educte
Revista Científica do IFAL

MODELO DE PROTOCOLO DE MANUTENÇÃO PARA ARMAS DE FOGO BASEADO NOS PRINCÍPIOS DA MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM): UM ESTUDO DE CASO EM UMA INSTITUIÇÃO MILITAR DE ALAGOAS

A MAINTENANCE PROTOCOL MODEL FOR FIREARMS BASED ON THE PRINCIPLES OF TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM): A CASE STUDY IN A MILITARY INSTITUTION IN ALAGOAS

Orlando Dorta de Carvalho[1]
Polícia Militar de Alagoas – PMAL

Cleunis Brandão Barros[2]
Instituto Federal de Alagoas – IFAL

RESUMO

O presente estudo tem como objetivo propor um modelo de protocolo de manutenção em armamentos fundamentado nos princípios da Manutenção Produtiva Total, aplicado às pistolas utilizadas pela Polícia Militar de Alagoas (PMAL). A pesquisa parte da constatação de que a ausência de protocolos padronizados compromete a confiabilidade operacional dos armamentos, expondo operadores a riscos associados à corrosão e ao uso inadequado de lubrificantes e solventes. Adotou-se metodologia quali-quantitativa, combinando análise documental dos processos de manutenção e aplicação de questionários a armeiros, com o intuito de identificar falhas recorrentes e avaliar os procedimentos utilizados. Os resultados evidenciaram falhas críticas e

[1] Graduado em Educação Física pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Policial Militar do Estado de Alagoas (PMAL). ORCID: https://orcid.org/0009-0002-2351-586X. E-mail: orlandodorta@gmail.com
[2] Especialista em Segurança do Trabalho pela Faculdade de Ensino Regional Alternativa (FERA). Professora do Instituto Federal de Alagoas (IFAL). ORCID: https://orcid.org/0009-0007-0056-3793. E-mail: cleunis.barros@ifal.edu.br

graves, frequentemente relacionadas à inexistência de manutenção preventiva, ao emprego de produtos inadequados para limpeza e conservação e à ausência de padronização nos registros de disparos e manutenções, além de lacunas na capacitação dos profissionais responsáveis. A partir desses achados, foi desenvolvido um protocolo de manutenção para a pistola Glock G17, estruturado em níveis e escalões, contemplando procedimentos de desmontagem, inspeção, limpeza e lubrificação conforme recomendações do fabricante e diretrizes da TPM. Conclui-se que a adoção do protocolo pode ampliar confiabilidade e disponibilidade dos armamentos, contribuindo para a segurança operacional e para a modernização da gestão da manutenção bélica na PMAL.

Palavras-chave: Manutenção Produtiva Total (TPM). Plano de manutenção. Manutenção de armas de fogo. Corrosão e lubrificação.

ABSTRACT

This study aims to propose a weapons maintenance protocol model based on the principles of Total Productive Maintenance, applied to pistols used by the Military Police of Alagoas (PMAL). The research stems from the observation that the absence of standardized protocols compromises the operational reliability of weapons, exposing operators to risks associated with corrosion and the inappropriate use of lubricants and solvents. A mixed-methods approach was adopted, combining document analysis of maintenance processes and the application of questionnaires to gunsmiths, in order to identify recurring failures and evaluate the procedures used. The results revealed critical and serious failures, frequently related to the lack of preventive maintenance, the use of inadequate cleaning and conservation products, and the absence of standardization in firing and maintenance records, as well as gaps in the training of the responsible professionals. Based on these findings, a maintenance protocol was developed for the Glock G17 pistol, structured in levels and echelons, including disassembly, inspection, cleaning, and lubrication procedures according to manufacturer recommendations and TPM guidelines. It is concluded that the adoption of the protocol can increase the reliability and availability of weapons, contributing to operational safety and the modernization of weapons maintenance management in the PMAL.

Keywords: *Total Productive Maintenance (TPM). Maintenance Plan. Firearms Maintenance. Corrosion and lubrication.*

1 INTRODUÇÃO

As estatísticas relacionadas as armas de fogo apreendidas no Brasil divulgadas no Mapa da Segurança Pública 2025: ano-base 2024, Brasil (2025) vem demonstrando uma mudança nos tipos de armamentos utilizados pelos criminosos. Podendo ser observado o aumento da utilização de pistolas em detrimento a utilização de revolveres entre as armas de porte. Já no que se refere às armas longas os fuzis

e rifles cresceram exponencialmente quando comparados as metralhadoras e submetralhadoras. Esse novo cenário traz uma crescente demanda por eficiência, segurança e padronização na manutenção de armamentos utilizados pelas Polícias, se fazendo necessário o desenvolvimento de protocolos sistematizados e baseados em metodologias reconhecidas de gestão da manutenção, como a Manutenção Produtiva Total (TPM) que tem como objetivos melhorar a eficácia do equipamento, melhorar a eficiência e eficácia da manutenção, conduzir o gerenciamento de equipamentos e manutenção preventiva, treinamento para melhorar as habilidades de todas as pessoas envolvidas e envolver o operador na rotina de manutenção (Teles *et al.,*2023).

Parte-se da hipótese de que a inexistência de protocolos padronizados e de programas de capacitação contínua pode comprometer a confiabilidade operacional do armamento empregado pela corporação. Nesse contexto, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão de partida: de que maneira a integração dos princípios da Manutenção Produtiva Total (TPM) à análise diagnóstica de falhas operacionais pode subsidiar a estruturação de um protocolo de manutenção preventiva para pistolas Glock no âmbito da Polícia Militar de Alagoas (PMAL)?

Para responder à problemática apresentada, o objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar o processo de gestão da manutenção e os padrões de falhas técnicas identificados nas pistolas Glock da PMAL, com vistas a subsidiar o desenvolvimento de um modelo de protocolo de manutenção fundamentado nos princípios da Manutenção Produtiva Total (TPM).

Para alcançar o objetivo geral, definiram-se os seguintes objetivos específicos: Analisar os fundamentos conceituais da Manutenção Produtiva Total (TPM) e sua aplicabilidade à gestão da manutenção de armamentos em organizações militares; Mapear e diagnosticar os procedimentos atualmente adotados para o controle e o registro das atividades de manutenção nas reservas de armamento da PMAL; Identificar e classificar os tipos e as causas mais recorrentes de falhas técnicas nas pistolas Glock, com ênfase nos processos de corrosão, degradação de compostos e inadequação dos procedimentos de lubrificação; Elaborar uma proposta de protocolo técnico de manutenção preventiva fundamentada nas diretrizes da Manutenção Produtiva Total (TPM) e compatível com a realidade operacional da instituição militar.

