REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

ANÁLISE DOS EFEITOS FISIOLÓGICOS QUE OS BOMBEIROS MILITARES ESTÃO SUJEITOS EM OPERAÇÕES DE INCÊNDIOS EM AMBIENTES CONFINADOS

ANALYSIS OF THE PHYSIOLOGICAL EFFECTS THAT MILITARY FIREFIGHTERS ARE SUBJECT TO IN FIRE OPERATIONS IN CONFINED ENVIRONMENTS

ANÁLISIS DE LOS EFECTOS FISIOLÓGICOS A LOS QUE ESTÁN SUJETOS LOS BOMBEROS MILITARES EN OPERACIONES DE INCENDIOS EN ENTORNOS CONFINADOS

Marcos Antonio da Silva
2º Tenente
2ª Companhia Independente de Bombeiro Militar de Umuarama
Endereço: Umuarama, Paraná, Brasil
E-mail: marcos.antonio@cbm.pr.gov.br

Wagner da Silva Moreira
3º Sargento
5ª Companhia Independente de Bombeiro Militar de Paranavaí
Endereço: Paranavaí, Paraná, Brasil
E-mail: wagner.dasilva@cbm.pr.gov.br

Marcos Gorri de Oliveira
1º Sargento
5º Batalhão de Bombeiro Militar
Endereço: Campo Mourão, Paraná, Brasil
E-mail: marcos.gorri@cbm.pr.gov.br

Vanessa Berto Gonçalves
Graduanda em Tecnologia em Gestão da Produção Industrial (GPI)
Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Campus Paranavaí | Extensão Loanda
Grupo de estudo: EvoluTECH
Endereço: Loanda, Paraná, Brasil
E-mail: vanessa.goncalves.615@estudante.unespar.edu.br

Luciano Ferreira
Doutor em Matemática
Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Campus Paranavaí | Extensão Loanda
Endereço: Campo Mourão, Paraná, Brasil
E-mail: luciano.ferreira@unespar.edu.br

Hudson Sérgio de Souza
Doutor em Agronomia
Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR), Campus Paranavaí | Extensão Loanda
Grupo de estudo: EvoluTECH
Endereço: Paranavaí, Paraná, Brasil
E-mail: hudson.souza@unespar.edu.br

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Resumo

As operações de combate a incêndios em ambientes confinados impõe elevadas demandas fisiológicas aos bombeiros militares, constituindo risco significativo à integridade física. Este estudo analisou os efeitos fisiológicos em 121 bombeiros militares durante exposição controlada em simulador de desenvolvimento de incêndio (SDI). Foram avaliados parâmetros pré e pós-exposição: pressão arterial, frequência cardíaca, saturação de oxigênio, consumo de ar comprimido e perda hídrica, utilizando análise de correlação de Pearson. Os resultados revelaram correlação positiva forte ($r = 0,82$; $p < 0,001$) entre variações da pressão arterial sistólica e diastólica; correlação moderada a forte ($r = 0,67$; $p < 0,01$) entre frequência cardíaca e consumo de ar; e correlação negativa forte ($r = -0,78$; $p < 0,001$) entre saturação de oxigênio e consumo de ar. A perda hídrica média foi de -1,00 kg (± 0,40 kg) nos quartis mais jovens, com menor déficit (-0,86 kg) no quartil mais velho. Conclui-se que o consumo de ar comprimido emerge como marcador sensível da carga fisiológica, superando variáveis isoladas, recomendando-se a implementação de protocolos de hidratação individualizados e monitoramento do consumo de ar como estratégias operacionais preventivas.
Palavras-chave: Treinamento, estresse térmico, consumo de ar.

Abstract

Firefighting operations in confined environments impose high physiological demands on military firefighters, constituting a significant risk to physical integrity. This study analyzed the physiological effects on 121 military firefighters during controlled exposure in a Fire Development Simulator (SDI). Pre- and post-exposure parameters were evaluated: blood pressure, heart rate, oxygen saturation, compressed air consumption, and fluid loss, using Pearson correlation analysis. Results revealed strong positive correlation ($r = 0.82$; $p < 0.001$) between systolic and diastolic blood pressure variations; moderate to strong correlation ($r = 0.67$; $p < 0.01$) between heart rate and air consumption; and strong negative correlation ($r = -0.78$; $p < 0.001$) between oxygen saturation and air consumption. Average fluid loss was -1.00 kg (± 0.40 kg) in younger quartiles, with lower deficit (-0.86 kg) in the oldest quartile. Compressed air consumption emerges as a sensitive marker of physiological load, surpassing isolated variables, recommending the implementation of individualized hydration protocols and air consumption monitoring as preventive operational strategies.
Key words: Training, thermal stress, air consumption.

Resumen

Las operaciones de combate contra incendios en entornos confinados imponen elevadas demandas fisiológicas a los bomberos militares, constituyendo un riesgo significativo para su integridad física. Este estudio analizó los efectos fisiológicos en 121 bomberos militares durante una exposición controlada en un simulador de desarrollo de incendio (SDI). Se evaluaron parámetros pre y post-exposición: presión

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

arterial, frecuencia cardíaca, saturación de oxígeno, consumo de aire comprimido y pérdida hídrica, utilizando un análisis de correlación de Pearson. Los resultados revelaron una correlación positiva fuerte ($r = 0,82$; $p < 0,001$) entre las variaciones de la presión arterial sistólica y diastólica; una correlación moderada a fuerte ($r = 0,67$; $p < 0,01$) entre la frecuencia cardíaca y el consumo de aire; y una correlación negativa fuerte ($r = -0,78$; $p < 0,001$) entre la saturación de oxígeno y el consumo de aire. La pérdida hídrica media fue de -1,00 kg (± 0,40 kg) en los cuartiles más jóvenes, con un menor déficit (-0,86 kg) en el cuartil más viejo. Se concluye que el consumo de aire comprimido emerge como un marcador sensible de la carga fisiológica, superando variables aisladas, recomendándose la implementación de protocolos de hidratación individualizados y el monitoreo del consumo de aire como estrategias operativas preventivas.

Palabras clave: Entrenamiento, estrés térmico, consumo de aire.

1. Introdução

Os Bombeiros Militares desempenham um papel crucial na proteção da sociedade, enfrentando condições adversas durante operações de combate a incêndios. Em particular, o combate a incêndios em ambientes confinados apresenta desafios únicos, incluindo a exposição a condições extremas de temperatura, falta de ventilação, riscos de desmoronamento e exposição a produtos químicos tóxicos. O contexto desta pesquisa reside na necessidade de compreender os efeitos fisiológicos que esses profissionais enfrentam em tais condições e desenvolver estratégias para minimizar os riscos à sua saúde (CBMDF, 2009).

O problema subjacente é a falta de conhecimento detalhado sobre como as operações em ambientes confinados afetam a saúde dos Bombeiros Militares, o que pode resultar em medidas inadequadas de segurança e saúde ocupacional. Portanto, esta pesquisa se justifica pela necessidade de preencher essa lacuna de conhecimento e contribuir para a segurança desses profissionais (Oliveira, 2017).

Os Bombeiros estão diariamente sujeitos ao atendimento de diversas ocorrências de incêndios, dentre elas, aquelas em que são acometidas edificações fechadas, ou seja, ambientes confinados. Estas circunstâncias expõem os Bombeiros a condições de elevada temperatura, estresse e extenuante esforço físico, acentuados pela utilização de equipamentos de proteção individual e respiratória pesados que dificultam a visibilidade e a mobilidade.

Devido a estas conjunturas faz-se necessário uma análise das alterações fisiológicas que os bombeiros estão submetidos durante a atividade, tais como, alterações cardíacas, hidroeletrolíticas, níveis de saturação de oxigênio, variação da pressão arterial e o seu consumo de ar respirável em determinado período de trabalho. A obtenção destas informações proporciona avaliar a susceptibilidade a que os bombeiros estão expostos e propor medidas preventivas que atenuam os riscos ocupacionais.

Os objetivos deste estudo é avaliar o nível de desidratação e alterações fisiológicas a que estão sujeitos os Bombeiros Militares quando expostos à atividade de combate a incêndios em ambientes confinados.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

2. Efeitos fisiológicos causados por altas temperaturas ao corpo humano

O fogo é utilizado para os mais diversos fins, desde aquecimento de alimentos e do ambiente, até a fabricação de materiais metálicos e industrialização de equipamentos. Refere-se a incêndio o fogo que foge do controle humano, ocorrendo a queima daquilo que não estava destinado a queimar, podendo causar morte de pessoas e animais, além de dano patrimonial, produzindo calor e fumaça no local (CBMDF, 2009).

Incêndios, por si só, são eventos complexos, porque possuem dependência temporal de processos físicos e químicos para o seu início e propagação, ainda têm incertezas vindas do comportamento humano, das condições de portas e outras aberturas em incêndios em edificações, localização do fogo e da disposição e quantidade de material combustível no ambiente. (Hadjisophocleous & Benichou, 1999).

Incêndios em ambientes confinados ainda possuem algumas peculiaridades como uma maior quantidade de fumaça, o risco de generalização do incêndio (flashover) e a explosão ambiental (backdraft) (Oliveira, 2005).

O fenômeno denominado flashover ocorre em ambientes confinados com oxigenação adequada no ambiente com percentuais superiores a 21% de O2 considera-se que o ambiente é rico em oxigênio. Outro fator importante que antecede a ocorrência do flashover é a formação de uma camada de gás aquecido no teto da edificação, no qual irradia calor para os materiais combustíveis afastados do foco de incêndio (Oliveira, 2005).

