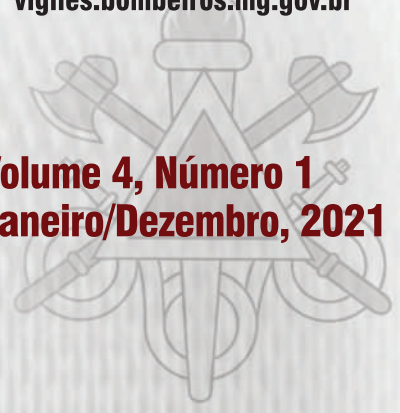




VIGILES

Revista de Defesa Civil, Defesa Social e Segurança Pública

Volume 4, Número 1
Janeiro/Dezembro, 2021



Instituição responsável pela publicação



CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS

Comandante-Geral

Edgard Estevo da Silva, Coronel CBMMG

Chefe do Estado-Maior

Erlon Dias do Nascimento Botelho, Coronel CBMMG

CORPO EDITORIAL

COORDENAÇÃO GERAL

Editores Executivos

Anderson Passos de Souza, Tenente-Coronel CBMMG

Jordana de Oliveira Filgueiras Daldegan, Tenente-Coronel CBMMG

COORDENAÇÃO TÉCNICA

Editores Científicos

Alexandre Cardoso Barbosa, Capitão CBMMG

Guilherme Alcântara Gonçalves, Capitão CBMMG

Editores Assistentes

Marcus Vinícius de Santana Maia, Major CBMMG

Ricardo Alves Barbosa, 1º Tenente CBMMG

Rafael Tadeu Fernandes, 1º Tenente CBMMG

Júlio Hermínio Caldeira Brant Neto, 1º Tenente CBMMG

Maria Luciana de Oliveira, 3º Sargento CBMMG

Camila Pinto Wenzel, 3º Sargento CBMMG
Thiago Resende Pereira, Cabo CBMMG
Jessica Rojas Pinto Silva, Soldado CBMMG
Andrea Veloso Rodrigues Ferreira, Soldado CBMMG

Editores Associados

Felipe José Aidar Martins, Coronel QOR CBMMG
Moisés Magalhães de Sousa, Tenente-Coronel CBMMG
José do Carmo Barbosa, Major QOR CBMMG
Davi Lucas Soares, Major CBMMG
Marcos Anderson Viana Soares, Major CBMMG
Eduardo de Paula Lima, Major CBMMG
Elias José Luciano, Major CBMMG
Wenderson Duarte Marcelino, Major CBMMG
Abel Sonhorinho Ferreira, Capitão CBMMG
Gustavo Moraes Falcão, Capitão CBMMG
Rafael Vicente Rosa, Capitão CBMMG
Vinicius Bonfim Fulgêncio, Capitão CBMMG
Sílvia Amelia de Souza Paula, Capitão CBMMG
Manoel de Jesus Braga, 1º Tenente CBMMG
Pedro Doshikasu Pianchao Aihara, 1º Tenente CBMMG
Elen Roberta Costa Carvalho, 1º Tenente CBMMG
Denis Oliveira Uematu, Cadete CBMMG
Marcio Daniel Vilela da Silva, Cabo CBMMG
Fernando Carbonari Santana Filho, Soldado CBMMG
Valdez dos Santos Neves, Soldado CBMMG

Editores de Texto

Júlio Hermínio Caldeira Brant Neto, 1º Tenente CBMMG
Maria Luciana de Oliveira, 3º Sargento CBMMG
Andrea Veloso Rodrigues Ferreira, Soldado CBMMG

Editor de Layout

Jéssica Rojas Pinto Silva, Soldado CBMMG

EDITORIAL

É um desafio diário trabalhar com um periódico científico, mas na mesma proporção, muito gratificante. O amadurecimento de uma instituição só é possível se andar lado a lado com o desenvolvimento científico: é o que acredita o Conselho Editorial da Vigiles.

Em 2021, recebemos mais 80 manuscritos, muitos deles advindos dos cursos de formação e habilitação da Academia de Bombeiros Militar (ABM), do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), mas também de militares sem vínculo com a ABM, que enxergam na Vigiles a oportunidade de divulgar seus trabalhos, bem como artigos de corpos de bombeiros militares de outros estados.

Fechamos esta 4ª edição com 12 textos relativos às áreas de concentração da revista e amadurecemos para trabalhar na próxima edição com o formato de fluxo contínuo de publicação dos manuscritos, a partir de 2022.

O primeiro texto desta edição aborda a questão das barragens de mineração localizadas em Minas Gerais e realiza o teste de um software na elaboração de manchas de inundação com dados do rompimento das barragens de Mariana e Brumadinho. Os autores concluíram que o mesmo pode ser usado como ferramenta para auxiliar as equipes de resgate, em possíveis novos eventos, por ser capaz de simular a área afetada pela lama.

Ainda, no tema de barragens apresentamos também, um estudo de caso sobre a utilização das RPAs (drones) na operação do rompimento da barragem de rejeitos de Brumadinho. O texto demonstra as várias utilidades da RPA nesse tipo de ocorrência e a economicidade gerada, em contrapartida da mobilização de helicópteros em determinadas missões.

O estudo de projetos é o tema de outro manuscrito, que analisa os projetos da 2ª Edição do Plano de Comando do CBMMG quanto a sua complexidade, afirmando que quanto maior a complexidade, menor é a geração de valor para a instituição, o que foi encontrado em 43% dos projetos analisados. A informação apresenta-se importante como feedback para futuros trabalhos institucionais e novas versões do Plano de Comando.

Este ano foi marcado por secas intensas e incêndios florestais sem precedência histórica no estado e no país e o tema foi objeto de estudo de quatro artigos publicados neste volume: um versa sobre a questão da hidratação dos militares em combate, propondo um protocolo, o outro sobre o padrão de segurança nos incêndios florestais. O terceiro realiza uma projeção de incêndios até 2040 no estado de Minas Gerais, com a criação de mapas de risco que possibilitam maior atuação de prevenção do Estado e, por fim, um manuscrito que

prevê a utilização de inteligência artificial na predição dos incêndios para auxiliar na tomada de decisão quanto ao empenho de militares.

Ainda no estudo dos incêndios, apresentamos um manuscrito que trata de simulações realizadas por softwares que são utilizados por bombeiros militares do Brasil e sua aplicabilidade.

Outro tema marcado com duas publicações foi a utilização dos cães nas atividades de busca e salvamento: um tratando sobre a viabilidade da Certificação de cães e outro traçando um perfil das vítimas resgatadas utilizando-se o binômio (homem e cão), nas ocorrências do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

Também na área de busca e salvamento, o manuscrito sobre operações submersas analisa a viabilidade do emprego de sistemas de suprimentos de ar redundantes como forma de melhorar a segurança no mergulho de Segurança Pública.

Por fim, na área da saúde ocupacional de bombeiros, um artigo analisou militares da Zona da Mata mineira, sob a luz da Síndrome de Bournet, que acomete grande parte de trabalhadores que atuam em profissões assistenciais.

Acreditamos que a qualidade dos manuscritos selecionados e publicados trazem lentes de saber sobre os temas e registram possibilidades de melhoramento e ação nas diversas áreas de saber da atividade bombeiro militar.

Boa leitura a todos!

Sumário

<i>ÁREA DE PERIGO RESULTANTE DE FALHA EM BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO</i>	1
Herman Ziyang Martins Ameno; Miho Ohara; Shinji Egashira; Naoko Nagumo; Nobutomo Osanaiz	
<i>A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ÁGEIS EM PROJETOS COMPLEXOS NO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS</i>	24
Bernardo Amorim Santos; Luciana Silva Procópio Fagundes	
<i>CONVENIÊNCIA DO EMPREGO DE SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE AR REDUNDANTES NAS OPERAÇÕES SUBMERSAS DO CBMMG</i>	40
André Felipe dos Anjos Amaral; Heitor Aguiar Mendonça	
<i>ANÁLISE DAS APLICAÇÕES DE SOFTWARES SIMULADORES DE INCÊNDIO POR FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL POR BOMBEIROS MILITARES BRASILEIROS</i>	61
Henrique Diniz Mello; Paulo Henrique Camargos Firme	
<i>PRÁTICAS DE SEGURANÇA UTILIZADAS DURANTE O COMBATE AO INCÊNDIO FLORESTAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA</i>	81
Matheus Deforme Zuliani; Guilherme Alcântara Gonçalves	
<i>PROPENSÃO À SÍNDROME DE BURNOUT: ESTUDO COM BOMBEIROS MILITARES DA ZONA DA MATA MINEIRA</i>	100
Rômulo Ulysses Vieira Rodrigues; Luiz Carlos Honório	
<i>A HIDRATAÇÃO NA ATIVIDADE DE COMBATE AO INCÊNDIO FLORESTAL</i>	118
Ricardo Alexandre Lombello Coelho; Ricardo Alves Barbosa	
<i>ESTUDO DO PERFIL DE VÍTIMAS DESAPARECIDAS PARA AUXILIAR NA ELABORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE BUSCA CANINA</i>	137
Clemente Stähelin Michels; Tiago José Domingos	
<i>IMPORTÂNCIA DA CERTIFICAÇÃO DE CÃES NA ATIVIDADE DE BUSCA E RESGATE NO CORPO DE BOMBEIROS</i>	150
Fernanda Maria de Pádua Andrade; Carmo Vinícius Martins de Oliveira	
<i>ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA RPA (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT) NA OPERAÇÃO DE BRUMADINHO-MG</i>	167
Douglas Freitas Muller da Silva; Alexandre Gomes Rodrigues	
<i>AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MINAS GERAIS: PROJEÇÕES ATÉ 2040</i>	180
Iâncor Diego Castro de Andrade Pereira; Melina Amoni Silveira Alves	
<i>USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA A PREDIÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO</i>	198
Flavio Mauricio da Cunha Souza	



Artigo Original

ÁREA DE PERIGO RESULTANTE DE FALHA EM BARRAGEM DE REJEITOS DE MINERAÇÃO

RESULTING HAZARDOUS AREA FROM MINE TAILINGS DAM FAILURE

Herman Ziyang Martins Ameno^{1,2,3}, Miho Ohara², Shinji Egashira², Naoko Nagumo², Nobutomo Osanai³

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a1>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

² International Centre for Water Hazard and Risk Management under the auspices of UNESCO, Public Works Research Institute

³ National Graduate Institute for Policy Studies

RESUMO

A mineração é uma importante atividade econômica para Minas Gerais, Brasil. Milhões de metros cúbicos de rejeitos de mineração são armazenados em barreiras artificiais de retenção chamadas barragens de rejeitos. Todavia, essas estruturas representam um risco significativo, pois os materiais empregados (rejeitos de mineração ou solo compactado) levantam incertezas quanto ao seu comportamento mecânico, seja pela baixa resistência ao cisalhamento, seja pela permeabilidade variável. Nos últimos 20 anos, pelo menos cinco barragens de rejeitos se romperam em Minas Gerais, causando mortes e danos. Atualmente, 221 barragens de rejeitos no estado podem colapsar e causar danos severos. Nesta pesquisa, o software International River Interface Cooperative (iRIC) e seu componente Morpho2DH foram selecionados para simular numericamente os fluxos de lama que assolaram Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019. O software emprega equações bidimensionais para fluxo de lama com profundidade integrada e o objetivo desta pesquisa é verificar a aplicabilidade deste software na elaboração de mapas com manchas de inundação para barragens de rejeitos.

Palavras-chave: Fluxo de lama; Barragem de rejeitos; Simulação numérica; Rompimento; *Dam-break*.

ABSTRACT

Mining is an important economic activity for Minas Gerais, Brazil. Millions of cubic meters of mine tailings are stored in artificial retention barriers called tailings dams. However, these structures represent a significant risk since the materials employed (tailings or compacted soil) raise uncertainties regarding their mechanical behavior, either due to their low shear strength or their variable permeability. In the last 20 years, at least five tailings dams collapsed in Minas Gerais, causing death and damage. Currently, 221 tailings dams in the state could fail, and potentially cause severe damage. In this research, the software International River Interface Cooperative (iRIC) and its tool Morpho2DH were selected to numerically simulate the mudflows that hit Mariana in 2015 and Brumadinho in 2019. The software employs depth-integrated two-dimensional governing equations for mudflow and the objective of this research is to verify the applicability of this software in the elaboration of hazard maps for tailings dams.

Keywords: Mudflow; Tailings dam; Numerical simulation; Rupture; *Dam-break*.

Recebido em: 04/03/2021 - Aprovado em: 27/05/2021

E-mail: herman.ameno@bombeiros.mg.gov.br.

1 INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Mineração (IBRAM, 2019), a indústria de mineração empregou, até janeiro de 2019, cerca de 195 mil trabalhadores diretos. Em 2018, a produção mineral do Brasil movimentou cerca de US\$ 34 bilhões, enquanto em 2017 movimentou cerca de US\$ 32 bilhões. Em 2017, segundo a Agência Nacional de Mineração (ANM, 2018), Minas Gerais foi responsável por quase metade da produção (equivalente a 47,2%) das substâncias metálicas mineradas no Brasil.

A mineração é fundamental para a economia de Minas Gerais e contribui substancialmente para a definição do perfil socioeconômico do estado. No cenário nacional, a liderança do estado em termos de produção é evidente, visto que praticamente metade da produção mineral nacional (sem petróleo e gás natural) vem de Minas Gerais. A indústria de mineração não só contribui para o PIB do estado, mas é um fator chave que estimula as atividades produtivas em outros setores da economia de Minas Gerais (IBRAM, 2015).

Em 2020, 433 barragens de rejeitos no Brasil tinham potencial para causar danos ao seu entorno: 256 com alto, 142 com médio e 35 com baixo potencial. Apenas em Minas Gerais, 221 barragens de rejeitos tinham potencial para causar danos ao seu entorno: 144 com alto, 56 com médio e 21 com baixo potencial (ANM, 2020a). Além disso, em Minas Gerais, 119 barragens de rejeitos têm potencial para causar danos às pessoas que vivem em seu entorno: 13 impactariam as vidas de mais de 5.000 pessoas; 21 barragens de 1.001 a 5.000; 05 de 501 a 1.000; 24 de 101 a 500; e 56 de 1 a 100 pessoas (ANM, 2020b).

A política de barragens de rejeitos começou a mudar mais significativamente a partir de 2019, após vários rompimentos. Mesmo com os avanços da legislação, um procedimento crucial precisa ser colocado em prática: o desaguamento de rejeitos. Conforme França e Trampus (2018), do Centro de Tecnologia Mineral, a principal causa de 47% dos acidentes em barragens de rejeitos é a perda de resistência estrutural devido ao excesso de água nos rejeitos. Segundo Austrália (2016), o desaguamento de rejeitos é essencial para reduzir potencialmente o volume de armazenamento e a infiltração de água e, também, permite um relevo mais estável que, no final, pode reduzir o risco de rompimento de barragens de rejeitos.

Pela atual legislação brasileira, as mineradoras são obrigadas, dependendo do porte das barragens de mineração sob sua responsabilidade, a elaborar um Plano de Ação de

Emergência para Barragens de Mineração (PAEBM). Um dos documentos obrigatórios deste PAEBM é o mapa com a mancha de inundação de uma barragem, que é importante para que autoridades possam exigir, por exemplo, confecção de um mapa de perigo, ações de monitoramento da estabilidade do talude e instalação de um sistema de aviso prévio com sirene, treinamentos e simulados de evacuação para os moradores vizinhos e, ainda, uma zona-tampão. As mineradoras, muitas vezes, terceirizam esta empreitada e contratam escritórios de engenharia para confeccionar estes mapas. Entretanto, o *software* costumeiramente empregado por muitos escritórios, o HEC-RAS (*Hydrologic Engineering Center's River Analysis System*), e a metodologia de *Pseudo-Manning*, em muitos casos, não são os mais adequados pelo fato de utilizarem, nas simulações hipotéticas de rompimento de barragem, a água como substância e não o rejeito da mineração propriamente.

Deste modo, o objetivo deste estudo é verificar a aplicabilidade do *software* japonês público gratuito denominado iRIC (*International River Interface Cooperative*) e seu módulo Morpho2DH na elaboração de mapas com manchas de inundação para barragens de rejeitos. O *software* foi desenvolvido para avaliar os deslizamentos de terra que afetam as áreas habitadas de encostas, principalmente, durante a época de chuvas fortes que assolam o Japão entre julho e outubro. O Morpho2DH emprega equações bidimensionais para fluxo de lama com profundidade integrada e considera a mecânica do transporte de sedimentos nas simulações numéricas. Ademais, o Morpho2DH considera as características físicas particulares da lama (densidade, tensão de cisalhamento, limite de escoamento, ângulo de atrito interno, tamanho médio dos grãos) e não da água, como é o caso do HEC-RAS.

2 ÁREAS DE ESTUDO

Nesta pesquisa, primeiro houve a calibração do Morpho2DH utilizando dados do rompimento da barragem de Mariana em 2015 e, em seguida, houve a validação com o uso de dados do rompimento da barragem de Brumadinho em 2019.

2.1 Desastre de Mariana em 2015

Às 15h45min, do dia 5 de novembro de 2015, a barragem de rejeitos de Fundão, localizada no distrito de Bento Rodrigues, Mariana, Minas Gerais, rompeu. A barragem, de

propriedade da Samarco Mineração, iniciou suas atividades em 2008 e foi elevada ao longo dos anos pelo método de construção a montante. Antes da ruptura, ela possuía cerca de 500 m de comprimento de crista, 110 m de altura total, com uma elevação final de crista de 900 m acima do nível do mar. Antes do rompimento, a barragem ainda estava em operação para armazenar os rejeitos resultantes do beneficiamento do minério de ferro (MORGENSTERN *et al.*, 2016).

Cinco tremores foram sentidos na área pelo menos cerca de 2h45min antes do rompimento. Os terremotos variaram de 1,8 a 2,6 em magnitude e seus epicentros estavam entre menos de 2 km e 2,6 km da barragem (MORGENSTERN *et al.*, 2016).

Para Morgenstern *et al.* (2016), houve o deslizamento fluido de Fundão porque as condições necessárias para liquefação estavam presentes nesta barragem, a saber: os rejeitos arenosos eram contráteis, estavam saturados, e eram suscetíveis à grave perda de resistência durante a rápida ruptura. Além disso, houve ainda um mecanismo de gatilho (neste caso, os terremotos aceleraram o processo de ruptura que já existia e estava bem avançado).

Machado (2017) comparou alguns relatórios sobre o evento e calculou que a barragem de Fundão tinha 55 milhões de metros cúbicos de rejeitos, dos quais cerca de 32 milhões de metros cúbicos foram liberados após a ruptura. A onda de lama percorreu cerca de 6 km pelo vale à jusante, levando cerca de 25 minutos para chegar ao distrito de Bento Rodrigues. No total, 18 pessoas morreram e uma pessoa foi declarada desaparecida. Os sedimentos finos dos rejeitos atingiram riachos e rios e foram carregados por 640 km até o mar, poluindo a água e deixando cerca de 1 milhão de pessoas sem abastecimento de água por meses. Os danos humanos, econômicos e ambientais foram enormes.

Morgenstern *et al.* (2016) concluíram que o fluxo de lama em 5 de novembro de 2015 foi instigado por um mecanismo de extrusão lateral assentado no depósito rico em lama, em profundidade no maciço, que resultou em uma redução de confinamento lateral da areia saturada e contrátil sobrejacente. O mecanismo de extrusão criou um deslocamento por deslizamento suficiente para gerar instabilidade para desencadear o colapso.

2.2 Desastre de Brumadinho em 2019

Às 12h28min, do dia 25 de janeiro de 2019, no distrito de Córrego do Feijão, Brumadinho, Minas Gerais, a barragem de rejeitos B1 da Mina de Minério de Ferro Córrego

do Feijão entrou em colapso. A barragem inicial foi construída em 1976 e os alteamentos subsequentes (em um total de dez) foram feitos até 2016 usando o método de construção a montante. Em sua fase final, a barragem, de propriedade da Vale, tinha uma altura total de 86 m, com elevação de crista de 942 m acima do nível do mar e comprimento de crista de 720 m (ROBERTSON *et al.*, 2019).