A metodologia adotada seguiu uma abordagem ao problema quali-quantitativa, como uma pesquisa investigativa voltada à produção de conhecimento com aplicabilidade prática. E que utilizou como procedimentos técnicos uma pesquisa documental.

Esse estudo será importante pois, contribuirá para o planejamento, desenvolvimento e controle de protocolos de manutenção baseados em metodologia reconhecidamente eficaz não apenas para a PMAL, mas que poderá ser adaptado as mais diversas instituições de Segurança Pública.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Manutenção de armamentos em organizações militares

A manutenção pode ser compreendida como o conjunto de ações técnicas, administrativas e de gestão destinadas a conservar ou restabelecer um equipamento, sistema ou instalação em condições de desempenhar a função para a qual foi projetado, garantindo sua disponibilidade, confiabilidade, segurança e desempenho. Entre os principais tipos de manutenção, destacam-se a manutenção corretiva, realizada após a ocorrência de uma falha, com o objetivo de restabelecer as condições de funcionamento do equipamento; a manutenção preventiva, baseada em intervenções previamente programadas, de acordo com intervalos de tempo ou utilização, visando reduzir a probabilidade de falhas; e a manutenção preditiva, fundamentada no monitoramento das condições operacionais dos equipamentos, permitindo identificar tendências de degradação e programar intervenções antes da ocorrência da falha. (Barros *et al.*, 2026; Birolini, 2004; Kardec e Nascif, 2012; Wang e Pham, 2006).

A manutenção de armamentos em organizações militares é um elemento vital para a garantia da prontidão operacional, segurança e eficiência no uso do poder bélico. O Exército Brasileiro, por meio das Normas Administrativas Rerlativas ao Armamento (NARA), estrutura esse processo com base em categorias e escalões de manutenção, estabelecendo desde rotinas básicas de limpeza até intervenções mais complexas em oficinas especializadas.

Além disso, os manuais técnicos militares, como o Manual de manutenção – Pistola cal. 9 mm Imbel M973 Brasil (2002) reforçam que os armamentos devem ser

mantidos em condições ideais de funcionamento para atender aos rigorosos padrões de desempenho exigidos nas missões das Forças Armadas. A manutenção eficaz depende de doutrinas bem definidas, capacitação constante do pessoal envolvido e disponibilidade de insumos e ferramentas adequadas. A aplicação consistente dessas práticas de manutenção não apenas preserva os armamentos, mas assegura a integridade dos operadores e contribui diretamente para a eficácia das ações militares.

No contexto da Polícia Militar de Alagoas muito pouco tem se avançado nesse sentido. Não existindo procedimentos desenvolvidos e difundidos a nível institucional que possam nortear a tropa para conseguir alcançar assim níveis de confiabilidade e disponibilidade em seus armamentos. Segundo Silva (2025, p.2) “A cultura organizacional nas instituições militares precisa romper com o paradigma ‘quebrou, conserta’ e adotar uma visão estratégica da manutenção como parte integrante da doutrina de campanha”.

2.1.1 Procedimentos existentes de manutenção de armamentos

Com a crescente sofisticação dos equipamentos bélicos, tem-se intensificado a aplicação de metodologias que reconhecidamente tem impacto positivo nos processos de manutenção. A aplicação de conceitos como a manutenção preditiva, voltada à antecipação de falhas por meio da análise de dados e monitoramento contínuo se insere nesse contexto. Segundo Dalzochio *et al.* (2023) e Barros *et al.* (2026), essa abordagem favorece a prontidão operacional ao permitir uma gestão mais inteligente dos recursos, integrando sensores, sistemas de apoio à decisão e tecnologias emergentes.

Com a crescente sofisticação dos equipamentos bélicos, tem-se intensificado a aplicação de metodologias que reconhecidamente tem impacto positivo nos processos de manutenção. A aplicação de conceitos como a manutenção preditiva, voltada à antecipação de falhas por meio da análise de dados e monitoramento contínuo se insere nesse contexto. Segundo Dalzochio *et al.* (2023) e Barros *et al.* (2026), essa abordagem favorece a prontidão operacional ao permitir uma gestão mais inteligente dos recursos, integrando sensores, sistemas de apoio à decisão e tecnologias emergentes.

2.1.2 Infraestrutura e recursos humanos nas reservas de armamento da PMAL

Atualmente a Segurança Pública do estado passa por uma modernização na estrutura física dos prédios onde funcionam suas unidades. O novo modelo cria unidades que comportam diversos órgãos, os chamado CISP – Centro Integrado de Segurança Pública. E, antigas edificações que abrigavam batalhões e grupamentos têm sido desativadas para passar a funcionar dentro dessas estruturas.

No que cerne aos recursos humanos, a corporação historicamente carece de exigências padronizadas de qualificação técnica específica em mecânica de armamentos para a designação de armeiros. A ausência de normativas e protocolos institucionais dificulta o processo seletivo e a lotação de pessoal qualificado para a função, cenário agravado por um hiato de quase uma década — entre 2013 e 2022 — sem a oferta de cursos de formação de mecânicos de armamento na instituição. Corroborando essa perspectiva, Souza (2023, p. 18) enfatiza que, além de reconhecer o efetivo como elemento indispensável à execução das atividades, é imperativo que esses profissionais sejam capacitados de forma contínua por meio de cursos, treinamentos e aperfeiçoamento constante.

2.2 Pilares da Manutenção Produtiva Total (TPM)

Desenvolvida no Japão entre as décadas de 1950 e 1960, a Manutenção Produtiva Total (TPM) é concebida por Nakajima (1989) como um sistema que integra todos os colaboradores da organização — desde os operadores até a alta administração — com o objetivo de promover a melhoria contínua dos ativos utilizados. Conforme aponta Martins *et al.* (2022, p. 6), a metodologia busca atingir a diretriz de falhas zero nos processos, nas quebras de equipamentos e nos produtos, consolidando a integração entre homem, máquina e empresa. No âmbito da Segurança Pública, o conceito de falhas zero assume carater crítico, pois representa diretamente a salvaguarda da vida de operadores e usuários inocentes.