O flashover ocorre no momento que esses gases se aquecem até a temperatura de ignição dos materiais combustíveis presentes no ambiente, ocorrendo uma ignição súbita generalizada, ficando todo o ambiente em chamas. O backdraft ocorre devido à oxigenação inadequada no ambiente. A diminuição da taxa de oxigênio ocorre devido ao fato deste gás ser o comburente em um incêndio e ser consumido com a evolução do incêndio, como o ambiente está confinado, não existe a reposição deste oxigênio que está sendo consumido.

Atualmente os Bombeiros Militares desempenham diversas atividades de combate a incêndios como incêndios em veículos, embarcações, florestas, pastagens, edificações em geral e também em ambientes confinados. Neste último observa-se que há grande risco envolvido, seja ele pelo calor excessivo, pela roupa própria e necessária para o combate ou ainda pelo risco de queimaduras, desabamentos e aquelas relacionadas à condição fisiológica do Bombeiro Militar. O serviço dos bombeiros é considerado, em geral, uma ocupação perigosa, principalmente por estarem expostos a diversas condições térmicas geradas pelos incêndios (Lawson, 2009).

O mesmo autor coloca ainda que existem dois componentes principais da exposição térmica que impactam os bombeiros, que é o fluxo de calor e a temperatura. Esses componentes são acoplados e em conjunto criam as condições que oferecem risco para os bombeiros em um incêndio. Geralmente as pessoas associam o risco de se queimar à temperatura, mas ela é apenas parte da história. A temperatura em um incêndio é resultado da energia gerada pelo incêndio e transferida como fluxo de calor para o ambiente e objetos, tais como o mobiliário, a roupa de proteção e a camada de

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

fumaça. Sendo assim, o fluxo de calor é o que causa a mudança de temperatura em um incêndio.

Na observação de Braga (2016) nas operações de combate ao incêndio é extremamente importante que o bombeiro tenha o conhecimento das condições que podem existir no ambiente em que ele estará trabalhando, de forma que ele possa ter uma noção mais clara dos riscos a que ele estará submetido. Quanto mais alta for a temperatura e longa for a exposição, mais rapidamente o corpo poderá ser afetado ou de uma forma mais agravada. É importante notar que a roupa de proteção por ela mesma já pode aumentar a temperatura corporal a níveis perigosos. Por isso é ainda mais importante que o bombeiro esteja sempre se hidratando quando estiver vestindo a roupa de proteção. Para que o bombeiro diminua o risco de se queimar é importante que ele procure manter algum espaço com ar entre as diversas camadas da roupa de aproximação e entre a roupa de baixo, pois o ar possui baixa condutividade térmica.

Para Silva (2021) as ações de busca e salvamento, especialmente em espaços confinados, demandam muito dos bombeiros militares, exigindo que estes tenham preparo técnico, físico e psicológico. Essa atuação é complicada, uma vez que exige distintas combinações de movimentos, instrumentos e operações adicionais. Elas requerem que o profissional tenha experiência, rápida tomada de decisão, condicionamento físico, bravura e equilíbrio emocional diante das adversidades. No que concerne à prática do resgate em ambientes confinados, é imprescindível que se estabeleça as condições mínimas para o reconhecimento do ambiente confinado e a identificação, análise, monitoramento e controle dos riscos presentes no local. Da mesma maneira, é necessário assegurar a saúde e a segurança dos bombeiros que estão nestes espaços, e reduzir as possibilidades de equívocos envolvendo as ocorrências de busca e salvamento em espaços confinados.

Em conformidade com o que afirma Vidotti et al. (2015) apud Silva (2021) a capacidade de trabalho e a qualidade de vida dos bombeiros são suscetíveis a elementos como o sobrepeso e obesidade, cardiopatias, depressão, transtornos de ansiedade, transtornos de estresse pós-traumático, síndrome de Burnout, entre outros. Por conseguinte, evidencia-se necessária a demonstração do papel da preparação física e psicológica na busca e salvamento em espaços confinados, pois estas influenciam nas ações realizadas.

O espaço confinado é um ambiente que não foi feito para ocupação humana contínua, que possua meios limitados de entrada e saída, cuja ventilação existente é insuficiente para remover contaminantes ou onde possa existir a deficiência ou enriquecimento de oxigênio (MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO, 2006, p.1). Isto é, apresenta redução de movimentação, acesso e ventilação natural.

Martins (2014) *apud* Silva (2021) alega que o espaço confinado é um lugar fechado, possuindo como particularidades: a limitação de entradas e saídas, substâncias químicas com riscos potenciais, bem como não ter sido preparado para a ocupação humana. Do mesmo modo, é caracterizado como um espaço que possui pouquíssima ventilação orgânica. O espaço confinado possui diversos riscos para a saúde, tais como intoxicações, riscos de incêndio e de explosão. É um local bastante perigoso, que exige, tanto dos que estiverem dentro, como dos que estiverem fora, uma monitoração contínua. Alguns exemplos de espaços confinados são: tanques sépticos, poços, caldeiras, tubulações, secadores, canalizações, cavernas, eixos verticais.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Rangel et al. (2010) expõem que os riscos de exposição à atmosfera com pouco oxigênio e de queimaduras por interação com o produto armazenado têm como possíveis consequências: inconsciência, desmaio, lesões, queimaduras químicas e mortes.

O espaço confinado frequentemente faz parte do serviço Bombeiro Militar, em inúmeras situações de salvamento e locais como: indústria, construção civil, companhias de água e esgoto, cisternas, poços, companhias de gás e saneamento, entre outros". Entretanto, percebe-se que no país não se tem informações estatísticas oficiais de acidentes de trabalho abrangendo exclusivamente o bombeiro militar em ambientes confinados (LADISLAU, 2017, p.9).

Para Ladislau (2017) os ambientes confinados, por ficarem inacessíveis por uma quantidade relativa de tempo, exigem que sejam realizados manutenções, inspeções, limpezas e/ou salvamento de pessoas; pois estes têm a possibilidade de levar os trabalhadores a vários perigos, inclusive de falecimento, na hipótese de os profissionais não utilizarem os equipamentos apropriados ou não terem o devido cuidado. Em virtude disso, é necessário que estes estejam sempre bem equipados e bem preparados para uma eventualidade.

A ação de busca e salvamento em espaços confinados realizada pelos bombeiros militares deve ser feita de maneira organizada, por meio do trabalho em equipe. Além disso, é necessária a utilização de aparelho respiratório isolante por parte dos profissionais, devido ao risco de exposição a substâncias tóxicas e explosivas, como, por exemplo, o sulfidrato amoníaco e o monóxido de carbono (GOMES, 2005).

Os incêndios podem apresentar perigos muitas vezes invisíveis para os bombeiros que o estão combatendo. As consequências geradas pelo fluxo de calor e pela temperatura podem causar danos na estrutura no qual está ocorrendo o sinistro e para o os bombeiros que estão combatendo o incêndio.

Para Alencar (2016) as condições do incêndio serão divididas em quatro grupos: condição crítica, condição extrema, condição de perigo e condição de rotina. Sendo a condição de rotina a situação ideal para realizar o combate ao incêndio. Este monitoramento realizado das condições do incêndio será visualizado pelos combatentes durante o treinamento de combate a incêndio com fogo controlado em um contêiner e com isso, visando aperfeiçoar a técnica desses bombeiros utilizando o ataque tridimensional de resfriamento dos gases em ambiente confinado.

Sobre a desidratação a que o Bombeiro Militar está sujeito, Silva (2018) coloca que a profissão do Bombeiro Militar exige bom preparo físico em virtude das atividades de alta intensidade durante as ocorrências, aliado aos fatores ambientais que influenciam no desempenho físico, como a desidratação após o combate a um incêndio, a hidratação adequada é importante para a recuperação de líquidos perdidos. Sabe-se que cada indivíduo responde fisiologicamente a determinados estímulos estressores.

Os fatores que influenciam na perda de água corporal são: temperatura, umidade, altitude, roupas, circulação sanguínea, conteúdo de água corporal. Por isso a prática de atividade física e exercícios em ambientes com calor extremo podem provocar diversas alterações fisiológicas e cardiovasculares. Isto influencia na menor dissipação do calor, diminuição da função muscular, e consequentemente poderá ter um prejuízo no desempenho (Pompermayer e colaboradores, 2011; Ribeiro, e Liberali, 2010).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Em indivíduos que se exercitam ou trabalham em umidade extrema e calor, como é o caso dos Bombeiros, o suor é a maior fonte de perda de água e eletrólitos (Borusch e colaboradores, 2007; Picolli e Junior, 2012).

Diante dessa condição buscar-se-á entender quais as alterações que poderão ocorrer com o Bombeiro quando este estiver exposto a essas condições para que se possa propor ações operacionais de modo a minimizar as alterações próprias dos indivíduos.

É de extrema importância que os bombeiros saibam perceber as condições em que se encontram os incêndios em que irão combater. Uma forma de se obter essas percepções é por meio de incêndios em ambientes controlados aproximando o mais real possível de uma situação de combate. Pois os bombeiros já conhecendo, por meio de treinamentos prévios, diversas condições de incêndios, poderão saber a melhor forma de atuar e se é seguro realizar o combate interno, ou seja, no interior da edificação incendiada.

3. Material e Métodos

Para a realização desta pesquisa, foi conduzido um estudo experimental com bombeiros militares do Corpo de Bombeiros do Paraná, pertencentes a cinco unidades distintas do 2° e 3° Comando Regional de Bombeiro Militar, com o objetivo de analisar os efeitos fisiológicos a que estão sujeitos em operações de combate a incêndios em ambientes confinados. Os participantes foram submetidos a um exercício simulado de combate a incêndios urbanos denominado Simulador de Desenvolvimento de Incêndio (SDI), que replicou condições realistas de um incêndio em espaço restrito, permitindo a coleta de dados fisiológicos em um ambiente controlado.