A partir de 2016, o lançamento de rejeitos na barragem foi encerrado. Ainda assim, era monitorada por uma combinação de prismas ao longo da crista da barragem, inclinômetros para medir deformações internas, radar terrestre para monitorar as deformações de superfície da face da barragem e piezômetros para medir mudanças nos níveis internos de água. Nenhum desses instrumentos detectou significativas deformações ou alterações antes do rompimento. As análises de imagens de satélite após a ruptura indicaram pequenas deformações descendentes, lentas e contínuas de menos de 36 mm/ano na face da barragem no ano anterior à ruptura, com alguma aceleração da deformação durante a estação chuvosa. Na parte inferior da barragem, as deformações medidas nos 12 meses antes da ruptura incluíram deformações horizontais variando de 10 a 30 mm. Essas deformações são compatíveis com um recalque lento e de longo prazo da barragem e não seriam, por si só, indicativas de um precursor de rompimento (ROBERTSON *et al.*, 2019).

A barragem inicial não possuía recursos de drenagem interna para direcionar a percolação da bacia para a face da barragem, o que ajudaria a reduzir a pressão da água e aumentaria sua estabilidade. Em geral, o projeto dos nove alteamentos subsequentes incluiu recursos de drenagem interna (tubos, canais, filtros) para permitir secagem dos rejeitos adjacentes. Embora drenos de pé e tapetes drenantes tenham sido construídos na maioria dos alteamentos, a barragem de rejeitos possuía uma drenagem deficiente porque as bermas a montante foram construídas com materiais de baixa permeabilidade. Além disso, uma drenagem interna inadequada foi instalada durante a construção inicial da barragem e contribuiu para os altos níveis de água na barragem e bacia (ROBERTSON *et al.*, 2019).

Uma revisão dos piezômetros instalados dentro da barragem mostrou que o nível de água dentro da barragem não reduziu significativamente, após o término da deposição de rejeitos que aconteceu em 2016. Os níveis de água na parte superior da barragem estavam caindo lentamente, mas permaneceram altos na região do pé da barragem. Isso aconteceu devido à alta precipitação durante a estação chuvosa combinada com a drenagem interna limitada da barragem (ROBERTSON *et al.*, 2019).

Após a ruptura, cerca de 9,7 de 12,7 milhões de metros cúbicos de rejeitos escoaram e destruíram as instalações da mineradora que estavam localizadas cerca de 1,3 km à jusante da barragem. A maior parte das 259 vítimas fatais e 11 desaparecidos eram funcionários da mina que estavam na cantina e escritórios administrativos. O fluxo de lama destruiu algumas partes do distrito de Córrego do Feijão, incluindo uma pousada próxima e várias propriedades rurais, bem como seções de uma ponte ferroviária e cerca de 100 m de via férrea. As áreas agrícolas no vale a jusante também foram afetadas (ROBERTSON *et al.*, 2019).

A pesquisa conduzida por Robertson *et al.* (2019) concluiu que a perda repentina de resistência e a ruptura resultante da barragem marginalmente estável foi devido a uma combinação crítica de deformações internas contínuas e uma redução de resistência devido à perda de sucção na zona não-saturada causada pela precipitação cumulativa desde que cessaram os lançamentos de rejeitos e incluindo a precipitação intensa no final do ano 2018. As deformações internas e a redução da resistência na zona não-saturada atingiram um nível crítico que resultou no fatídico rompimento em 2019.

3 METODOLOGIA

A Figura 1 ilustra as etapas adotadas para atingir os objetivos propostos nesta pesquisa. Atualmente, estão disponíveis poucos modelos numéricos gratuitos que conseguem simular processos de erosão/deposição de fluxos de lama. Assim, para o presente estudo, o Morpho2DH, um dos componentes do iRIC, foi escolhido. Em seguida, nas etapas de calibração e validação deste *software*, foram realizadas simulações numéricas com dados obtidos, respectivamente, da barragem de Fundão em 2015 e da barragem B1 em 2019, com o objetivo de comparar visualmente os fluxos de lama relatados e os simulados em cada caso.

Figura 1 - Fluxograma da metodologia



Fonte: Elaborado pelos autores.

3.1 Equações para fluxo de lama

O modelo Morpho2DH emprega equações de conservação de massa e momento para o fluxo de lama na forma bidimensional com profundidade integrada e, ainda, a equação de conservação de massa para o sedimento do leito. A equação de conservação de massa para o corpo em fluxo é descrita com um termo de erosão à direita:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial hu}{\partial x} + \frac{\partial hv}{\partial y} = \frac{E}{c_*} \quad (1)$$

em que t é o tempo, h é a profundidade do fluxo, enquanto u e v são as velocidades das profundidades médias nas direções x e y , respectivamente. Takebayashi e Fujita (2020), ao explicar as equações desenvolvidas em 2004, por Egashira e Itoh, afirmaram que o termo do lado direito indica a fonte da massa e expressa o desenvolvimento e decrescimento de um fluxo de lama por uma troca de mistura de água e sedimento entre a superfície do leito e o fluxo de lama, em que c_* é a concentração de sedimento na camada de deposição estática (camada do leito) e E é a taxa de erosão do leito. Quando as características coesivas da camada do leito sobre o leito rochoso podem ser desprezadas e existe a condição de equilíbrio do leito, em que a taxa de erosão do leito é igual à taxa de deposição de sedimentos, a taxa de erosão do leito pode ser estimada por meio das seguintes equações (EGASHIRA e ITOH, 2004):

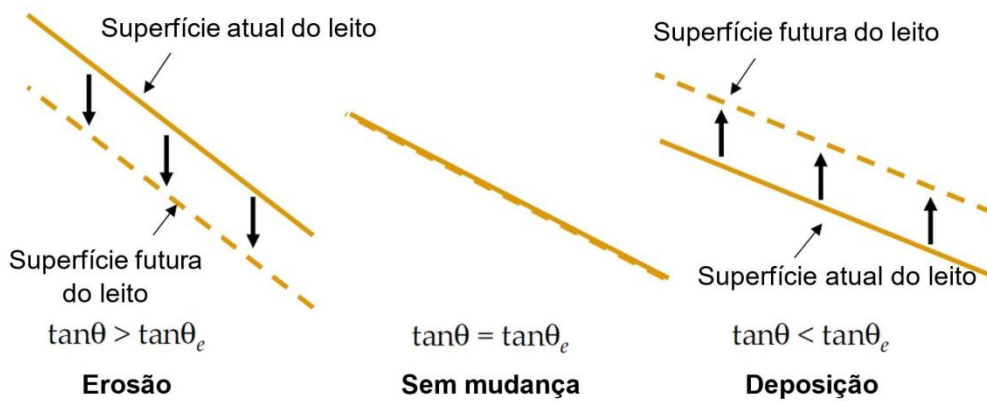
$$\frac{E}{\sqrt{u^2 + v^2}} = c_* \tan \tan (\theta - \theta_e) \quad (2)$$

em que θ , a inclinação do leito na direção do fluxo, é calculada usando a seguinte equação:

$$\sin \theta = \frac{u \sin \theta_x + v \sin \theta_y}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (3)$$

em que θ_x é a inclinação do leito na direção x , e θ_y é a inclinação do leito na direção y , e θ_e é a inclinação de equilíbrio do leito. A Figura 2 mostra a relação entre a deformação do leito e a inclinação do leito. Quando a inclinação do leito é mais acentuada do que a de equilíbrio, a superfície do leito sofre erosão e os materiais erodidos são levados para o fluxo de lama. Quando a inclinação do leito é igual à inclinação de equilíbrio do leito, a superfície do leito não se deforma e a massa do fluxo de lama permanece inalterada. Quando a inclinação do leito é mais suave do que a inclinação de equilíbrio do leito, os materiais no fluxo de lama se depositam no leito e a sua massa se reduz.

Figura 2 - Relação entre inclinação e deformação do leito



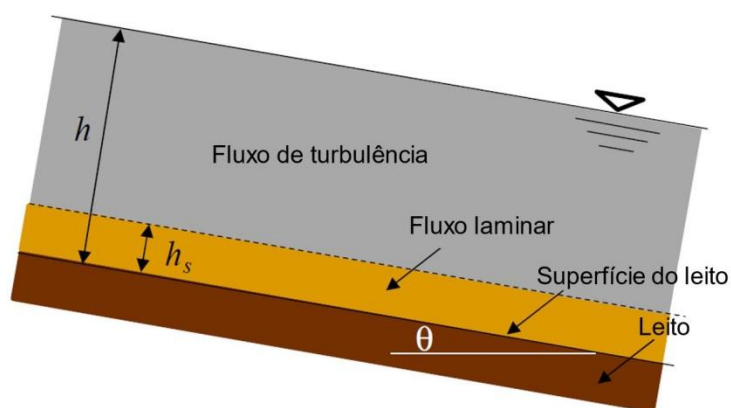
Fonte: Takebayashi e Fujita (2020).

Conforme ilustra a Figura 3, quando o tamanho do sedimento é pequeno, a camada do fluxo de turbulência se forma sobre a camada de fluxo laminar perto do leito, que se torna, então, um fluxo de lama. Considerando a formação dos fluxos laminar e de turbulência, e referindo-se à profundidade média e à concentração de sedimentos \underline{c} , a inclinação de equilíbrio do leito θ_e na direção do fluxo é obtida da seguinte forma:

$$\tan\theta_e = \frac{\left(\frac{\sigma}{\rho-1}\right)\underline{c}}{\left(\frac{\sigma}{\rho-1}\right)\underline{c} + 1} \frac{h_s}{h} \tan\phi_s \quad (4)$$

em que Φ_s é o ângulo de repouso.

Figura 3 - Modelo de fluxo de lama de duas camadas



Fonte: Takebayashi e Fujita (2020).

As equações de conservação de momento são as seguintes (EGASHIRA e ITOH, 2004):

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial hu u}{\partial x} + \frac{\partial huv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial x} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_m} \quad (5)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial huv}{\partial x} + \frac{\partial hvv}{\partial y} = -gh \frac{\partial z_b}{\partial y} - \frac{1}{\rho_m} \frac{\partial P}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho_m} \quad (6)$$

em que g é a aceleração da gravidade e Z_b é a elevação do leito. Para a pressão P , é assumida a pressão estática. A densidade do fluxo de lama ρ_m é definida da seguinte forma:

$$\rho_m = (\sigma - \rho)\underline{c} + \rho \quad (7)$$

em que ρ é a densidade da água e σ é a densidade do sedimento, enquanto τ_{bx} e τ_{by} são a tensão de cisalhamento nas direções x e y , respectivamente. A dissipação de energia das bases de movimento sólidas e fluidas é considerada para estimar a tensão de cisalhamento. Quando a região de fluxo de turbulência é dominante, a tensão de cisalhamento é a seguinte:

$$\tau_{bx} = \{\tau_y + \rho f_b(u^2 + v^2)\} \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (8)$$

$$\tau_{by} = \{\tau_y + \rho f_b(u^2 + v^2)\} \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (9)$$

em que τ_y é a tensão de escoamento:

$$\tau_y = \left(\frac{c}{c_*}\right)^{\frac{1}{n}} (\sigma - \rho)\underline{c}gh \cos \theta \tan \phi_s \quad (10)$$

em que f_b é o coeficiente de resistência:

$$f_b = \frac{C_{mu}}{8} \alpha^2 \quad \alpha^2 = \frac{\kappa}{6} \quad (11)$$

$$f_b = \frac{4}{25} \left\{ \kappa_f \frac{(1 - \underline{c})^{\frac{5}{3}}}{\underline{c}^{\frac{3}{3}}} + \kappa_d \frac{\sigma}{\rho} (1 - e^2) \underline{c}^{\frac{1}{3}} \right\} \left(\frac{h}{d}\right)^{-2} \quad (12)$$

A equação de elevação do leito é a seguinte (EGASHIRA e ITOH, 2004):

$$\frac{\partial z_b}{\partial t} = -\frac{E}{c_*} \quad (13)$$

Essas equações fazem parte do modelo de análise numérica instalado no Morpho2DH, que foi desenvolvido em 2014, por um grupo de pesquisa coordenado pelo Professor Hiroshi Takebayashi do Instituto de Pesquisa de Prevenção a Desastres da Universidade de Quioto.

3.2 Simulador numérico Morpho2DH

Neste estudo, Morpho2DH v.1.0, um dos módulos do iRIC 3.0.19 Revisão 6325, foi selecionado. Ele é um solucionador de fluxo de detritos horizontal bidimensional e análise de fluxo de lama que consegue reproduzir os processos de transporte e deposição de fluxos de detritos e lama devido a deslizamentos de terra. Para simulações numéricas, dados topográficos e dados reológicos são parâmetros obrigatórios.

3.2.1 Calibração e validação do *software*

A confiabilidade da simulação numérica de fluxo de lama depende da calibração e validação adequadas do modelo, Morpho2DH. Dados como fluxo de lama, topografia, concentração de sedimentos, diâmetro médio de grãos, volume liberado de lama, área inundada e áreas de deposição e erosão da lama foram empregados para calibrar e validar o modelo. Nesta pesquisa, a calibração e validação incluem a comparação visual do fluxo de lama relatado e simulado.

3.2.2 Dados topográficos

Os dados topográficos de determinada região da Terra podem ser expressos em um Modelo Digital de Elevação (MDE), que consiste em matrizes de valores de elevação regularmente espaçados, que são referenciados horizontalmente a uma projeção *Universal Transverse Mercator* ou a um sistema de coordenadas geográficas. As células da grade são espaçadas em intervalos regulares ao longo de perfis sul para norte que são ordenados de oeste para leste (US GEOLOGICAL SURVEY, 2020).

O *Land Processes Distributed Active Archive Center* (LP DAAC) da Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço (NASA), processa, arquiva e distribui vários produtos de dados de MDE que foram gerados a partir de sensores ópticos e de radar de abertura sintética (SAR). O *Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) *Global MDE* (ASTGTM) versão 3, que foi lançado publicamente pelo LP DAAC em agosto de 2019, foi selecionado para calibração. O arquivo em formato *raster* tem uma resolução espacial de 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m de postagem horizontal no equador) e foi gerado usando mais de 1,88 milhão de cenas do satélite *Level 1A Terra ASTER* obtidas entre 1º de março de 2000 e 30 de novembro de 2013 (LP DAAC, 2019).

A barragem de Fundão em Mariana foi erguida em 2008 e recebeu carregamentos até o seu rompimento em 2015. Dessa forma, o arquivo *raster* original ASTGTM foi atualizado no *software* ArcGIS para a condição que a barragem de rejeitos tinha antes da ruptura. Informações contidas nos relatórios de Morgenstern *et al.* (2016) foram consideradas para aumentar virtualmente a altura da barragem para a cota de 898 m acima do nível do mar.

Para a validação, os dados da barragem B1 foram fornecidos pela Vale, empresa proprietária da barragem que se rompeu. Neste caso, para esta pesquisa, a empresa forneceu dois arquivos de MDE com resolução de 1 m por 1 m: primeiro, um que foi feito em 2016, após o encerramento das atividades da barragem e, segundo, um que foi produzido após a ruptura da barragem. A empresa subtraiu um arquivo do outro e elaborou um mapa contendo a erosão e a deposição de lama após este evento.

3.2.3 Dados reológicos

Reologia é o ramo da física que trata da deformação e do fluxo de materiais sólidos e líquidos. Em outras palavras, a reologia é a ciência que estuda o fluxo da matéria, principalmente no estado líquido, mas também como "sólidos moles" ou sólidos sob condições em que respondem com fluxo plástico em vez de deformar elasticamente em resposta a uma força aplicada (SCHOWALTER, 1978).

Para a calibração do Morpho2DH, a pesquisa reológica feita por Morgenstern *et al.* (2016) e Machado (2017) foi importante para definir as características dos rejeitos que foram lançados pela barragem de Fundão, em 2015. Dados como concentração de sedimentos (entre 0,4 e 0,5), diâmetro médio dos grãos (0,1 mm), volume de lama liberado e densidade dos rejeitos foram obtidos nos estudos conduzidos pelos autores mencionados acima. É relevante afirmar que, no caso real, o talude principal da barragem desabou de imediato e por completo.

Os dados obtidos de Robertson *et al.* (2019) sobre a barragem B1 e os cálculos efetuados posteriormente foram vitais para realizar a validação. Dessa forma, a concentração de sedimentos (entre 0,4 e 0,5), o diâmetro médio dos grãos (0,1mm), o volume de lama liberado e a densidade dos rejeitos foram adquiridos desta pesquisa. Este evento foi registrado em um vídeo de alta resolução que mostra o colapso total do talude da barragem de uma só vez.

Quanto à densidade, Morgenstern *et al.* (2016) obteve amostras de rejeito de Fundão em que a densidade variava de 1,63 a 2,3 g/cm³, a depender do estado (seco, molhado) e da composição (areias, siltes, etc.). Machado (2017) elaborou amostras de rejeito com o material que colheu na região do rompimento de Fundão e obteve, em uma delas, densidades que variavam de 1,98 a 2,21 g/cm³, de acordo com a concentração do rejeito. Robertson *et al.* (2019) obteve amostras de rejeito da B1 e a densidade média calculada, a partir de diversas amostras, foi de 2,65 g/cm³. No Morpho2DH, não é possível alterar a densidade como uma variável pelo fato do código de programação do *software* ser fechado e, assim, o valor empregado nos cálculos estima-se ter sido por volta de 2.1 g/cm³ que comumente é adotado no Japão para a densidade média do solo.

3.2.4 Configurações do Morpho2DH

Nas condições de cálculo do Morpho2DH, vários parâmetros podem ser ajustados. Para todos os casos (calibração e validação), a concentração de sedimentos foi definida como padrão (constante), a concentração de sedimentos por deposição estática foi definida como valor padrão (0,6), a relação de sedimentos do comportamento líquido foi definida no valor padrão (0,2), a relação da profundidade do fluxo laminar foi definida no valor padrão (0,4), e o coeficiente de resistência também foi definido no valor padrão (72). Parâmetros como valor de concentração de sedimentos, profundidade mínima do fluxo e ângulo de atrito interno (ϕ) foram alterados para cada caso.

No Morpho2DH, para a calibração, foram criadas grades de 15 m por 15 m, com um total de 177.741 células consistindo de 681 na direção x e 261 na direção y. Para a validação, foram utilizadas grades de 10 m por 10 m com um total de 187.110 células consistindo em 810 na direção x e 231 na direção y.

3.3 Imagens de satélite

O *software Google Earth Pro* fornece uma série de imagens de satélite de um mesmo lugar da Terra em datas diferentes. Essas imagens foram importantes por permitirem uma comparação da situação antes e depois do rompimento das barragens de rejeitos. Para a calibração, eles foram úteis por serem o único meio disponível para comparar os fluxos de lama relatados e simulados da barragem de Fundão. Para o processo de validação, a Vale forneceu fotos em alta resolução antes e depois da ruptura

da barragem B1, em que foi possível fazer a comparação visual dos fluxos de lama relatados e simulados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Calibração do Modelo

Um conjunto de parâmetros foi utilizado no Morpho2DH para coincidir os fluxos de lama relatados e simulados que atingiram o distrito de Bento Rodrigues em 2015. Após várias tentativas, a combinação de parâmetros que produziu os resultados em que a mancha simulada mais se aproxima da mancha de inundação do evento real é destacada na Tabela 1.

Para concentração de sedimentos, foi utilizado o valor de 0,4 que está dentro dos valores considerados por Machado (2017). O ângulo de atrito interno que, em ensaios de laboratório, varia de 17 a 40, segundo o tipo de solo, foi reduzido ao valor irreal de 0,01 para que a simulação do fluxo de lama se espalhasse mais pelo terreno, assim como no evento real.

