditiva

Abstract: Firefighting trucks are high-cost equipment that are essential to the operations of the military fire service. Therefore, it is crucial that the maintenance management of these vehicles ensures maximum reliability and availability of this machinery. Based on this issue, this research aimed to investigate to what extent predictive maintenance can contribute to improving maintenance management. A diagnosis of the current maintenance management was carried out, and the potential benefits of implementing this new maintenance philosophy were discussed. The results revealed non-conformities with the standards recommended in the academic literature. This, combined with a market cost analysis, allowed the conclusion that implementing predictive maintenance in the management of firefighting trucks for the Military Fire Brigade of the State of Goiás is both feasible and advantageous.

Keywords: Firefighters, Fire Truck, Predictive Maintenance

¹ Oficial Bombeiro Militar, Graduado em Comunicação Social Jornalismo pela Universidade de Brasília, Graduado em 2005 pela Universidade Estadual de Goiás, Pós-Graduado em Gerenciamento de Segurança Pública pela Universidade Estadual de Goiás, Graduando em Engenharia Mecânica pelo Instituto Federal de Goiás. E-mail: mr.wening@gmail.com

² Oficial Bombeiro Militar, Graduado em Tecnologia Eletromecânica pelo Instituto Federal de Goiás, Especialista em Telecomunicações pela Universidade Estadual de Goiás, Mestre em Ciências Mecânicas pela Universidade de Brasília, Doutor em Ciências Mecânicas pela Universidade de Brasília, Gestor em Segurança Pública pela Universidade Estadual de Goiás. E-mail: licurgo2006@gmail.com.

1. INTRODUÇÃO

O princípio da economicidade enunciado pelo artigo 70 da Constituição Federal visa à minimização dos gastos públicos sem que haja comprometimento dos padrões de qualidade dos serviços prestados pelo Estado, em termos mais claros é a maximização dos resultados associada à minimização dos custos. É uma das melhores formas para inovação de boas práticas que se aproximem desse cenário ideal é por meio dos recursos propiciados pelos contínuos avanços tecnológicos, observados nas mais diversas áreas.

O custo para aquisição de um caminhão de combate a incêndio é bem elevado em comparação a outras viaturas operacionais comumente empregadas no serviço diário da corporação. Segundo o Comando de Apoio Logístico do CBMGO (CBMGO, 2025), na compra mais recente, um caminhão Auto Bomba Tanque e Salvamento (ABTS) Tipo 1 saiu pelo preço de R\$ 2.439.990,00, o do Tipo 2 por R\$ 1.697.800,00 e o Auto Bomba Tanque Florestal (ABTF) por R\$ 1.420.000,00 enquanto que um furgão de Unidade de Resgate (UR) custou R\$ 399.750,00 e uma picape de Auto Salvamento Avançado (ASA) saiu por R\$ 301.130,00. Esse custo elevado dos caminhões faz com que a aquisição deles acabe acontecendo em uma proporção menor.

O Projeto Capilaridade, capitaneado institucionalmente pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, visa ampliar a presença da corporação em municípios goianos. Isso está sendo executado por meio da instalação de unidades de menor porte em municípios estratégicos visando diminuir o tempo resposta às demandas da sociedade. Nesse sentido, sendo o combate a incêndios um serviço essencial a ser ofertado pela Corporação, cada uma dessas novas unidades demandará, em algum momento, a presença de um caminhão de combate a incêndio, recurso oneroso e ainda escasso para esse novo cenário que se constrói no momento. Assim, se a presença de uma viatura dessas em cada posto avançado já demandará um grande investimento, torna-se proibitivo imaginar que será possível viabilizar um segundo caminhão para servir de reserva para eventuais paradas de manutenção corretivas não planejadas, que normalmente demandam grandes períodos de manutenção e indisponibilidade para o serviço. Desta forma, torna-se imperioso que filosofias mais modernas de manutenção sejam empregadas de modo a otimizar esse processo em termos de custo, além de assegurar uma maior disponibilidade dessas máquinas ao serviço operacional de bombeiro.

Sobre essas manutenções de viaturas, no CBMGO, são executadas duas rotineiramente: a corretiva e a preventiva. A corretiva executa a correção de uma falha ou de um desempenho menor do que o esperado, enquanto que a preventiva segue um plano previamente estabelecido, e sob períodos temporais, realiza intervenções com vistas a reduzir a probabilidade de quebra. Segundo o Centro de Manutenção do CBMGO, o CEMAN (CBMGO, 2025), a nova empresa contratada para auxiliar na gestão da manutenção da frota de veículos da corporação iniciou sua prestação de serviço em agosto de 2024, passando a realizar um registro mais detalhado das intervenções em manutenção, sejam corretivas ou preventivas. Assim, foi possível obter relatórios de todos os veículos da corporação que fizeram uso desse sistema desde essa data. Por meio deste banco de dados, acessaram-se informações de cada um dos caminhões de combate a incêndio. Além da relação das viaturas com marca e ano de fabricação, também se obteve uma relação das ações corretivas adotadas, custo dessas intervenções e tempo de indisponibilidade dentro do período citado, para cada um destes veículos, com um recorte longitudinal e retrospectivo. Com o processamento dessas informações por meio do uso de ferramentas de análise de gestão da manutenção, montou-se um painel analítico acerca da eficiência da gestão atual da manutenção, corretiva e preventiva, de caminhões de incêndio no CBMGO. Esses dados, devidamente tratados, permitiram realizar, em interação com a bibliografia de referência, o estudo pretendido neste trabalho, qual seja a análise de aplicabilidade de uma manutenção preditiva nos caminhões de combate a incêndio do CBMGO.

Conforme exposto, no trabalho rotineiro de bombeiro os caminhões de combate a incêndio estão entre as viaturas mais caras, e com uma arquitetura mecânica mais complexa quando comparada às demais. Adicionalmente, segundo o Centro de Manutenção da corporação, o CEMAN (CBMGO, 2025), se constata que, sem exceção, todos os tanques e os corpos de bomba dos caminhões do CBMGO são adaptações feitas em veículos preexistentes. Estes veículos não são, portanto, máquinas que foram concebidas para serem viaturas de combate a incêndio em sua gênese de projeto. Isso quer dizer que os dimensionamentos, os componentes mecânicos, enfim toda a maquinaria que compõem o equipamento original, não foi projetada para ter acoplada a si uma bomba de incêndio, que acaba sendo adaptada *a posteriori*. Isso por si só acaba constituindo um ponto frágil no aspecto da confiabilidade. E no caso específico dos caminhões de incêndio, é possível supor que é justamente a confiabilidade que constitui sua característica mais esperada, uma vez que a sua falha, seja no acionamento para a ocorrência, seja

durante um combate a incêndio, implicará na eventual perda de patrimônio e, principal e mais gravemente, de vidas.