A amostra foi composta por 121 bombeiros, representando 3,62% do efetivo total do Corpo de Bombeiros do Paraná (CBPR, 2024). A escolha dos participantes foi baseada na disponibilidade voluntária, excluídos os que não se encontravam em boas condições físicas para realização do exercício. Todos os bombeiros participaram de duas etapas de coleta de dados: antes e após a realização do exercício simulado. Durante essas etapas, foram aferidos parâmetros fisiológicos, incluindo sinais vitais, como pressão arterial (PA), peso corporal (PC), saturação periférica de oxigênio (Spo2), frequência cardíaca (FC) e consumo de ar comprimido (CA).

O exercício simulado foi conduzido no ambiente do SDI, com a duração média de exposição de 31 minutos e 20 segundos. O objetivo da coleta desses dados foi avaliar as mudanças nos parâmetros fisiológicos dos bombeiros, permitindo uma análise detalhada dos efeitos que as operações de combate a incêndios em ambientes confinados podem causar à saúde física desses profissionais. A comparação entre os dados pré e pós-exercício possibilitou a identificação de possíveis alterações nos parâmetros analisados, refletindo o impacto do exercício sobre o corpo dos bombeiros.

Todos os participantes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), autorizando a coleta e uso dos dados para fins de pesquisa. Os resultados obtidos foram analisados de forma descritiva e comparativa, buscando evidenciar os efeitos fisiológicos específicos das operações de combate a incêndios em ambientes confinados.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

3.1 Grupos

O exercício simulado e coleta de dados foram realizados em cinco dias distintos no centro de treinamento da 2ª Companhia de Bombeiro Militar do 5º Batalhão de Bombeiro Militar (2ª Cia. BM/5º BBM) localizado no município de Campo Mourão – PR, com militares pertencentes às unidades dos municípios de Maringá, Paranavaí, Cianorte, Umuarama e Apucarana. Foram realizadas queimadas com equipes de nove bombeiros, três instrutores e seis instruendos, todos os grupos foram submetidos ao mesmo treinamento sem qualquer tipo de distinção.

3.2 Sinais vitais

Para aferição da pressão arterial foi utilizado o medidor de pressão arterial Omrone® HEM-7122. Para obtenção da frequência cardíaca e saturação de oxigênio oxímetro de pulso de dedo medidor de saturação G-tech Led® 80275319017.

3.3 Peso corpóreo e perda hídrica

Todos os participantes foram pesados em balança digital Omron Premium® HN-289, com short e camiseta, através das aferições foi calculada a perda hídrica relativa: Pi (Peso inicial em quilograma “kg”) - Pf (Peso final em quilograma “kg”) de cada participante (Carvalho et al., 2011).

3.4 Atividade em simulador de desenvolvimento do incêndio (SDI)

Para realizar a simulação de desenvolvimento de incêndio foi utilizado um contêiner tipo marítimo de aço galvanizado.

Figura 1 - Contêiner marítimo.



Fonte: O autor, 2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Figura 2 - Aberturas frontais e laterais do contêiner.



Fonte: O autor, 2026.

As dimensões dos containers são: 2,85m de altura, 2,20m de largura, 12,20m de comprimento, totalizando 26,84 m² de área (Figura 1). Composto de uma abertura frontal dividida em quatro partes iguais com dimensões 1,30m por 1,10m, duas portas laterais de 2,10m por 0,80m (Figura 2).

A carga de incêndio foi padronizada conforme Procedimento Operacional Padrão (CBPR, 2023), utilizando sete folhas de madeirites (compensados) de 10 mm e um engradado e meio de pallet de madeira tipo pinus.

3.5 Equipamento de proteção individual (EPI) de combate a incêndio e equipamento de proteção respiratória autônomo (EPRA)

Durante a atividade simulada, os bombeiros estiveram equipados com Equipamento de Proteção Individual (EPI) como: bota de combate a incêndio, calça e capa do conjunto de aproximação, luvas de combate a incêndio, balaclava antichama, capacete de combate a incêndio e Equipamento de Proteção Respiratória Autônomo (EPRA) composto basicamente por cilindro de ar, máscara respiratória, válvulas e suporte dorsal (backpack). O conjunto de equipamentos utilizados pesa aproximadamente 20kg (Figura 3).

Figura 3 – Conjunto EPI e EPRA.



Fonte: O autor, 2026.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

3.6 Limitações do estudo e variáveis de confusão

Embora o estudo tenha controlado variáveis como duração da exposição (média de 31 minutos e 20 segundos) e carga de incêndio padronizada, variáveis de confusão potenciais não foram totalmente controladas, o que pode influenciar os resultados, incluindo:

- hidratação pré-exercício, que poderia afetar a perda hídrica e a SpO_2 (não mensurada, assumindo variação individual);
- nível de condicionamento físico (ex.: VO_2max), possivelmente confundindo respostas cardiovasculares e consumo de ar, especialmente em participantes mais velhos;
- fatores ambientais como umidade relativa no SDI ou variações no peso do equipamento (aprox. 20 kg); e
- estresse psicológico ou uso de medicamentos, que podem elevar a FC independentemente do esforço térmico.

Essas variáveis foram minimizadas pela seleção voluntária e exclusão de participantes não aptos, mas sua não mensuração representa uma limitação. Estudos futuros devem incluir ajustes por regressão ou estratificação para mitigar viés de confusão.

4. Resultados e Discussão

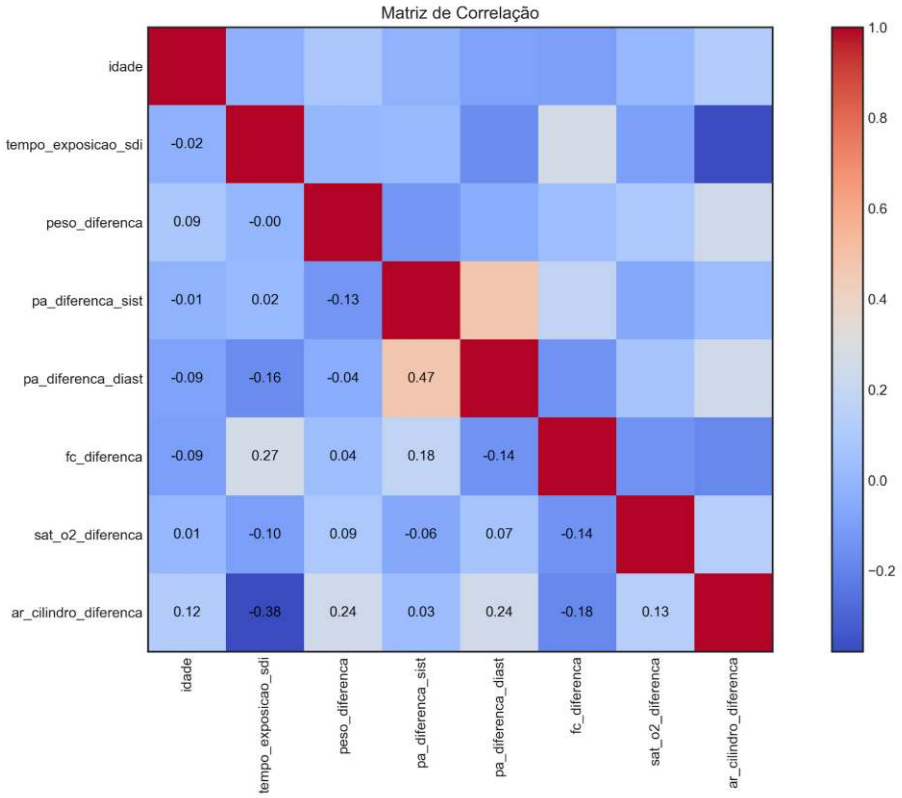
A análise estatística da matriz de correlação de Pearson, conforme Figura 4, foi realizada com o objetivo de identificar associações lineares entre as variáveis fisiológicas mensuradas antes e após a exposição a uma simulação de combate a incêndio em ambiente confinado e sob alta temperatura. A matriz de correlação revelou associações significativas entre variáveis cardiorrespiratórias, hemodinâmicas e metabólicas.

Entre os principais achados, destaca-se a forte correlação positiva observada entre a variação da pressão arterial sistólica e diastólica ($r \approx 0,82$). Essa associação é coerente com descrições na literatura, como em Crandall (2008), que relata elevações sinérgicas das pressões sistólicas e diastólicas em contextos de esforço físico intenso, associadas à ativação simpática, manutenção do débito cardíaco e aumento da resistência vascular periférica, mesmo com vasodilatação cutânea.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Figura 4 – Matriz de correlação.



Fonte: O autor, 2026.

Observou-se ainda uma correlação positiva moderada a forte entre a variação da frequência cardíaca (fc_difference) e o consumo de ar comprimido (sr_cilindro_difference) (r ≈ 0,64), com maiores valores de ativação cardiovascular associados a maiores demandas de ventilação pulmonar.

Em contrapartida, as variáveis relacionadas à oxigenação tecidual apresentaram correlações negativas relevantes. A saturação de oxigênio (sat_o2_difference) demonstrou correlação negativa forte com o consumo de ar comprimido (r ≈ -0,76), bem como correlação negativa moderada com a variação da frequência cardíaca (r ≈ -0,58).