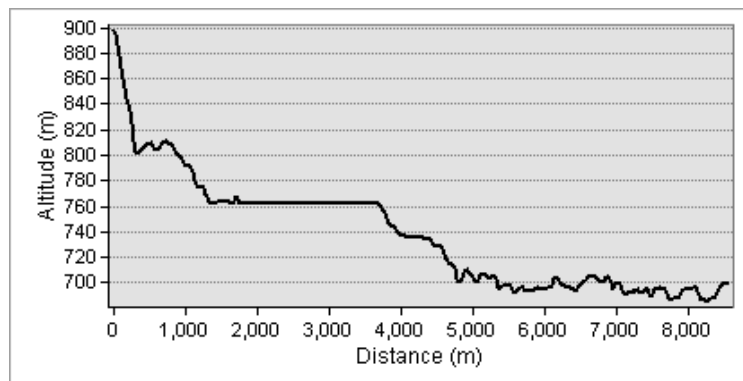
Tabela 1 - Parâmetros calibrados no Morpho2DH

Parâmetros	Valores
Concentração dos sedimentos	0,4
Profundidade mínima do fluxo	0,1 m
Ângulo de atrito interno (ϕ)	0,01
Profundidade máxima de erosão	15 m

Fonte: Elaborado pelos autores.

Desde a crista da barragem (altitude de 898 m acima do nível do mar) até o ponto selecionado no mapa em que uma parte considerável de rejeitos se depositou (elevação de 670 m acima do nível do mar), a distância é de cerca de 9.000 m. Assim, de montante a jusante, ao longo do vale onde se encontra o Córrego Santarém, o perfil longitudinal é de cerca de 0,025 de inclinação (Figura 4).

Figura 4 - Perfil longitudinal antes do colapso da barragem de Fundão em 2015

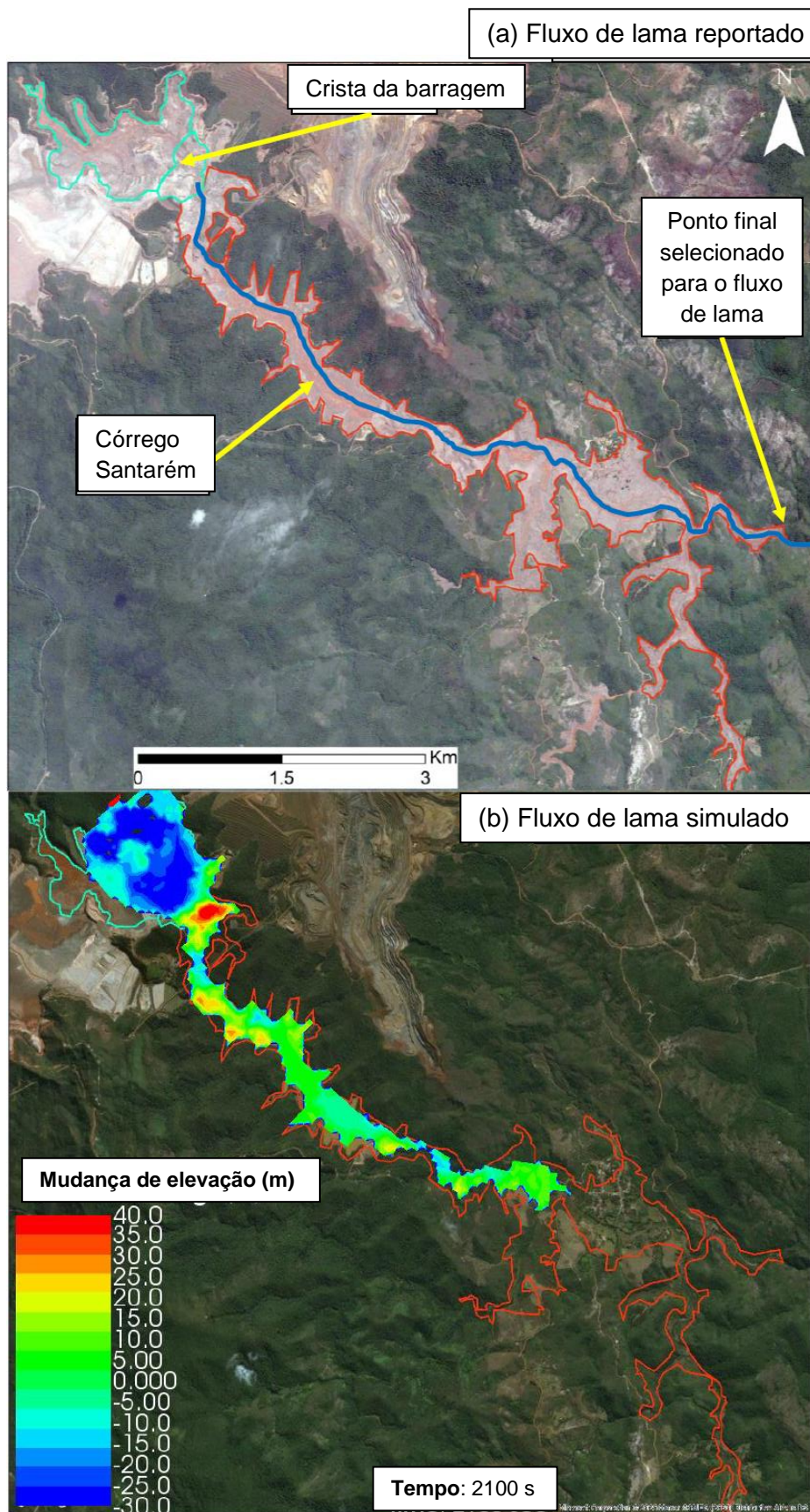


Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 5, as linhas azuis claras representam os contornos da barragem de Fundão, enquanto as linhas vermelhas mostram as áreas atingidas pelo fluxo de lama. O fluxo de lama simulado no Morpho2DH atingiu 7 km dos 9 km de extensão do canal principal, onde está localizado o Córrego Santarém (representado pela linha azul escuro), o que perfaz um total de 78%.

A obtenção do resultado de 78% pode ser justificada pela desatualização do MDE, uma vez que as imagens de satélite disponíveis para a área foram obtidas muito antes da configuração real que tinha a mesma logo antes do rompimento em 2015. Isto é, as imagens foram obtidas num período bastante anterior ao rompimento da barragem e havia discrepâncias entre a representação virtual (MDE) e a real. Outro fator importante é a resolução disponível (30m x 30m, aproximadamente) que pode comprometer o resultado final. Por fim, o *software* foi desenvolvido para deslizamentos de terra em encostas japonesas e as equações que o compõem foram desenvolvidas com base em estudos de laboratório para este tipo de situação, que difere da dinâmica de um rompimento de barragem de rejeitos.

Figura 5 - Comparação da barragem de Fundão do (a) fluxo de lama relatado e (b) fluxo de lama simulado



Fonte: Elaborado pelos autores.

4.2 Validação do modelo

Para validação, os parâmetros calibrados previamente foram aplicados aos dados da barragem B1 que afetou Brumadinho em 2019. O objetivo foi, novamente, coincidir os fluxos de lama relatados e os simulados. O conjunto de parâmetros está relacionado na Tabela 2.

Para concentração de sedimentos, usou-se o valor de 0,4 que está dentro do esperado, de acordo com cálculos feitos do trabalho de Robertson *et al.* (2019). O ângulo de atrito interno, mais uma vez, foi reduzido ao valor irreal de 0,01 para que a simulação do fluxo de lama obtivesse resultados que coincidissem com os reais.

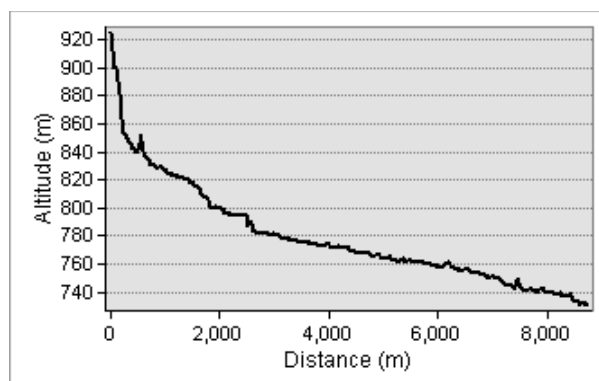
Tabela 2 - Parâmetros validados no Morpho2DH

Parâmetros	Valores
Concentração dos sedimentos	0,4
Profundidade mínima do fluxo	0,1 m
Ângulo de atrito interno (ϕ)	0,01
Profundidade máxima de erosão	15 m

Fonte: Elaborado pelos autores.

Da crista da barragem B1 (altitude de 942 m acima do nível do mar) até o ponto mais distante em que a parte majoritária dos rejeitos alcançou (altitude de cerca de 700 m acima do nível do mar), a distância é de cerca de 9.000 m. Portanto, de montante para jusante, o perfil longitudinal tem uma inclinação de cerca de 0,025 (Figura 6).

Figura 6 - Perfil longitudinal antes do colapso da barragem B1 em 2019



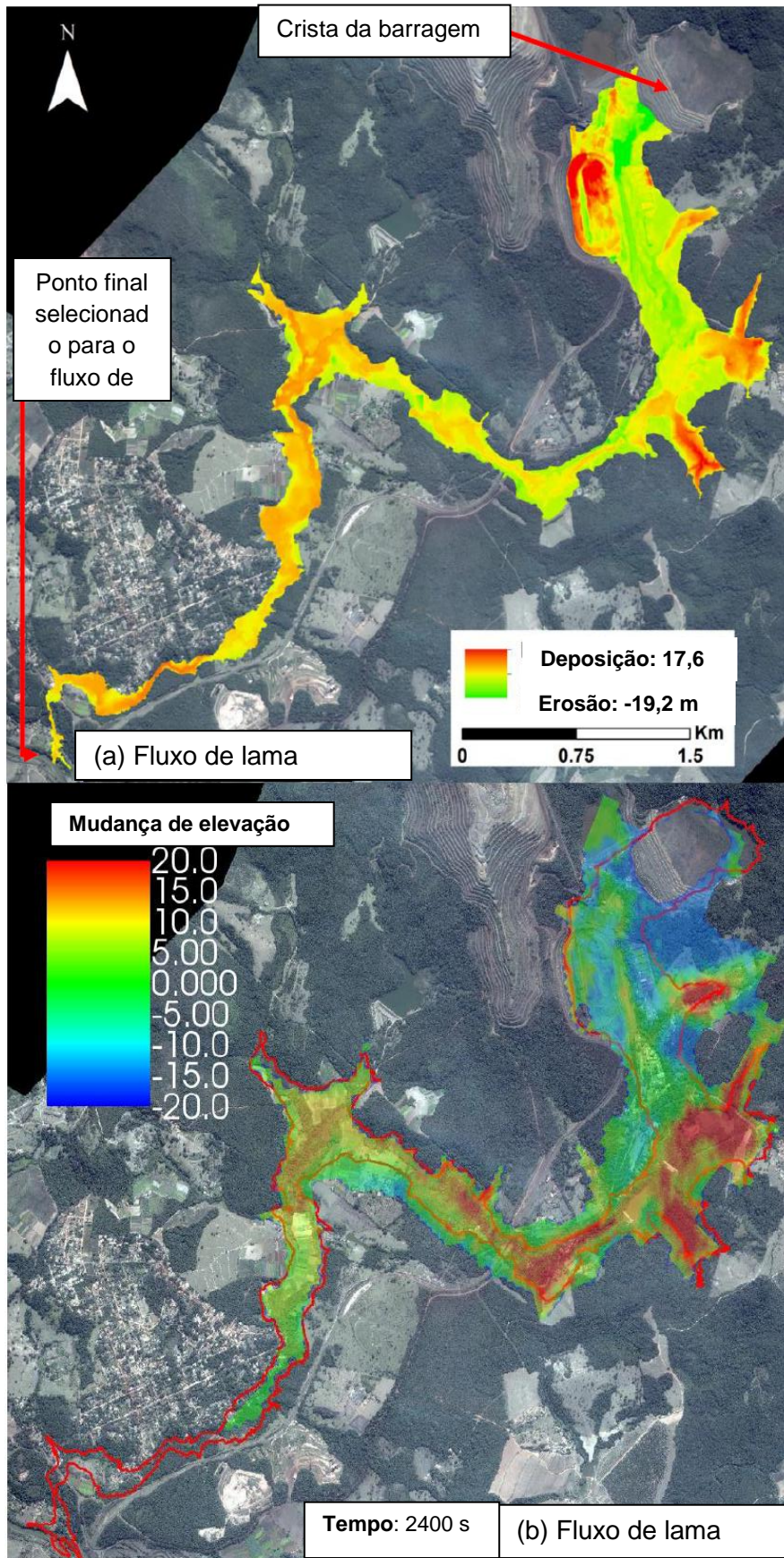
Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 7, comparando-se os dois mapas, é possível analisar que o escoamento de lama simulado no Morpho2DH atingiu, no canal principal, cerca de 7,6 km em 9 km de

extensão, o que perfaz um total de 85% de distância alcançada. A melhora no resultado obtido nessa simulação, em comparação à de Mariana (78%), pode ser justificada pelo uso de um MDE mais preciso (resolução de 1m x 1m) e, também, mais atualizado que foi elaborado um pouco antes do rompimento e, assim, apresenta menos discrepâncias entre o real e o virtual.

Como a Vale forneceu dados relativos à erosão e deposição na área, após o rompimento da barragem, foi possível comparar a erosão e a deposição dos fluxos de lama relatados e simulados para este evento. No mapa produzido após a simulação, é possível observar algumas áreas de transbordamento, principalmente no canal esquerdo, logo após a barragem. Em algumas zonas, a erosão é subestimada, enquanto em outras regiões, a deposição é superestimada.

Figura 7 - Comparação da barragem B1 do (a) fluxo de lama relatado e (b) fluxo simulado

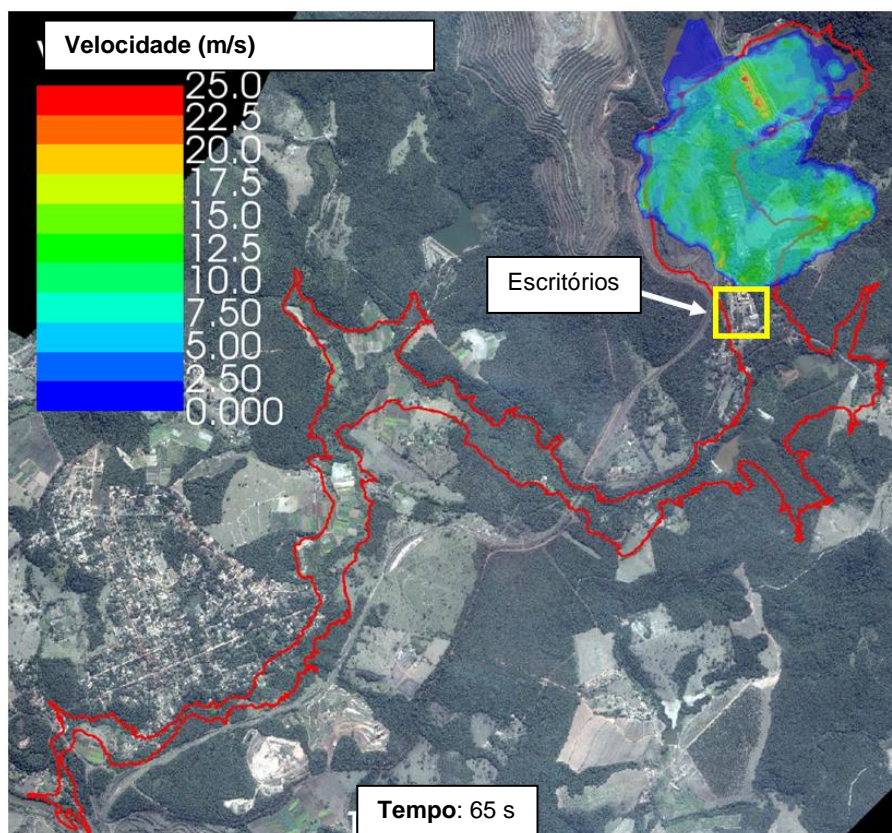


Fonte: (a) Vale. (b) Elaborado pelos autores.

No evento de 2019, da crista da barragem até o local onde ficavam os escritórios, a distância era de cerca de 1.300 m. Na Figura 8, na simulação, para o fluxo de lama atingir essa área, foram necessários cerca de 65 segundos, o que dá uma velocidade estimada de 20 m/s em média. Diferentes autores obtiveram, nas mesmas etapas de suas simulações, valores semelhantes para a velocidade inicial e para o tempo de chegada a essa região:

- Yu; Tang; Chen (2020) estimou uma velocidade de 15 m/s a 20 m/s e;
- Branquinho *et al.* (2019) calculou um tempo de chegada de 61 segundos e velocidade entre 19 m/s e 22 m/s.

Figura 8 - A velocidade do fluxo de lama simulado na barragem B1



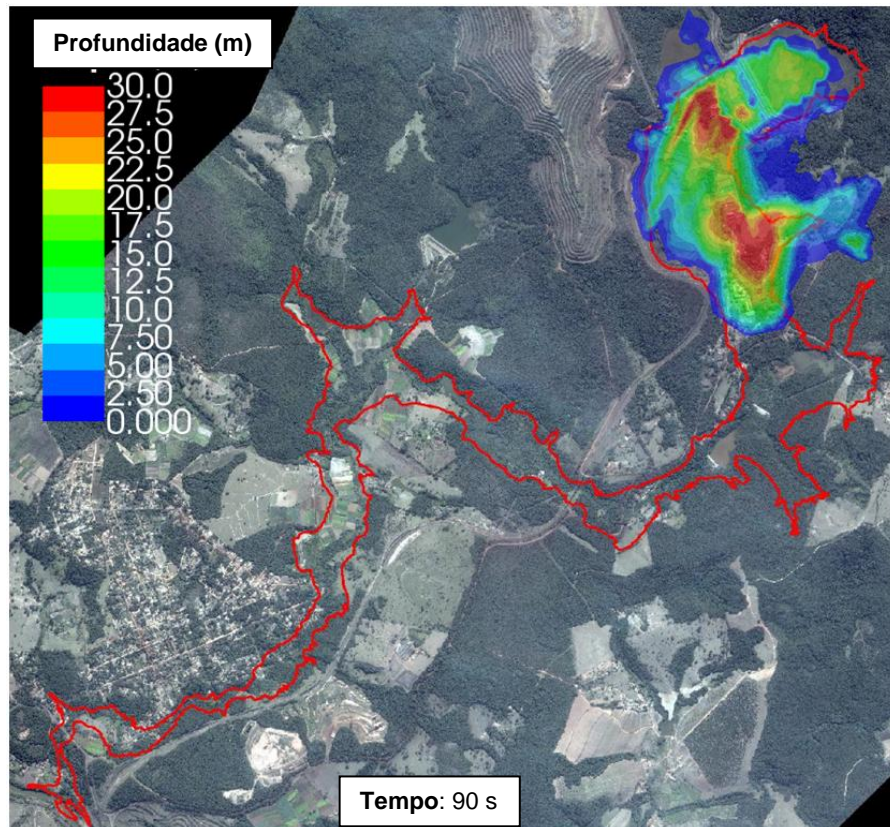
Fonte: Elaborado pelos autores.

Conforme relatado por Robertson *et al.* (2019), no desastre de 2019, o material liberado formou uma onda de lama com uma altura de cerca de 30 m. Nas simulações realizadas por Branquinho *et al.* (2019), até o ponto em que os escritórios estavam localizados, o *software* Flo2D obteve profundidades para o fluxo de lama variando de 20 m a 30 m, na parte mais profunda.

Na Figura 9, nas simulações do Morpho2DH, a profundidade do fluxo de lama obtida oscilou, da mesma forma, em uma faixa entre 20 m e 30 m, na parte mais profunda. Em

ambos os *softwares*, embora a distribuição de profundidade simulada em algumas áreas seja diferente, em geral, o padrão dos resultados é semelhante.

Figura 9 - Profundidade do fluxo de lama simulado na barragem B1



Fonte: Elaborado pelos autores.

5 CONCLUSÃO

No Brasil, principalmente em Minas Gerais, existem várias barragens de rejeitos que, em caso de rompimento, podem devastar vidas humanas e animais, bens, natureza e economia. Nos últimos 20 anos, algumas barragens se romperam e, por isso, a política a respeito delas começou a mudar de forma mais efetiva a partir de 2019. Ainda assim, existem lacunas que precisam ser eliminadas na legislação para evitar que esse tipo de desastre aconteça novamente.