Percebemos, portanto, que os caminhões de combate a incêndio do CBMGO, enquanto máquinas adaptadas e mecanicamente complexas demandam uma rigorosa manutenção para manter sempre um alto seu grau de confiabilidade. Assim sendo, justifica-se o emprego das mais modernas ferramentas tecnológicas de gestão da manutenção, no caso a preditiva. Essa modalidade, além de aumentar a segurança das operações mitigando a ocorrência de eventuais falhas em momentos críticos, propiciará uma economicidade no custeio do processo em tela, aspectos de grande interesse institucional e público.

Ficou então como problema formulado para este trabalho se, tendo por base as baixas para reparo nos caminhões de combate a incêndio do CBMGO, e considerando os indicadores de manutenção: tempo médio entre falhas (TMEF), tempo médio para reparo (TMPR) e a disponibilidade (DISP), em correlação com outros indicadores relevantes, que análise de aplicabilidade podemos fazer da hipotética implantação de uma manutenção preditiva nos caminhões de combate a incêndio do CBMGO?

Esta pesquisa teve como objetivo geral investigar meios para aprimorar o processo de gestão da manutenção dos caminhões de combate a incêndio do CBMGO, levando-se em conta que a prática das manutenções tradicionalmente empregadas, corretiva e preventiva, ainda demandam consideráveis recursos econômicos e geram considerável indisponibilidade dessas máquinas em razão de reparos. Objetivou-se, portanto, investigar em que medida a manutenção preditiva pode contribuir para mitigar estes problemas e aperfeiçoar o processo de gestão da manutenção. Para alcançar este objetivo também se fez necessário estabelecer objetivos secundários como: avaliar a eficiência das práticas de manutenção atuais; apresentar as possibilidades de uma manutenção preditiva; e por fim discutir os eventuais benefícios de sua implementação no cenário institucional do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás.

Para fazer um diagnóstico e compreender melhor o cenário atual da gestão da manutenção empregada do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás foi necessário fazer uma coleta de dados relativa à manutenção que hoje é praticada no CBMGO. O período amostral das manutenções efetuadas foi de 20 de agosto de 2024 até 20 de maio de 2025, perfazendo 273 dias. Foram obtidos dados de manutenção de todos os caminhões de combate a incêndio do CBMGO cadastrados no sistema do Centro de Manutenção da Corporação, de forma

retrospectiva e com um recorte longitudinal. A partir destes dados modelaram-se os indicadores de manutenção que foram discutidos sob a luz dos referenciais teóricos. Assim, essa pesquisa, baseada em registros de dados documentais, teve caráter quantitativo-descritivo. O raciocínio foi dedutivo, pois chegou a uma conclusão específica para a análise proposta no subtítulo do trabalho, o que implicou no seu caráter de pesquisa aplicada. Por fim, o presente trabalho também teve cunho explicativo, uma vez que buscou compreender e explicar os resultados obtidos, propondo, ao final, uma solução.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Para cumprir a sua responsabilidade constitucional de preservação da ordem pública, os Corpos de Bombeiro Militar devem estar em permanentes condições de atender às mais variadas demandas, dentre as quais estão às ações de combate a incêndio. No CBMGO, não são poucos os quartéis que dispõem de apenas um caminhão de incêndio e, no entanto, de mais de um furgão e de mais de uma picape para servirem como viatura reserva. Sendo os caminhões de incêndio um recurso escasso, em função do custo, isso torna ainda mais necessário que estes veículos apresentem a maior disponibilidade possível do ponto de vista da manutenibilidade, que segundo Fernando Amaral (AMARAL, 2016, p. 57) é a probabilidade de duração de uma manutenção correta. Não só a infraestrutura das unidades de bombeiros, os militares em si, seus equipamentos diversos, mas também as suas viaturas devem estar disponíveis e apresentarem a máxima confiabilidade para a hora do sinistro.

Em engenharia, tanto a confiabilidade, quanto a disponibilidade são definidas por meio de normas técnicas. Conforme descrito na NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 3) a confiabilidade é a capacidade de um item, durante um certo período de tempo, em desempenhar sob condições específicas uma determinada função requerida. Quanto ao conceito de disponibilidade, a NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 2) a define como sendo a capacidade de um determinado item, durante um período de tempo determinado ou instantâneo, estar em condições de realizar uma certa função que dele se espera. Um fator comprometedor dessa confiabilidade é a idade do equipamento. Um estudo de seis anos conduzido por Jaroslaw Selech e sua equipe (2024, p. 11) demonstrou que com o passar do tempo o nível de confiabilidade de cada um dos subsistemas de um caminhão de incêndio decresce rapidamente.

A problemática da busca por uma gestão de manutenção mais eficiente, que se traduza na obtenção dos melhores resultados com o menor custo possível, não vem de agora. Já em 1994, Fernando Campos e Renato Belhot (1994, p. 171) afirmavam que historicamente a manutenção de frotas de veículos tem utilizado os recursos de forma bastante ineficiente. Os autores (1994, p. 171) seguiam dizendo ainda que os recursos com maior potencial de corte de custos eram a mão de obra e os materiais. Durante os mais de 30 anos que separam a publicação desse artigo para os dias atuais, observa-se um salto significativo no incremento de novas possibilidades tecnológicas que permitem viabilizar a melhoria que os autores almejavam, a ponto de alguns estudiosos classificarem o momento atual em uma categoria diversa daquela do artigo.

No contexto da engenharia mecânica, um grande referencial acerca do estado da arte de recursos e processos é a indústria. Segundo Faíque Lima e Rogério Gomes (2020, p. 5), desde a Feira de Hannover de 2011, na Alemanha, enuncia-se que adentramos na fase da quarta revolução industrial, momento assim denominado de Indústria 4.0. Ainda segundo estes autores (2020, p. 5), uma característica essencial desta nova fase é a de que os equipamentos passam a se encontrar interligados por meio de uma base principal: as tecnologias digitais. De acordo com Luciano Baldisarelli e Elton Fabro (2019, p. 12), o objetivo da manutenção é o de sempre maximizar a disponibilidade de um equipamento, se não nas suas condições originais, ao menos em condições necessárias para sua operação. Esses autores afirmam ainda que a exigência por um aumento da disponibilidade e da confiabilidade dos equipamentos, aliada a uma redução de custos, é cada vez maior.

Entre os avanços observados neste novo estágio estão as tecnologias relacionadas aos: sistemas ciber-físicos, internet das coisas, internet dos serviços e fábrica inteligente. Tais recursos agregam as seguintes características: interoperabilidade, virtualização, descentralização, capacidade de adaptação em tempo real, orientação de serviço e modularidade (LIMA; GOMES, 2020, p. 9). Neste contexto, e por meio destes novos recursos tecnológicos, as práticas de manutenção se beneficiaram enormemente. Se até então essas práticas estavam majoritariamente restritas aos tipos: corretiva não planejada, corretiva planejada e preventiva, a partir da quarta revolução industrial puderam ser efetivamente fomentadas a preditiva e a detectiva.