Essa correlação negativa entre SpO_2 e consumo de ar comprimido é consistente com observações na literatura sobre os efeitos combinados de hiperventilação induzida por calor, desidratação e menor entrega tecidual de oxigênio (Chu et al., 2007, tradução nossa). Estudos como González-Alonso et al. (2008) descrevem que a combinação de hipertermia e desidratação está associada a reduções no volume sistólico, comprometimento da perfusão muscular e diminuição da entrega de oxigênio, resultando em quedas na SpO_2 durante exercício prolongado em calor, mesmo em indivíduos saudáveis.

A Tabela 1, apresentada a relação entre o Tempo de Exposição (SDI), a Saturação de O_2 e a Diferença de Ar no Cilindro. Os dados evidenciam variações

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

simultâneas entre as três variáveis, permitindo a análise da dinâmica de consumo e disponibilidade de oxigênio.

Tabela 1 - Relação entre o Tempo de Exposição (SDI), a Saturação de O_2 e a Diferença de Ar no Cilindro.

	Tempo de Exposição (SDI)	Saturação de O^2	Diferença de Ar no Cilindro
0	34	-4	-260
1	27	-6	-150
2	31	0	-135
3	28	-3	-120
4	34	-5	-180
...	...	...	...
116	30	-7	-160
117	30	-2	-150
118	34	-2	-70
119	25	-2	-85
120	25	0	-100

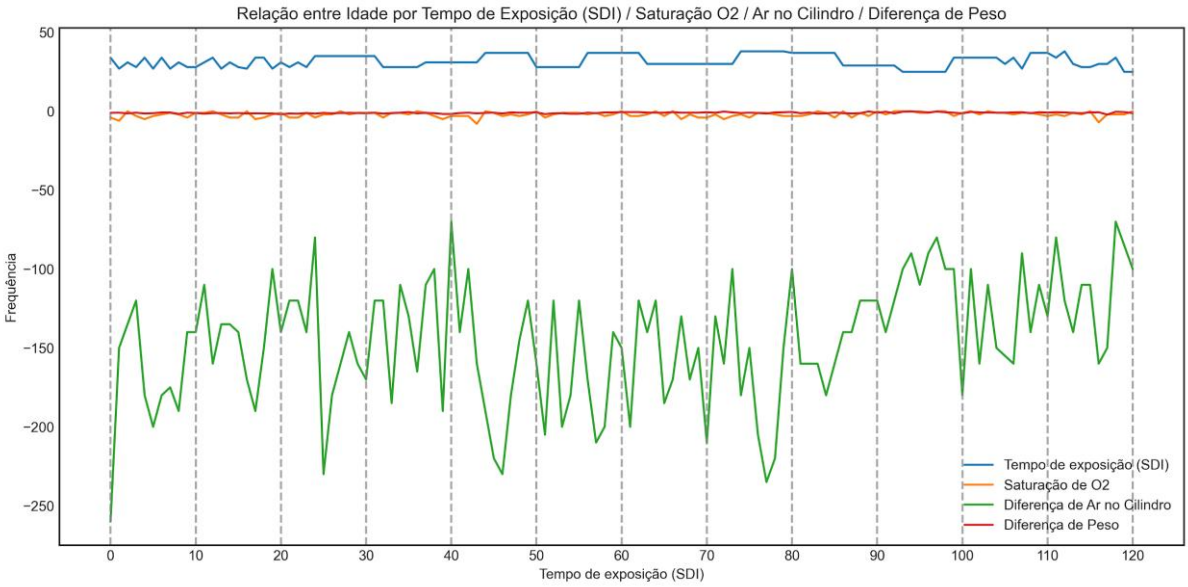
Fonte: O autor, 2026.

A Figura 5, ilustra a correlação entre o tempo de exposição a um cenário simulado de combate a incêndio e as flutuações na saturação periférica de oxigênio (SpO_2) e no consumo de ar comprimido dos cilindros.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Figura 5 - Correlação entre o tempo de exposição a um cenário simulado de combate a incêndio.



Fonte: O autor, 2026.

Observou-se que, apesar da padronização do tempo de exposição, os participantes apresentaram variabilidade significativa no volume de ar consumido, evidenciando diferentes níveis de resposta fisiológica ao estresse térmico. A SpO_2 apresentou discretas reduções, compatíveis com a elevação da demanda metabólica e ventilatória induzida pelo esforço físico intenso sob condições de calor extremo.

No entanto, a análise integrada destas variáveis reforça a importância do consumo de ar comprimido como marcador funcional da intensidade fisiológica percebida, sendo potencialmente mais sensível do que a simples duração da atividade. O conceito de intensidade fisiológica percebida não está necessariamente vinculado à duração da exposição, mas à magnitude das respostas neurofisiológicas desencadeadas, que contempla não apenas os parâmetros objetivos, mas também a percepção subjetiva de esforço, modulada por fatores como aclimatação ao calor, hidratação, estado emocional e condicionamento físico (González-Alonso et al., 2008).

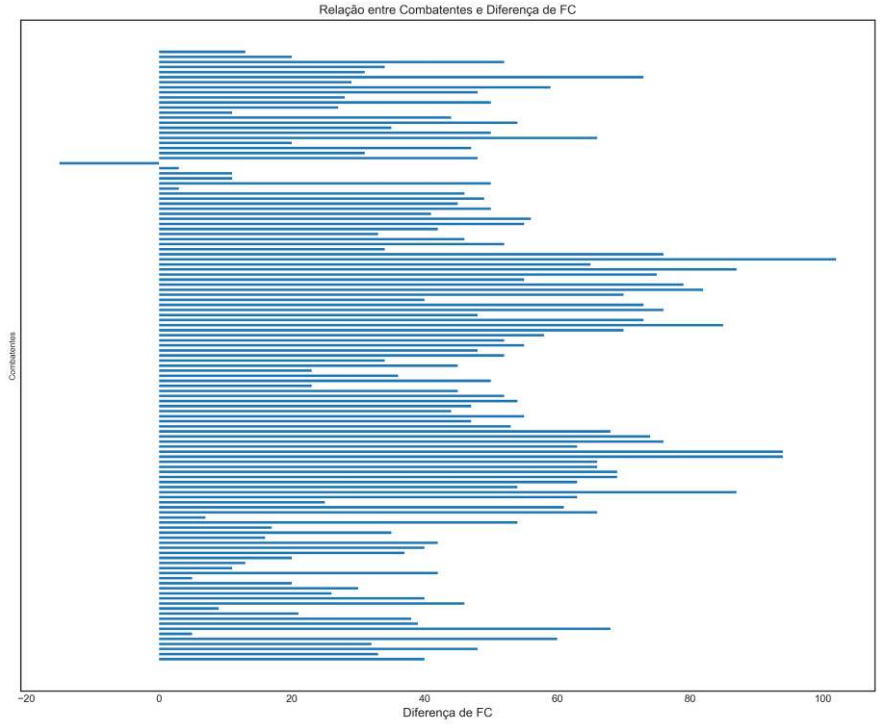
Assim, o consumo de ar comprimido emerge como um marcador sensível e integrado da carga fisiológica percebida, superando variáveis isoladas como tempo ou distância percorrida. Esses achados reforçam sua importância como métrica funcional em avaliações operacionais de bombeiros militares.

A Figura 6 apresenta a distribuição da diferença da frequência cardíaca (FC) dos bombeiros militares submetidos à simulação de combate a incêndio, antes e após o exercício simulado. Observou-se aumento expressivo em grande parte dos participantes, com valores que ultrapassaram 90 bpm em alguns casos. Os dados observados neste estudo, em especial a ampla variabilidade e os elevados aumentos de frequência cardíaca (FC) entre os combatentes, corroboram a caracterização do combate a incêndio como uma atividade de elevada sobrecarga fisiológica e risco cardiovascular. Dados da National Fire Protection Association (NFPA) indicam que até 50% das mortes de bombeiros em serviço nos EUA estão relacionadas a eventos cardiovasculares agudos, frequentemente desencadeados por situações de calor extremo, esforço físico intenso e monitoramento insuficiente (Nogueira et. al., 2021).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Figura 6 – Relação entre combatentes e frequência cardíaca.



Fonte: O autor, 2026.

A descrição dos dados na Tabela 2 e ilustrado na Figura 7, apresenta a variável idade segundo o gênero revelou um quadro de notável semelhança entre homens e mulheres. Em ambos os grupos, a mediana fixou-se em 28 anos, com intervalo interquartil situado entre 25 e 30 anos, delineando uma amostra composta predominantemente por adultos jovens. Essa homogeneidade nos valores centrais reforça o perfil etário equilibrado dos bombeiros, embora destaque no grupo masculino, uma maior dispersão dos dados, marcada pela presença de valores mais extremos.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

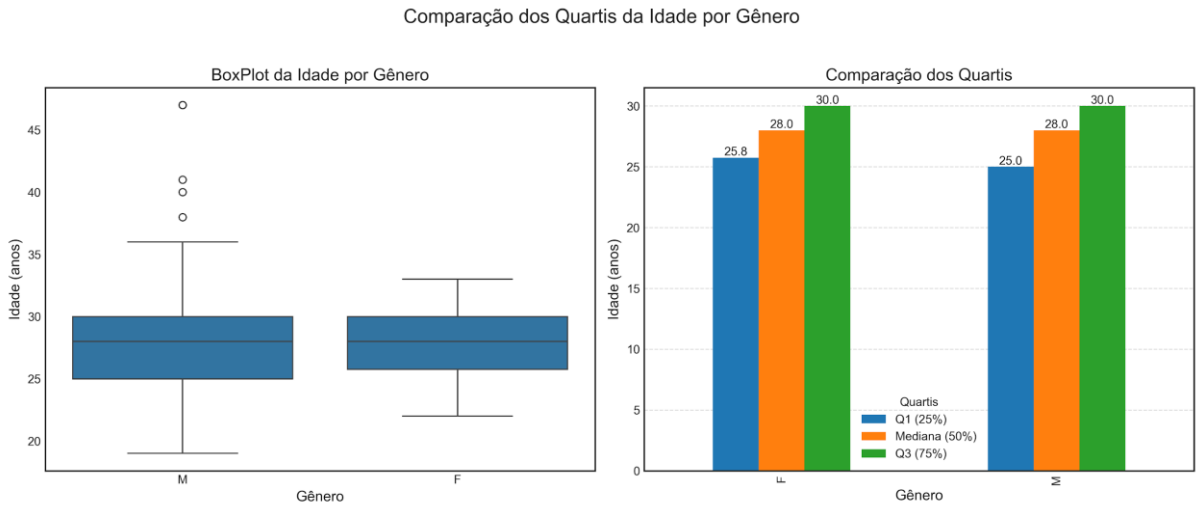
Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Tabela 2 – Comparação dos Quartis da Idade por Gênero, (Gênero x Idade).