O Governo de Minas Gerais deu o primeiro passo para mudar esse cenário em 25 de fevereiro de 2019. Nesta data, foi promulgada a Lei Estadual nº 23.291, que exige uma zona-tampão no Estado, mas apenas para a construção de novas barragens. Assim, comunidades que estão dentro de áreas de risco não seriam beneficiadas por esta Lei.

O segundo passo foi dado em 8 de agosto de 2019, quando a ANM promulgou a Resolução nº 13, que determina a abolição do método de construção a montante para

barragens de rejeitos em todo o país. Além disso, a Resolução nº. 13 obriga que esses tipos específicos de barragens tenham as suas estruturas reforçadas ou tenham estruturas de contenção construídas a jusante até 15 de setembro de 2021. Por fim, as empresas de mineração que têm barragens de rejeitos com o método de construção a montante devem descomissioná-las até 2027.

O objetivo desta pesquisa é estimular estudos semelhantes com outras barragens de rejeitos (em atividade ou não) que representam uma ameaça para os residentes em seu entorno. O Morpho2DH provou ser um *software* útil que pode ser usado para obter diferentes perspectivas de rompimentos das barragens de rejeitos. O Morpho2DH pode ser usado como ferramenta auxiliar para equipes de resgate por ser capaz de simular, com alguma precisão, a profundidade da lama na área que foi afetada por um fluxo de lama. A estimativa da profundidade fornece, às equipes de resgate, informações sobre o quanto precisariam escavar para encontrar pessoas ou bens soterrados pelo fluxo de lama. Ele pode ser usado para estabelecer a elaboração de mapas de perigo, delimitação de zonas-tampão e verificação da viabilidade de construção de muros de contenção para barrar o avanço de fluxos de lama.

O Morpho2DH e *softwares* semelhantes para modelagem numérica de fluxos de lama têm limitações, pois não conseguem distinguir, por exemplo, rejeitos soltos do solo compactado original. Em casos práticos, os rejeitos sofreriam mais com a liquefação e desencadeariam fluxos de lama mais facilmente, enquanto o solo compactado original tenderia a permanecer em sua posição inicial. Ou seja, uma área selecionada no *software* para a simulação de um fluxo de lama abrangeria não apenas rejeitos, mas, também, o solo compactado e, na verdade, seus comportamentos são diferentes. Também, é interessante proporcionar ao usuário deste *software* a opção de inserir a densidade do material para as simulações para que seja possível obter resultados que possam se equivaler mais aos eventos reais

Quanto aos resultados obtidos nesta pesquisa, é importante destacar as ressalvas existentes na utilização de MDEs gratuitos, caso da simulação numérica de Fundão, devido à desatualização e possível influência nos resultados. Logo, em estudos com um maior grau de detalhamento, para elaboração de mapas com manchas de inundação, a topografia de precisão deve ser um elemento obrigatório.

Para o futuro, incentivam-se estudos comparativos entre o Morpho2DH e outros *softwares* que estão disponíveis no mercado como HEC-RAS, Flo2D, RAMMS, SPH, entre outros. O objetivo é confrontar estudos de rompimento de barragens (*dam-break*) quanto à

área afetada, profundidade e velocidade do fluxo de lama para que pesquisadores, mineradoras, escritórios de engenharia e agências de Estado possam compreender sob diferentes perspectivas os efeitos de eventuais colapsos de barragens de rejeitos de mineração.

REFERÊNCIAS

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Anuário Mineral Brasileiro - Principais substâncias metálicas**. 2018.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Mapa - Cadastro Nacional de Barragens de Mineração**. Brasília, Brasil. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Mapa>. Acesso em: 16 jul. 2020. 2020a.

ANM. Agência Nacional de Mineração. **Quantitativo de barragens de acordo com a população possivelmente afetada**. Brasília, Brasil. Disponível em: <https://app.anm.gov.br/SIGBM/Publico/Estatistica>. Acesso em: 16 jul. 2020. 2020b.

ANM. Agência Nacional de Mineração. Resolução nº 13, de 08 de agosto de 2019: **Estabelece medidas regulatórias objetivando assegurar a estabilidade de barragens de mineração, notadamente aquelas construídas ou alteadas pelo método denominado "a montante" ou por método declarado como desconhecido e dá outras providências**. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2019.

AUSTRÁLIA. **Tailings Management Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry**. Department of Industry, Science, Energy and Resources. 2016.

BRANQUINHO, Gabriela; RODRIGUES, Bruno; TRANCOSO GOMES, Roberto Arnaldo; FONTES GUIMARÃES, Renato; CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio. Modelagem Preliminar da Ruptura da Barragem de Brumadinho/MG. *In: XVIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA*, 2019, Fortaleza. **Anais [...]**. Fortaleza: UFC, 2019. p. 1-12.

EGASHIRA, Shinji; ITOH, Takahiro. 土石流の数値シミュレーション [Simulação numérica de fluxo de detritos]. *日本流体力学会数値流体力学部門 Web 会誌 [Journal of Computational Fluid Dynamics, Japan Fluid Force Society]*, 第 12 卷 第 2 号 2004 年 11 月 [v. 12, n. 2, 2004]. Disponível em: <http://www2.nagare.or.jp/jscfd/j-jscfd/122/p122-2.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2020.

FRANÇA, Silvia Cristina Alves; TRAMPUS, Bruna Câmara. **Desaguamento de rejeitos minerais para aplicação de métodos de disposição alternativos às barragens de rejeito convencionais**. Rio de Janeiro: CETEM/MCTIC, 2018. 59 p. (Série Tecnologia Ambiental, 102).

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Panorama da Mineração em Minas Gerais / Instituto Brasileiro de Mineração, Sindicato Nacional da Indústria da Extração do Ferro de Metais**. Brasília: IBRAM, 2015.

IBRAM. Instituto Brasileiro de Mineração. **Relatório Anual de Atividades**. Brasília: IBRAM, 2019.

LP DAAC. **ASTER Global Digital Elevation Model V003**. Disponível em: <https://lpdaac.usgs.gov/products/astgtmv003/>. Acesso em: 22 jun. 2020.

MACHADO, Nathália Couto. **Retroanálise da propagação decorrente da ruptura da barragem do fundão com diferentes modelos numéricos e hipóteses de simulação**. 2017. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2017.

MINAS GERAIS. Lei nº 23.291, de 25 de fevereiro de 2019: **Institui a política estadual de segurança de barragens**. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 2019.

MORGENSTERN, Norbert Rubin; VICK, Steven G.; VIOTTI, Cássio B.; WATTS, Bryan D. **Fundão Tailings Dam Review Panel - Report on the Immediate Causes of the Failure of the Fundão Dam**. 2016. Disponível em: <http://fundaoinvestigation.com/>. Acesso em: ago. 2019.

ROBERTSON, Peter K.; DE MELO, Lucas; WILLIAMS, David J.; WILSON, G. Ward. **Report of the Expert Panel on the Technical Causes of the Failure of Feijão Dam I**. 2019. Disponível em: <http://www.b1technicalinvestigation.com/>. Acesso em: ago. 2019.

SCHOWALTER, William R. **Mechanics of Non-Newtonian Fluids**. Pergamon Press, Oxford-Frankfurt, 1978. DOI: 10.1002/cite.330510727.

TAKEBAYASHI, Hiroshi; FUJITA, Masaharu. Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model. **Geosciences**, v. 10, n. 2 2020. DOI: 10.3390/geosciences10020045.

US GEOLOGICAL SURVEY. **What are digital elevations?** 2020. Disponível em: https://www.usgs.gov/faqs/what-are-digital-elevation-models-dems?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products. Acesso em: 22 jun. 2020.

YU, Dayu; TANG, Liyu; CHEN, Chongcheng. Three-dimensional numerical simulation of mud flow from a tailing dam failure across complex terrain. **Nat. Hazards Earth Syst. Sci.**, v. 20, p. 727–741, 2020. DOI: 10.5194/nhess-20-727-2020.



Artigo Original

A UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS ÁGEIS EM PROJETOS COMPLEXOS NO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DE MINAS GERAIS

THE USE OF AGILE METHODS IN COMPLEX PROJECTS IN THE MILITARY FIREFIGHTERS CORPS OF MINAS GERAIS

Bernardo Amorim Santos¹, Luciana Silva Procópio Fagundes¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a2>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

O presente trabalho objetivou classificar o portfólio de projetos do Plano de Comando do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais - 2ª Edição quanto à complexidade, estudou a correlação da complexidade com o resultado dos projetos e apresentou possíveis benefícios da adoção de métodos ágeis de gerenciamento de projetos para os projetos complexos na corporação. A complexidade de um projeto pode ser definida por meio de seu grau de incerteza e de imprevisibilidade e, com base nestes fatores, foi elaborado um questionário estruturado com oito itens, quais sejam: 1) disponibilidade de informações para os gerentes de projetos; 2) escopo; 3) custo; 4) participação das partes interessadas; 5) requisitos de qualidade; 6) capacidade da equipe do projeto; 7) experiência prévia do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais e, por fim, 8) experiência prévia de seus gerentes em projetos similares. Dentre os 21 projetos do portfólio, 43% foram classificados como complexos e apresentaram uma baixa geração de valor para a corporação.

Palavras-chave: Gestão de projetos; Métodos ágeis; Complexidade.

ABSTRACT

This study aimed to classify the project portfolio of the Military Firefighters Corps of Minas Gerais, Brazil, in terms of complexity, it also studied the correlations between complexity and project results and it finally addressed possible benefits from the adoption of agile project management methods into the corporation's complex projects. Project complexity may be defined by its uncertainty and unpredictability and based on those aspects a structured questionnaire was developed, composed of eight questions: 1) available information to the project managers; 2) scope; 3) cost; 4) stakeholders; 5) quality requirements; 6) team competence; 7) previous experience from the corporation and; 8) the project managers previous experience regarding similar projects. Among the 21 projects from the portfolio, 43% of them were classified as complex and presented little value to the corporation.

Keywords: Project management; Agile methods; Complexity.

Recebido em: 11/10/2019 - Aprovado em: 03/09/2020

E-mail: bernardo.santos@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

1.1 A complexidade em projetos

Segundo o *PMBOK* (PMI, 2013), um projeto é um esforço temporário empreendido para criar um produto, serviço ou resultado exclusivo. A natureza temporária dos projetos indica que eles têm um início e um término definidos. O término é alcançado quando os objetivos do projeto são atingidos ou quando o projeto é encerrado porque os seus objetivos não serão ou não podem ser alcançados, ou quando a necessidade do projeto deixar de existir. Chapman (2016) define como complexos projetos que exibam um alto grau de incerteza e de imprevisibilidade.

O dicionário Michaelis (2019) define complexidade como qualidade do que é complexo e, por sua vez, define o termo complexo como aquilo que encerra muitos elementos ou partes. Apesar de muitos autores terem apresentado suas definições no tocante ao significado da complexidade em projetos, não há um consenso em torno do tema.

Baccarini (1996) refere-se à complexidade como a existência de variadas partes inter-relacionadas. Já para Turner e Cochrane (1993), a complexidade advém não do que é conhecido e está sob controle, mas sim do que é incerto e imprevisível. Robert Chapman corrobora as ideias de Turner e Cochrane e define um projeto complexo como sendo aquele que exhibe um elevado grau de incerteza e imprevisibilidade, emanando tanto do projeto em si quanto do contexto em que se situa (CHAPMAN, 2016).

No tocante à incerteza, Ward e Chapman (2003) a descrevem em termos da ambiguidade associada com a insuficiência de dados, de detalhamento e com a falta de clareza relacionada ao comportamento das partes interessadas, dentre outras. Já a imprevisibilidade se relaciona com a incapacidade de prever eventos futuros e com o surgimento de eventos inesperados que acarretam efeitos significativos em um projeto.

É importante ressaltar que, apesar de utilizados como sinônimos, os termos complexo e complicado indicam condições distintas para um projeto. Um projeto complicado, apesar de usualmente grande em escala, é possível de ser compreendido e gerenciado por uma organização, devido à sua previsibilidade e é executado conforme o planejamento. Já os projetos complexos tipicamente apresentam ambientes políticos, econômicos e sociais com elevados níveis de interações. Desta forma, estes projetos não são passíveis de serem compreendidos apenas analisando seus componentes, mas

devendo-se levar em conta também as imprevisibilidades causadas pelas interações entre o projeto e seu ambiente e entre as partes interessadas (CHAPMAN, 2016).

A percepção do que é considerado complexo se altera com o passar do tempo. Diversas atividades e projetos aparentam ser complexos na primeira vez em que são executados, porém, conforme a experiência, o conhecimento e a compreensão dos mesmos aumentam, projetos mais ambiciosos os sucedem e os iniciais tornam-se cada vez menos complexos. Como consequência, a compreensão e a resposta de uma organização à complexidade não podem permanecer estática, mas sim, deve ser constantemente desafiada e progressivamente desenvolvida (CHAPMAN, 2016).

1.2 Métodos ágeis

Os métodos ágeis já foram tema de variados estudos e pesquisas, devido a sua grande aceitação no gerenciamento de projetos complexos. De forma recorrente, as metodologias ágeis são reportadas como sendo uma reação às metodologias tradicionais de gerenciamento de projetos, porém suas origens remontam à segunda metade do século XX (ABBAS, GRAVELL e WILLS, 2008). As melhores práticas da indústria japonesa auxiliaram na criação e aplicação dessas metodologias ágeis, especialmente pelo uso dos conceitos da manufatura enxuta utilizados pelas companhias Honda e Toyota (CARVALHO e MELLO, 2012).

Por se tratar de um guarda-chuva que abarca métodos já bem definidos, a compreensão do termo ágil varia de acordo com a perspectiva de cada pesquisador. Para alguns autores, como Boehm e Turner (2004) e Cockburn e Highsmith (2001), o ágil é definido como uma filosofia. Para outros, como Larman (2003) e Abbas *et al.* (2008), ágil é um termo que se aplica a métodos adaptativos, iterativos, incrementais e orientados nas pessoas (não nos processos). Por adaptativo, entende-se que as mudanças são, até certo ponto, bem-vindas, sejam elas nos requisitos ou nas tecnologias utilizadas para encontrar as soluções dos problemas. Fowler (2005) defende a ideia de que a adaptabilidade é o que permite controle sobre a imprevisibilidade.

As metodologias ágeis defendem a ideia de que o desenvolvimento de um projeto seja feito em iterações sucessivas e que, ao final de cada uma dessas iterações, seja possível entregar ao cliente uma parte do projeto funcional, capaz de ser validada e fornecer *feedback* à equipe. Desta forma, o projeto vai sendo desenvolvido de forma incremental, sempre agregando valor ao produto final.

Uma importante pesquisa relacionada ao emprego de metodologias ágeis em nível mundial é o *Annual State of Agile Report*, relatório produzido anualmente pela empresa estadunidense *CollabNet* desde o ano de 2006, com diversas empresas da comunidade de desenvolvimento de *software*. Em maio de 2019, foi disponibilizado o *13th Annual State of Agile Report* (COLLABNET, 2019), proveniente de uma pesquisa cuja amostra abrangeu participantes situados nos cinco continentes do globo, trabalhando para organizações desde pequeno porte (menos de mil funcionários) até organizações com mais de 20 mil trabalhadores, em diversos setores privados e governamentais. Os respondentes da pesquisa apontaram como alguns dos principais benefícios da adoção de metodologias ágeis:

- Habilidade de gerenciar mudanças de prioridades;
- Visibilidade dos projetos;
- Moral da Equipe;
- Velocidade de entrega do produto;
- Aumento na produtividade da equipe;
- Previsibilidade do projeto.

Apesar de todos os benefícios advindos das metodologias ágeis, elas não são panaceias. Os métodos ágeis são mais eficazes e mais fáceis de implementar em situações as quais (RIGBY, SUTHERLAND e TAKEUCHI, 2016):

- O problema a ser solucionado é complexo;
- As soluções inicialmente são desconhecidas e os requisitos do produto irão, possivelmente, ser modificados;
- O trabalho pode ser modularizado, e;
- A colaboração com os clientes é possível.

As principais diferenças entre as metodologias ágeis de gerenciamento de projetos e as tradicionais, de acordo com Cockburn e Highsmith (2001), é que nas metodologias ágeis a abordagem da execução dos projetos é voltada para os resultados e não para o plano; o ciclo de vida é baseado em modificações incrementais, ao invés de fases sucessivas; o foco em documentação é menor, eliminando documentos irrelevantes; as equipes são enxutas, bem informadas e colaborativas; e os requisitos do projeto são mutáveis, com custo de mudança relativamente estável ao longo do projeto, ao contrário das metodologias

tradicionais, as quais têm por premissa requisitos estáveis e, conseqüentemente, custos de mudança progressivos conforme o projeto avança.

1.3 Gerenciamento de Projetos no Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais

Diante dos conceitos apresentados é importante relatar que no Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) o Portfólio de Projetos Estratégicos representa a diretriz do Comando para as políticas adotadas em toda a instituição, para o período de 2017 e 2018. Esse documento reúne informações sobre os programas e projetos definidos como prioritários para o desenvolvimento e melhoria da instituição, em consonância com o Planejamento Estratégico e com o Plano Mineiro de Desenvolvimento Territorial (MINAS GERAIS, 2017b).

A definição dos projetos que compõem o portfólio do CBMMG fundamentou-se nos desdobramentos de ações produzidas no biênio 2015-2016 e nas sugestões do núcleo dos colaboradores, composto por oficiais de áreas distintas da corporação, que também apoiaram na elaboração do escopo dos projetos (MINAS GERAIS, 2017b).

Com relação às atividades de coordenação e execução dos projetos, a então Diretoria de Assuntos Institucionais definiu que a metodologia a ser adotada pelos gerentes de projetos seria baseada nos grupos de processos de gerenciamento de projetos do *PMBOK* (MINAS GERAIS, 2017a). Por tomar como base a metodologia de gerenciamento de projetos do *Project Management Institute*, transcrita no *PMBOK*, o CBMMG optou por adotar um modelo de gerenciamento de projetos tradicional para todos os projetos de seu portfólio, no período de 2015 a 2018.

Devido ao fato de o CBMMG ser um órgão público, cuja visão é atingir a excelência na qualidade dos serviços prestados à sociedade mineira, o sucesso de seus projetos é a geração de valor para o povo mineiro e também para a corporação, de forma a permitir que ela cada vez se aproxime mais da excelência nos serviços prestados. Para tal, é importante que se reduza a proporção de projetos que não entregam valor. Tendo como base este contexto, a 3ª Edição do Plano de Comando já adota uma abordagem mais alinhada aos princípios ágeis de gestão de projetos, para elevar as chances de sucesso nas metas propostas (MINAS GERAIS, 2019).

Nesse sentido, no presente trabalho, problematiza-se a importância e a aplicabilidade dos métodos ágeis para projetos complexos no CBMMG. Levanta-se também a hipótese de que a adoção de um gerenciamento de projetos baseado em

métodos ágeis para projetos classificados como complexos no CBMMG desencadearia melhores resultados para a instituição. Dessa maneira, no presente estudo, o objetivo geral é avaliar a correlação entre a complexidade dos projetos do ciclo 2015-2018 e sua geração de valor para a corporação. Para tanto, definiu-se como objetivos específicos: a classificação do portfólio do Plano de Comando do CBMMG 2ª Edição quanto à complexidade; a conceituação dos termos relacionados ao estudo e a breve análise da correlação entre complexidade e resultados dos projetos. Quanto à metodologia, além de pesquisa em referencial teórico, utilizou-se a aplicação de um questionário para validação da classificação dos projetos em termos de sua complexidade. Quanto à justificativa, compreende-se que com a adequação correta de metodologia à tipologia dos projetos, mais eficiência será dada e mais avanços serão feitos rumo aos objetivos estratégicos da corporação em prol de sua missão institucional: salvar vidas.