A classificação dos tipos de manutenções existentes variam de autor para autor, mas basicamente elas se dividem nestas quatro: corretiva ou reativa, preventiva, preditiva e detectiva (BALDISSARELLI; FABRO, 2019, p. 14). A prática exclusiva das manutenções corretiva e

preventiva, não só no CBMGO, mas no Brasil de uma forma geral, é algo que está culturalmente arraigado. No entanto algo tem mudado: a necessidade cada vez maior por equipamentos com maior confiabilidade, disponibilidade e custos mais baixos. Para Fernando Amaral (AMARAL, 2016, p. 7), a manutenção corretiva é aquela realizada após a avaria acontecer. Caso o reparo tenha sido definitivo, ou seja, caso tenha resolvido o problema, é chamada de “curativa”. Sendo apenas de caráter provisório é então definida como “paliativa”. A manutenção preventiva é aquela em que o gerenciamento se dá sobre uma base temporal, onde as tarefas são realizadas por tempo decorrido e esse calendário de manutenção é modelado sobre uma estatística histórica de falhas específicas de cada componente ou conjunto deles (MOBLEY, 2002, p. 3). Já a detectiva busca descobrir falhas ocultas, imperceptíveis para as equipes de operação e manutenção. A atuação é feita em sistemas de proteção, comando e controle (BALDISSARELLI; FABRO, 2019, p. 14). Sobre a preditiva, tema deste trabalho, será falado mais detalhadamente no item 2.3.

2.1. Proporção Corretiva *versus* Preventiva

No “Manual de Engenharia de Manutenção” os autores Lindley Higgins e Keith Mobley (2002, p. 223) trazem que para cada um dólar investido em manutenção preventiva, cerca de dez dólares provavelmente serão economizados em manutenções corretivas. Na literatura consultada, não foi encontrada a prescrição de uma suposta proporção percentual fixa entre o número de intervenções corretivas e preventivas. Para se ter uma ideia aproximada da proporção ideal entre corretiva e preventiva, que é específica de cada realidade e deve ser para ela modelada, os autores geraram o gráfico da página seguinte, que será explicado para fins de análise dos resultados obtidos neste estudo.

No eixo horizontal tem-se a variável livre representada pelo percentual dos gastos com manutenção preventiva (% Level of preventive maintenance) em relação à corretiva, variando de zero a cem. No eixo vertical encontram-se os valores dos custos, em dólares (Costs, \$). Observa-se que à medida que a curva dos custos com manutenção preventiva (Preventive maintenance costs) são deslocados à direita do gráfico, a curva aumenta indicando incremento dos gastos nesta modalidade. Em contrapartida, nesse mesmo sentido à direita, a curvas de custos com manutenção corretiva (Corrective maintenance costs) e a curva dos custos representados pela perda de receitas (Cost of lost revenues), reduzem seus valores.

Figura 1 – A relação entre custo e quantidade de manutenção preventiva

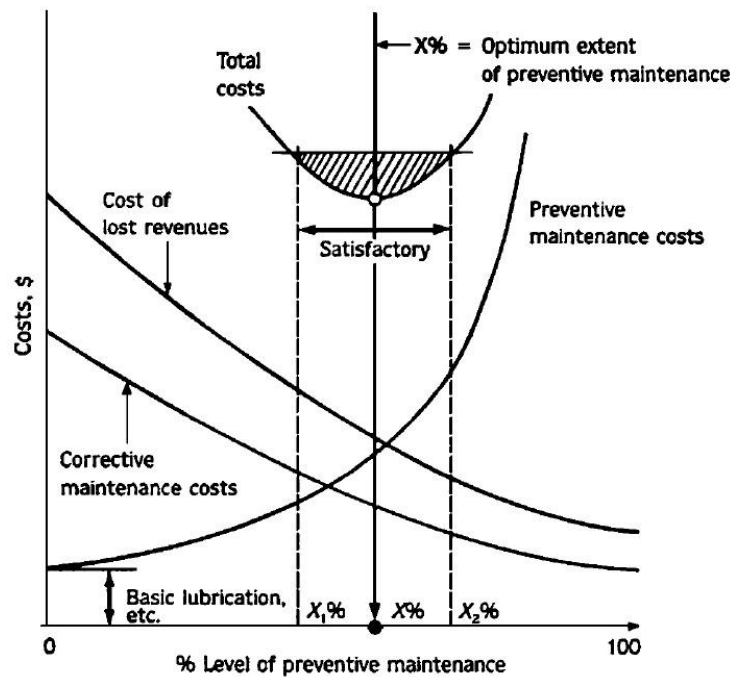


FIGURE 1.1 The relationship between cost and amount of preventive maintenance.

Fonte: Maintenance Engineering Handbook (2002, p.223)

No entanto, existe um referencial otimizador para o balanço entre essas curvas que é representado pela curva dos custos totais (Total costs), a curva hachurada logo acima das demais. Esta curva se impõe como referência porque é a partir da análise dos gastos totais que se pode investigar o melhor balanço possível de economicidade. E neste caso ele é dado justamente pelo vértice inferior desta curva dos custos totais, pois caso sejam projetados todos os pontos dessa curva no eixo vertical, relativo aos dos custos, o valor da projeção do vértice inferior será exatamente o de menor valor.

É por isso que ele constitui o “ponto ótimo” visando a maior economicidade. A partir dele os autores traçaram uma reta vertical de referência, definindo-a como o marcador “ótimo” do percentual de manutenção preventiva (Optimum extent of preventive maintenance). Usando esta reta balizadora, observa-se que ela intercepta logo abaixo tanto a curva dos custos com manutenção preventiva (preventive maintenance costs) quanto a curva de custos com manutenção corretiva (corrective maintenance costs). No entanto, o ponto de cruzamento com a curva da manutenção preventiva está acima da do cruzamento da manutenção corretiva. Isso não fornece

nenhum valor ou proporção de maneira objetiva, mas dá a informação de que em alguma medida, seja ela qual for, os custos com a manutenção preventiva devem ser sempre maiores do que os custos da manutenção corretiva, ou seja, a preventiva deve ser maior do que 50%, se se almeja a maior economicidade. É importante perceber que o gráfico também demonstra que aumentar excessivamente os investimentos em manutenção preventiva, para além do ponto ótimo, acaba aumentando os custos totais. Então observar o balanço correto entre as filosofias de manutenção é fundamental.