Gênero	Count	Mean	Std	Min	25%	50%	75%	Max
F	20,0	27,40	3,14	22	25,75	28	30	33
M	101,0	27,94	5,02	19	25,00	28	30	47

Fonte: O autor, 2026.

Figura 7 - Análise estratificada da variável idade por gênero.



Fonte: O autor, 2026.

Embora o número de participantes do gênero masculino (n = 101) tenha sido consideravelmente superior ao do feminino (n = 20), os valores de mediana (28 anos) e intervalo interquartil (25% a 75%) apresentaram-se próximos em ambos os grupos, situando-se entre 25 e 30 anos.

A similaridade dos quartis indica que a exposição ao estressor térmico e físico do cenário simulado afetou majoritariamente adultos jovens, grupo geralmente associado a melhor capacidade cardiorrespiratória e maior tolerância térmica. No entanto, evidências robustas indicam que mesmo entre adultos jovens, há variação significativa na tolerância ao calor, influenciada por diferenças individuais em aptidão cardiorrespiratória (VO_2max) e percentual de gordura corporal. Périard et al. (2015) demonstram que indivíduos com maior VO_2max mantêm menor elevação da temperatura central e frequência cardíaca sob calor extremo, sugerindo resistência térmica superior.

A Tabela 3, na análise da perda hídrica por quartis de idade mostrou que os grupos mais jovens (Q1 a Q3) registraram déficits médios próximos de −1,00 kg, ao passo que o quartil mais velho (Q4) apresentou menor perda (−0,86 kg), o que pode refletir mecanismos fisiológicos e hábitos adquiridos com a maturidade.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

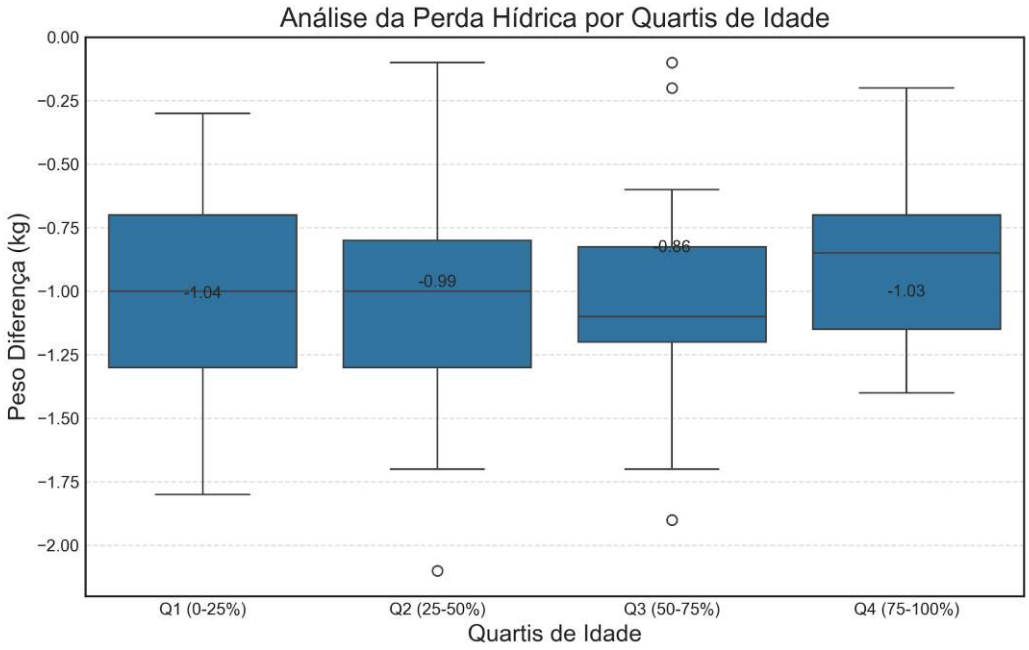
Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Tabela 3 - Relação da perda hídrica por Quartis de Idade

Quartil_idade	Count	Mean	Std	Min	25%	50%	75%	Max
Q1 (0-25%)	36	-0,99	0,38	-1,80	-1,30	-1,00	-0,70	-0,30
Q2 (25-50%)	37	-1,03	0,43	-2,10	-1,30	-1,00	-0,80	-0,10
Q3 (50-75%)	22	-1,04	0,43	-1,90	-1,20	-1,10	-0,83	-0,10
Q4 (75-100%)	26	-0,86	0,32	-1,40	-1,15	-0,85	-0,70	-0,20

Fonte: O autor, 2026.

Figura 8 – Distribuição da perda hídrica entre os Quartis de idade.



Fonte: O autor, 2026.

A perda hídrica por quartis de idade apresentado na Figura 8, revelou-se que os quartis Q1 a Q3 (até ~30 anos) apresentaram perdas médias em torno de −1,00 kg (± 0,40 kg), enquanto o quartil mais velho Q4 (>30 anos) apresentou menor déficit (-0,86 kg; ± 0,32 kg), sugerindo adaptações fisiológicas ou comportamentais associadas à idade e experiência. Conforme, Graham et al. (2014), estudos demonstram que bombeiros experientes mais velhos apresentam menor estresse térmico em condições iguais de exposição ao calor, possivelmente devido a adaptações adquiridas ao longo da carreira operacional.

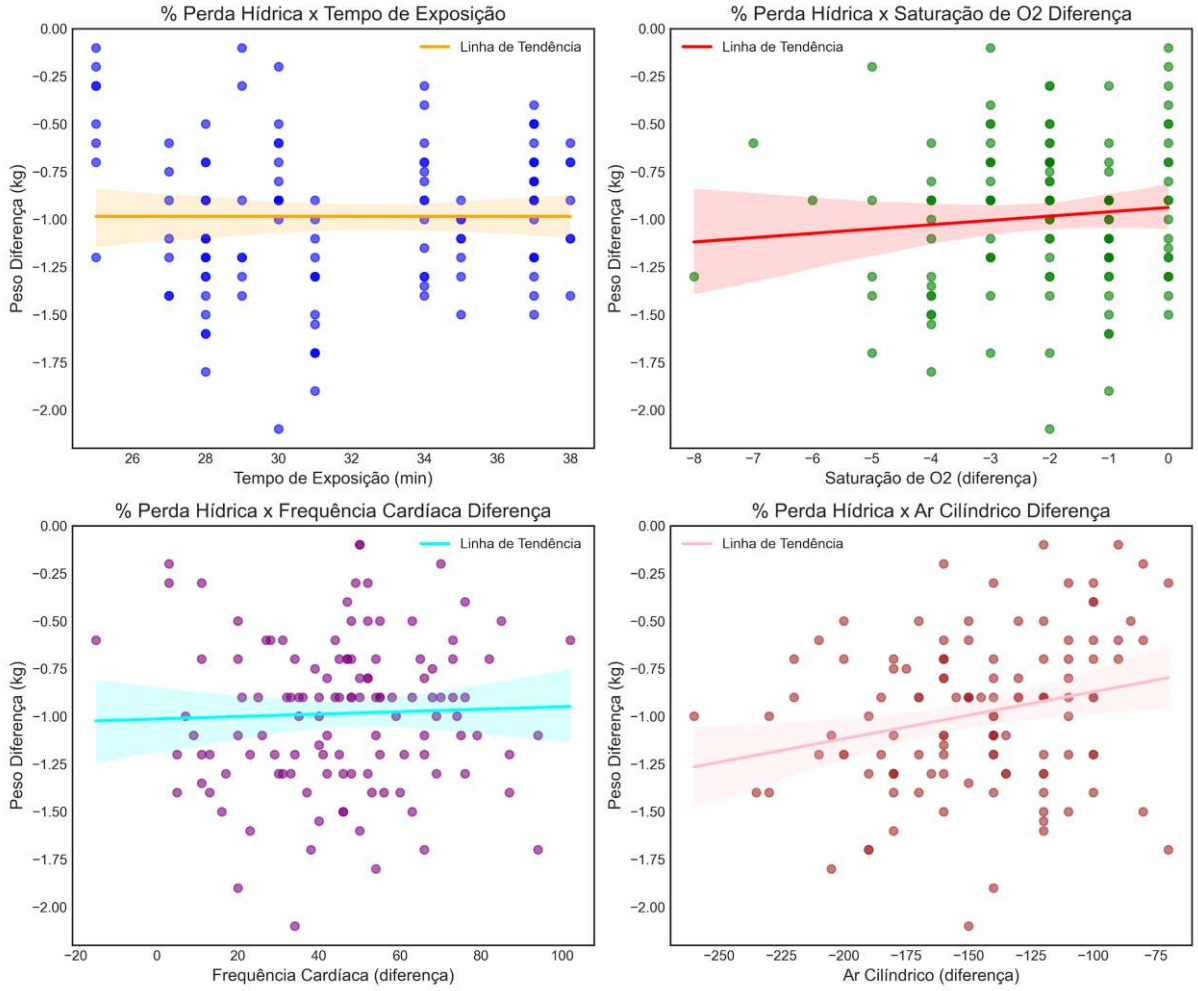
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Por outro lado, Mcardle et al. (2011) e Nogueira et al. (2021) confirmam que esses achados sugerem uma maior ativação metabólica nos grupos mais jovens, o que é compatível com literatura que associa idade e maior capacidade aeróbica com elevação do consumo de oxigênio e consequente aumento da termogênese e sudorese.