Para alcançar tais objetivos, as atividades principais da TPM dividem-se em pilares cuja aplicação exige um compromisso sério entre todas as áreas da organização (Pontes, 2025, p. 20). De acordo com Nakajima (1989), quando o foco recresce sobre o indicador de confiabilidade, cinco desses pilares tornam-se primordiais:

- Melhoria Específica (*Kobetsu Kaizen*): Foco no combate a perdas crônicas e

esporádicas utilizando ferramentas com FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), *Ishikawa,* 5 Porquês, impactando diretamente o fator de Desempenho no OEE (*Overall Equipment Effectiveness)*

- Manutenção Autônoma (*Jishu Hozen*): Foco na capacitação dos operadores para o cuidado básico do ativo (limpeza, inspeção e lubrificação em 7 passos), elevando a Disponibilidade.
- Manutenção Planejada: Foco na modelagem estatística *(Weibull*) e preditiva para maximizar o MTBF (*Mean Time Between Failures*) e eliminar paradas não planejadas.
- Educação e Treinamento: Foco na polivalência e eliminação de falhas de origem humana, reduzindo o MTTR (*Mean Time To Repair*).
- Controle Inicial de Equipamentos: Foco na manutenibilidade em fase de projeto e redução do tempo de *ramp-up* de novos ativos.

Segundo o Manual de Ensino de Gerenciamento da Manutenção do Exército Brasileiro, a confiabilidade corresponde à probabilidade de um componente, equipamento ou sistema desempenhar sua função sem falhas, durante um período determinado e sob condições específicas de operação, sendo esse um indicador essencial no contexto das armas de fogo, Brasil (2017).

Nesse sentido pesquisas como a de Melo (2023) apontaram que segundo a percepção dos próprios profissionais a confiabilidade é apontada como a principal característica que uma arma de fogo deve ter.

No contexto militar, a manutenção planejada constitui um fator estratégico para a confiabilidade e disponibilidade de armamentos, especialmente no caso das armas de fogo portáteis. O artigo de Rodrigues, Farinha e Cardoso (2021) evidencia que o planejamento da manutenção deve integrar atividades técnicas, administrativas e de gestão que orientem a tomada de decisão e a priorização de recursos. Ferramentas como FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e FMECA (*Failure Medeus Effects and Criticality Anaysis*) permitem identificar modos e efeitos potenciais de falha, bem como estabelecer criticidade, fornecendo subsídios para intervenções preventivas e preditivas mais assertivas.

Segundo Cruz (2021, p. 17) “[...] as ações de manutenção são estruturadas em escalões, baseados no nível de capacitação técnica do capital humano e na infraestrutura adequada para manutenção.” Porém o pilar da educação e treinamento

vai muito além de o profissional ser treinado e conhecer as etapas e procedimentos de manutenção do armamento. Devendo ser compreendido como o entendimento pleno da atividade e a adesão à cultura da manutenção.

Nesse sentido o *Logistics Platoon Leader – ATP* 4-90.5 do Exército Americano, *United States* (2021), traz a ideia de que a manutenção deve ser entendida como parte da cultura organizacional militar, e não apenas como uma atividade técnica. O treinamento busca educar o soldado para enxergar a manutenção como parte da missão, criando hábitos de inspeção e conservação.

O pilar Controle Inicial da TPM, quando transposto para a manutenção de armamentos, assume relevância estratégica, pois busca reduzir falhas e perdas desde o recebimento e a introdução de novas armas no serviço ativo. No caso das pistolas utilizadas por forças policiais e militares, o controle inicial deve envolver inspeções criteriosas de aceitação técnica. Atualmente em vigor a NT-SENASP Nº 001/2020, Brasil (2021) traz uma série de rigorosos critérios técnicos e ensaios para testar esses armamentos ainda durante o processo de aquisição pelo Estado, estabelecendo "requisitos mínimos de qualidade e desempenho, ...de forma a garantir a segurança, a qualidade e a confiabilidade desse produto".

2.3 Confiabilidade humana

A confiabilidade humana refere-se à probabilidade de um operador ou equipe executar tarefas sem falhas, considerando condições de tempo, ambiente e recursos, bem como limitações físicas, cognitivas e organizacionais. Nesse contexto, Droguett e Menêzes (2007) afirmam que a Análise de Confiabilidade Humana (ACH) estuda a execução das ações humanas e os fatores que influenciam o desempenho, evidenciando a incompatibilidade entre limitações humanas e condições de trabalho. Assim, a ACH busca compreender a origem dos erros e propor estratégias para mitigá-los, promovendo maior segurança e eficiência operacional.

No contexto militar, especialmente na manutenção de armas de fogo, a confiabilidade humana assume papel estratégico. A execução incorreta de procedimentos de limpeza, inspeção ou montagem de pistolas, como as Glock utilizadas em forças policiais e militares, pode gerar falhas críticas que comprometem a segurança do operador e da equipe, além de reduzir a vida útil do armamento. Silva *et al.* (2017) afirmam que fatores como estresse operacional, carga de trabalho

excessiva, treinamento insuficiente e condições ambientais adversas influenciam diretamente o desempenho humano, elevando o risco de lapsos ou enganos. Afirmam ainda que “A padronização de procedimentos e métodos de trabalho deve ser utilizada como uma ação preventiva diante da subjetividade e variabilidade das tarefas... mesmo porque a própria padronização já contém o fator humano em sua elaboração” Silva *et al.* (2017, p.12). Assim, incorporar a análise da confiabilidade humana ao planejamento e padronização da manutenção bélica não apenas promove maior confiabilidade dos armamentos, mas também fortalece a cultura de segurança e disciplina operacional, alinhando a dimensão técnica à responsabilidade humana na preservação da vida e da missão militar.

2.4 Boas práticas de manutenção de armas de fogo: especificidades em pistolas semiautomáticas

Em estudo realizado Guma e Molokwu (2025), no qual foi feita uma revisão de vários periódicos, testes e outras fontes literárias publicadas entre os anos de 2002 e 2025 sobre corrosão e desgaste de canos de armas, foi observado que a corrosão e o desgaste resultam das condições de alta temperatura e pressão no cano durante o disparo, associadas à ação de agentes corrosivos, atrito do projétil e acúmulo de resíduos e partículas ambientais na superfície metálica.