2.2. TMEF, Tmpr e Disponibilidade

Indicadores de manutenção são métricas fundamentais tanto para fazer a correta avaliação de uma gestão em vigor, quanto para se avaliar a eficiência posterior de alguma proposta eventualmente implantada. Segundo Luciano Baldissarelli e Elton Fabro (2019, p. 13), é por meio de três principais indicadores que podemos mensurar a eficiência de um processo de manutenção. São eles: Tempo Médio Entre Falhas (TMEF ou MTBF em inglês), Tempo Médio Para Reparo (Tmpr ou MTTR em inglês) e a Disponibilidade (DISP), calculada a partir dos dois primeiros indicadores. Vejamos a descrição de cálculo destes na tabela:

Tabela 1 - Fórmulas dos indicadores de manutenção

INDICADOR	FÓRMULA	UNIDADE
Tempo Médio Entre Falhas	$TMEF = \frac{\text{Tempo Total}}{n^{\circ} \text{ de Falhas}}$	horas
Tempo Médio Para Reparo	$Tmpr = \frac{\text{Tempo Total de Manutenção}}{n^{\circ} \text{ de Falhas}}$	horas
Disponibilidade	$DISP = \frac{TMEF}{TMEF + Tmpr}$	%

Fonte: **Manutenção preditiva na indústria 4.0 (2019, p. 13)**

Esses indicadores foram fundamentais no presente trabalho para registrar o diagnóstico do cenário atual das manutenções aplicadas no momento nos caminhões de combate a incêndio do CBMGO. Caso no futuro venha a ser implantada uma manutenção preditiva nesta frota, será

possível, após um tempo amostral adequado, efetuar uma comparação dos indicadores e avaliar a eventual eficácia da nova gestão de manutenção.

A referência comparativa para os indicadores calculados para este trabalho foi extraída do artigo “Análise de falhas e confiabilidade de veículos pesados de combate a incêndio e resgate: um estudo de caso” (SELECH *et al*; 2014, p. 13). Na tabela abaixo constam dez unidades de bombeiros da Polônia que foram objeto desse estudo, que se desenvolveu ao longo de seis anos. Dentre os indicadores presentes em cada coluna, nos interessam justamente o MTBF (TMEF), o MTTR (TMPR) e a Inherent Availability (DISP), que segundo os autores (SELECH *et al*; 2014, p. 8) é aquela cujo cálculo leva em consideração apenas os tempos de parada para manutenção corretiva, excluindo as preventivas.

Tabela 2 – Métricas de confiabilidade para Corpos de Bombeiros

Tab. 9. Reliability metrics for fire departments.

Fire department	Time to first failure	Mean time between failures	Mean time to repair	Mean time between maintenance	Mean maintenance downtime	Inherent availability	Operational availability
Acronym/Unit	<i>TTF</i> [hr]	<i>MTBF</i> [hr]	<i>MTTR</i> [hr]	<i>MTBM</i> [hr]	<i>MMD</i> [hr]	<i>A_r</i> [%]	<i>A_o</i> [%]
Jawor	307,6	1258,1	21,0	874,3	17,0	0,9836	0,9809
Kamienna Gora	516,1	5230,6	2,6	1687,3	9,0	0,9995	0,9947
Luban	688,6	1356,5	60,0	809,5	38,6	0,9576	0,9545
Lubin	15141	13128,2	6,1	5834,8	7,8	0,9995	0,9986
Polkowice	2268,7	2545,4	82,2	1885,5	62,0	0,9687	0,9681
Strzelin	178,8	7275,9	115,6	1819,0	59,0	0,9844	0,9686
Swidnica	1258,6	2722,3	34,2	1100,5	18,3	0,9876	0,9836
Wolow	12848,3	1851,2	24,8	996,8	14,4	0,9868	0,9857
Wroclaw	5053,8	2037,8	61,7	1222,7	91,9	0,9706	0,9301
Zabkowice Slaskie	2558,9	1768,4	85,3	916,9	56,8	0,9540	0,9416

Fonte: Failure and reliability analysis of heavy firefighting and rescue vehicles: a case study (2024, p. 13)

O Tempo Médio Entre Falhas é um indicativo relevante, produzido por meio dos registros de manutenção, pois ele nos dá uma ideia de um tempo médio em que um componente ou sistema vai operar antes da falha. As 10 unidades de referência apresentaram TMEF (MTBF) bem variados, sendo que a média deles foi de aproximadamente 3.897 horas. Já a média para o Tempo Médio Para Reparo TMPR (MTTR) ficou em 43,95 horas.

2.3. Manutenção Preditiva

Fernando Amaral (AMARAL, 2016, p. 244) nos traz que a manutenção preditiva é uma ferramenta muito eficaz, e que quando é viável de ser aplicada, substitui com vantagem uma grande parte dos programas de manutenção preventiva sistemática, diminuindo de forma significativa o número de falhas inesperadas, melhorando o planejamento e a programação das intervenções. Esse autor cita ainda (AMARAL, 2016, p. 244) um estudo realizado em por Keith Mobley, com a implementação da manutenção preditiva em indústrias, de variados segmentos produtivos, em que ao se comparar com o histórico anterior se apurou os seguintes resultados: redução dos custos de 50% a 80%; redução das avarias de 50% a 60%; redução do estoque de peças de reserva de 20% a 30%; redução das paradas não programadas de 50% a 80%; aumento do tempo de vida das máquinas de 20% a 40%; aumento de produtividade de 20% a 30%; e aumento dos lucros de 25% a 60%.

A manutenção preditiva é uma estratégia que usa análise de dados e tecnologia de ponta para prever falhas de equipamentos antes que elas ocorram (PATEL; VASA; PATEL, 2023, p. 1). A NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 7) define a manutenção preditiva como aquela que tem por base a aplicação sistemática de técnicas de análise e que visam reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

A manutenção preditiva também é conhecida como “manutenção sob condição” ou “manutenção com base no estado do equipamento”. Destaca-se da corretiva (reativa) e da preventiva por realizar diagnóstico da condição do equipamento, indicando eventual necessidade de intervenção com base no estado atual da máquina. A NBR 5462 (ABNT, 1994, p. 4) conceitua falha gradual como sendo aquela que é dada “devida a uma mudança gradual com o tempo de dadas características de um item”. Essa norma complementa ainda dizendo que uma falha gradual, por meio de um exame anterior ou monitoração, pode ser prevista e conseqüentemente evitada por ações de manutenção. Assim, são justamente as falhas graduais que apresentam indícios discretos que em muito antecedem os outros tipos de falha (ver a Curva de Falha Potencial PF - Figura A nos Apêndices), é que são passíveis de serem diagnosticadas por meio de técnicas preditivas. Permitem assim uma antecipação de ações de planejamento para a correção da falha que se prenuncia, além de evitar que outros sistemas e peças contíguas venham a ser danificadas em conjunto. As técnicas preditivas empregadas permitem o monitoramento de vários

parâmetros, seja sob uma determinada periodicidade estabelecida sob critérios, seja de modo contínuo.