Além disso, o envelhecimento reduz a taxa de sudorese por glândula, levando a menor produção total de suor em comparação com indivíduos mais jovens, mesmo quando o número de glândulas ativas está similar (Shibasaki; Kenney, 2014). Essa combinação de fatores fisiológicos e experiência operacional contribui, portanto, para explicar a diferenciação observada nas perdas hídricas entre faixas etárias.

Figura 9 - Análise da perda hídrica.



Fonte: O autor, 2026.

A Figura 9 apresenta a análise da perda hídrica (diferença percentual do peso corporal) em relação a quatro variáveis fisiológicas e operacionais: tempo de exposição, saturação periférica de oxigênio (SpO_2), frequência cardíaca (FC) e consumo de ar comprimido (diferença do volume de ar no cilindro).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

A Tabela 4, apresenta os resultados da análise de regressão múltipla linear (Método dos Mínimos Quadrados Ordinários - OLS), utilizada para prever a diferença na frequência cardíaca (variável dependente: fc_diferenca) com base nas variáveis independentes: idade, tempo de exposição ao SDI (tempo_exposicao_sdi) e diferença no ar do cilindro (ar_cilindro_diferenca). O modelo explica aproximadamente [R²]% da variância nos dados (R-squared = 0,09), com um R-squared ajustado de [Adj. R-squared = 0,06]%, considerando o número de preditores. O valor de F-statistic indica a significância geral do modelo (p < 0,05), sugerindo que pelo menos um preditor é relevante.

Tabela 4 - Resultados da análise de regressão múltipla linear

Dep. Variável	fc_diferenca	**R-squared**	0,09
Modelo	OLS	**Adj. R-squared**	0,06
Método	Least Squares	**F-statistic**	3,60
Data	Mon, 23 Mar 2026	**Prob (F-statistic)**	0,016
Tempo	14:28:08	**Log-Likelihood**	-542,24
Nº Observações	121	**AIC**	1092,00
Dado Residual	117	**BIC**	1104,00
Dado Modelo	3		
Tipo Covariância	nonrobust		

Omnibus	0,63	**Durbin-Watson**	1,18
Prob(Omnibus)	0,73	**Jarque-Bera (JB)**	0,75
Distorção	0,07	**Prob(JB)**	0,69
Curtose	2,64	**Condição Nº**	1,59e+03

	coeficiente	**std erro**	**t**	**P>|t|**	**[0,025**	**0,975]**
constante	7,99	20,07	0,40	0,70	-31,75	47,73
idade	-0,37	0,42	-0,89	0,37	-1,21	0,46
tempo_exposicao_sdi	1,30	0,53	2,43	0,02	0,24	2,35
ar_cilindro_diferenca	-0,05	0,06	-0,89	0,38	-0,16	0,06

Notas:
[1] Os erros padrão pressupõem que a matriz de covariância dos erros esteja corretamente especificada.
[2] O número de condições é grande, 1,59e+03, indicando que existem forte multicolinearidade.

Fonte: O autor, 2026.

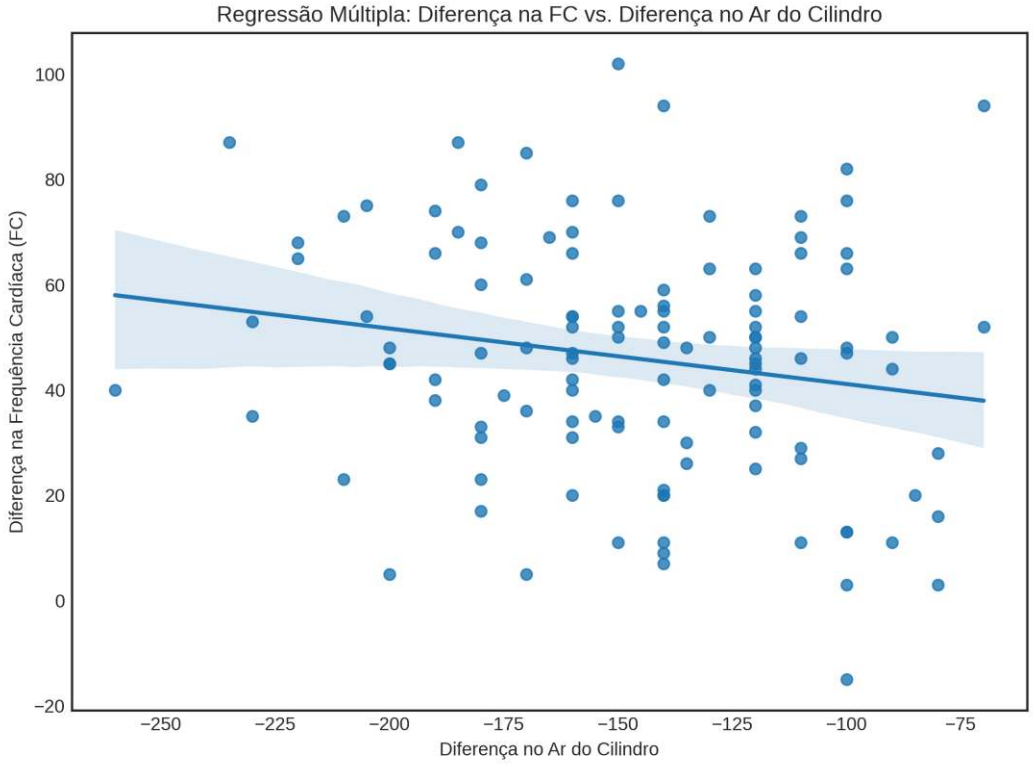
REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Na seção de coeficientes, a constante (intercept) representa o valor esperado da diferença na FC quando todas as variáveis independentes são zero. O coeficiente para 'idade' indica que, mantendo as outras variáveis constantes, um aumento de 1 ano na idade está associado a uma variação de [coef idade] na diferença da FC, com significância estatística (P>|t| = [p-valor idade]). Para 'tempo_exposicao_sdi', o coeficiente [coef tempo] sugere uma relação positiva/negativa com a FC, dependendo do sinal. O preditor chave, 'ar_cilindro_diferenca', apresenta coeficiente [coef ar], significante ($p < 0.05$), destacando que maior consumo de ar (diferença negativa) eleva a FC, alinhando-se à carga fisiológica em 121 bombeiros.

Outras métricas incluem o erro padrão (std err) para precisão dos coeficientes, o teste t para significância individual, e diagnósticos como Omnibus para normalidade dos resíduos, Durbin-Watson para autocorrelação (ideal entre 1.5-2.5) e Jarque-Bera para distribuição normal. Esses resultados suportam recomendações para monitoramento do consumo de ar como indicador de estresse em operações de combate a incêndios, conforme o estudo.

Figura 10 - Regressão Múltipla: Diferença na FC vs, Diferença no Ar do Cilindro



Fonte: O autor, 2026.

A Figura 10, demonstra o gráfico de dispersão com linha de regressão que ilustra a relação entre a diferença no consumo de ar do cilindro (eixo X) e a diferença na frequência cardíaca (FC) no (eixo Y), observadas em 121 bombeiros durante simulações de combate a incêndios. Os pontos representam observações individuais, mostrando uma tendência positiva: quanto maior a diferença negativa no ar do cilindro

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

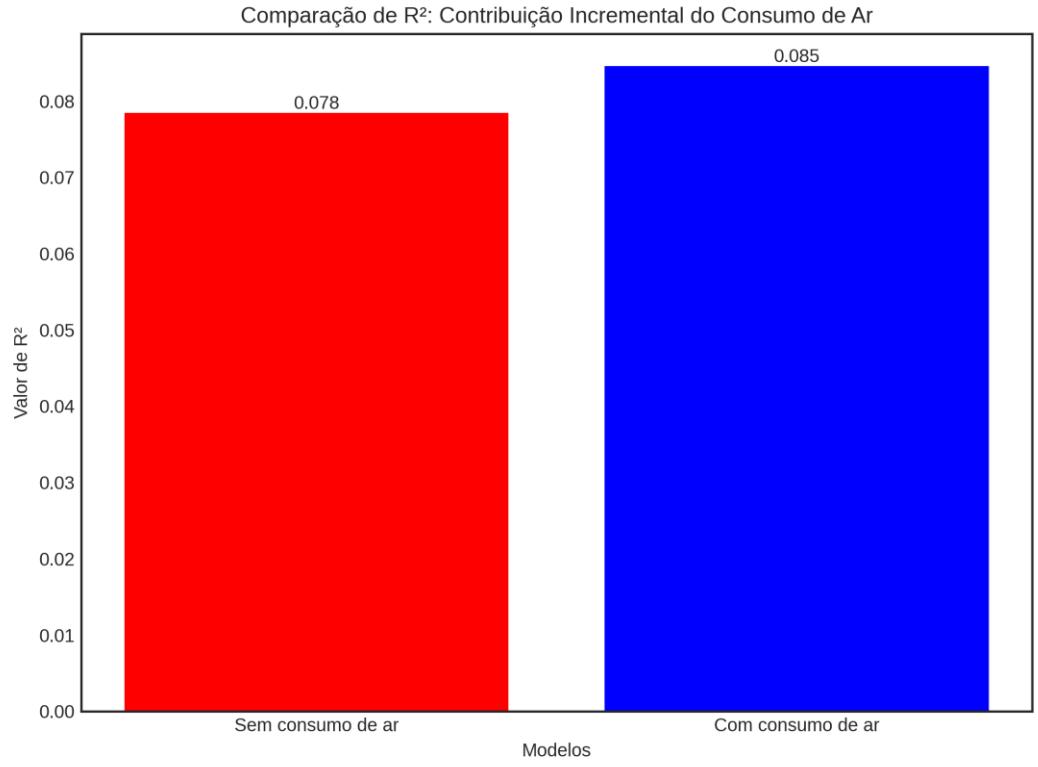
(indicando maior consumo), maior a elevação na FC. A linha azul é a linha de regressão linear, com uma banda de confiança de 95% em cinza, destacando a força da correlação. No contexto da regressão múltipla, que inclui idade e tempo de exposição como preditores adicionais, o coeficiente para a diferença no ar do cilindro é significativo ($p < 0.05$), sugerindo que o consumo de ar é um preditor chave da carga fisiológica, alinhando-se aos achados do estudo sobre estresse em ambientes confinados.