Os lubrificantes industriais constituem-se de misturas cuidadosamente formuladas a partir da combinação de óleos básicos e aditivos, cuja interação define seu desempenho em operação, bem como a durabilidade ao longo da vida útil (Britto, 2020). Visto isso, deve-se escolher lubrificantes adequados e específicos para manutenção de armas de fogo devendo esses ser aprovados segundo normas rígidas como a MIL-PRF-63460G, *United States* (2022), que testa lubrificantes, limpadores e preservadores para armamentos leves e pesados.

Um lubrificante líquido adequado para armas de fogo precisa ser quimicamente estável, antioxidante, anticorrosivo, não reativo com metais e polímeros, de baixa volatilidade, ter substâncias detergente e dispersante específicas, resistente à contaminação e seguro ao operador. Os lubrificantes adequados geralmente usam como detergentes sulfonatos de cálcio ou de magnésio e fenatos, e como dispersantes succinimidas de polibuteno (PIBSA-PAM/PIBSI) ou derivados, que mantêm a fuligem e os resíduos de pólvora suspensos sem permitir que grudem nas

superfícies metálicas. Isso o diferencia dos óleos industriais comuns e garante desempenho confiável em ambientes militares extremos.

Estudo realizado por Cavalheiro (2021) testando lubrificantes a base de Nitreto de Boro Hexagonal (hBN) encontrou como resultado que para utilização em armas de fogo o lubrificante deve ter como propriedades: coeficiente de atrito estável até temperaturas entre 900 °C e 1000 °C, alta condutividade térmica, alta resistência mecânica, baixa expansão térmica e baixa rugosidade, resistência à oxidação e ponto de fusão próximo de 2600 °C.

O armazenamento adequado dos armamentos também constitui um fator determinante para a preservação de sua integridade funcional, uma vez que a corrosão é um dos principais agentes de degradação durante os períodos de inatividade. A literatura evidencia que métodos apropriados de estocagem, como o controle da umidade relativa do ambiente, o uso de capas protetoras e a aplicação de inibidores de corrosão, reduzem significativamente a taxa de oxidação em metais expostos, prolongando a vida útil e garantindo maior confiabilidade operacional das armas de fogo. Nesse sentido, McGinley (2017) destaca que a escolha do método de armazenamento deve ser orientada pelo ambiente e pela frequência de uso do equipamento, sendo o acondicionamento preventivo uma medida essencial para evitar falhas críticas.

3 METODOLOGIA

Quanto à caracterização metodológica, o estudo classifica-se como quali-quantitativo (Ramos; Mazalo, 2024). Essa abordagem articula os enfoques qualitativo e quantitativo para enriquecer a investigação: enquanto a análise qualitativa baseia-se na observação e na interação participativa, a quantitativa fundamenta-se estritamente em técnicas estatísticas e numéricas (Rodrigues; Oliveira; Santos, 2021).

A dimensão qualitativa evidencializou-se na interpretação dos dados coletados por meio de questionários aplicados aos armeiros das unidades, abordando a periodicidade e o controle das manutenções, a utilização dos armamentos, a existência de protocolos e a qualificação profissional. O instrumento foi disseminado via Google Formulários e direcionado aos oficiais responsáveis pelas reservas de armamento de todos os batalhões e companhias independentes, garantindo abrangência institucional.

A vertente quantitativa foi obtida através da análise de registros extraídos do Centro de Material Bélico no Sistema Eletrônico de Informações (SEI Alagoas). O repositório engloba os processos de manutenção de armas de fogo executados por esse setor da Diretoria de Logística, responsável por suprir as demandas da corporação que excedem a capacidade operativa das reservas setoriais.

Na perspectiva de Gil (2017), a pesquisa aplicada constitui-se como uma modalidade investigativa voltada à produção de conhecimento com aplicabilidade prática em situações reais. Dessa forma, do ponto de vista de sua natureza o presente estudo caracteriza-se como uma pesquisa aplicada uma vez que será proposto ao seu final um plano de manutenção para uma pistola Glock com protocolos de manutenção e controle de acordo com os níveis de manutenção e os escalões, além de um calendário de manutenção a ser realizado pela instituição.

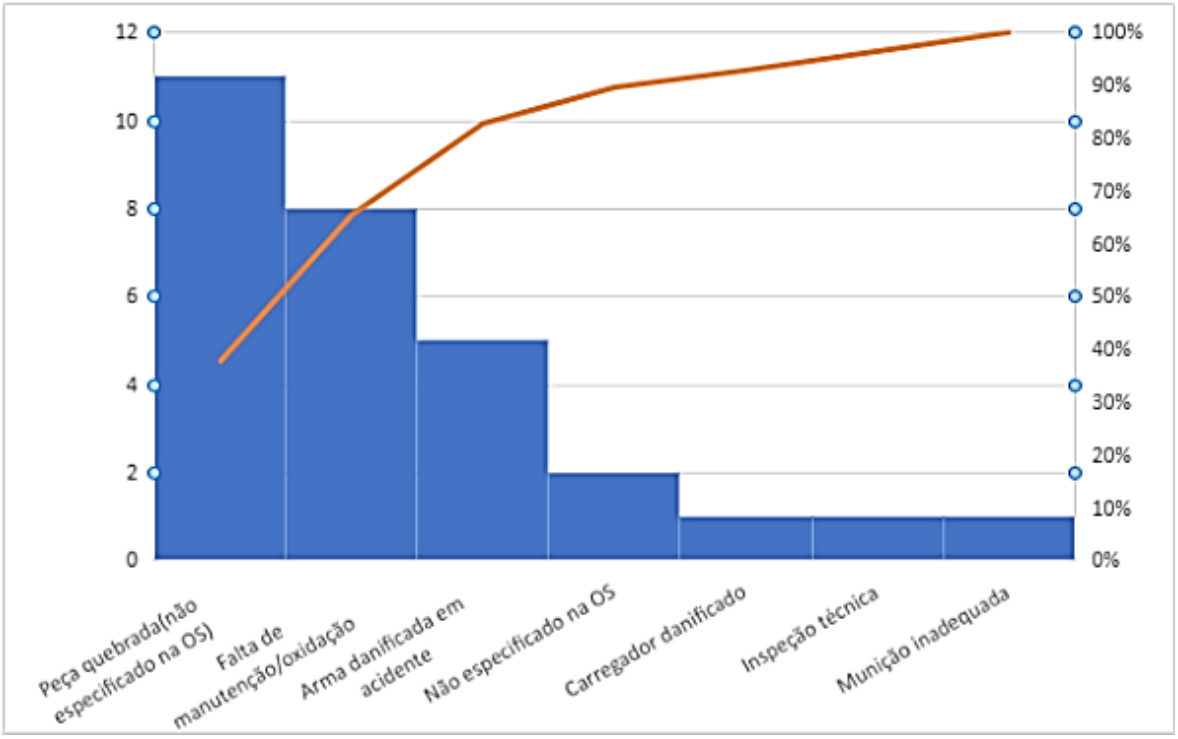
Do ponto de vista dos procedimentos técnicos pode ainda ser classificada como uma pesquisa documental, na qual após a pesquisa no bloco interno foram encontrados 155 documentos com solicitações de manutenção enviadas pelas unidades operacionais. Na primeira triagem foi identificado que 29 processos eram relacionados a manutenções em pistolas Glock. Posteriormente essas armas foram separadas por calibre e modelo. E dentro de cada modelo forma definidas as falhas que as armas apresentaram e as causas, identificadas ou prováveis, dessas falhas.