2 MÉTODO

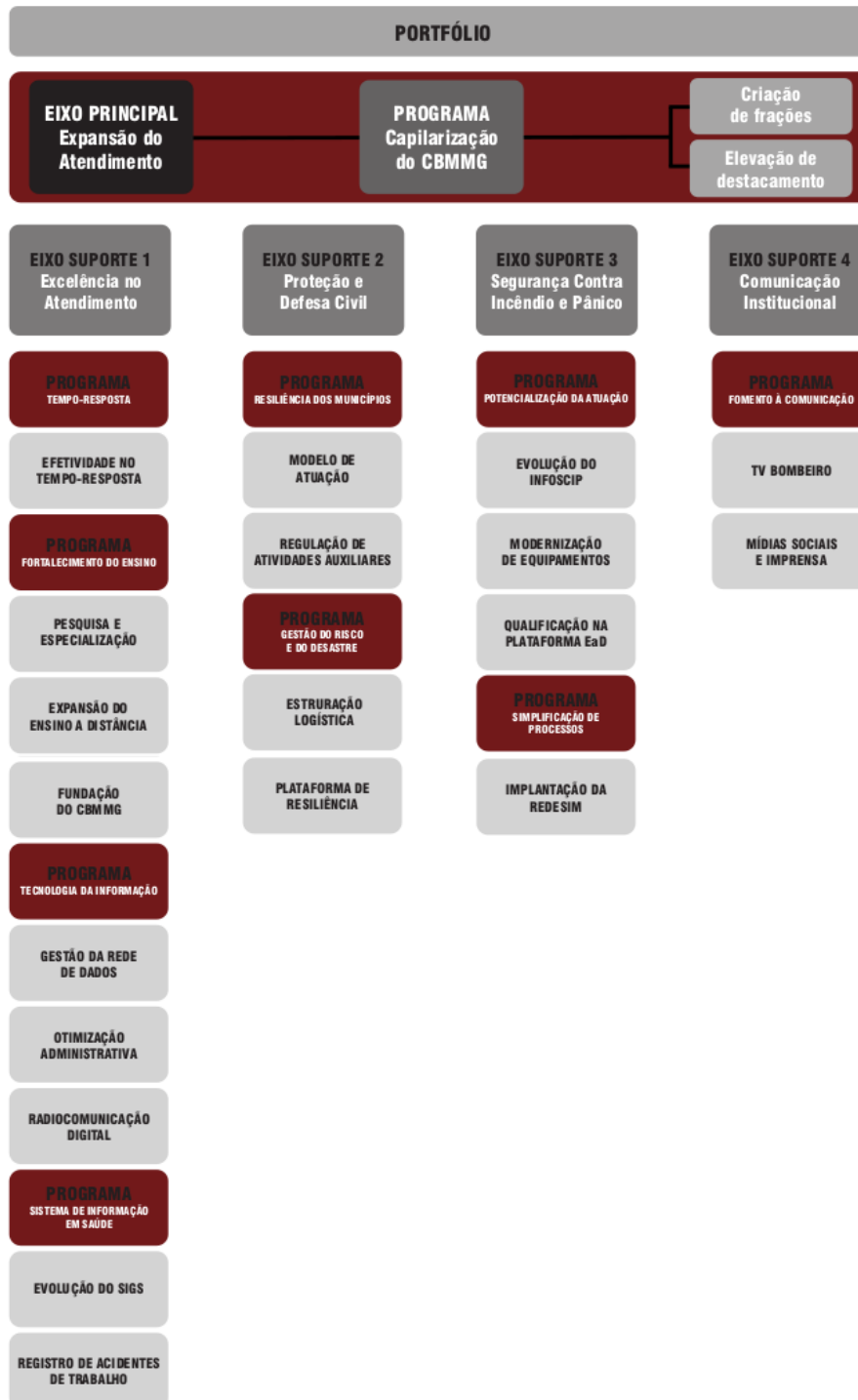
2.1 O Plano de Comando

No ano de 2006, em meio a um cenário político de mudanças e expansões para a corporação, o CBMMG, em constante busca por aprimoramento, desenvolveu seu primeiro Planejamento Estratégico enquanto órgão autônomo. Nesta seara, foi realizado em 2010 um trabalho de diagnóstico corporativo, de acordo com as diretrizes do governo estadual (MINAS GERAIS, 2017b). Os resultados obtidos culminaram em parâmetros que direcionaram as ações administrativas e operacionais da corporação e deram origem à publicação do 1º Plano de Comando 2015/2026 do CBMMG.

Ao longo do biênio 2015/2016, foram designados grupos de trabalhos e gestão conjunta, tendo como foco a definição, a revisão e a consolidação das propostas para obtenção dos objetivos estratégicos definidos pelo Alto Comando do CBMMG. A partir destes estudos, em 2017, foi apresentada a 2ª Edição do Plano de Comando 2015/2026, contemplando o portfólio de programas e projetos alinhados ao planejamento estratégico da corporação. Em 2019, com base nos resultados alcançados pelos projetos executados no biênio 2017-2018, a corporação publicou a 3ª Edição de seu Plano de Comando 2015/2026, demonstrando um processo de avaliação e monitoramento corporativo em constante amadurecimento.

De forma a organizar os temas abordados em seu planejamento estratégico, o portfólio do CBMMG está organizado em um eixo principal, que trata da Expansão do Atendimento, e quatro eixos suportes, que são a base para consecução do eixo principal (MINAS GERAIS, 2017b). Os 10 programas e os 21 projetos estão distribuídos nos eixos principal e suportes, conforme Figura 1.

Figura 1 - Portfólio de Programas e Projetos do CBMMG



Fonte: MINAS GERAIS, 2017b.

2.2 A geração de valor dos projetos

Na 3ª Edição do Plano de Comando 2015/2026, foram apresentados os resultados alcançados pelos projetos durante o biênio 2017-2018. Dos 21 projetos que compõem o portfólio, 12 geraram valor para a instituição, três geraram valor parcialmente e seis não geraram valor para a instituição (MINAS GERAIS, 2019). Cabe ressaltar que o Eixo Principal e os Eixos Suporte 3 – Segurança Contra Incêndio e Pânico e 4 – Comunicação Institucional - apresentaram 100% dos seus projetos gerando valor para o CBMMG.

O Quadro 1 apresenta os projetos do portfólio da 2ª Edição do Plano de Comando 2015/2026 e os resultados destes, apresentados na 3ª Edição do Plano de Comando 2015/2026.

Quadro 1 - Resultados dos projetos da 2ª Edição do Plano de Comando 2015-2026

Projeto	Resultado 2017-2018
Criação de Frações	Gerou valor
Efetividade no Tempo Resposta	Não gerou valor
Elevação de Destacamento	Gerou valor
Estruturação Logística	Não gerou valor
Evolução do Infoscip	Gerou valor
Evolução do SIGS	Gerou Valor parcialmente
Expansão do Ensino à Distância	Gerou valor
Fundação do CBMMG	Gerou valor
Gestão da Rede de Dados	Não gerou valor
Implantação da Redesim	Gerou valor
Mídias Sociais e Imprensa	Gerou valor
Modelo de Atuação	Não gerou valor
Modernização de Equipamentos	Gerou valor
Otimização Administrativa	Gerou valor
Pesquisa e Especialização	Não gerou valor
Plataforma de Resiliência	Não gerou valor
Qualificação na Plataforma EaD	Gerou valor
Radiocomunicação Digital	Gerou valor parcialmente
Registro de Acidentes de Trabalho	Gerou valor parcialmente
Regulação de Atividades Auxiliares	Gerou valor
TV Bombeiro	Gerou valor

Fonte: Adaptado de (MINAS GERAIS, 2019).

2.3 Participantes

Foram convidados a participar da pesquisa para classificar os projetos constantes no portfólio do Plano de Comando do CBMMG 2ª Edição, quanto à sua complexidade, os oficiais lotados na Assessoria de Planejamento do CBMMG (ASPLAN), setor da corporação com função de escritório de projetos. Conforme consta no Ofício nº 22/2018, expedido pela Diretoria de Assuntos Institucionais, a ASPLAN é o setor responsável pelo gerenciamento do portfólio do CBMMG (MINAS GERAIS, 2018), sendo seus oficiais, portanto, os respondentes mais adequados ao questionário, e não os gerentes de cada projeto. A escolha pelos oficiais da ASPLAN como respondentes permitiu que se mantivesse o mesmo critério de avaliação para todo o portfólio, evitando assim, vieses distintos de resposta caso cada gerente fosse o respondente do próprio projeto.

Por se tratar de um setor da corporação composto por poucos oficiais, dois participantes responderam ao questionário, em um universo de três. Os respondentes são militares com mais de dez anos de corporação e que trabalharam em conjunto com todos os gerentes de projetos durante as fases de planejamento e execução dos projetos constantes no Plano de Comando do CBMMG 2ª Edição. Tal característica foi um limitante para o presente estudo.

2.3 Instrumentos

Com base nos fatores que afetam a incerteza e a imprevisibilidade dos projetos da corporação, foi elaborado um questionário estruturado autoaplicável, de múltipla escolha, abrangendo todos os 21 projetos constantes no Plano de Comando 2ª Edição. Para cada projeto, os oficiais da ASPLAN responderam a oito itens, sendo os seis primeiros relativos à incerteza inerente ao projeto e os dois últimos relacionados à experiência prévia e, portanto, à capacidade de lidar com a imprevisibilidade.

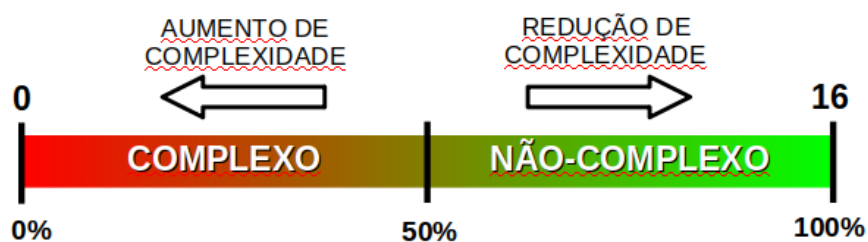
Tendo como base os trabalhos de Ward e Chapman (2003) e de Chapman (2016), foram selecionados seis fatores que afetam significativamente a incerteza dos projetos no CBMMG: 1) a disponibilidade de informações anteriormente à elaboração do plano de projeto; 2) o engajamento das partes interessadas; 3) as mudanças de escopo; 4) a falta de clareza na definição de requisitos de qualidade; 5) a estimativa de orçamento para o projeto e; 6) a existência de equipes multidisciplinares. Além dos fatores relativos à incerteza, dois fatores que afetam a capacidade de lidar com as imprevisibilidades também foram identificados: 1) a existência prévia de projetos similares no CBMMG e; 2) a experiência

prévia do gerente do projeto, seja como membro da equipe, seja gerenciando projetos similares.

Cada um dos oito itens apresentou três alternativas de resposta, sendo que o respondente deveria selecionar apenas uma delas. As alternativas foram valoradas da seguinte forma: 0 ponto relativo à primeira alternativa – maiores incertezas/imprevisibilidades, 1 ponto à segunda alternativa e 2 pontos à terceira alternativa – menores incertezas/imprevisibilidades. Ao final, a pontuação total de cada projeto foi calculada com base na soma das oito alternativas selecionadas e, pela pontuação final, classificou-se um projeto como complexo ou não.

Pela metodologia utilizada, a pontuação mínima para um projeto foi de 0 ponto e a máxima de 16 pontos, sendo que quanto menor a pontuação obtida, menor o nível de certeza e menor a capacidade de lidar com imprevistos. Projetos com pontuação abaixo de 50% do máximo foram classificados como complexos e os demais como não-complexos. O método de classificação dos projetos, conforme a pontuação obtida, pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Classificação dos projetos quanto à pontuação obtida no questionário



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4 Procedimentos de coleta e análise de resultados

Inicialmente, foi realizada uma reunião de nivelamento com os possíveis respondentes ao questionário, de forma a explicar a pesquisa e sanar possíveis dúvidas acerca dos itens. Cada participante respondeu a um questionário autoaplicável, *on-line*, no mês de julho de 2019. As respostas foram analisadas e, para cada projeto, foi feito o somatório das respostas, conforme explicitado no item 2.3.

A pontuação final para cada projeto foi a média aritmética da pontuação obtida por ele em cada um dos questionários aplicados, tendo assim, cada participante, o mesmo peso na pontuação final de um projeto.

3 RESULTADOS

3.1 Análise do portfólio

Dos 21 projetos existentes no Plano de Comando 2ª Edição, nove obtiveram pontuação inferior a oito pontos e foram classificados como complexos. Os outros 12 projetos obtiveram pontuação igual ou superior a oito pontos e foram classificados como não-complexos.

O Quadro 2 apresenta os projetos do portfólio da 2ª Edição do Plano de Comando 2015/2026, a sua classificação em termos da complexidade e a respectiva pontuação média obtida no questionário.

Quadro 2 - Classificação e resultados dos projetos da 2ª Edição do Plano de Comando

Projeto	Classificação	Pontuação Média
Criação de Frações	Não-complexo	13,5
Efetividade no Tempo Resposta	Complexo	7
Elevação de Destacamento	Não-complexo	13,5
Estruturação Logística	Complexo	6,5
Evolução do Infoscip	Não-complexo	11
Evolução do SIGS	Complexo	6
Expansão do Ensino à Distância	Não-complexo	9,5
Fundação do CBMMG	Não-complexo	11
Gestão da Rede de Dados	Complexo	7
Implantação da Redesim	Não-complexo	10,5
Mídias Sociais e Imprensa	Complexo	5
Modelo de Atuação	Complexo	4,5
Modernização de Equipamentos	Não-complexo	12
Otimização Administrativa	Não-complexo	9
Pesquisa e Especialização	Complexo	3,5
Plataforma de Resiliência	Complexo	7,5
Qualificação na Plataforma EaD	Não-complexo	12,5
Radiocomunicação Digital	Não-complexo	9
Registro de Acidentes de Trabalho	Complexo	7,5
Regulação de Atividades Auxiliares	Não-complexo	9,5
TV Bombeiro	Não-complexo	8

Fonte: Adaptado de (MINAS GERAIS, 2019).

O Quadro 3 consolida as respostas do questionário, agrupadas por item. Desta forma, é possível avaliar de forma global o impacto de cada um dos aspectos da incerteza e da imprevisibilidade nos projetos do CBMMG. Considerando-se que, conforme a

metodologia adotada, quanto maior for a pontuação de um item, maior será seu impacto positivo na redução da complexidade, itens com notas mais altas contribuíram para uma redução da complexidade, enquanto itens com notas mais baixas contribuíram para o acréscimo da complexidade.

A nota média relativa, em cada item do questionário, foi calculada pela soma das respostas deste item em cada um dos 21 projetos e dividida pelo valor máximo possível (42), obtendo-se uma ordenação dos fatores que mais influenciam positivamente para a redução da complexidade dos projetos no CBMMG.

Quadro 3 - Nota média agrupada por item do questionário

Item	Nota Média Relativa (%)
Disponibilidade de informações	87
Clareza nos requisitos de qualidade	81
Engajamento das partes interessadas	67
Equipes multidisciplinares	57
Mudanças de escopo	57
Experiência anterior dos Gerentes de Projeto	46
Experiência anterior do CBMMG	30
Estimativa de orçamento	12

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 DISCUSSÃO

O questionário submetido aos oficiais da ASPLAN, para classificar os projetos do CBMMG quanto à sua complexidade, apresentou perguntas relativas à incerteza inerente a um projeto, bem como à capacidade dos gerentes e da corporação de responder aos imprevistos que possam ocorrer durante sua execução. As mesmas perguntas foram feitas para cada um dos 21 projetos do portfólio, suas respostas avaliadas e os projetos classificados em complexos e não-complexos.

De forma geral, foi possível verificar que a estimativa de orçamento para os projetos no CBMMG foi o fator que mais contribuiu para o aumento da complexidade destes, a qual na maioria dos casos era desconhecida e, quando conhecida, muitas vezes não era suficiente. Em seguida, o ineditismo dos projetos foi o segundo fator que mais impactou negativamente na complexidade dos projetos da corporação, pois, o CBMMG nunca havia executado projetos similares em mais da metade do portfólio da revisão 2017-2018 do Plano de Comando. O terceiro fator, apontado pelo questionário, que mais contribuiu para o

aumento da complexidade foi a baixa experiência dos gerentes de projetos, em relação a projetos similares aos executados.

Por outro lado, a disponibilidade de informações anteriormente ao planejamento do projeto foi percebida como satisfatória, na grande maioria dos projetos. A clareza na definição dos requisitos de qualidade para as entregas e a participação das partes interessadas, seja na elaboração dos planos de projetos, seja no engajamento quando solicitados, foram outros dois fatores que contribuíram para reduzir a complexidade na maioria dos projetos.

A partir da análise dos resultados dos projetos ao final da revisão 2017-2018, apresentada na 3ª Edição do Plano de Comando, e sua respectiva classificação de complexidade, obtida pelas respostas do questionário, fica evidente a correlação entre projetos que não geraram valor e sua complexidade. Foi possível observar que a totalidade dos projetos que não geraram valor, apresentados no Plano de Comando 3ª Edição, são projetos classificados como complexos. Da mesma forma, 92% dos projetos que geraram valor foram projetos classificados como não-complexos. Estes dados corroboram os estudos de Baccarini (1996) e Williams (1999), os quais pontuam existir fortes indícios que ferramentas e técnicas tradicionais e lineares de gerenciamento de projetos, ainda que essenciais, são insuficientes para assegurar resultados bem-sucedidos para os projetos mais complexos da atualidade.

Um fator interessante observado foi uma correlação direta entre a alteração do escopo durante a execução de um projeto e sua baixa geração de valor. Os projetos os quais apresentaram maiores mudanças no escopo durante a fase de execução não geraram valor para a corporação, uma vez que as metodologias tradicionais de gerenciamento de projetos apresentam uma menor flexibilidade na condução destes. Já as metodologias ágeis, ao abarcarem métodos iterativos e incrementais, possibilitam aos gerentes de projetos uma maior flexibilidade no replanejamento dos projetos durante a fase de execução, visando atender de forma mais adequada às mudanças de escopo que eventualmente possam ocorrer (SCHWABER e SUTHERLAND, 2017).

Durante a análise dos dados também foi possível inferir uma correlação direta entre o insucesso de um projeto e sua complexidade no CBMMG. Tal aspecto pode ser agravado com a adoção de metodologias tradicionais de gerenciamento de projetos, as quais apresentam baixa adaptabilidade a mudanças, não produzem entregas parciais com valor para o cliente e não fornecem *feedback* à equipe do projeto.

É válido ressaltar que em sua 3ª Edição do Plano de Comando, o CBMMG já acena para a adoção de uma nova abordagem no que tange o gerenciamento de projetos em nível corporativo. Na seção referente ao portfólio estratégico 2019-2020, explicita-se que, a partir da experiência adquirida, foi aprendido que alguns projetos do ciclo 2015-2018 necessitaram ter seu escopo reformulado, o que não foi feito devido à metodologia utilizada no gerenciamento durante este ciclo (MINAS GERAIS, 2019).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As organizações, ao implantarem metodologias ágeis, certamente enfrentam muitos desafios. Contudo, quando o cenário em que se enquadra o projeto se mostra complexo ou complicado, a abordagem ágil se torna mais efetiva, ao promover a colaboração entre as partes e propiciar um aumento na comunicação entre os membros da equipe, ser mais adaptável às mudanças e minimizar o risco. Ademais, devido ao desenvolvimento incremental dos métodos ágeis, com entregas funcionais em cada iteração, alguns dos projetos que não geraram valor para a corporação possivelmente teriam efetuado entregas parciais, podendo gerar algum valor para a instituição.

O presente trabalho classificou os projetos constantes no Plano de Comando 2015/2026 2ª Edição em relação à sua complexidade e apresentou os fatores que mais influenciam, tanto positivamente quanto negativamente, no aumento desta complexidade no CBMMG. Aliado à classificação de complexidade, foi verificada uma correlação direta entre o insucesso de um projeto e sua complexidade.

Um possível aspecto que pode ter contribuído para esta correlação foi a utilização de uma metodologia tradicional de gerenciamento de projetos, a qual se mostra muitas vezes insuficiente para lidar com projetos de elevada complexidade. Destarte, o uso de metodologias ágeis de gerenciamento de projetos se apresenta como solução viável para o gerenciamento destes projetos, especialmente por sua capacidade de adaptação a mudanças de escopo, por propiciar entregas parciais funcionais e por aumentar a colaboração entre os membros da equipe.

