



ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

LUCIVAN VIEIRA DE CARVALHO, Cap Esp Arm

**Alternativas Sustentáveis na Manutenção de Armamentos: A Eficiência da Tecnologia de Limpeza por Ultrassom na Base Aérea de Fortaleza**

Rio de Janeiro

2025

ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS DA AERONÁUTICA  
DIVISÃO DE ENSINO  
CURSO DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS 1º/2025

LUCIVAN VIEIRA DE CARVALHO, Cap Esp Arm

**Alternativas Sustentáveis na Manutenção de Armamentos:** A Eficiência da Tecnologia de Limpeza por Ultrassom na Base Aérea de Fortaleza

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Escola de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica como requisito parcial para aprovação no Curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Liderança com Ênfase em Gestão no COMAER.

Linha de Pesquisa: Gestão Institucional

Orientador: Prof. Dr. André da Costa Gonçalves

Rio de Janeiro

2025

LUCIVAN VIEIRA DE CARVALHO, Cap Esp Arm

**Alternativas Sustentáveis na Manutenção de Armamentos: A Eficiência da Tecnologia de Limpeza por Ultrassom na Base Aérea de Fortaleza**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao  
Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais da Escola  
de Aperfeiçoamento de Oficiais da Aeronáutica.

Aprovado por:

---

Presidente, André da Costa Gonçalves, Prof. Dr. - EAOAR

---

Caroline Pedretti Gonzaga, Maj Av - EAOAR

Rio de Janeiro

2025

## RESUMO

A Base Aérea de Fortaleza (BAFZ), como Unidade Remota, é responsável por conservar os armamentos das Unidades Sediadas, apoiando treinamentos e mantendo a proficiência de tiro do efetivo. Contudo, o clima litorâneo de Fortaleza, com alta salinidade e agressividade atmosférica, acelera a corrosão dos materiais metálicos, comprometendo sua durabilidade. Esse fator, aliado ao uso intensivo dos armamentos nos cursos de formação de militares temporários, tem aumentado a necessidade de manutenção. Os métodos tradicionais, embora ainda utilizados, geram resíduos químicos que prejudicam a saúde dos operadores e o meio ambiente, além de demandarem mais tempo no processo de limpeza. Diante disso, é fundamental adotar alternativas tecnológicas mais seguras, sustentáveis e eficazes, a fim de preservar os equipamentos e elevar a eficiência da unidade. Este ensaio defende a implantação de limpeza por ultrassom como uma solução de inovação organizacional, tecnológico e sustentável. Isso proporcionará uma limpeza mais profunda e homogênea dos armamentos, otimizando o tempo de manutenção e aumentando a disponibilidade e a durabilidade dos armamentos. Além disso, aumentará a segurança dos profissionais da manutenção, diminuindo o contato com substâncias químicas nocivas. A implantação dessa tecnologia pode ser expandida para outras unidades da Força Aérea Brasileira com necessidades similares, como o Esquadrão PARA-SAR, que utiliza armamentos de forma contínua e exige manutenção constante para pronto emprego. A padronização do modelo contribuirá para uma FAB mais eficiente, segura e alinhada às diretrizes de sustentabilidade e modernização.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade. Eficiência. Ultrassom. Segurança. Armamento.

## 1 INTRODUÇÃO

A Base Aérea de Fortaleza (BAFZ) é uma Unidade Remota responsável pela manutenção dos armamentos por meio da Seção de Material Bélico (SMB). Essa atividade abrange as armas de fogo utilizadas pelos operadores das Unidades Sediadas: o Grupo de Saúde de Fortaleza (GSAU-FZ), o Grupo de Segurança e Defesa (GSD-FZ), o Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Fortaleza (DTCEA-FZ) e a Comissão de Obras de Fortaleza (CO-FZ).

Na conservação desses armamentos, é relevante destacar que a cidade de Fortaleza, por estar localizada em uma região litorânea, apresenta condições ambientais com elevada agressividade atmosférica e altos índices de salinidade. Esses fatores intensificam os processos de corrosão em materiais metálicos, comprometendo a durabilidade dos equipamentos expostos.