Dessa forma o tema manutenção em armas de fogo será abordado nos aspectos práticos, teóricos e metodológicos.

4 IDENTIFICAÇÃO E CLASSIFICAÇÃO DE FALHAS E SUAS CAUSAS RECORRENTES NAS PISTOLAS GLOCK E DOS PROCEDIMENTOS DE CONTROLE DA MANUTENÇÃO NAS RESERVAS DE ARMAMENTOS DA POLÍCIA MILITAR DE ALAGOAS

Observando os dados contidos no bloco interno do SEI referentes as solicitações de serviço feitas pelos Batalhões ao Centro de Material Bélico formam identificados 155 processos com pedidos de manutenção no período de 2019 até 2025, dos quais 29 eram relativos a pistolas Glock. Três modelos são do calibre 9mm, do total 31% do modelo G17, 10% G26 e 14% G45. O modelo que mais foi observado foi o G22 com 45% do total, sendo esse modelo o único no calibre 40 existente na Polícia Militar nessa marca.

Gráfico 1. Diagrama de Pareto



Fonte: Elaboração própria.

O Gráfico de Pareto tem como objetivo identificar as causas, escolher o ponto de partida para a solução e avaliar as consequências da implementação de mudanças no processo segundo Brasil (2017). Em análise o Gráfico 1 indica que a maioria das causas das falhas não podem ser identificada por falta de informações precisas no processo. Sendo a falta de manutenção, que ocasionou a oxidação em partes do armamento, a causa com maior prevalência.

Para analisar as falhas quanto à gravidade foi utilizada a classificação contida na Norma Técnica SENASP Nº 001/2020, Brasil (2021), que divide as falhas de acordo com suas consequências e a complexidade de solução em Críticas, Graves e Leves:

- Críticas levam à falha total, sendo somente eliminadas com o auxílio de ferramentas, afeta a segurança do operador ou de terceiros, ou requer a substituição de peça;
- Graves levam interrupção do uso da arma, podendo a pane ser sanada somente com o auxílio de ferramentas.
- Leves não levam ao impedimento, ou quando este ocorrer pode ser eliminado sem o auxílio de ferramentas.

Algumas Solicitações de Serviço foram provenientes de fatores de força maior ou da natureza, como extravio da arma, acidente de trânsito sofrido pelo militar em posse dela ou acidente proveniente por falta de cuidado. Esses casos foram classificados como “decorrentes de manuseio e tratamento inadequado pelo manipulador”. A tabela 01 mostra que a grande maioria das falhas foram de natureza Crítica ou Grave.

Tabela 1. Distribuição das falhas de acordo com a criticidade

TIPO DE FALHA	QUANTIDADE
Críticas	9
Graves	12
Leves	1
Decorrentes de manuseio	7

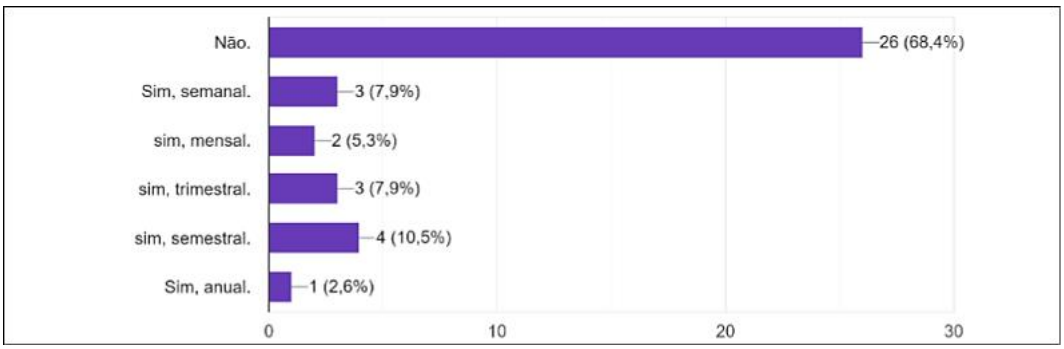
Fonte: Elaboração própria.

O questionário, que tive como objetivo avaliar os procedimentos existentes na Polícia militar com relação à manutenção e controle de seus armamentos e ao conhecimento técnico, obtido através de curso de mecânico de Armamentos, desses armeiros, foi aplicado de forma a ter um maior número de participantes possível de forma voluntária. Ele foi criado através da ferramenta Google Formulários e disponibilizado para os oficiais chefes de reserva para que esses passassem para os armeiros responderem.

Inicialmente foi identificado que 45,9% dos profissionais não têm conhecimento a respeito de protocolos de manutenção publicados pela Polícia Militar e que 51,4% possuem curso de especialização no serviço desempenhado.