As técnicas preditivas são orientadas a fazer uma avaliação com base no estado atual dos equipamentos, e isso é feito por meio de medição, acompanhamento ou monitoramento de parâmetros (BALDISSARELLI; FABRO, 2019, p. 14). Ainda segundo esses autores (BALDISSARELLI; FABRO, 2019, p. 15), esse acompanhamento pode ser executado de três formas: Subjetiva, que depende essencialmente da boa qualidade da mão de obra empregada, que se vale de quatro sentidos (visão, audição, olfato e tato) para a coleta de informações e eventual detecção de alguma anormalidade; Objetiva, onde o acompanhamento é realizado com o emprego de equipamentos ou instrumentos especiais para medições. Os resultados são armazenados para formar um histórico de parâmetros base, em cima dos quais os eventuais desvios podem ser posteriormente observados e ensejarem ações pertinentes a ser tomadas; e Contínua, normalmente utilizada para monitoramento em equipamentos de alta responsabilidade. Usualmente possuem dispositivos acoplados a si que podem executar alguma ação automatizada frente a uma incongruência detectada, ou emitir algum tipo de comunicação ao operador uma vez extrapolado o limite tolerável definido para o componente ou sistema em questão. Na manutenção preditiva, o próprio monitoramento contínuo do maquinário fornece ao sistema um modelo de como aquele equipamento opera em condições normais. Ao menor sinal perceptível de um declínio deste funcionamento, ainda no início, é emitido um alerta para os operadores (BALDISSARELLI; FABRO, 2019, p. 14).

A necessidade de viabilizar as tomadas de decisões baseadas em dados (*data-driven decision making*) no contexto da Indústria 4.0 alavancou o desenvolvimento de novos algoritmos e métodos objetivando dar suporte a engenheiros para tomar as melhores decisões acerca de ações operacionais e manutenções (BOUSDEKIS *et al.*, 2021). Toda mudança agrega, normalmente, vantagens e desvantagens. Os autores do artigo “Manutenção preditiva: uma análise abrangente e um panorama futuro” (PATEL; VASA; PATEL, 2023 p. 1) elencaram neste trabalho os aspectos positivos e negativos:

Vantagens:

- Minimiza a ocorrência de tempos de parada não programadas e maximiza o tempo de atividade dos equipamentos.
- Oferece uma visão geral em tempo real das condições atuais dos seus equipamentos.

- Garante interrupções mínimas na produtividade, pois algumas atividades de manutenção preditiva podem ser realizadas em máquinas em operação.
- Otimiza o tempo gasto em trabalhos de manutenção.
- Otimiza o uso de peças de reposição.
- Melhora a confiabilidade dos ativos.

Desvantagens:

- Requer equipamento e software de monitoramento de condições para implementar e executar.
- Você precisa de um conjunto especializado de habilidades para entender e analisar os dados de monitoramento de condições.
- Altos custos iniciais.
- Pode levar algum tempo para se configurar e implementar.

3. METODOLOGIA

O Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás opera mais de um tipo de caminhão de combate a incêndio. Assim, foi necessário escolher quais máquinas seriam objeto desta análise quantitativa. As escolhidas foram: Auto Busca e Salvamento (ABS), Auto Bomba Tanque (ABT), Auto Bomba Tanque Salvamento (ABTS), Auto Bomba Tanque Florestal (ABTF) e o Auto Combate Florestal (ACF). Ficaram excluídos da análise apenas os caminhões Auto Tanque (AT). Isso foi feito porque esta viatura, diferentemente das anteriormente citadas, não realiza diretamente o combate a incêndio, servindo apenas como fonte de suprimento de água para as outras durante o combate.

Segundo o Comando de Apoio Logístico do CBMGO (CBMGO, 2025), na carga patrimonial da Corporação constam hoje 120 viaturas, já excetuados os Auto Tanques, distribuídas por todo o estado. Desse total, apenas 38 veículos fizeram uso do recurso de manutenção disponibilizado pelo Centro de Manutenção do CBMGO. As demais executaram suas manutenções com recursos próprios das unidades do interior. Sobre essas manutenções, feitas fora do sistema, não é possível obter os dados com a mesma precisão, confiabilidade e padronização do sistema operado pelo CEMAN. Assim, o universo de análise proposto para este estudo foi o das 38 viaturas, que são as únicas passíveis de uma coleta fidedigna de dados secundários. Neste sentido, foi feita uma análise de 100% das máquinas. E ainda, dentro deste recorte, foi feita uma coleta individualizada das informações de cada caminhão, para o processamento dos indicadores de manutenção, visando à aplicação do método indutivo, por

meio da observação dos fenômenos, da descoberta da relação entre os mesmos e por fim da generalização da relação entre eles (LAKATOS; MARCONI; 2003, p. 87).

Os dados levantados foram: ano de fabricação, o número de baixas, tempo baixado, valor em reais das peças, valor em reais da mão de obra e se o tipo da manutenção foi preventiva ou corretiva, considerando o caráter quantitativo-descritivo desta pesquisa (LAKATOS; MARCONI, 2003, p. 187). O período considerado para fins de análise foi de 20 de agosto de 2024 até 20 de maio de 2025, perfazendo um total de 273 dias. Esse recorte foi, portanto, retrospectivo e longitudinal. Justamente o estudo retrospectivo usando dados históricos é um dos três métodos básicos para se coletar dados, como afirmam Montgomery e Runger (2024, p. 42).

Após o tratamento destes dados na forma de indicadores de manutenção, pesquisou-se nos repositórios acadêmicos por referenciais de comparação, para avaliar a eficiência da gestão de manutenção atualmente aplicada nestas 38 máquinas. Procurou-se buscar as referências mais próximas o possível do objeto ora em análise. Um exemplo disso é o caso do processamento dos indicadores TMEF, TMPR e Disponibilidade (descritos no item 2.1 deste estudo). Não existe, para esses indicadores, padrões universais que possam servir indistintamente de base de comparação para qualquer tipo de máquina. Keith Mobley (2002, p. 4) nos traz, a título de exemplo, que o TMEF de uma bomba que faz recalque de água não é o mesmo de uma que faz bombeamento de lodos abrasivos. No caso do presente estudo, foram utilizados valores de referência trazidos pelo estudo polonês: “*Failure and reliability analysis of heavy firefighting and rescue vehicles: a case study*” (SELECH *et al*; 2014, p. 13). Sendo essa uma pesquisa orientada para a análise de manutenção de caminhões de bombeiros, isso agregou uma maior fidedignidade na análise dos dados, considerando a similaridade no emprego contextual dos maquinários.