Em razão das condições climáticas adversas, somadas ao uso intensivo de armamentos nos cursos de formação voltados para militares temporários, verificou-se um aumento na demanda por serviços de manutenção na Base Aérea de Fortaleza (BAFZ). Esse contexto tem gerado preocupações, uma vez que a intensificação das atividades de manutenção, ainda realizadas por meio de métodos convencionais, tem acarretado um aumento considerável no volume de resíduos químicos a serem descartados, sendo prejudiciais à saúde dos operadores e ao meio ambiente, além de um tempo maior quanto ao processo de manutenção.

Nesse sentido, torna-se imprescindível a adoção de tecnologias inovadoras que contribuam para minimizar os riscos à saúde dos operadores e mitigar os impactos ambientais associados à manutenção de armamentos.

Diante do exposto, surge a necessidade de implantação de limpeza por ultrassom como uma solução de inovação organizacional, tecnológica e sustentável.

Desta forma, essa tecnologia proporcionará uma limpeza mais profunda e homogênea dos equipamentos, otimizando o tempo de manutenção e aumentando a disponibilidade e a durabilidade dos armamentos.

Assim como, aumentará a segurança dos profissionais da manutenção, diminuindo o contato com as substâncias químicas nocivas.

## **2 CONDIÇÃO AMBIENTAL: IMPACTOS DA CORROSÃO NOS ARMAMENTOS DA BAFZ**

A localização geográfica exerce influência direta sobre as características ambientais de determinadas regiões. No caso de Fortaleza, fatores como as correntes oceânicas e a salinidade contribuem para condições ambientais específicas.

Campos (2016), em sua dissertação de Mestrado, Estudo da Agressividade do Ar Atmosférico de Fortaleza/CE, cita o seguinte:

[...] A posição geográfica da cidade de Fortaleza no globo terrestre também colabora para que ela se apresente como uma das mais agressivas do mundo, em função das correntes superficiais oceânicas e da salinidade superficial do oceano (Campos, 2016, p. 120).

Essas condições ambientais, por sua vez, aceleram a corrosão dos materiais metálicos, exigindo manutenções mais frequentes na BAFZ para evitar danos operacionais. Como consequência, uma elevada demanda por manutenção, necessária para garantir a disponibilidade dos armamentos, resultou em um aumento no volume de produtos químicos a serem descartados, intensificando as preocupações com os impactos ambientais e os riscos à saúde dos operadores envolvidos no processo.

Atualmente, a BAFZ adota um processo de manutenção convencional, que envolve a desmontagem parcial das armas, imersão em tanques com produtos químicos removedores, escovação, lavagem com água aquecida, secagem por ar comprimido, lubrificação e remontagem dos armamentos. Apesar de eficaz, esse método utiliza substâncias químicas que liberam vapores intensos no ambiente de trabalho, exigindo o uso obrigatório de Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) para garantir a saúde dos profissionais. Além disso, requer um descarte rigoroso dos resíduos gerados, a fim de mitigar possíveis impactos ambientais.

Em alternativa ao método tradicional, a limpeza ultrassônica realiza a manutenção do armamento sem necessidade de desmontagem, utilizando uma cuba com solução apropriada. O equipamento, ajustado entre 20 kHz e 40 kHz, emite ondas sonoras que provocam a cavitação, removendo impurezas até mesmo em áreas de difícil acesso. Após cerca de 10 minutos, o armamento é seco com ar comprimido e lubrificado, assegurando sua conservação e eficiência.

Diante dos desafios impostos pela agressividade ambiental da região de Fortaleza e da necessidade constante de manutenção para garantir a disponibilidade dos armamentos, torna-se evidente que os métodos convencionais apresentam limitações significativas, tanto do ponto de vista operacional quanto ambiental.