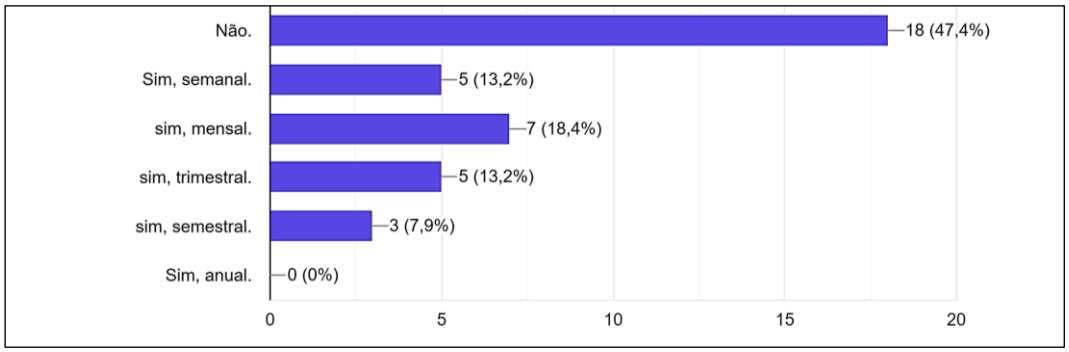
Com relação a calendários de manutenção preventiva a serem realizadas por operadores ou pelos próprios armeiros em ambos os casos a maioria dos batalhões não organiza tais atividades conforme podemos observar nos Gráficos 2 e 3, respectivamente.

Gráfico 2. Periodicidade de manutenção preventiva realizada pelos operadores



Fonte: Elaboração própria.

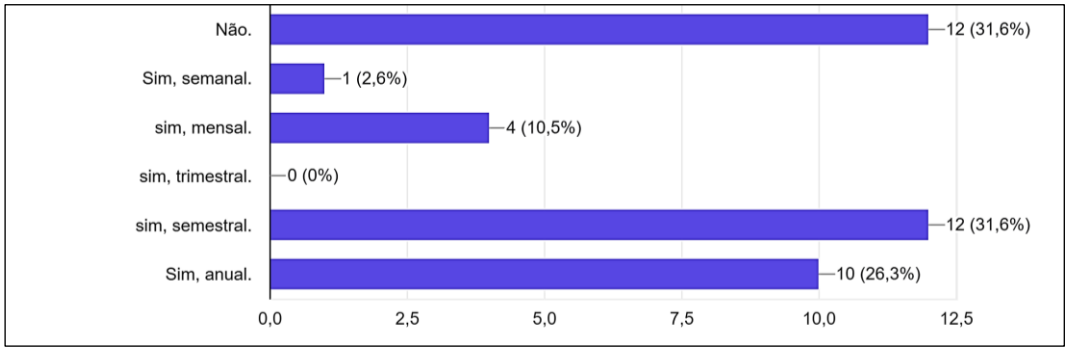
Gráfico 3. Periodicidade de manutenção preventiva realizada pelos armeiros



Fonte: Elaboração própria.

Existe uma especificidade que diz respeito aos armamentos cautelados a militares, nesse caso cabe unicamente a esse militar zelar pelo material. Foi determinado pelo Comandante Geral que os materiais cautelados a cada determinado período fosse apresentado a reserva de armamento na qual o equipamento está em carga. Porém nada existe com relação a inspeção referentes a manutenção e estado de conservação dos armamentos. Assim o Gráfico 04 apresenta resultados dispersos no tocante a inspeções realizadas nos armamentos cautelados, ainda prevalecendo a não realização dessas inspeções pelos armeiros.

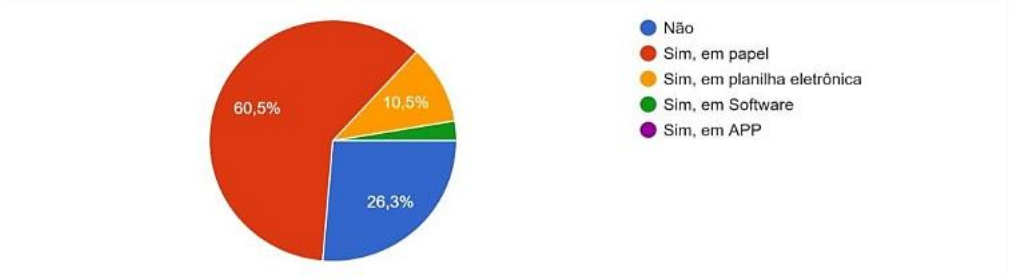
Gráfico 4. Periodicidade das inspeções realizadas nos armamentos cautelados



Fonte: Elaboração própria.

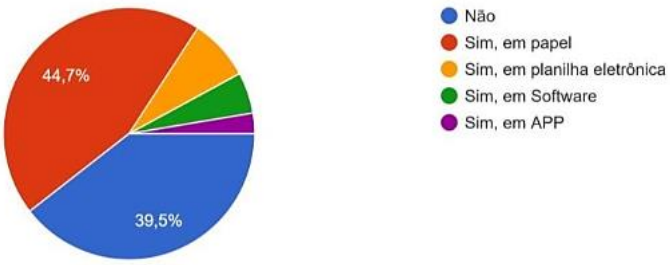
Os Gráficos 5 e 6 mostram o resultado da pesquisa com relação ao controle da utilização e das manutenções realizadas. Ainda existe uma grande quantidade de unidades que não realizam o controle de disparos, 26,3%, e de manutenções realizadas, 39,5%. Entre os que realizam o registro em papel é predominante, muito embora registros em software, planilhas eletrônicas e aplicativos tenham sido relatados.

Gráfico 5. Tipo de registro de utilização



Fonte: Elaboração própria.

Gráfico 6. Tipo de registro de manutenções



Fonte: Elaboração própria.

No que tange às armas de fogo, o parâmetro ideal de utilização não se baseia no tempo de serviço, mas sim no volume de disparos efetuados. Contudo, há uma lacuna na literatura científica que correlacione a vida útil de armamentos leves ao número de tiros, restringindo-se às informações de garantia fornecidas pelos fabricantes.

Essa ausência de registros sistemáticos de disparos impossibilita a correlação direta entre o desgaste e o ciclo de uso. Apesar disso, os dados analisados nesta pesquisa evidenciam que as pistolas semiautomáticas Glock no calibre .40 — especificamente o modelo G22 — apresentam maior propensão a falhas quando comparadas aos equivalentes em calibre 9mm. Constatou-se que tais ocorrências derivam diretamente da carência de manutenção preventiva, o que acarreta a degradação e a quebra prematura de componentes essenciais.