REFERÊNCIAS

ABBAS, Noura; GRAVELL, Andrew M.; WILLS, Garry B. Historical Roots of Agile Methods: Where Did “Agile Thinking” Come From?. *In: Abrahamsson P., et. al. (eds) Agile Processes in Software Engineering and Extreme Programming. XP 2008. **Lecture Notes in Business***

Information Processing, v. 9. Springer, Berlin: Heidelberg, 2008. DOI: 10.1007/978-3-540-68255-4_10.

BACCARINI, David. The concept of project complexity - a review. **International Journal of Project Management**, v. 14, n. 4, p. 201-204, 1996. DOI: 10.1016/0263-7863(95)00093-3.

BOEHM, Barry; TURNER, Richard. Balancing Agility and Discipline: Evaluating and Integrating Agile and Plan-Driven Methods. **Proceedings. 26th International Conference on Software Engineering**, p. 718-719, 2004. DOI: 10.1109/ICSE.2004.1317503.

CARVALHO, Bernardo Vasconcelos de; MELLO, Carlos Henrique Pereira. Aplicação do método ágil scrum no desenvolvimento de produtos de software em uma pequena empresa de base tecnológica. **Gestão & Produção**. São Carlos: UFSCAR, v. 19, n. 3, p. 557-573, 2012. DOI: 10.1590/S0104-530X2012000300009.

CHAPMAN, Robert J. A framework for examining the dimensions and characteristics of complexity inherent within rail megaprojects. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 6, p. 937-956, 2016. DOI: 10.1016/j.ijproman.2016.05.001.

COCKBURN, Alistair; HIGHSMITH, Jim. Agile Software Development: The Business of Innovation. **Computer**, v. 34, n. 9, p. 120-127, 2001. DOI: 10.1109/2.947100.

COLLABNET. **13th Annual State of Agile Report**. 2019. Disponível em: <https://www.stateofagile.com/#ufh-i-521251909-13th-annual-state-of-agile-report/473508>. Acesso em: 07 mai. 2019.

FOWLER, Martin. **The New Methodology**. 2005. Disponível em: <https://www.martinfowler.com/articles/newMethodology.html>. Acesso em: 13 mai. 2019.

LARMAN, Craig. **Agile and Iterative Development: A Manager's Guide**. EUA: Addison-Wesley Professional, 2003.

COMPLEXIDADE. In: MICHAELIS. **O Moderno Dicionário da Língua Portuguesa**. Melhoramentos, 2019. Disponível em: <http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>. Acesso em: 28 abr. 2019.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Diretoria de Assuntos Institucionais. **Ofício nº 22/2018**. Belo Horizonte, 2018.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Diretoria de Assuntos Institucionais. **Ordem de Serviço nº 39/2017**. Belo Horizonte, 2017a.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando 2015|2026**, revisão 2017. 2 ed. Belo Horizonte, 2017b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando 2015|2026**. 3 ed. Belo Horizonte, 2019.

PMI. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos: Guia PMBOK**. Versão oficial em português. 5. ed. EUA: Project Management Institute, 2013.

RIGBY, K. Darrell; SUTHERLAND, Jeff; TAKEUCHI, Hirotaka. Embracing Agile. **Harvard Business Review**, p. 40-48, 2016.

SCHWABER, Ken; SUTHERLAND, Jeff. **The Scrum Guide**, 2017. Disponível em: <https://www.scrumguides.org/scrum-guide.html>. Acesso em: 05 fev. 2019.

TURNER, John Rodney; COCHRANE, Robert A. Goals-and-methods matrix: coping with projects with ill defined goals and/or methods of achieving them. **International Journal of Project Management**, v. 11, n. 2, p. 93-102, 1993. DOI: 10.1016/0263-7863(93)90017-H.

WARD, Stephen; CHAPMAN, Chris. Transforming project risk management into project uncertainty management. **International Journal of Project Management**, v. 21, n. 2, p. 97-105, 2003. DOI: 10.1016/S0263-7863(01)00080-1.

WILLIAMS, Terry. The need for new paradigms for complex projects. **International Journal of Project Management**, v. 17, n. 5, p. 269–273, 1999. DOI: 10.1016/S0263-7863(98)00047-7.



Artigo Original

CONVENIÊNCIA DO EMPREGO DE SISTEMAS DE SUPRIMENTO DE AR REDUNDANTES NAS OPERAÇÕES SUBMERSAS DO CBMMG

CONVENIENCE OF EMPLOYMENT OF REDUNDANT AIR SUPPLY SYSTEMS IN CBMMG UNDERWATER OPERATIONS

André Felipe dos Anjos Amaral¹, Heitor Aguiar Mendonça¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a3>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

Os Sistemas de Suprimento de Ar Redundantes (SSAR) são sistemas secundários de respiração subaquática independentes, utilizados para reduzir os riscos da atividade quanto ao guarnecimento de ar. Com intuito de analisar a conveniência operacional da inserção desses sistemas no Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), o presente trabalho objetivou contextualizar a atividade de mergulho autônomo, apresentando equipamentos e configurações voltadas para esse tipo de redundância. Nessa revisão narrativa de literatura, constataram-se previsões de emprego desses equipamentos nos Corpos de Bombeiros Militares do Espírito Santo, Goiás, Santa Catarina e São Paulo. Buscou-se evidenciar procedimentos de segurança adotados e equipamentos que configuram o mergulho autônomo desenvolvido pelo CBMMG, efetuando-se uma análise comparativa com outros Corpos de Bombeiros Militares. Assim, considerando a existência de similaridades entre as características ambientais e critérios de segurança encontrados nas operações submersas dos estados analisados, induziu-se, operacionalmente conveniente, o emprego dos SSAR no CBMMG.

Palavras-chave: Mergulho Autônomo; Bombeiros; Redundância de Ar.

ABSTRACT

The Redundant Air Supply Systems (RASS) are independent underwater breathing systems, used to reduce air supply activity risks. To analyze the operational convenience of the insertion of these systems in the Military Firefighters Corps of Minas Gerais (CBMMG), the present work aimed to contextualize the scuba diving activity, presenting equipment and configurations focused on this type of redundancy. In this review, it was verified the regulation use of these pieces of equipment in the Military Firefighters Corps of Espírito Santo, Goiás, Santa Catarina and São Paulo. There was an attempt to highlight safety procedures adopted and equipment that configure the scuba diving developed by CBMMG, making a comparative analysis with other Military Firefighters Corps. Thus, considering the existence of similarities between the environmental characteristics and safety criteria found in the underwater operations of the analyzed states, the use of RASS in the CBMMG was found operationally convenient.

Keywords: Scuba Diving; Firefighters; Air Redundancy.

Recebido em: 11/10/2019 - Aprovado em: 30/06/2021

E-mail: andre.amaral@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) trabalha incessantemente para assegurar à sociedade mineira a prestação de serviços de defesa civil, prevenção e combate a incêndio, busca e salvamento, estabelecimento de normas relativas à segurança da população e de seus bens contra incêndio ou qualquer tipo de catástrofe, conforme Constituição Estadual (MINAS GERAIS, 1989). Esses serviços desempenhados são divididos em grupos, de acordo com suas características, nos termos da Instrução Técnica Operacional nº 25 (ITO-25) (MINAS GERAIS, 2015), que define a padronização de registro de eventos do CBMMG.

Segundo o Centro Integrado de Informações de Defesa Social (CINDS), as ocorrências do grupo Busca e Salvamento, registradas de janeiro a dezembro do ano de 2018, totalizaram 36.537 e representaram cerca de 10% do total de ocorrências atendidas pelo CBMMG nesse período. Tais ocorrências são atendidas em diversos ambientes, cada qual com suas peculiaridades (MINAS GERAIS, 2018a).

Por esse motivo, a área de Busca e Salvamento no CBMMG desmembra-se em classes, que englobam salvamentos envolvendo altura, ambientes terrestres ou aquáticos, conforme discrimina a Diretriz Integrada de Ações e Operações, elaborada pelo Sistema de Defesa Social de Minas Gerais. É nessa última ramificação que se encontram as naturezas de ocorrências em que são desenvolvidas as operações submersas pelas equipes de mergulho das Unidades de Execução Operacional (MINAS GERAIS, 2018b).

As guarnições de mergulho têm por finalidade realizar buscas de corpos de vítimas de afogamento ou mesmo de bens submersos, utilizando-se para isso, principalmente, de equipamento autônomo de respiração e de técnicas específicas de mergulho, consonante à ITO-25. Para isso, é necessário treinamento específico em matéria de mergulho autônomo (MINAS GERAIS, 2015).

Nesse contexto, a Marinha do Brasil (MB) conceitua mergulho autônomo como aquele em que o suprimento de mistura respiratória é transportado pelo próprio mergulhador e utilizado durante a atividade como sua única provisão (BRASIL, 2016). Para além dessa definição, o mergulho autônomo realizado por bombeiros militares possui mais algumas denominações especificadoras.

De acordo com a Instrução Técnica Operacional nº 12 (ITO-12) que rege as Operações Submersas no âmbito do CBMMG, o mergulhador que executa os trabalhos típicos de bombeiros é denominado Mergulhador de Resgate (MR). Ele é dotado de

capacitação técnica e habilidade para realizar buscas a corpos e a bens materiais debaixo d'água, trazendo-os à superfície. Os preparos físico, mental e psicológico devem ser constantes, pois, muitas de suas buscas são realizadas em locais presumivelmente insalubres e que não oferecem condições seguras de mergulho (MINAS GERAIS, 2007).

Além disso, os mergulhadores bombeiros têm recebido, recentemente, outra denominação, a de Mergulhador de Segurança Pública (MSP) (ESPÍRITO SANTO, 2018). Tais profissionais podem ser acionados para atuar sob quaisquer circunstâncias ambientais, sendo que os fatores de risco intrínsecos às condições hiperbáricas do trabalho não são os únicos. Falhas podem ser fatais e, para reduzir sua incidência, são necessários treinamentos e equipamentos próprios com redundância (SOUZA, 2019).

A utilização de equipamentos específicos e de proteção individual de mergulho autônomo é prevista pela ITO-12 (MINAS GERAIS 2007). Segundo a instrução, são requeridos aparatos técnicos em mananciais onde se verificam maiores profundidades, devendo as ações serem realizadas dentro de rigorosa segurança e planejamento.

Nesse sentido, o Anexo 6 da Norma Regulamentadora 15, do Ministério do Trabalho, de observância obrigatória pelos órgãos públicos da administração direta, obriga expressamente, como forma de redundância, o emprego de suprimento respiratório de reserva para casos de emergência em profundidades a partir de 20 metros (BRASIL, 2019).

Conforme definição trazida pela *National Fire Protection Association* (NFPA) 1670, os Sistemas de Suprimento de Ar Redundantes são sistemas secundários de respiração subaquática independentes, ou seja, cilindros de volume reduzido dotados de primeiro e segundo estágios para respiração, os quais devem ser empregados por organizações que operam tecnicamente em incidentes envolvendo mergulho, visando dar suporte a emergências de baixa ou falta de ar (NFPA, 2004).

Segundo citado pelo Anexo 2, da NORMERG nº 01, do Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo (CBMES), a previsão de redundância dos equipamentos que são vitais ao suporte de vida do mergulhador é impreterível. O mergulhador que imerge com uma configuração dotada de redundância no sistema de suprimento de ar tem capacidade de dar a resposta adequada em caso de danos ou falhas no sistema principal (ESPÍRITO SANTO, 2018).

Diante disso, baseando-se no risco associado à atividade de mergulho autônomo e na carência de equipamentos que impliquem maior segurança quanto ao guarnecimento de ar no CBMMG, fez-se necessário um estudo para analisar operacionalmente o uso de

suprimentos independentes de ar redundantes, conforme padrões preconizados nacional e internacionalmente.

Dessa forma, com intuito de avaliar a conveniência operacional do emprego dos sistemas de suprimento de ar redundantes no CBMMG, o presente trabalho teve como objetivos contextualizar a atividade de mergulho autônomo e apresentar os equipamentos de redundância de ar independentes e suas configurações adotadas por Corpos de Bombeiros Militares.

2 DESENVOLVIMENTO

Essa pesquisa consiste em uma revisão narrativa de literatura, portanto não sistemática. Quanto aos procedimentos técnicos, trata-se de uma pesquisa documental e bibliográfica.

Os artigos desse tipo de revisão são utilizados para descrever o desenvolvimento da área a ser estudada sob o um ponto de vista conceitual ou teórico através de uma análise crítica do autor sobre as literaturas publicadas, fomentando a educação continuada do assunto (ROTHER, 2007).

Nesse contexto, foram feitas buscas por manuais, instruções técnicas e demais normativas na área de mergulho autônomo em acervos internos do CBMMG e em sites oficiais de corporações militares pelo Brasil. Foram realizadas buscas presenciais na biblioteca física da Academia de Bombeiros Militar de Minas Gerais e virtuais em bases de dados eletrônicas sobre artigos, periódicos, livros e demais publicações nacionais e internacionais atinentes aos temas “bombeiro militar” e “mergulho autônomo”, em língua portuguesa e inglesa. Além disso, foram utilizados dados secundários extraídos do Relatório Estatístico Mensal - nº 02/2019 do CINDS para contextualizar a atuação do CBMMG em eventos submersos.

Dessa forma, o presente artigo se propôs a apresentar a atividade de mergulho autônomo e os sistemas de redundância de ar utilizados em Corpos de Bombeiros Militares, mensurando a conveniência operacional de uso desses sistemas no CBMMG através do método de abordagem indutivo. Tal abordagem se desenvolveu aplicando procedimento comparativo com inferência de verdade geral a partir de realidades constatadas em outras corporações, conforme ensinado por Marconi e Lakatos (2003).

2.1 Contexto

2.1.1 Atividade de Mergulho Autônomo

A MB é a instituição responsável pela regulamentação da atividade de mergulho autônomo em âmbito federal. Algumas de suas ordenações se dão através da Norma da Autoridade Marítima para Atividades Subaquáticas (NORMAM) nº 15, cujo propósito é estabelecer regras para a habilitação e cadastramento de empresas prestadoras de serviços de mergulho profissional, bem como disciplinar a formação e emprego dos mergulhadores pelas entidades credenciadas (BRASIL, 2016).

Além disso, outro regramento proveniente da MB é o Manual de Mergulho a Ar. Nesse dispositivo, é possível encontrar diversas conceituações sobre a área de mergulho autônomo, dentre as quais se encontra a de “Equipamento Autônomo de Circuito Aberto” como sendo “[...] todo aquele em que o gás necessário é levado pelo mergulhador em ampolas de alta pressão, sendo exalado após cada respiração, diretamente para o meio ambiente” (BRASIL, 2007). Esse sistema possui o acrônimo “SCUBA” que significa *Self Contained Underwater Breathing Apparatus* (aparelho de respiração subaquático autônomo) e deve ser composto pelos cilindros de gás comprimido principal e reserva e válvulas redutoras de pressão, denominadas primeiro e segundo estágios, como acrescenta Espírito Santo (2018).

Ademais, Espírito Santo (2018) conceitua que o cilindro principal é aquele que supre o MSP com o ar suficiente para que o trabalho submerso seja realizado e padroniza também algumas especificações do equipamento como sua composição em alumínio, sua pressão de trabalho em 200 bar e sua capacidade nominal em 80 pés cúbicos (S80).

Nesse sentido, o Manual de Mergulho da Marinha dos Estados Unidos traz que um cilindro S80 comporta pouco mais de 11,2 litros. Mas, para a Marinha Americana, o cilindro principal utilizado em mergulhos autônomos pode ter um volume interno menor. Ela enfatiza que o menor cilindro que está autorizado a ser empregado como suprimento principal em atividades de mergulho autônomo é o S50 que equivale a cerca de 7,9 litros (EUA, 2016).

Para o Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (CBPMESP), esse cilindro de gás comprimido possui um nome técnico, aprovado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas que é cromo-molibdênio “cilindro para gases a alta pressão”. Resumidamente, eles são recipientes cilíndricos, geralmente de ligas de aço,

sendo as mais comuns ou de alumínio que não podem possuir costuras ou emendas, pois suportam uma pressão de trabalho normal que varia de 150 a 210 atmosferas (ATM) (SÃO PAULO, 2006).

Denominados por Goiás (2018) como “Regulador de Dois Estágios” ou “Regulador de Mangueira Única”, os redutores de pressão são conhecidos também como primeiro e segundo estágios, pois, são compostos por duas peças interligadas por uma mangueira. A primeira peça (primeiro estágio) conecta-se diretamente ao cilindro promovendo a redução da alta pressão existente para cerca de 10 ATM. A segunda peça (segundo estágio) vai presa à boca do mergulhador e tem a função de reduzir novamente a pressão proveniente do primeiro estágio para níveis de pressão que atendam à demanda respiratória do mergulhador de acordo com a profundidade em que ele esteja (GOIÁS, 2018).

Para a *National Association of Underwater Instructors* (NAUI), a configuração mínima a ser adotada por alunos em mergulhos autônomos, além de máscara, nadadeiras, cilindro, colete equilibrador e manômetro submersível, também abarca regulador de segundo estágio adicional ou uma outra fonte alternativa de ar. Ressalta-se que se trata de uma associação recreativa educacional mundial, com propósito de capacitar as pessoas para desfrutarem de atividades subaquáticas de forma segura conforme leis norte-americanas (NAUI, 2017).

Entretanto, conforme Espírito Santo (2018), a atividade de mergulho autônomo desenvolvida pelos Corpos de Bombeiros Militares no país possui alguns diferenciais que ensejam a inserção de aspectos de segurança, como o emprego dos sistemas de fonia sem fio para comunicação subaquática e máscara *full face*, a presença de redundância em ferramentas de corte, roupa seca de mergulho para evitar contaminações e a utilização do cilindro de gás comprimido reserva, tida como obrigatória.

Destarte, o equipamento autônomo de mergulho sobressai-se por sua adequabilidade à maioria das atividades ordinárias de mergulho Bombeiro Militar, tendo em vista sua facilidade de operação. É o que diz Goiás (2018), passando a enumerar como vantagens de seu uso a grande mobilidade, o baixo tempo para preparação, a possibilidade de adentrar em locais confinados, o fácil transporte e a pequena estrutura de apoio necessária, tendo como fator comparativo o sistema de mergulho com suprimento de ar dependente da superfície.

Em contrapartida, ao analisar a NORMAM-15, percebe-se uma limitação de trabalho do aparelho de mergulho autônomo. Para a MB, o sistema para mergulho em águas interiores constituído por equipamentos autônomos dá-se até a profundidade de 20 metros

e somente será empregado para trabalhos leves, nos quais não sejam necessárias paradas para descompressão, não se vislumbrem condições perigosas e cuja corrente máxima não ultrapasse um nó de velocidade (BRASIL, 2016).

Para Brasil (2007), o mergulhador que faz uso deste tipo de sistema deve ser adestrado quanto ao fiel cumprimento dos procedimentos de mergulho e estar munido de alto grau de segurança, tendo conhecimento e confiança absoluta sobre seu equipamento, uma vez que atuará sem comunicação com a superfície, independente de sua equipe de apoio e com suprimento limitado de ar.

2.1.2 Mergulho Autônomo no CBMMG

O estado de Minas Gerais possui grande quantidade de mananciais, com características diversificadas, sendo conhecido como a "caixa d'água" brasileira, em referência à importância das bacias hidrográficas que o banham. Dentre as principais bacias que integram a malha hidrográfica do estado estão as dos rios São Francisco, Grande, Mucuri, Jequitinhonha, Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo e Doce (MINAS GERAIS, 2019a).

Assim, atuando nesses diferentes cenários, dando resposta às demandas de busca e recuperação de pessoas afogadas ou bens submersos, o CBMMG apresenta o maior quantitativo de atendimentos operacionais em rios/riachos e córregos, seguidos por ambientes de lago/lagoa/represa (MENDONÇA, 2018). Tais locais podem ser considerados como de risco baixo ou alto, onde se verificam grandes profundidades, turbidez e correntezas (COSTA, 2011).