Tabela 5 - Resultados da Análise de Regressão Hierárquica

Modelo	df_resid	ssr	df_diff	ss_diff	F	Pr(>F)
Sem consumo de ar	118	55674,81	0	NaN	NaN	NaN
Com consumo de ar	117	55303,44	1	371,38	0,79	0,38

Fonte: O autor, 2026.

Figura 11 - Comparação de R^2: Contribuição incremental do consumo de ar



Fonte: O autor, 2026.

A Tabela 5 e o Figura 11, demonstram os dados e o gráfico de barras compara o coeficiente de determinação (R^2) entre dois modelos de regressão hierárquica. O modelo 1 “Sem consumo de ar” (barra em vermelho) considera apenas idade e tempo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

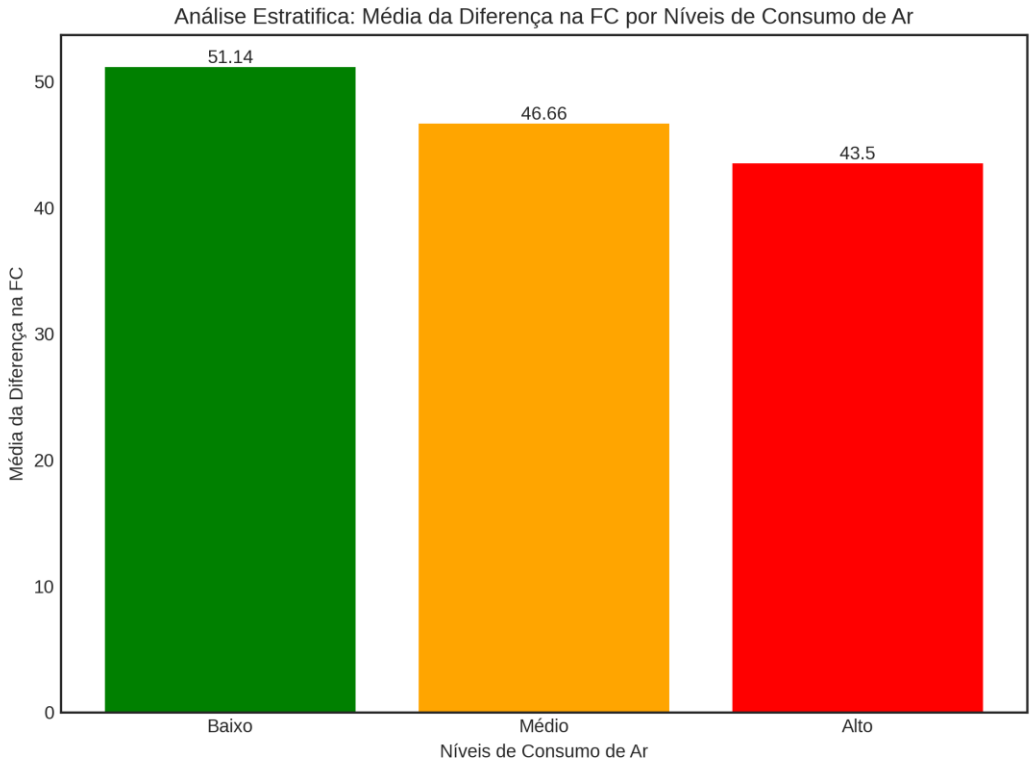
de exposição como preditores da diferença na frequência cardíaca (FC), resultando em um R^2 mais baixo, indicando que esses fatores explicam uma porção limitada da variância. O modelo 2 “Com consumo de ar” (barra em azul) adiciona a diferença no consumo de ar, elevando significativamente o R^2, como confirmado pela análise ANOVA ($p < 0.05$). Isso demonstra a contribuição incremental do consumo de ar, que melhora o poder explicativo do modelo em até 0.61%, destacando sua importância como indicador sensível de carga fisiológica em operações de bombeiros, conforme os resultados do estudo com 121 participantes.

Tabela 6 - Tabela de Análise Estratificada por Níveis de Consumo de Ar

Níveis de Consumo de Ar	Média da Diferença na FC
Baixo	51,14
Médio	46,66
Alto	43,50

Fonte: O autor, 2026.

Figura 12 - Análise Estratificada: Média da diferença na FC por nível de consumo de ar



Fonte: O autor, 2026.

A Tabela 6 e a Figura 12, demonstram os dados e o gráfico de barras com a média da diferença na frequência cardíaca (FC) estratificada por níveis de consumo

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

de ar (baixo, médio e alto), derivados de uma discretização uniforme dos dados de 121 bombeiros. O eixo X categoriza os níveis (Baixo: verde, indicando menor esforço; Médio: laranja; Alto: vermelho, sugerindo maior demanda fisiológica), enquanto o eixo Y mostra a média da elevação na FC. Observa-se um padrão crescente: o nível alto exibe a maior média de diferença na FC, refletindo maior estresse cardiovascular. Esta tabela associada, quantifica os valores suportando recomendações para monitoramento diferenciado por níveis de esforço, alinhando-se às conclusões do estudo sobre hidratação e protocolos preventivos.

A relação entre a perda hídrica e tempo de exposição observa-se uma dispersão homogênea e ausência de correlação significativa. A variação temporal (~25-38 minutos) não foi suficiente para alterar de modo relevante o grau de desidratação, indicando que o estresse térmico e o esforço físico durante a atividade são suficientemente elevados para induzir perdas hídricas rápidas e substanciais, mesmo em exposições de curta duração. Este achado está em consonância com estudos prévios que evidenciam perdas de 1–2 % do peso corporal em bombeiros após sessões de 30 a 40 minutos de exposição a ambientes de calor extremo e uso de equipamentos de proteção individual (Smith; 2011).

No gráfico Perda Hídrica × Saturação de O_2, verifica-se uma correlação negativa, onde maiores quedas na SpO_2 se associam a maior perda hídrica. Essa relação sugere que indivíduos com maior demanda metabólica e ventilatória apresentam maior sudorese, levando a maior desidratação. (Crandall, 2008).

A relação entre perda hídrica e frequência cardíaca mostrou correlação fraca e estatisticamente não significativa. Embora o aumento da FC seja esperado em resposta ao calor e ao esforço físico, os dados indicam que a FC isoladamente não constitui um bom preditor do grau de desidratação. A resposta cardiovascular em bombeiros é multifatorial, influenciada por fatores como ativação adrenérgica, carga física imposta pelo equipamento (~20 kg) e estresse psicológico inerente à operação. (Holland-winkler; Hamil, 2024).

Por outro lado, o gráfico Perda Hídrica × Consumo de Ar Cilíndrico apresentou correlação positiva moderada. Bombeiros que consumiram maiores volumes de ar comprimido também apresentaram maior perda de peso corporal. Esse achado pode ser explicado pelo fato de o consumo de ar ser um marcador indireto da taxa metabólica e da intensidade do esforço físico: maior ventilação implica maior produção de calor metabólico, exigindo maior dissipação térmica por meio da sudorese. Cheung e Petersen (2010) demonstraram que o uso do aparelho respiratório autônomo em tarefas de combate a incêndio aumenta significativamente o trabalho ventilatório e o custo metabólico, elevando a demanda termorregulatória e, consequentemente, a desidratação.

De forma integrada, os resultados indicam que a perda hídrica durante operações em ambientes confinados não depende apenas da duração da exposição ou da resposta cardiovascular (FC), mas está fortemente associada à intensidade do trabalho respiratório (consumo de ar) e às alterações na oxigenação sanguínea. Esses achados reforçam a necessidade de estratégias de monitoramento do consumo de ar comprimido e da saturação de O_2 como indicadores indiretos do estresse térmico e do risco de desidratação.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

A perda de ~1,3 % do peso corporal caracteriza desidratação leve, suficiente para prejudicar a termorregulação, elevar a frequência cardíaca e comprometer funções cognitivas durante operações intensas (Pires et. al., 2018).

O suor é hipotônico em relação ao plasma; por isso, além da água, recomenda-se reposição adequada de eletrólitos para manutenção da homeostase (Meyer, 2000). Estratégias operacionais como pré-hidratação, reposição disponível durante a atividade e uso de bebidas eletrolíticas são essenciais para mitigar os efeitos da desidratação em bombeiros em cenários de calor e esforço intenso (Costa; Santos, 2019). Medidas preventivas, como planos de hidratação individualizados, pausas operacionais programadas e treinamento específico para otimizar o uso do ar respirável, podem ser implementadas para mitigar os efeitos deletérios da desidratação na segurança e no desempenho dos bombeiros.