Enquanto as falhas de natureza crítica manifestaram-se durante a realização de disparos, as de carater grave foram identificadas em inspeções visuais e rotinas de manutenção. É pertinente ponderar que os armamentos classificados com falhas graves inevitavelmente evoluiriam para condições críticas se fossem submetidos ao tiro real naquele estado de conservação. Tal cenário decorre essencialmente da negligência na manutenção preventiva, da ausência de cuidados básicos de preservação e do emprego incorreto de agentes de limpeza e lubrificação.

Embora as unidades da Polícia Militar de Alagoas busquem gerenciar o uso e a conservação de seus armamentos, as ações ainda carecem de padronização institucional e eficiência. A análise conjunta dos dados de campo e do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) revela uma correlação direta entre essa deficiência e a alta incidência de falhas graves e críticas. Embora 51,4% dos operadores de reserva possuam especialização técnica, a ausência de diretrizes normativas — evidenciada pelo fato de 45,9% desconhecerem protocolos de manutenção — reflete-se na predominância de panes por oxidação e desgaste precoce. Sob a ótica da Engenharia de Confiabilidade Humana, essa lacuna na capacitação e a falta de rotinas preventivas pautadas na Manutenção Produtiva Total (TPM) induzem falhas operacionais que comprometem a prontidão do acervo bélico. Para suprir essa defasagem metodológica, desenvolveu-se um modelo de protocolo preventivo voltado à pistola Glock G17, cujo conteúdo integral pode ser acessado por meio do QR Code a seguir:

Figura 1. QR CODE para acesso ao modelo de protocolo



Fonte: Elaboração própria.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo alcançou seu objetivo geral ao realizar um diagnóstico crítico da gestão da manutenção e dos padrões de falhas técnicas nas pistolas Glock em uso na Polícia Militar de Alagoas (PMAL), fornecendo suporte científico e metodológico para a elaboração de um protocolo técnico estruturado sob os princípios da Manutenção Produtiva Total (TPM).

O diagnóstico evidenciou lacunas relevantes na gestão documental, na rastreabilidade de disparos e na rotina das reservas de armamento. Constatou-se que a incidência de panes críticas e graves decorre da ausência de padronização procedimental e do emprego inadequado de insumos de limpeza e lubrificação. A investigação confirmou que a transição do paradigma corretivo para um modelo fundamentado na TPM é viável e necessária no contexto da segurança pública.

Como contribuição prática, o protocolo desenvolvido para a pistola Glock G17 normatiza as etapas de desmontagem, inspeção e conservação em conformidade com as diretrizes do fabricante (Glock, 2017) e com os escalões de manutenção do Exército Brasileiro (Brasil, 2017). Essa ferramenta propicia o incremento da confiabilidade técnica, a preservação da integridade dos operadores e a ampliação da vida útil do acervo bélico da PMAL.

Nesse cenário, cabe ao alto comando institucional prover suporte material e metodológico aos batalhões, monitorando a execução das rotinas preventivas por meio de relatórios técnicos. A sustentabilidade dessa gestão depende do aperfeiçoamento contínuo amparado pelo ciclo PDCA, visto que, conforme destaca Brasil (2017, p. 45), o sucesso de qualquer plano de manutenção reside na revisão sistemática integrada pelas fases de planejamento, execução, verificação e ação corretiva.

Apesar dos resultados obtidos, o estudo apresenta limitações metodológicas, sobretudo a ausência de registros sistemáticos sobre o volume de disparos por

armamento, o que impediu a aplicação de modelos estocásticos preditivos, como a distribuição de *Weibull*, para a análise de fadiga mecânica. Como desdobramento para pesquisas futuras, recomendam-se a validação experimental *in loco* do protocolo em ambiente operacional e a integração da gestão a um sistema informatizado (CMMS) para o rastreamento automatizado do ciclo de vida dos componentes bélicos.

REFERÊNCIAS

BARROS, C. B.; FERREIRA, A. M. S.; SANTANA, D. M.; DOMINGOS, M. M. STOCHASTIC MODELING OF IMPERFECT REPAIR BASED ON GRP-WEIBULL APPLIED TO WEAPONS SYSTEMS. **Artefactum - revista de estudos interdisciplinares**, [*S. l.*], v. 25, n. 6, p. e3517, 2026. DOI: 10.23900/artefactum.v25i6.3517. Disponível em: https://artefactumjournal.com/index.php/artefactum/article/view/3517. Acesso em: 5 set. 2026.

BIROLINI, A. **Reliability Engineering: Theory and Practice.** 6. ed. Berlin: Springer, 2007. P.9 . 593páginas.

BRASIL. Exército. **Manual de manutenção – Pistola cal. 9 mm Imbel M973. EB60-ME22.401.** Brasília: Centro de Catalogação do Exército, 2002.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Comando Logístico. **Normas Administrativas relativa ao Armamento (NARA).** 1ª Ed. Brasília, DF, 2009.

BRASIL. Ministério da Defesa. Exército Brasileiro. Departamento de Educação e Cultura do Exército. **Manual de Ensino: Gerenciamento da Manutenção do Exército Brasileiro.** 1ª Ed. Brasília, DF, 2017.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Norma Técnica SENASP nº 001/2020**: estabelece os requisitos mínimos de desempenho, segurança e qualidade para pistolas calibre 9x19mm e .40 S&W. Brasília, DF: MJSP, 2021.

BRASIL. Ministério da Justiça e Segurança Pública. Secretaria Nacional de Segurança Pública. **Mapa da Segurança Pública 2025: ano-base 2024.** Brasília: SENASP, 2025.

BRITTO, C. C. **Gestão de manutenção: importância da lubrificação em equipamentos industriais.** 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Pitágoras Norte do Paraná, Bandeirantes, 2020.

CAVALHEIRO, B. W.; ADAMS, J. L.; OLIVEIRA, C. A. M. **Deposição de filme de nitreto de boro para redução do atrito em componente de armas.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Escola de

Engenharia, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

CRUZ, M. R. S. **A gestão de processos na manutenção de 3º escalão de armamentos.** 2021. Trabalho de conclusão de curso (Curso de Especialização em Ciências Militares). Escoa de Aperfeiçoamento de Oficiais, Rio de Janeiro, 2021.