Para alcançar essa capacidade de atendimento operacional, a instituição percorreu um caminho de mais de meio século. A princípio, conforme consta no livro do centenário histórico da corporação, os registros associados à atividade de mergulho autônomo no CBMMG se deram por intermédio do então Tenente Celso Sérgio Ferreira, o qual, em meados 1962, criou a Companhia de Proteção Salvamento e Procura, que culminou na qualificação da tropa mineira e modernização de seus equipamentos (MINAS GERAIS, 2013).

Desde então, esse serviço tem sido aprimorado e, nos últimos anos, a corporação vem traçando estratégias de capilarização pelo território, pautando suas ações no eixo principal do Plano de Comando 2015-2026, 2ª edição, o qual prevê programas de extensão da presença da corporação em mais municípios, dinamizando, dessa forma, sua

capacidade de atuação em ambientes aquáticos com maior agilidade e eficiência (MINAS GERAIS, 2017a).

Atualmente, conforme evidencia o Plano de Articulação do CBMMG, por meio da Resolução 860, o órgão está fisicamente presente em 74 municípios mineiros. Essas unidades são responsáveis pelo atendimento de todas as demandas operacionais típicas de bombeiros dos 853 municípios do estado, desdobrando-se para dar as respostas necessárias à sociedade, inclusive quanto àquelas alusivas à classe de mergulho autônomo (MINAS GERAIS, 2019b).

Como forma de contextualizar a incidência de atuação do CBMMG em eventos submersos, faz-se uso de dados extraídos do Relatório Estatístico Mensal nº 02/2019 do CINDS. Suas informações apontam que, apenas nos meses de janeiro e fevereiro de 2019, foram registradas, em Minas Gerais, 162 ocorrências da classe de natureza Mergulho Autônomo. Esses eventos resultaram em 79 vítimas fatais devido a afogamento em todo o estado no período de referência, sendo 73 vítimas do sexo masculino e seis do sexo feminino (MINAS GERAIS, 2019c). Devido à relevância do assunto, torna-se conveniente avaliar como esse trabalho tem sido realizado.

Nesse sentido, a ITO-12 possui como finalidade o estabelecimento de procedimentos adequados para execução e desenvolvimento da atividade no âmbito do órgão. Dentre seus objetivos, figuram a preocupação com a necessidade de atualizar procedimentos, dar conhecimento aos membros da corporação sobre normas de segurança em trabalhos de mergulho, além de minimizar os seus riscos (MINAS GERAIS, 2007).

Nesse íterim, um assunto relacionado aos procedimentos de segurança do mergulho autônomo desenvolvido pelos bombeiros militares de Minas Gerais é a composição da equipe mínima de mergulho. Para locais com profundidades inferiores a 12 metros, a guarnição será composta por quatro mergulhadores. Porém, sob condições inseguras ou profundidades superiores a 12 metros, o efetivo mínimo a ser empregado é de cinco militares, sendo duas duplas de mergulho e um supervisor, havendo, necessariamente, um mergulhador especializado (MINAS GERAIS, 2007).

Complementarmente, Minas Gerais (2007) ressalta que, havendo mergulhadores submersos, deverá constar um “mergulhador reserva”, figura devidamente equipada e em condições de imersão imediata a qualquer sinal de emergência para realizar o resgate do mergulhador em apuros.

Em tempo, Minas Gerais (2007) apresenta taxativamente como situações perigosas/inseguras, nas quais a atenção deve ser redobrada, aquelas em que os trabalhos submersos envolvem corte ou solda, uso e manuseio de explosivos, correntezas superiores a dois nós, manobras com pesos que interferem na fluabilidade do mergulhador, ambientes confinados como cavernas e naufrágios, e, por fim, mergulhos noturnos. Esses devem acontecer somente quando houver possibilidade de resgate de vida humana, ou seja, em situações em que a submersão comprovada se deu por tempo inferior a uma hora, sem sinais evidentes de morte (MINAS GERAIS, 2017b).

Ademais, outro ponto chave que norteia as operações submersas desenvolvidas pelos bombeiros militares em Minas Gerais diz respeito às profundidades máximas de trabalho. A regra é que os mergulhos com equipamento autônomo a ar comprimido não excedam 30 metros. Não obstante, caso autorizado pelo Comandante Operacional de Bombeiros, poderão ser realizados mergulhos em profundidades maiores, após estudo de situação (MINAS GERAIS, 2007).

Por fim, cita-se a configuração de mergulho adotada no CBMMG. Conforme ITO-12 os equipamentos obrigatórios para atuação são máscara facial com *snorkel*, colete equilibrador, roupa de neoprene, nadadeiras, profundímetro, relógio, faca, além do conjunto de respiração constituído com apenas uma válvula de estágio único e cintos com lastros em alguns casos (MINAS GERAIS, 2007).

2.1.3 Riscos da Atividade de Mergulho Autônomo

Para compreender alguns riscos associados à atividade de mergulho autônomo, torna-se relevante a inserção de alguns conceitos da física aplicada ao mergulho. Silva (2017) cita resumidamente as leis de Boyle, Dalton e Pascal e suas relações com o mergulho. Quanto à primeira lei, ele afirma “[...] está ligada ao volume pulmonar do mergulhador que sofre redução ao descer e que volta ao volume normal ao subir [...]”. Em relação à Lei de Dalton, insere que o princípio é “[...] conhecido como a lei da pressão parcial dos gases, esta lei está diretamente ligada à mistura gasosa que o mergulhador vai usar, pois o oxigênio é tóxico a grandes profundidades [...]”. E sobre a lei de Pascal, ele confirma que a pressão atua em todas as partes do corpo do mergulhador, podendo causar-lhe barotraumas. Nesse sentido, para citar os efeitos da pressão sobre o corpo humano, proporcionados pela atividade de mergulho autônomo, faz-se uma divisão entre efeitos diretos e indiretos, conforme ITO-12. Os diretos ou primários são aqueles que

resultam da ação mecânica da pressão sobre as células e cavidades corporais, cujas consequências são basicamente a embolia traumática pelo ar e os barotraumas como os de ouvido, seios da face, pulmões e dental. Existem também os efeitos indiretos ou secundários, aos quais estão associadas alterações fisiológicas decorrentes das pressões parciais dos gases absorvidos pelo organismo. Esses se subdividem em duas naturezas, a biofísica onde se enquadra a doença descompressiva; e as bioquímicas, onde se inserem as intoxicações por oxigênio, gás carbônico e outros gases, bem com a narcose pelo nitrogênio (MINAS GERAIS, 2007).

Além desses riscos de doenças e acidentes relacionados à pressão, existem outros fatores ligados às fatalidades no mergulho. Conforme a 8ª edição do PHTLS (2017), a maioria das mortes associadas ao mergulho não mudou com o passar dos anos, sendo a insuficiência ou falta de ar durante a operação o evento mais frequente, culminando em *causa mortis* por afogamento ou asfixia.

Além disso, como forma de minimizar ocorrências de insuficiência ou falta de ar no mergulho autônomo, Espírito Santo (2018) impõe que é necessário realizar um cálculo que estime o volume de ar respirável continente no cilindro, prevendo uma reserva de segurança. Essa medida consiste em deixar 50 bar de pressão do cilindro principal como reserva no momento de calcular. Goiás (2018) exemplifica através de um cilindro com volume interno de 11 litros e pressão de trabalho de 200 bar, em que o planejamento da capacidade do cilindro se dará multiplicando 150 bar por 11 litros (150X11), que resulta em 1650 litros. Acrescenta que, para estimar tempo de autonomia, deve-se dividir esse valor pelo consumo de ar na profundidade da atividade.

Ademais, outra forma recomendada por Minas Gerais (2007) para agregar segurança e que pode ser útil em emergências de falta de ar é realizar o mergulho preferencialmente em duplas. Para Goiás (2018), sendo necessário o compartilhamento de ar, o mergulhador que estiver com o problema sinalizará à sua dupla a emergência, momento em que lhe será fornecido o gás através de um segundo estágio reserva, caso o mergulhador socorrista possua esse sistema alternativo de suprimento, passando ambos a iniciar a ascensão até a superfície. Em casos extremos, não havendo um sistema alternativo de ar, ou seja, quando os mergulhadores estão equipados apenas com um segundo estágio, realizar-se-á o compartilhamento de bocal entre os mergulhadores, abortando a operação e iniciando a subida.

Dessa forma, é importante ressaltar que essa fonte alternativa de ar poderá servir tanto para uso do próprio mergulhador quanto para doação à dupla em emergências, sendo

um equipamento tido como obrigatório na configuração de mergulho, conforme dispõe o Corpo de Bombeiros Militar de Rondônia em sua regulamentação interna da atividade. Esse segundo estágio reserva, ou simplesmente *octopus*, geralmente de cor amarela e com mangueira de cerca de 100 cm, fica disponível e com fácil soltura em uma posição lateral ao corpo do bombeiro (RONDÔNIA, 2016).

De acordo com Espírito Santo (2018), o sistema de duplas, amplamente ensinado em cursos de mergulho autônomo recreativos com finalidade de agregar segurança aos seus praticantes, pode ser perigoso e desajeitado quando aplicado em operações de mergulho de segurança pública. A regra básica de nunca mergulhar sozinho torna-se inconveniente quando o local dos trabalhos apresenta correnteza, restrição de visibilidade e obstáculos na rota de fundo dos MSP. Para suprir tal ausência, é necessária a existência de um mergulhador de emergência em condições de atuar, bem como o porte de equipamentos de redundância de ar e corte pelo mergulhador principal.

Ainda se tratando dos riscos associados ao MSP, outro risco relacionado por Araújo (2018) é a possibilidade da ocorrência do enrosco, que pode culminar no aprisionamento do mergulhador por diversos obstáculos como rochas, vegetações submersas e redes de pesca, neste último caso sendo definido como enredamento. Para Espírito Santo (2018), Anexo 2, essa possibilidade de retenção do mergulhador possui maior incidência em rios, lagos e lagoas devido às suas áreas alagadas com presença de vegetações que complicam o deslocamento subaquático, onde a pesca é explorada economicamente e são encontrados descartes de utensílios como de anzóis, redes e tarrafas, bem como a proximidade de centros urbanos, propiciando a presença de lixo doméstico e consequente poluição do curso d'água. Souza e Pacheco (2018) ressaltam ainda que 77,8% das buscas subaquáticas realizadas pelo CBMES ocorrem em rios, lagos e lagoas e apenas 12,7% no mar, conforme levantamento realizado no ano de 2017.

O Anexo 2 supracitado continua afirmando que os mergulhadores, mesmo com a presença do risco do enrosco, devem trabalhar com cordas que sirvam como guia em águas que, muitas vezes, apresentam restrição ou privação de visibilidade. Salaria que, para reduzir tais riscos e dar chances de resposta ao mergulhador, é imperativo que o bombeiro esteja equipado com sistema de fonia subaquática sem fio, para relatar problemas à equipe de superfície, portar duas ferramentas de corte, sendo uma convencional e outra do tipo “Z”, específica para corte de cabos e redes e possuir suprimento de gás extra. Mesmo portando esses mecanismos de redundância, existe a possibilidade de complicação da situação, sendo que “[...] o pior cenário possível gerado

pelo enrosco é o esgotamento do suprimento de gás antes que o mergulhador de segurança pública possa se libertar ou receber ajuda levando-o ao afogamento” (ESPÍRITO SANTO, 2018).

Por fim, apresenta-se o estudo de Denoble *et al.* (2008), em que foram revisados 947 casos de mortes acidentais durante as atividades de mergulho autônomo, entre 1992 e 2003. O estudo foi dividido em etapas que incluíam o “fator desencadeador”, “circunstância incapacitante” e “causa da morte”. Quanto ao fator desencadeador, os eventos mais constatados foram 41% de gás insuficiente, 20% de aprisionamento e 15% de problemas de equipamento. Em relação às circunstâncias incapacitantes, os eventos mais notados foram que 55% das mortes ocorreram durante a subida de emergência e 27% quando da insuficiência de ar. Sobre a etapa em que se avaliava a causa da morte, o resultado foi que em 70% dos casos se dava por afogamento.

2.2 Sistemas de Suprimento de Ar Redundantes e sua utilização em Corpos de Bombeiros Militares do Brasil

As buscas por artigos científicos, manuais, instruções técnicas e demais normativas na área de mergulho autônomo identificaram a utilização dos SSAR nos Corpos de Bombeiros Militares dos estados do Espírito Santo, Goiás, São Paulo e Santa Catarina.

O CBMES utiliza a nomenclatura *bail out* para tratar do cilindro de SSAR e disciplina sua utilização como sendo exclusivamente para contingência em casos emergenciais de falta de ar no cilindro principal do mergulhador, seja por falha no cálculo de consumo do gás, seja por vazamentos ou problemas no sistema. Em situações assim, quando o bombeiro passar a respirar com a reserva do *bail out*, deve-se abortar imediatamente os trabalhos de mergulho, iniciando o retorno à superfície adotando a velocidade máxima de subida preconizada (nove metros por minuto), valendo-se do cabo guia para orientação e realizando a parada de segurança, se possível (ESPÍRITO SANTO, 2018).

O *bail out* é considerado “sagrado”, e, em nenhuma hipótese, pode ser utilizado para que o mergulhador permaneça por mais tempo nos trabalhos submersos. Ademais, orienta que, caso ocorra também o esgotamento do SSAR e estando o mergulhador ainda submerso, este deve dar início à subida de emergência, que consiste em nadar ou boiar até a superfície exalando continuamente o ar dos pulmões, pronunciando o som da vogal “U” durante todo o trajeto, mantendo as vias aéreas pérvias (ESPÍRITO SANTO, 2018).

Quanto ao volume interno dos cilindros de ar redundantes, a agência de treinamento internacional *Emergency Response Diving International* (ERDI, 2000, 2012) aconselha que sejam de no mínimo três litros (S18), recomendando fortemente a utilização do cilindro de 4,3 litros (S30) para que mergulhador possa realizar uma subida com segurança e sem pressa.

Conforme relatado por Magrini e Tibola (2016), o 12º Batalhão do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) utiliza, desde 2013, um SSAR de volume menor para casos de necessidade de abandono do equipamento de mergulho no fundo e subir em fuga ou ofertar para a sua dupla. Com nome comercial *Spare Air* modelo 300 *Standard*, o sistema redundante é denominado como *Backup* pela referência. Dimensionado com 34 cm de comprimento e 5,7 cm de diâmetro, seu volume interno é de 3 pés cúbicos, cerca de 0,44 litro, sendo capaz de comportar 85 litros de ar quando carregado a 200 bar, sua pressão máxima de trabalho, proporcionando 53 respirações na superfície, baseando-se em inspirações de 1,6 litro por vez (SPARE AIR®, 2018).

Além do volume reduzido, Magrini e Tibola (2016) trazem outras especificações técnicas que constam do manual do *Backup* de ar (SPARE AIR®, 2018). O primeiro e segundo estágios são integrados diretamente ao cilindro, inexistindo mangueiras que os conectem, permitindo que o bocal de respiração se encontre junto ao corpo do próprio cilindro. Sua constituição é de alumínio com cor amarelo luminoso, pesando menos de um quilo quando completo. Para recarregá-lo, faz-se o uso de um adaptador que o conecta a um cilindro convencional e permite a transferência de gás por diferença de pressão, em 30 a 60 segundos (Figura 1).

Ainda de acordo com Magrini e Tibola (2016), foram realizados testes de autonomia no *Spare Air* 300 em piscina a profundidade de 1,5 metros e em represa a seis metros de profundidade, avaliando, em ambos os casos, a autonomia em mergulho estático e dinâmico. Em piscina, o mergulho estático “[...] com organismo totalmente descansado, o equipamento teve uma autonomia de 3min45s. Se levarmos em consideração as diferenças entre cada organismo humano podemos considerar uma autonomia entre 3 e 5 minutos” e em mergulho dinâmico na piscina “[...] o *Spare Air* teve uma autonomia de 2min28s, levando em consideração a velocidade máxima de 18 m por minuto, seria possível realizar uma subida de 44 metros, sem comprometer a segurança no quesito velocidade de subida” (MAGRINI e TIBOLA, 2016).

No teste de mergulho estático em represa, “[...] com organismo totalmente descansado, o equipamento teve uma autonomia de 3min32s. Se levarmos em

consideração as diferenças entre cada organismo humano podemos considerar uma autonomia entre 3 e 5 minutos” e em mergulho dinâmico na represa “[...] o *Spare Air* teve uma autonomia de 2min16s, levando em consideração a velocidade máxima de 18 m por minuto, seria possível realizar uma subida de 40 metros, sem comprometer a segurança no quesito velocidade de subida” (MAGRINI e TIBOLA, 2016).

Figura 1 - À esquerda o *Backup* de ar *Spare Air*® e à direita o sistema sendo carregado



Fonte: Magrini e Tibola (2016).

Retomando a apresentação dos volumes dos SSAR, evidencia-se o *bail out* padronizado por Espírito Santo (2018). No CBMES, o sistema de fornecimento de ar do mergulhador conta com a redundância de um cilindro de 4,3 litros (S30) feito de alumínio, pressão de trabalho de 200 bar e dotado de registro (torneira) de fluxo de ar independente do sistema principal e que deve estar sempre aberto durante a operação. Conectado a esse registro vai o segundo estágio reserva que servirá também como fonte alternativa de ar.

Em consonância, Goiás (2018) cita como referência a ser adotada em seu manual de mergulho os mesmos padrões de SSAR disciplinados pelo CBMES supracitados. Destaca ainda que o uso de um segundo estágio reserva é obrigatório na configuração e que sua montagem se dá diretamente no cilindro reserva quando se adota o *bail out* e não no cilindro principal (Figura 2).

Figura 2 - Cilindro Principal com Redundância



Fonte: Adaptado de GOIÁS (2018) *apud* Dop/ESPÍRITO SANTO (2017).

Já para o CBPMESP, o SSAR se dá através do chamado “cilindro de emergência” e possui volume diferenciado dos demais apresentados. Segundo São Paulo (2006), o cilindro mais indicado para casos de eventualidade tem de seis a oito litros, também de torneira com registro independente onde se conectam os 1º e 2º estágios.

Passando para o posicionamento do SSAR na configuração adotada pelos MR, verifica-se a existência, basicamente, de dois padrões. A primeira forma de montagem é a afixação do cilindro redundante ao cilindro principal, nas costas do mergulhador (Figura 3). A segunda forma é a amarração ou clipagem na parte frontal do mergulhador, geralmente afixado ao colete equilibrador (Figura 4), facilitando, nesse caso, que o mergulhador seja capaz de remover o cilindro redundante debaixo d'água e entregá-lo para outro mergulhador que precise de ar em uma situação de emergência (ERDI, 2000, 2012).

Figura 3 - Cilindro *bail out* (S30) afixado ao Cilindro principal (S80)



Fonte: Espírito Santo (2018).

Figura 4. Cilindro *bail out* S30 afixado ao Colete Equilibrador



Fonte: ERDI (2000).

Dentre os Corpos de Bombeiros Militares supracitados, depreende-se que, nos estados do Espírito Santo e Goiás, a configuração de montagem do *bail out* é a fixação ao cilindro principal, conforme Espírito Santo (2018) e Goiás (2018). Além de um encaixe com trava de alumínio maciço, o sistema conta com uma correia de nylon reforçada própria para fixação em cilindro S80 (*Cam Band*) e um par de abraçadeiras de aço inoxidável para envolver o cilindro S30. No CBMSC, conforme trazido por Magrini e Tibola (2016), não há engessamento quando posicionamento do *Spare Air*, sendo exemplificada apenas uma forma de utilização, qual seja, fixado frontalmente ao colete equilibrador. Por fim, São Paulo (2006) apresenta as duas formas de montagem do SSAR, preso ao cilindro principal e preso ao colete equilibrador, ressaltando a importância de o mergulhador estar treinado e habituado a, mesmo sem visibilidade, tatear e abrir a sua torneira e acessar o segundo estágio reserva.