Portanto, a limpeza por ultrassom apresenta-se como uma alternativa vantajosa em relação ao método tradicional, pois dispensa a desmontagem do armamento, permitindo a higienização com o equipamento completo submerso em uma solução específica menos agressiva. Além disso, é capaz de remover sujidades em áreas de difícil acesso, como fendas e cavidades internas. Trata-se de um processo automatizado e uma tecnologia limpa, rápido e seguro para o operador, que permanece com menor exposição a produtos químicos, reduzindo impacto ambiental e contribuindo para a otimização do tempo e maior disponibilidade de armamento.

## 2.1 LIMPEZA ULTRASSÔNICA: SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA

Diante dos avanços tecnológicos, a limpeza ultrassônica desponta como uma solução inovadora e eficiente para a manutenção de armamentos na BAFZ, promovendo ganhos operacionais e alinhamento às diretrizes de responsabilidade socioambiental.

Mason (2016), em seu artigo científico, *Limpeza Ultrassônica: Uma perspectiva histórica*, cita o seguinte:

[...] O ultrassom é particularmente eficaz na limpeza, pois é capaz de desalojar e remover contaminantes superficiais na forma de sujeira inorgânica ou material microbiológico por meio das ondas de choque e da formação de jatos que acompanham o colapso das bolhas de cavitação acústica. Esse tipo de limpeza pode ser usado tanto para itens pequenos quanto grandes e pode penetrar profundamente em fendas e cavidades na superfície de um objeto. As principais vantagens foram reconhecidas desde o início do uso do ultrassom na limpeza e incluem: maior velocidade de limpeza, que muitas vezes pode ser aplicada a componentes montados sem a necessidade de desmontá-los em unidades individuais (Mason, 2016, p. 523).

Com base em Mason (2016), que destaca a capacidade da limpeza ultrassônica de penetrar profundamente em fendas e cavidades de superfícies, evidencia-se sua aplicação como essencial para a Base Aérea de Fortaleza (BAFZ). No contexto da BAFZ, a manutenção convencional dos armamentos demanda muito tempo com o processo de desmontagem e limpeza manual, principalmente na remoção de resíduos de pólvora. Essa prática, realizada por meio de escovação, apresenta limitações, pois não consegue acessar áreas de difícil alcance nos mecanismos internos das armas.

A adoção da limpeza ultrassônica resolveria esse impasse ao permitir uma higienização profunda e homogênea, inclusive em compartimentos ocultos, sem a necessidade de desmontar totalmente o armamento. Isso não apenas reduziria o tempo de manutenção, como também garantiria maior eficiência na remoção de resíduos, promovendo maior disponibilidade e durabilidade dos armamentos na BAFZ.

Segundo Funchs (2015), no Livro *Ultrassom de Potência*, cita o seguinte:

[...] A limpeza ultrassônica é uma tecnologia única em sua capacidade de remover contaminantes que outras tecnologias não conseguem remover e em sua capacidade de limpar eficazmente áreas que não são acessíveis por meio de outras tecnologias (Funchs, 2015, p. 577).

No trecho, o autor destaca que a limpeza ultrassônica se sobressai por eliminar contaminantes inacessíveis aos métodos tradicionais, garantindo uma higienização mais eficiente, preservando a integridade dos itens. A limpeza ultrassônica mostra-se adequada à realidade da BAFZ por agilizar o processo de manutenção, eliminar esforço manual e aumentar a eficiência dos armamentos.

Conforme evidenciado nas experiências apresentadas pelos autores supracitados, torna-se clara a necessidade de implantar o método de limpeza por ultrassom na manutenção de armamentos da BAFZ. Essa mudança tecnológica, baseada em práticas mais eficientes, não apenas otimiza o tempo de manutenção, como também contribui para o aumento da disponibilidade e da durabilidade dos armamentos.

## 2.2 GESTÃO EM SEGURANÇA: PROCESSO DE MODERNIZAÇÃO

A modernização da manutenção na BAFZ exige soluções que combinem eficiência e proteção à saúde, destacando a gestão em segurança para reduzir a exposição a agentes químicos na limpeza de armamentos.