DALZOCHIO, J.; KUNST, R.; BARBOSA, J. L. V.; SILVA NETO, P. C.; PIGNATON, E.; TEN CATEN, C. S.; PENHA, A. L. T. Predictive maintenance in the military domain: a systematic review of the literature. **ACM Computing Surveys**, v. 55, n. 13s, art. 267, p. 1–30, jul. 2023.

DROGUETT, E. L.; MENÊZES, R. C. S. Análise da confiabilidade humana via redes Bayesianas: uma aplicação à manutenção de linhas de transmissão. **Produção**, v. 17, n. 1, p. 162-185, jan./abr. 2007.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa.** (6a ed.). Atlas. São Paulo: 2017.

GLOCK Ges. m.b.H. **Curso Glock Gen5.** São Paulo: Glock do Brasil S.A., 2017.

GOMES, H. C. V.; MICELI JUNIOR, G.; CUNHA, A. E. C. Manufatura enxuta: oportunidade para a gestão da manutenção de armamento leve no Exército Brasileiro. In: CONGRESSO DO INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁLTICA (ITA), 2023. **Anais** [...]. São José dos Campos: ITA, 2023. p. 25–30.

GUMA, T. N.; MOLOKWU, K. O. Deterioration of firearms: a review report on corrosion and wear of their barrels. **Irish International Journal of Engineering and Applied Sciences**, v. 9, n. 2, p. 45–65, Mar./Apr. 2025. ISSN 2965–3325. Advance Scholars Publication.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção:** função estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2012. 384 p.

MARTINS, E. L. *et al.* Implementação da manutenção autônoma no processo de manufatura de couros. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 17., 2022, Catalão. **Anais** [...]. Catalão: Universidade Federal de Catalão, 2022. Disponível em: https://posmec.ufcat.edu.br. Acesso em: 13 ago. 2025.

MCGINLEY, M. **Equipment Storage Methods for Corrosion Prevention and Control.** Defense Acquisition University / U.S. Army Corrosion Office, 2017. Disponível em: https://apps.dtic.mil/sti/citations/AD1155563. Acesso em: 24 ago. 2025.

MELO, A. B.; SANTOS, K. N. S. C.; FERNANDES, A. F. Avaliação da arma de fogo de porte individual empregada pela Polícia Militar de Santa Catarina. **Revista Brasileira de Ciências Policiais**, Brasília, v. 14, n. 13, p. 261-278, set./dez. 2023.

NAKAJIMA, S. **Introdução ao TPM Total Productive Maintenance.** 1. Ed. – São Paulo: IMC, 1989.

PONTES, R. L. **A importância da gestão e estratégia de equipes para um desempenho nos indicadores de performance:** um estudo de caso. Trabalho de

Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Maranhão, São Luiz, 2025.

RAMOS, H.; MAZALO, J. V. Metodologias de investigação científica: passos para elaboração de artigos científicos. **Revista Nova Paideia - Revista Interdisciplinar em Educação e Pesquisa**, Brasília, DF, v. 6, n. 2, p. 137-155, maio/ago. 2024. ISSN 2674-5976.

RODRIGUES, J.; FARINHA, J. T.; CARDOSO, A. M. Predictive maintenance tools – a global survey. **WSE AS Transactions os Systems and Control,** v. 16, p. 96-109, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.37394/23203.2021.16.7. Acesso em: 15 ago. 2025.

RODRIGUES, T. D. F. F.; OLIVEIRA, G. S.; SANTOS, J. A. As pesquisas qualitativas e quantitativas na educação. **Revista Prisma**, v. 2, n. 1, p. 154-174, 2021. Disponível em: https://revistaprisma.emnuvens.com.br/prisma/article/view/49/41. Acesso em: 10 ago. 2025.

SILAVA, M. J. R. Manutenção militar moderna: da intervenção corretiva à confiabilidade operacional estratégica. **Revista Contemporânea**, [S. l.], v. 5, n. 7, p. e8628, 2025. DOI: 10.56083/RCV5N7-073. Disponível em: https://ojs.revistacontemporanea.com/ojs/index.php/home/article/view/8628. Acesso em: 5 ago. 2025

SILVA, B. G. J.; LISBOA, A. P.; SANTOS, A. H. A.; SANTANA, K. S.; SILVA, I. P. Confiabilidade humana: uma abordagem atual do erro humano. **Anais** do IX Simpósio de Engenharia de Produção de Sergipe, Sergipe, p. 405-414, 2017.

SOUZA, C. H. C. **Proposta de capacitação de armeiros em manutenção da moderna estrutura de armamentos leves da Polícia Militar do Maranhão.** Trabalho de conclusão de curso (Curso de Especialização em Gestão de Segurança Pública -CEGESP) - Universidade Federal do Maranhão, 2023.

TELES, F.; PEREIRA, V. N. C.; PEREIRA, G. S.: TELES, H. H. M.; ALMEIDA, M. N.; ALBUQUERQUE NETO, H. C.; CASELLI, F. T. R. Obstáculos e benefícios da implantação da Manutenção Produtiva Total (MPT): uma revisão de literatura. **Revista Gestão e Secretariado (GeSec)**, São Paulo, v. 14, n. 4, p. 6386-6399, 2023.

UNITED STATES. Department of Defense. **MIL-PRF63460G: Lubricant, Cleaner and Preservative for Weapons and Weapons Systems.**

UNITED STATES. Department of the Army. **ATP 4-90.5: Logistics Platoon Leader.**

WAND, H.; PHAM, H. Optimal age-dependent preventive Maintenance policies with imperfect maintenance. **International Journal of Reliability, Quality andSafetyEngineering**, 3(2), 119-135, 2026. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/263982790_OPTIMAL_AGEDEPENDENT_

PREVENTIVE_MAINTENANCE_POLICIES_WITH_IMPERFECT_MAINTENANCE. Acesso em: 05 set. 2026.

Washington, D.C.: Department of Defense, 2022.

Washington, D.C.: Headquarters, Department of the Army, nov. 2021.

Recebido em: 02/05/2026
Aceito em: 18/08/2026
Publicado em: 19/10/2026