Outro importante indicador de qualidade do processo de manutenção se refere à distribuição proporcional dos eventos de manutenção preventiva em relação à corretiva. Foi realizado o diagnóstico dessa proporção entre os 38 caminhões e, baseado na literatura de referência, avaliou-se a adequabilidade da atual gestão de manutenção ao que é preconizado pela mesma. Por fim, observaram-se os custos médios envolvidos nas ações de manutenção dentro do período considerado e, por meio de uma pesquisa mercadológica, a análise de viabilidade financeira para a implementação da manutenção preditiva proposta.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados secundários obtidos no sistema que auxilia a gestão de manutenção do CBMGO foram organizados e processados em uma tabela (Tabela A nos Apêndices). Nela estão dispostos os valores individuais de cada uma das 38 viaturas objetos deste estudo, acompanhados de uma média de cada série destes valores para efeito das análises pertinentes.

A data de fabricação média dos veículos é 2014, ou seja, possuem 9 anos de operação em média. Os dois mais velhos são e estão lotados nos quartéis: ABT-18 do 19º BBM de Formosa/GO (1999) e ACF-13 da 17ª CIBM de Itaberaí/GO (2000). No período de análise esses caminhões apresentaram apenas uma falha cada um. Já os dois veículos que tiveram mais falhas foram o ABS-36 do 2º BBM de Goiânia/GO (2014) e o ABTS-20 do 2º BBM de Goiânia/GO (2023), que apresentaram respectivamente: nove e seis falhas cada um. Foi dito na Revisão da Literatura deste trabalho que com o passar do tempo o nível de confiabilidade de cada um dos subsistemas de um caminhão de incêndio decresce rapidamente, e o período para a próxima manutenção é reduzido com esse passar do tempo. Mas os dados com estas quatro viaturas citadas sugere que um outro parâmetro também concorre para o índice de falhas: a intensidade de uso. Apesar dos caminhões de Formosa e Itaberaí serem os mais antigos, com cerca de 25 anos, foram os que apresentaram o menor número de falhas. Por outro lado, as duas viaturas de Goiânia, com onze anos ou menos, foram as que mais apresentaram falhas. Conforme estatísticas de atendimentos (CBMGO, 2025), no período de 20/05/2024 a 20/05/2025, tivemos os seguintes números de ocorrências: ABT-18 do 19º BBM de Formosa = 6; ACF-13 da 17ª CIBM de Itaberaí = 16; ABS-36 do 2º BBM de Goiânia = 143; e ABTS-20 do 2º BBM de Goiânia = 130. Assim, essa análise dos extremos é sugestiva de que o ritmo de uso dos caminhões de combate a incêndio pode ser mais prevalente como fator causador de falhas do que a idade da viatura.

Outro indicador apurado na pesquisa foi o da proporção dos tipos de manutenções executadas nos 38 caminhões. De um total de 100 manutenções realizadas no período de análise, 70 foram corretivas, 27 preventivas e 3 não informadas. A coincidência de valores com a representação percentual já nos fornece automaticamente a proporção das manutenções em: 70% corretivas, 27% preventivas e 3% desconhecidas. Na literatura de referência consultada não existe nenhuma referência específica sobre qual seria a proporção percentual ideal entre as intervenções corretivas e preventivas. Porém, conforme o gráfico (Figura 1, página 8)

apresentado e explicado no capítulo de Revisão da Literatura, é recomendado que os gastos com manutenção preventiva sejam superiores a 50% do total.

Observando-se esses dados de paradas de manutenção da nossa pesquisa infere-se, de forma grosseira já que não é o parâmetro em questão, que a gestão de manutenção do CBMGO não esteve adequada ao que recomendam os autores por meio do gráfico. Com 70% dos eventos de manutenção corretiva e somente 27% de eventos de manutenção preventiva, nota-se que os valores estão não somente invertidos em relação ao preconizado, como também diferem entre si por um delta considerável. Mas vale lembrar que a variável dependente do gráfico (Figura 1 página 8), afetada por esse percentual, é o custo. Consultando a base de dados detalhada da pesquisa verifica-se que, no período dado, os gastos com a manutenção total dos 38 caminhões ficaram em R\$ 1.256.783,29. Desse valor, R\$ 1.030.822,42 foram gastos com manutenção corretiva, R\$ 213.899,43 com preventiva e R\$ 12.061,44 com manutenção de tipo não informada (que pode ser tanto corretiva quanto preventiva). Em termos percentuais isso representa aproximadamente 17% de gastos com preventiva e aproximadamente 82% corretiva. Uma proporção extremamente discrepante e que sugere fortemente que a tônica institucional da manutenção tem sido muito mais reativa, sob uma lógica *run to failure* (usar até quebrar). Ainda sem adentrar o tema central deste trabalho, que é a manutenção preditiva, e levando-se em conta a assertiva descrita na Revisão da Literatura, de que cada dólar empregado em preventiva representaria uma economia de dez dólares na corretiva, percebe-se um grande potencial de economicidade a partir do ajuste adequado das ações e, em consequência, das proporções das filosofias de manutenção.

Conforme descrito na Revisão da Literatura, o Tempo Médio Entre Falhas (TMEF), Tempo Médio Para Reparo (TMPR) e Disponibilidade são três indicadores de manutenção que constituem a base para a avaliação da eficiência da manutenção. Para as 38 viaturas esses valores foram calculados e estão disponíveis nas três últimas colunas da Tabela A (Apêndices). Observando a mesma, percebe-se que para algumas viaturas não existem esses indicadores. Isso acontece porque estas viaturas, apesar de figurarem na tabela, tiveram apenas intervenções de caráter preventivo. A coluna “Nº de falhas” se refere tão somente a episódios que demandaram manutenção corretiva. Assim, para estas viaturas em questão, observamos que consta zero falha na referida coluna. Conforme exposto na Tabela 1 da página 9 deste trabalho, a TMEF e a TMPR são calculados a partir da divisão de um determinado valor pelo número de falhas. Logo, em

sendo o número de falhas igual à zero, estes valores se tornam matematicamente indeterminados. Por extensão a Disponibilidade também se torna indeterminada, vez que é calculada a partir destes dois indicadores.

Temos então, da Tabela A (Apêndices) que os valores médios para os indicadores de manutenção são: TMEF (MTBF) = 4.194 horas; TMPR (MTTR) = 1.071 horas; e Disponibilidade (Availability): 78%. Na Revisão da Literatura, vimos que a média dos TMEF do referencial foi de aproximadamente 3.897 horas, ou seja o nosso indicador está acima deste valor. Isso a princípio é um bom sinal, demonstrando que as nossas viaturas, na média, possuem um período médio entre falhas acima da média. No entanto, o TMEF é uma estatística baseada em médias, e não um diagnóstico como o que é feito pela manutenção preditiva, que é a metodologia que pode fornecer o TMEF real. Isso implica dizer que ainda que um equipamento permaneça um longo período sem falhas, não podemos assegurar que a sua condição real esteja realmente boa.