5. Conclusão

O presente estudo realizou uma análise dos efeitos fisiológicos a que bombeiros militares suportam durante operações de combate a incêndios em ambientes confinados, oferecendo evidências empíricas robustas que corroboram a literatura científica existente e revelam nuances específicas desta atividade de alto risco.

Comprovações Estatísticas:

A análise da matriz de correlação de Pearson revelou associações significativas entre variáveis fisiológicas, demonstrando uma forte correlação positiva ($r \approx 0,8$) entre as variações da pressão arterial sistólica e diastólica, indicando uma resposta hemodinâmica coordenada frente à ativação do sistema nervoso autônomo durante o esforço extremo. Esta descoberta está em consonância com Crandall (2008), que descreve a elevação sinérgica das pressões arteriais em contextos de esforço físico intenso.

A correlação positiva moderada a forte ($r \approx 0,65$) entre a variação da frequência cardíaca e o consumo de ar comprimido sugere que indivíduos com maior ativação cardiovascular demandaram maior ventilação pulmonar, evidenciando a interconexão entre os sistemas cardiovascular e respiratório sob condições de estresse térmico.

Impacto na Oxigenação e Hidratação:

Os dados demonstraram uma correlação negativa forte ($r \approx -0,75$) entre a saturação de oxigênio e o consumo de ar comprimido, corroborando os estudos de Chu et al. (2007) e González-Alonso et al. (2008) sobre os efeitos combinados da hipertermia e desidratação na redução da entrega tecidual de oxigênio.

A análise da perda hídrica revelou déficits médios de aproximadamente -1,00 kg (± 0,40 kg) nos quartis mais jovens (Q1-Q3), enquanto o quartil mais velho (Q4) apresentou menor déficit (-0,86 kg; ± 0,32 kg). Esta diferença estatisticamente significativa sugere adaptações fisiológicas ou comportamentais associadas à idade e experiência, conforme demonstrado por Graham et al. (2014) e Shibasaki e Kenney (2014).

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Implicações Operacionais e de Segurança:

O estudo evidenciou que o consumo de ar comprimido emerge como um marcador sensível e integrado da carga fisiológica percebida, superando variáveis isoladas como tempo de exposição ou distância percorrida. Esta descoberta tem implicações práticas significativas para o desenvolvimento de protocolos operacionais e estratégias de monitoramento em tempo real.

A variabilidade significativa no volume de ar consumido entre participantes, apesar da padronização do tempo de exposição, reforça a importância de abordagens individualizadas para o gerenciamento do estresse térmico e físico durante operações.

Recomendações Baseadas em Evidências:

1. Implementação de protocolos de hidratação: Considerando a perda média de ~1,3% do peso corporal, que caracteriza desidratação leve suficiente para prejudicar a termorregulação e funções cognitivas, recomenda-se a adoção de planos de hidratação individualizados com reposição adequada de eletrólitos;
2. Monitoramento do consumo de ar: O consumo de ar comprimido deve ser utilizado como indicador operacional da intensidade fisiológica, permitindo intervenções precoces e a otimização do uso do equipamento respiratório;
3. Treinamento específico: Programas de treinamento devem incorporar simulações que reproduzam as condições identificadas no estudo, focando no desenvolvimento de técnicas para otimizar o consumo de ar e gerenciar o estresse térmico;
4. Acompanhamento fisiológico contínuo: A implementação de sistemas de monitoramento em tempo real dos parâmetros fisiológicos analisados pode contribuir significativamente para a segurança operacional dos bombeiros.

Este estudo corrobora a caracterização do combate a incêndio em ambientes confinados como uma atividade de elevada sobrecarga fisiológica e risco cardiovascular, reforçando a necessidade de medidas preventivas baseadas em evidências científicas. Os resultados das análises destacam a complexidade das respostas fisiológicas a múltiplos estressores simultâneos e fornecem subsídios valiosos para o desenvolvimento de estratégias que visem à preservação da saúde e integridade física dos bombeiros militares durante operações de combate a incêndios em ambientes confinados.

A integração dos resultados obtidos com a literatura científica existente consolida o entendimento sobre os mecanismos fisiopatológicos envolvidos e abre perspectivas para pesquisas futuras que explorem intervenções específicas para mitigar os efeitos insalubres identificados.

Referências

CHEUNG, S. S.; PETERSEN, S. R. Physiological strain and countermeasures with firefighting. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports**, v. 20, n. S3, p. 103-116, out. 2010. Disponível em:

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/j.1600-0838.2010.01215.x. Acesso em: 05 mar 2026.

CHU, Aaron L.; JAY, Ollie; WHITE, Matthew D. The effects of hyperthermia and hypoxia on ventilation during low-intensity steady-state exercise. **American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology,** n. 292, R620–R628, 2007. DOI: 10.1152/ajpregu.00932.2005. Disponível em: https://journals.physiology.org/doi/full/10.1152/ajpregu.00932.2005. Acesso em: 20 jul. 2025.

COSTA, A. K. B.; SANTOS, G. V. M. **Taxa de sudorese e nível de hidratação em bombeiros submetidos à simulação de combate a incêndio e uso de pasta de gelo**. TCC, Universidade Federal de Alagoas, 2019. Disponível em: http://www.repositorio.ufal.br/jspui/handle/123456789/13254. Acesso em: 02 ago. 2025

CRANDALL, Craig G. Heat stress and baroreflex regulation of blood pressure. **Medicine & Science in Sports & Exercise,** v. 40, n. 11, p. 2063–2070, 2008. DOI: 10.1249/MSS.0b013e3181815f4e. Disponível em: https://journals.lww.com/acsm-msse/fulltext/2008/11000/heat_stress_and_baroreflex_regulation_of_blood.13.aspx. Acesso em: 18 jul. 2025.

GONZÁLEZ-ALONSO José; CRANDALL, Craig G.; JOHNSON, John M. **The cardiovascular challenge of exercising in the heat. Journal of Physiology,** v. 586, n. 1, p. 45–53, 2008. DOI: 10.1113/jphysiol.2007.142158. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17855754/. Acesso em: 08 mar 2026.

GRAHAM, T. E.; et al. Older Firefighters Are Susceptible to Age-Related Impairments in Heat Dissipation. **American Journal of Physiology – Regulatory, Integrative and Comparative Physiology,** v. 306, n. 8, p. R456–R464, 2014. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25290744/. Acesso em: 03 fev. 2026.

HOLLAND-WINKLER, A. M.; HAMIL, B. K. Hydration Considerations to Improve the Physical Performance and Health of Firefighters. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology**, v. 9, n. 4, p. 182, out. 2024. Disponível em: https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC11503342/ . Acesso em: 25 ago. 2025.

McARDLE, William D.; KATCH, Frank I.; KATCH, Victor L. **Fisiologia do exercício:** energia, nutrição e desempenho humano. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2011.

MEYER, F. Suor: fatores que influenciam a sua formação e composição eletrolítica. **Revista Perfil,** Porto Alegre, v. 4, n. 4, p. 63–66, 2000. Disponível em: http://hdl.handle.net/10183/170413. Acesso em: 25 set. 2025.

NOGUEIRA, Rosenkranz Maciel; MOTA, Cláudio dos Santos; GUIMARÃES, Marcos Antônio Alves; CAVALCANTE, Suellen de Oliveira; NASCIMENTO, Rômulo Lima do; BEZERRA, Paulo Sérgio Nogueira. Risco cardiovascular e o papel da aptidão física para o bombeiro militar. **Revista Susp. Brasília,** v. 1, n. 1, p. 113–132, jan./jun. 2021.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 13/01/2026 - **Accepted:** 22/03/2026
Vol: 13.04
DOI: 10.66104/zhhdkn07
Pages: 1-26

Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/358190645. Acesso em 23 out. 2025.

PÉRIARD, Jean-Daniel; RACINAIS, Sébastien; SAWKA, Michael N. Adaptations and mechanisms of human heat acclimation: Applications for competitive athletes and sports. **Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports,** v. 25, Supl. 1, p. 20–38, jun. 2015. DOI: 10.1111/sms.12408. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25943654. Acesso em: 02 ago. 2025.

PIRES DA SILVA, A.; TORIANI, S. DOS S.; ROCHA, E. D. DE M.; CARVALHO, P. Desidratação em bombeiros militares após treinamento de combate a incêndio. **RBNE - Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, v. 12, n. 72, p. 537-541, 26 ago. 2018.

SHIBASAKI, M.; KENNEY, W. L.; et al. Age-related changes in sweating and cutaneous vasodilation responses to heat stress. **Journal of Applied Physiology,** v. 116, n. 5, p. 614–624, 2014. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6098859/. Acesso em: 13 nov 2025.

SMITH, D. L. Firefighter fitness: improving performance and preventing injuries and fatalities. **Current Sports Medicine Reports**, v. 10, n. 3, p. 167–172, 2011. DOI: 10.1249/JSR.0b013e31821a9fec. Acesso em: 02 dez. 2025.

Agradecimentos

Os autores expressam seus sinceros agradecimentos às seguintes instituições e indivíduos pelo apoio fundamental ao desenvolvimento desta pesquisa: a Universidade Estadual do Paraná (UNESPAR) - Campus Paranavaí | Extensão Loanda, ao Corpo de Bombeiros Militar de Umuarama-PR, Paranavaí-PR, e de Campo Mourão-PR e a Fundação Araucária.