Tiong *et al* (2024), em seu artigo científico, *Investigação Numérica da limpeza ultrassônica na Indústria de Luvas de Borracha: uma comparação dos modelos lineares de Helmholtz e Commander-Prosperetti*, cita o seguinte:

[...] A limpeza ultrassônica é um método industrial eficaz que aumenta a eficiência da limpeza reduzindo o tempo e os produtos químicos necessários. No setor de fabricação de luvas, o ultrassom acelera a limpeza, mesmo sem produtos químicos agressivos (Tiong *et al*, 2024, p. 1).

Com base em Tiong *et al* (2024), a limpeza ultrassônica é um método eficaz que reduz tanto o tempo quanto a necessidade de produtos químicos agressivos. Na Base Aérea de Fortaleza (BAFZ), o processo convencional de manutenção exige escovação manual e aplicação direta de solventes e lubrificantes, o que expõe os operadores, mesmo com uso do EPI, a agentes químicos por longos períodos, aumentando riscos à saúde.

A introdução da tecnologia ultrassônica, por sua vez, automatiza o processo e diminui o contato humano com substâncias químicas. Além de tornar o trabalho mais seguro, essa tecnologia agiliza a limpeza dos armamentos sem comprometer sua eficácia. Portanto, a adoção

do ultrassom na BAFZ não só moderniza o processo, como também protege os operadores da exposição aos produtos químicos.

Alves, Mainier e Rocha (2011), no VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia, Processo de Remoção de Contaminantes Industriais por Ultrassom, citam o seguinte:

[...] As tecnologias limpas se destacam das tecnologias tradicionais podendo ser definida como o conjunto de métodos e técnicas que objetivam a minimização dos resíduos e tem como eixo central a preservação do meio ambiente, conseqüentemente, adotando normas de gestão ambiental. As matérias primas e as energias necessárias ao processo devem ser otimizadas e integradas ao ciclo produção e consumo, de tal forma, a minimizar o impacto ambiental. Além disso, a filosofia da segregação dos processos químicos propicia um tratamento mais direto e em menor proporção (Alves, Mainier, Rocha, 2011, p. 2).

Segundo Alves, Mainier e Rocha (2011), as tecnologias limpas diferenciam-se das tradicionais por priorizarem a minimização de resíduos e a preservação ambiental. Além disso, a segregação dos processos químicos permite um tratamento mais direto e com menor proporção de agentes nocivos, alinhando-se a normas de gestão ambiental e promovendo práticas mais seguras.

Diante desse referencial, observa-se que a manutenção convencional de armamentos na BAFZ, que envolve uso prolongado de produtos químicos, expõe os operadores a riscos desnecessários. A adoção de tecnologias limpas, como a limpeza por ultrassom, reduz essa exposição ao minimizar o uso de agentes químicos e automatizar o processo, protegendo a saúde dos operadores da manutenção e alinhando aos princípios da sustentabilidade.

De acordo com Mainier *et al* (2012), as tecnologias limpas se diferenciam das tradicionais por atenderem critérios de sustentabilidade, como a preservação ambiental, a saúde pública, a segurança das pessoas e a redução de resíduos.

Conforme os autores supracitados, a adoção da limpeza ultrassônica na BAFZ reduz a exposição dos operadores da manutenção a produtos químicos. Por se tratar de uma tecnologia limpa, ela também minimiza resíduos e impactos ambientais. Assim, além de modernizar o processo, aumenta a segurança dos profissionais da manutenção e contribui para uma gestão mais sustentável.

Apesar dos benefícios da limpeza por ultrassom, é necessário considerar o investimento inicial e as adaptações logísticas para sua implantação na BAFZ. No entanto, o equipamento dispensa capacitação técnica e custos com treinamentos. Além disso, o investimento tende a ser compensado a médio prazo pela economia em produtos químicos, EPIs e insumos utilizados nos métodos tradicionais. Assim, trata-se de uma solução viável e adequada à realidade da FAB, desde que acompanhada de planejamento logístico e orçamentário.