Na sequência temos o Tempo Médio Para Reparo, onde para as viaturas do CBMGO foi encontrado um valor médio de 1.071 horas enquanto que o referencial apresentou uma média de 43,95 horas. Um valor bem discrepante. Convertidos para dias, implica dizer que em média, cada uma das 38 viaturas ficaram aproximadamente 45 cinco em manutenção de um total de 273 dias. O valor do TMPR é influenciado tanto pelo tempo gasto para se fazer a manutenção quanto pelo número de paradas para corrigir falhas, sendo diretamente proporcional ao primeiro e inversamente ao segundo. As hipóteses para esse alto índice de TMPR são: demora das oficinas em executar os serviços seja por agilidade da mão de obra, seja por indisponibilidade de componentes; gestão de manutenção que permite que as viaturas acumulem pequenas falhas para serem reparadas todas de uma vez; e acúmulo de necessidade de manutenções corretivas não detectadas ou proteladas ao máximo, culminando em um dano de maior monta, com decorrente necessidade de maior tempo de manutenção.

Por fim temos a disponibilidade, que mensura o tempo, dentro do período considerado, em que o maquinário esteve disponível para a finalidade para a qual se presta. A média da disponibilidade das viaturas do CBMGO para o serviço ativo ficou em 78%, enquanto que a indisponibilidade mais baixa dos valores de referência foi de 95,40%, referente à unidade de Zabkowice Slaskie. Essa disparidade nos parâmetros é altamente sugestiva de que a manutenção ora empregada no CBMGO necessita de ajustes visando uma maior eficiência. Uma unidade de bombeiros não pode ou não deveria permanecer em média 22% do tempo, o que corresponde a

80 dias dentro do período de um ano, sem um caminhão de bombeiros, sobretudo porque na maioria das vezes, como foi dito, não existe outro ativo reserva para este equipamento.

As possibilidades trazidas pela Indústria 4.0 são amplas. A manutenção preditiva em sua versão mais aprimorada possibilita uma antecipação de falhas o que permite programar intervenções com mais efetividade. Tanto os tempos de reparos como os custos podem ser reduzidos desta maneira. A ideia não é substituir as outras filosofias de manutenção, mas complementá-las, agregando o potencial disponibilizado pelas tecnologias mais recentes. Em consulta a uma empresa que fornece serviços de manutenção preditiva a frotas de veículos pesados com monitoramento por telemetria, obteve-se os valores médios para a implantação desse sistema preditivo para cada um dos caminhões: R\$ 2.000,00 módulo de telemetria avançada e R\$ 120,00 a assinatura mensal. Vale lembrar que nestes 273 dias de análise dos 38 caminhões foram gastos um total de R\$ 1.256.783,29. Considerando as cifras de economia agregadas pela manutenção preditiva, descritas por Keith Mobley e elencadas na Revisão da Literatura, que possuem o potencial de não só pagarem o seu custo, mas de também trazerem economia de maneira substancial, é perfeitamente possível concluir que a implementação de uma manutenção preditiva é viável economicamente, além de agregar os benefícios de uma maior confiabilidade e disponibilidade aos caminhões de combate a incêndio do CBMGO.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise desses 273 dias de manutenção referente aos 38 caminhões de combate a incêndio do CBMGO permitiu obter alguns achados de interesse. A data de fabricação do chassi é de fato importante, como nos reporta a literatura especializada, no entanto o regime de uso dos veículos parece constituir também um fator primordial na intercorrência de falhas mecânicas. A proporção entre manutenções corretivas e preventivas forneceu a percepção de que atualmente se está atuando de forma muito mais reativa do que sob adequado planejamento, e que conforme a referência acadêmica traz, o ajuste nas proporções destas duas filosofias de manutenção pode promover não só um ganho de eficiência como também de economia monetária. A modelagem de indicadores de manutenção e sua comparação com referenciais acadêmicos válidos foram fundamentais para fechar o diagnóstico de que ainda há o que ser melhorado na gestão de manutenção de viaturas de combate a incêndio do CBMGO: em síntese melhorar a

disponibilidade dos caminhões. Como aprendizado pode-se auferir que as práticas de gestão precisam estar mais síncronas com as possibilidades ofertadas pela tecnologia atual. Foi demonstrado o potencial de ganho que uma manutenção preditiva pode agregar por meio do incremento da confiabilidade e da disponibilidade. Não há como entregar para a sociedade aquilo que ela demanda neste momento que vivemos se as tendências tecnológicas positivas não forem adequadamente estudadas, avaliadas, compreendidas e incorporadas. As possibilidades que a Indústria 4.0 apresenta possuem a virtude de poder contemplar justamente o princípio da economicidade, sem abrir mão do padrão de qualidade, conforme enunciado pelo Art. 70 da Constituição Cidadã de 1988, citada logo nas palavras introdutórias deste trabalho.

Por fim, é importante fazer a ressalva de que todo o diagnóstico feito neste trabalho não atribui a responsabilidade dos desvios de qualidade ao nível tático, no caso o Centro de Manutenção, que gerencia e opera os meios que lhe são possíveis. As circunstâncias aqui observadas possivelmente advêm de anos de práticas de gerenciamento que se atualizaram, mas que talvez não na medida necessária para se adequar à nova realidade que foi apresentada. Assim, para que se operem melhorias, seja na reestruturação das práticas atuais, seja na implantação da proposta de uma manutenção preditiva, isto tem que ocorrer em nível estratégico da organização, demandando para isso, com certeza, mais e melhores estudos acerca do tema.

REFERÊNCIAS

AMARAL, Fernando Dias. **Gestão da Manutenção na Indústria**. Lisboa: Lidel, 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade**. 1994.

BALDISSARELLI, Luciano; FABRO, Elton. **Manutenção preditiva na indústria 4.0**. Artigo científico. *Scientia cum Industria*, V. 7, N. 2, PP. 22, 2019.

BOUSDEKIS, Alexandros *et al.* **A Review of Data-Driven Decision-Making Methods for Industry 4.0**. *Maintenance Applications. Electronics*, 10, 828, 2021.

CAMPOS, Fernando Celso de; BELHOT, Renato Vairo. **Gestão da manutenção de frotas de veículos: uma revisão**. Gestão & Produção, v. 1, n. 2, p. 171-188, 1994.

CBMGO. **Entrevista com o a 9ª Seção do Estado Maior, com o Comando de Apoio Logístico e com o Centro de Manutenção do CBMGO**. 2025.

HIGGINS, Lindley R.; MOBLEY, R. Keith. **Maintenance Engineering Handbook**. 6.ed. United States: The McGraw-Hill Companies, 2002.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LIMA, Faíque Ribeiro; GOMES, Rogério. **Conceitos e tecnologias da indústria 4.0: uma análise bibliométrica**. Revista Brasileira de Inovação, 2020.

MOBLEY, R. Keith. **An Introduction to Predictive Maintenance**. 2.ed. New York: Butterworth-Heinemann, 2002.

MONTGOMERY, D. C; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2024.

PATEL, Manan; VASA, Jalpesh; PATEL, Bimael. **Predictive Maintenance: A Comprehensive Analysis and Future Outlook**. 2nd International Conference on Futuristic Technologies, 2023.

SELECH, Jaroslaw *et al.* **Failure and reliability analysis of heavy firefighting and rescue vehicles: a case study**. Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability, V. 26, 2024.

APÊNDICES

Tabela A – Dados coletados das viaturas cadastradas no sistema de manutenção do CBMGO.

Viatura	Ano	Nº de falhas	N de dias baixada	Gastos	TMEF (horas)	TMPR (horas)	Disponib.
ABS-07	2003	1	51	R\$ 155,17	6552	1224	84%
ABS-17	2009	1	7	R\$ 14.264,92	6552	168	98%
ABS-28	2014	2	47	R\$ 72.298,88	3276	456	88%
ABS-36	2014	9	258	R\$ 64.853,74	728	608	54%
ABS-37	2014	2	49	R\$ 20.867,63	3276	492	87%
ABS-38	2014	0	10	R\$ 4.200,00	---	---	---
ABT-17	2000	1	146	R\$ 5.053,18	6552	3504	65%
ABT-18	1999	1	53	R\$ 32.934,89	6552	1272	84%
ABT-23	2010	3	17	R\$ 60.346,83	2184	136	94%
ABT-25	2011	1	52	R\$ 29.640,77	6552	1248	84%
ABT-26	2012	0	28	R\$ 4.760,00	---	---	---
ABT-29	2013	0	187	R\$ 943,33	---	---	---
ABT-30	2013	1	33	R\$ 29.531,23	6552	792	89%
ABT-31	2013	3	204	R\$ 18.729,22	2184	1632	57%
ABT-32	2013	5	257	R\$ 127.046,50	1310	1037	56%
ABT-34	2012	3	237	R\$ 73.598,16	2184	1664	57%
ABT-36	2012	2	51	R\$ 25.481,75	3276	612	84%
ABT-41	2014	2	190	R\$ 5.847,58	3276	2280	59%
ABT-43	2015	0	41	R\$ 7.980,12	---	---	---
ABT-45	2015	4	227	R\$ 98.950,10	1638	1176	58%
ABT-51	2016	1	67	R\$ 8.302,65	6552	1608	80%
ABT-52	2016	6	145	R\$ 93.592,27	1092	580	65%
ABTF-03	2012	1	116	R\$ 283,75	6552	2784	70%
ABTF-09	2023	0	196	R\$ 5.587,08	---	---	---
ABTS-09	2016	0	24	R\$ 13.500,00	---	---	---
ABTS-10	2018	3	24	R\$ 63.574,07	2184	176	93%
ABTS-12	2018	2	51	R\$ 18.972,31	3276	288	92%
ABTS-13	2018	2	235	R\$ 31.023,49	3276	696	82%
ABTS-14	2018	0	33	R\$ 2.194,53	---	---	---
ABTS-15	2018	1	45	R\$ 62.289,41	6552	1080	86%
ABTS-18	2019	1	8	R\$ 73.498,39	6552	192	97%
ABTS-19	2023	3	84	R\$ 26.096,06	2184	624	78%
ABTS-20	2023	6	237	R\$ 13.856,04	1092	844	56%
ABTS-22	2024	1	14	R\$ 5.883,70	6552	336	95%
ABTS-23	2024	0	31	R\$ 5.485,15	---	---	---
ACF-07	2011	0	16	R\$ 9.580,00	---	---	---
ACF-10	2011	1	134	R\$ 6.052,92	6552	3216	67%
ACF-13	2000	1	14	R\$ 7.647,60	6552	336	95%
Médias:	2014	1,84	95	R\$ 30.129,04	4194	1071	78%

Fonte: o autor (2025).

Figura A – Curva de falha potencial P-F

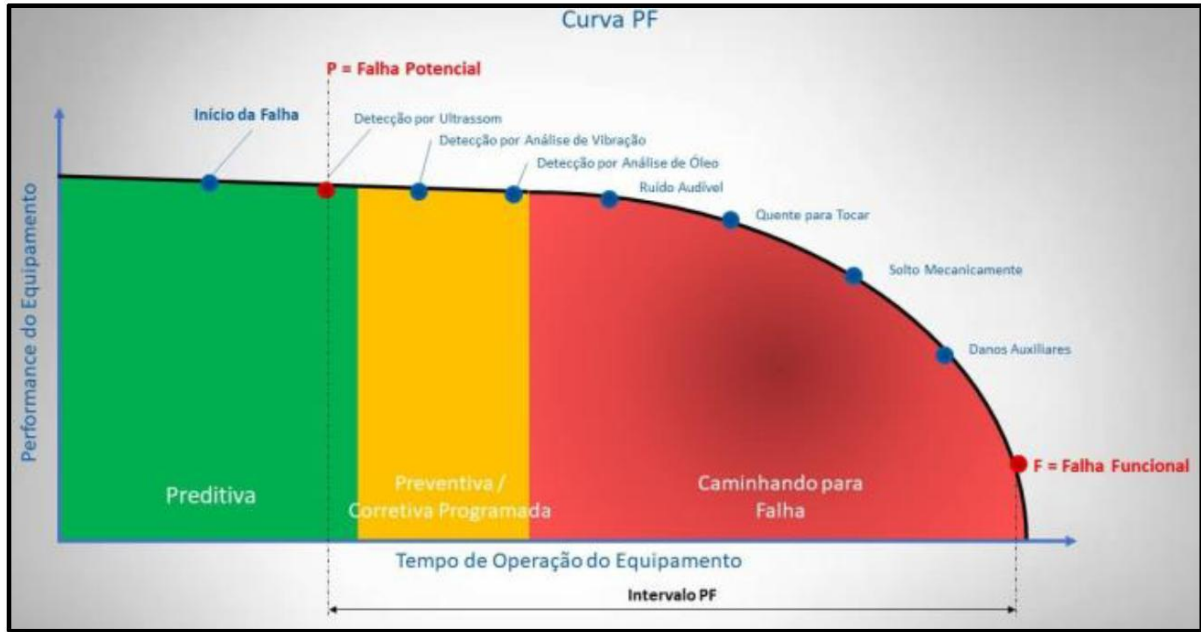


Fig. 2: Curva de Falha Potencial

Fonte: Manutenção preditiva na indústria 4.0 (2019, p. 14)