### 3 CONCLUSÃO

A BAFZ, em conjunto com os Operadores das Unidades Sediadas, exerce um papel fundamental na manutenção dos armamentos, assegurando sua conservação, funcionalidade e a prontidão dos meios utilizados pelas Organizações Apoiadas.

Conforme abordado anteriormente neste trabalho, a limpeza ultrassônica é capaz de alcançar áreas de difícil acesso, como fendas e cavidades, proporcionando uma limpeza homogênea e precisa sem a necessidade de desmontagem completa. Isso representa uma solução altamente vantajosa para a Base Aérea de Fortaleza (BAFZ), que atualmente enfrenta desafios operacionais com o método convencional de manutenção, que demanda tempo, mão de obra intensiva e não garante total remoção dos resíduos internos. Esses desafios são agravados pelas condições climáticas de Fortaleza, caracterizadas por elevada salinidade e agressividade atmosférica, que aceleram os processos de corrosão dos armamentos, exigindo manutenções mais frequentes. A substituição do método tradicional pelo ultrassom permite maior agilidade no processo, aumento da durabilidade dos armamentos e maior disponibilidade operacional, otimizando a eficiência da Unidade.

Ademais, essa Tecnologia reduz significativamente o uso de produtos químicos agressivos, minimizando a exposição dos operadores a substâncias químicas e reduzindo a geração de resíduos. Por tratar-se de uma tecnologia limpa, ela está alinhada aos princípios da gestão ambiental e da saúde dos profissionais da manutenção, contribuindo para um ambiente de trabalho mais seguro e para práticas sustentáveis na BAFZ.

Dessa forma, conclui-se que a adoção da limpeza por ultrassom representa uma solução de inovação organizacional, tecnológico, moderna, eficiente e ambientalmente responsável, em relação ao método convencional, para a manutenção de armamentos na BAFZ. Ela responde tanto às necessidades operacionais quanto aos desafios relacionados à segurança dos profissionais da manutenção e à preservação ambiental.

Além disso, a implantação dessa tecnologia pode ser estendida a outras unidades da Força Aérea Brasileira que compartilham realidades operacionais semelhantes, como é o caso do Esquadrão PARA-SAR, cujo armamento de assalto é utilizado de forma contínua em treinamentos e operações, exigindo que esteja devidamente mantido para pronto emprego. A padronização desse modelo inovador contribuirá para uma FAB mais eficiente, segura e alinhada às diretrizes de sustentabilidade e modernização institucional.

## REFERÊNCIAS

ALVES, C. H. F.; MAINIER, F. B.; ROCHA, A. C. M. Processo de Remoção de Contaminantes Industriais por Ultrassom. In: **VIII Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Resende/RJ, 2011.

CAMPOS, Ana Maria da Rocha. **Estudo da Agressividade do Ar Atmosférico de Fortaleza/CE**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Ceará. Fortaleza/CE, 2016.

FUCHS, F. J. Ultrasonic cleaning and washing of surfaces. In: GALLEGO-JUÁREZ, J. A.; GRAFF, K. F. (ed.). **Power ultrasonics: applications of high-intensity ultrasound**. 1. ed. Cambridge: Woodhead Publishing, 2015. p. 577–609. Disponível em: Ultrasonic cleaning and washing of surfaces - ScienceDirect. Acesso em: 10 maio 2025.

MAINIER, R. J. *et al.* Tecnologias Limpas e Seguras: Um Direito Exigido Pela Sociedade. In: **IX Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. Niterói/RJ, 2012.

MASON, T. J. Ultrasonic cleaning: An historical perspective. **Ultrasonics Sonochemistry**, [s. l.], v. 29, pag. 519-523, mar. 2016. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350417715001339>. Acesso em: 11 abr. 2025.

TIONG, T. J. *et al.* Numerical investigation of ultrasonic cleaning in the rubber glove industry: A comparison of the linear helmholtz and commander-prosperetti models. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, [s. l.], v. 207, jan. 2025. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0255270124004094>. Acesso em: 11 abr. 2025.