Tabela 1 - Resumo dos SSAR adotados pelos Corpos de Bombeiros Militar (CBM)

CBM	Nomenclatura	Modelo	VOLUME (L)	Configuração
Espírito Santo	<i>Bail Out</i>	S30	4,3	Preso ao cilindro principal
Goiás	<i>Bail Out</i>	S30	4,3	Preso ao cilindro principal
São Paulo	Cilindro de Emergência	Variável	6,0 a 8,0	Preso ao cilindro principal ou colete equilibrador
Santa Catarina	<i>Backup de Ar</i>	<i>Spare Air</i>	0,44	Preso ao colete equilibrador

Fonte: Elaborado pelos autores.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre os achados da pesquisa, verifica-se, inicialmente, que a maioria das causas de mortes relacionadas ao mergulho autônomo se dão por fatores relacionados à falta de ar e culminam em morte do mergulhador por afogamento, conforme estudos apresentados por Denoble *et al.* (2008) e PHTLS (2017). Por isso, o desempenho da atividade em condições perigosas insere os bombeiros militares em situações de vulnerabilidade que poderiam ser evitadas com a complementação de um SSAR à configuração de mergulho adotada.

Em relação aos padrões de segurança estabelecidos pela ITO-12 do CBMMG para suas operações submersas, constatou-se a ausência de parâmetros de redundância por suprimentos de ar independentes e a não obrigatoriedade de se garantir uma reserva de emergência no momento do cálculo de tempo de autonomia do cilindro principal. Além disso, nota-se que não está expressa a obrigatoriedade da presença de um segundo estágio reserva como fonte alternativa de ar nos mergulhos da corporação. A recomendação da ITO-12 quanto à execução do mergulho autônomo em duplas pode ser entendida como uma forma alternativa para suprir a necessidade de um dos mergulhadores em uma emergência de falta de ar. Entretanto, para que ocorra o compartilhamento de ar por bocal em uma situação como essa é imprescindível que o militar tenha elevado preparo técnico, tranquilidade no momento da dificuldade e uma grande experiência, atributos que nem sempre poderão ser exigidos dentre os executantes do serviço.

Considerando a configuração de equipamentos estabelecida pela mesma ITO, ficou comprovada uma similaridade com aquela estabelecida para mergulhos autônomos recreativos pela NAUI. Essa certificadora ainda acrescenta, por segurança, um segundo estágio reserva ou outra fonte alternativa de ar como obrigatória. Comparando-se a configuração mineira àquela disposta pelo CBMES, detectou-se uma grande disparidade, mormente no que tange ao uso de itens como SSAR, roupa seca de mergulho, máscara *full face* com sistema de fonia subaquática sem fio, além dos convencionais. Isso se evidencia nessa corporação pelo afloramento de uma identidade própria denominada MSP para os mergulhos realizados por bombeiros militares, como uma ramificação/especialização da atividade normatizada precipuamente pela MB, tendo em vista as particularidades ambientais encontradas em rios e lagos, onde estatisticamente se atendem a maioria das ocorrências dessa natureza.

Foi constatado, dentre os quatro CBM onde foram encontradas previsões normativas de uso de SSAR, que dois deles, CBMES e Corpo de Bombeiros Militar de Goiás, oferecem às suas operações submersas os padrões de segurança sugeridos pela certificadora

internacional ERDI, com a utilização do *bail out* de 4,3 litros e configuração presa ao cilindro principal. Isso sugere uma adaptabilidade dessas tropas a essa configuração e uma preferência de tais instituições ao uso do volume supracitado como forma de redundância.

Quanto ao SSAR que tem sido empregado pelo CBMSC, apesar de sua capacidade volumétrica limitada, depreende-se que se propõe com eficácia a suprir mergulhadores em situações emergenciais de aprisionamento e necessidade de abandono dos demais equipamentos, podendo evitar acidentes como apagamento e afogamento durante a fuga. Tal inferência se dá baseando-se nos testes realizados por Magrini e Tibola (2016), mesmo adotando a velocidade de subida de nove metros por minuto.

Nesse sentido, portabilidade e facilidade de posicionamento do *Spare Air* se tornam interessantes quando observados aspectos da configuração “*hogarthiana*” de mergulho, proposta pelo norte-americano Willian Hogarth, que pregava a simplicidade e minimalismo como forma de prevenir possibilidades de falhas e acidentes. Em contrapartida, a configuração de redundância de ar sugerida pelo CBPMESP pode gerar desconforto e prejudicar a ergonomia em ambientes de mergulho com espaço limitado, uma vez que prevê a utilização de cilindros maiores. Ademais, a configuração utilizada pelo CBPMESP pode despertar no mergulhador uma possibilidade equivocada de continuar os trabalhos no fundo após passar a utilizar o cilindro reserva ao invés de iniciar imediatamente a subida para finalizar a operação.

Quanto às características das atividades de mergulho desenvolvidas pelas corporações supracitadas, ficou evidenciada a existência de similitudes quanto ao serviço realizado, qual seja, busca, resgate e recuperação de pessoas e bens submersos e quanto aos ambientes onde majoritariamente se desenvolvem os eventos (rios e lagos).

Nesse contexto, tendo como fundamento o empreendimento de esforços em prol de políticas de atualização trazido pelo Plano de Comando, por meio do programa de modernização tecnológica que visa à adequação às demandas operacionais e valorização de pessoas, torna-se conveniente a inserção de um SSAR como forma de prevenir acidentes de mergulho relacionadas ao guarnecimento de ar e proteger os militares que arriscam suas vidas em prol do cumprimento da missão constitucional do CBMMG. Todavia, torna-se essencial a realização de estudos futuros que objetivem saber por testes práticos qual SSAR e configuração mais se adaptam, operacionalmente, ao CBMMG.

Portanto, apresentados o contexto atual do mergulho autônomo e os Sistemas de Suprimento de Ar Redundantes e suas configurações utilizadas, considerando-se as similaridades entre os ambientes e serviços executadas pelos Corpos de Bombeiros

Militares, infere-se, por indução, que esses sistemas também são operacionalmente convenientes à realidade do CBMMG, podendo contribuir para que os riscos intrínsecos à atividade sejam minimizados de forma técnica e eficiente.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, Thompsom Thauzer Rodrigues de. **Ferramentas de Corte Adicionais no Mergulho Bombeiro Militar do 1º BBM**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) - Comando da Academia e Ensino Bombeiros Militar, Corpo de Bombeiros Militar de Goiás, Goiânia, 2018.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 15 – Atividades e Operações Insalubres**. Brasília: Ministério do Trabalho e Emprego, 2019.

BRASIL. Marinha do Brasil. **Manual de Mergulho a Ar**. Centro de Instrução e Adestramento Almirante Átila Monteiro Aché - CIAMA - 201. Rio de Janeiro: 2007.

BRASIL. Marinha do Brasil. Diretoria de Portos e Costas. **Normas da Autoridade Marítima para atividades Subaquáticas – NORMAM-15/DPC**. 2. Rev., 2016. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/dpc/sites/www.marinha.mil.br/dpc/files/normam15.pdf>. Acesso em: 16 de mar. 2019.

COSTA, Thales Gustavo de Oliveira. **Utilização da Roupa Seca de mergulho por Profissionais do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais: estudo sobre a viabilidade operacional**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) - Academia de Bombeiros Militar de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011.

DENOBLE, Petar J.; CARUSO, James L.; DEAR, Guy de L.; PIEPER, Carl F.; VANN, Richard. D. Common. Causes of Open-Circuit Recreational Diving Fatalities. **Undersea and Hyperbaric Medical Society**, v. 35, n. 6, 2008.

ERDI. Emergency Response Diving International. **International Training and Emergency Response Diving International Manual**. v. 1.0, 2000.

ERDI. Emergency Response Diving International. **Emergency Response Diver I Operations Manual**. Introdução aos protocolos e requisitos necessários para o Mergulhador de Respostas a Emergências na Função de Segurança Pública. v. 1112, 2012.

ESPÍRITO SANTO. Corpo De Bombeiros Militar do Espírito Santo. Diretoria de Operações. **Norma de Mergulho n. 1/NORMERG**. Regras de segurança e procedimentos para Operações de Mergulho de Segurança Pública no âmbito da Corporação. Vitória: CBMES, 2018.

EUA. Estados Unidos da América. Marinha dos Estados Unidos. **U.S. Navy Diving Manual**. Direction of Commander, Naval Sea Systems Command. 7. Rev., 2016.

GOIÁS. Corpo de Bombeiros Militar de Goiás. **Manual Operacional de Bombeiros: Mergulho Bombeiro Militar**. Goiânia: CBMGO, 2018.

MAGRINI, Michael; TIBOLA, Maycon. Utilização de Backup no Mergulho de Segurança Pública: Um Sopro Na Vida Dos Mergulhadores. **IGNIS - Revista Técnico Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**, Florianópolis, Ed. Especial XVI SENABOM, p. 69-83, 2016.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MENDONÇA, Heitor Aguiar. **Mergulho Autônomo no CBMMG: Análise da Demanda Operacional em Minas Gerais no período de 2015 a 2017**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (CEGEDEC) - Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2018.

MINAS GERAIS. [Constituição (1989)]. **Constituição do Estado de Minas Gerais**. 16. ed. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2016.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica Operacional n. 12/2007: Operações Submersas**. Belo Horizonte: CBMMG, 2007.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar De Minas Gerais. **CBMMG: Cem Anos de História e Reflexão 1911 - 2011**. Belo Horizonte: Editora Rona, 2013.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica Operacional n. 25/2015: Registros de Evento de Defesa Social**. Belo Horizonte: CBMMG, 2015.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando 2015-2026 2ª edição**. Belo Horizonte, 2017a.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica Operacional n. 23/2017: Protocolo de Atendimento Pré-Hospitalar**. 2. ed. Belo Horizonte: CBMMG, 2017b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Relatório Estatístico Mensal - nº 12/2018**. Centro Integrado de Informações de Defesa Social – CINDS. Belo Horizonte: CBMMG, 2018a.

MINAS GERAIS. Secretaria de Estado de Segurança Pública. **Diretriz Auxiliar de Operações (DIAO)**. Belo Horizonte, 2018b.

MINAS GERAIS. Site Oficial do Executivo - **Governo de Minas Gerais**. Disponível em: <https://www.mg.gov.br/conteudo/conheca-minas/geografia/bacias-hidrograficas>. Acesso em: 26 de mai. 2019a.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Resolução n. 860, de 08 de agosto de 2019. **Regulamenta o Plano de Articulação do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2019b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Relatório Estatístico Mensal - nº 02/2019**. Centro Integrado de Informações de Defesa Social – DIAO. Belo Horizonte, 2019c.

NAUI, National Association of Underwater Instructors. **Manual de Regras e Padrões**. Edição 2017, versão 1.0. Riverview: 2017.

NFPA. National Fire Protection Association - **NFPA 1670 Standard on Operations and Training for Technical Search and Rescue Incidents**. Reno: 2004.

PHTLS, Prehospital Trauma Life Support. **Atendimento Pré-Hospitalar Traumatizado**. National Association of Emergency Medical Technicians and American College of Surgeons. 8. ed. Burlington: Ed Jones & Bartlett Learning, 2017.

RONDÔNIA. Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Rondônia. Resolução n. 90, de 01 de julho de 2016. Diretoria de Legislação e Controle de Recursos Humanos: **Regulamenta os Procedimentos para a Realização das Atividades de Mergulho de Resgate, no Âmbito do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Rondônia**. Porto Velho: CBMRO, 2016.

ROTHER, Edna Terezinha. Revisão Sistemática x Revisão Narrativa. **Acta Paulista de Enfermagem – Escola Paulista de Enfermagem**, São Paulo, v. 20, n. 02, 2007.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros 27: Manual de Operações de Mergulho**. São Paulo: CBPMESP, 2006.

SILVA, Roberto Calábria Guimarães da. **Identificação do Nível do Estresse da Atividade de Mergulho Profundo, a partir da Percepção do Mergulhador**. 2017. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Industrial) - Escola Politécnica UFBA, Salvador, 2017.

SOUZA, Carlos Alberto Mendes de; PACHECO, Fabiano José de Aguiar. Especialização do Mergulho de Segurança Pública no Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo – CBMES. **Revista FLAMMAE - Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco**, v. 04, n. 10, 2018.

SOUZA, Carlos Alberto Mendes de. O Risco de Contaminação na Atividade de Mergulho de Segurança Pública no Corpo de Bombeiros Militar do Espírito Santo – CBMES. **Revista FLAMMAE - Revista Científica do Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco**, v. 05, n. 12, 2019.

SPARE AIR®. Submersible Systems LLC. **Spare Air 300 Owner's Manual: Saving Lives For Over 35 Years**. Huntington Beach. 2018.



Artigo de Revisão

ANÁLISE DAS APLICAÇÕES DE SOFTWARES SIMULADORES DE INCÊNDIO POR FLUIDODINÂMICA COMPUTACIONAL POR BOMBEIROS MILITARES BRASILEIROS

APPLICATION ANALYSIS OF FIRE SIMULATOR SOFTWARE BASED ON COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS BY BRAZILIAN MILITARY FIREFIGHTERS

Henrique Diniz Mello¹, Paulo Henrique Camargos Firme¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a4>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

Os programas computacionais baseados em fluidodinâmica (Computational fluid dynamics – CFD, em inglês) são ferramentas de pesquisa amplamente utilizadas em todo o mundo. A alavancagem no desenvolvimento da ciência do fogo, a partir dos anos 2000, teve grande influência do lançamento do Simulador Dinâmico de Incêndio (Fire Dynamics Simulator – FDS, em inglês). Diante dessa rápida evolução, é importante que os corpos de bombeiros militares do Brasil, como órgãos reguladores e principais referências no assunto, acompanhem a produção de conhecimento. Sendo assim, o presente estudo objetivou identificar e discutir como os bombeiros militares brasileiros utilizam essa ferramenta. Para tal, foi realizada revisão bibliográfica e entrevista aos principais autores bombeiros envolvidos nessa pesquisa. Foram detectados seis estados que já identificaram essa tendência e, dentre eles, quatro que já produziram conhecimento a partir da aplicação direta do FDS. Também foram constatadas aplicações práticas desse tipo de ferramenta na atividade-fim das corporações, especialmente em perícias e avaliação de normas. O estudo permitiu concluir que a produção científica com o uso de CFD por bombeiros militares brasileiros é ainda incipiente e carece de incentivo das corporações em apoio às iniciativas individuais.

Palavras-chave: Bombeiros; Incêndio; Fluidodinâmica computacional.

ABSTRACT

Computational fluid dynamics (CFD) programs are research tools widely used worldwide. The growth in the development of fire science from the 2000s onwards has been greatly influenced by Fire Dynamics Simulator (FDS) release. Given this quick evolution, it is necessary that the Brazilian Military Firefighters Corps, as legislators and main references in this subject, follow knowledge production closely. Therefore, the objective of this study was to identify and discuss how Brazilian military firefighters use this tool. For that purpose, a literature review was performed, as well as interviews with the main military firefighters authors in the area. As a result, six states have already identified this trend, and among them, four states have already produced knowledge through CFD application. Some practical applications of these tools in fire departments' activities were also identified, especially for fire investigation and regulation assessment. The study found that the scientific production using CFD by Brazilian military firefighters is still incipient and lacks encouragement from Corporations in support of individual initiatives.

Keywords: Firefighter; Fire; Computational fluid dynamics.

1 INTRODUÇÃO

A Fluidodinâmica Computacional - *Computational Fluid Dynamics* (CFD) - é uma técnica poderosa, amplamente utilizada na engenharia para resolver questões de aerodinâmica, dinâmica dos fluidos, turbomáquinas, processos químicos, engenharia ambiental, dentre outras áreas. A partir de um modelo computacional, os problemas são resolvidos por meio de algoritmos estruturados nos princípios de conservação de massa, conforme a segunda lei de Newton, que estabelece que a taxa de variação do momento é igual à soma das forças aplicadas a uma partícula de fluido; e da primeira lei da termodinâmica, sobre a conservação de energia. A aplicação desses princípios na fluidodinâmica leva às equações de *Navier-Stokes* (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007). Esses autores definem CFD como o uso de simulações computacionais para a análise de sistemas que envolvam escoamento de fluidos ou transferência de calor, incluindo-se fenômenos associados, tais como reações químicas.

Os *softwares* modeladores de incêndio por fluidodinâmica computacional mais conhecidos são o Simulador Dinâmico de Fogo (*Fire Dynamics Simulator – FDS*, em inglês), o mais frequentemente citado na literatura nacional, e o SMARTFIRE (TABACZENSKI; CORRÊA; SANTOS; PIRES; SILVA, 2017). É importante diferenciá-los daqueles baseados em modelos de zonas, como o OZONE (CADORIN; PINTEA; FRANSSEN, 2009) e o Modelo Consolidado de Crescimento do Incêndio e Transporte de Fumaça (*Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport – CFAST*, em inglês) (PEACOCK; RENEKE; FORNEY, 2017). Embora utilizem os mesmos conceitos físicos, os modelos de zonas são mais simples, repartem o ambiente verticalmente em dois volumes de controle, superior quente e inferior frio (LANNON; MILKE, 2014). Por sua vez, os simuladores baseados em CFD dividem o ambiente em diversos volumes menores, atribuindo-lhes propriedades como velocidade, pressão, densidade e temperatura, além de suas derivadas no tempo e espaço (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Softwares mais robustos também podem ser utilizados para modelagem de incêndios tais como ANSYS, SAFIR, SYSAF (FAZZIONI, 2016) e ABAQUS (TABACZENSKI; CORRÊA; PIRES; SILVA, 2019). Esses programas não se limitam à simulação de incêndio, possuindo vasta gama de aplicações na engenharia.

A indústria aeroespacial iniciou a utilização de CFD no projeto, pesquisa e fabricação de aeronaves e motores a jato na década de 1960. A partir dos anos 1990, quando os computadores passaram por grande evolução e tornaram-se mais acessíveis, os programas acompanharam esse desenvolvimento. Atualmente, a ferramenta é fundamental para prover competitividade a projetos e processos industriais (VERSTEEG; MALALASEKERA, 2007).

Em 2000, foi lançado o FDS, pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia dos Estados Unidos (*National Institute of Standards and Technology* – NIST, em inglês). A lista de desenvolvedores inclui um engenheiro-naval da Marinha do Brasil, o então Tenente Júlio Cesar Silva, doutor em engenharia civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Desde seu lançamento, o programa vem sendo constantemente testado por usuários de todo o mundo (MCGRATTAN; HOSTIKKA; FLOYD; MCDERMOTT; VANELLA, 2021).

No Brasil, o uso de CFD para simulação de incêndios desenvolveu-se a partir dos anos 2000, aplicado inicialmente na investigação desse tipo de sinistro. Braga e Landim (2008) citam um incêndio em um barracão, ocorrido em 2007, no Distrito Federal, que vitimou duas crianças e feriu gravemente um adulto. Foi realizada perícia desse evento com o uso do FDS, identificando-se as hipóteses mais prováveis para sua deflagração.

Considerando-se engenheiros e pesquisadores em geral, a utilização de *softwares* modeladores de incêndio para a produção científica em todo o mundo é intensa (TABACZENSKI *et al.*, 2017). Por outro lado, não há consenso a respeito de sua aplicação pelos corpos de bombeiros militares (CBM) do Brasil. Se as ferramentas são utilizadas internamente, sem finalidade científica, nem sempre há publicação e os estudos podem gerar relatórios ou laudos. No caso de pesquisas científicas por bombeiros militares, a questão central é se há uma preocupação institucional com esse assunto ou se as publicações derivam de iniciativa exclusiva do autor, em busca de desenvolvimento profissional.

As atribuições do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), descritas pelo artigo nº 142, da Constituição Estadual (MINAS GERAIS, 1989) e pelo artigo 3º, da Lei Complementar nº 54 (MINAS GERAIS, 1999), posicionam a corporação como órgão regulador e responsável pela prevenção, combate e investigação de incêndios, dentre outras funções. Diante de tais responsabilidades, é importante que a instituição se mantenha atualizada quanto aos conhecimentos e tecnologias contemporâneos sobre o tema.

Como órgãos reguladores e principais referências no assunto, os corpos de bombeiros brasileiros têm acompanhado a evolução dessa tecnologia? Diante dessa questão, o objetivo deste trabalho foi identificar e discutir as principais aplicações de *softwares* modeladores de incêndio por fluidodinâmica computacional por bombeiros militares do Brasil.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Método

Tendo em vista o caráter exploratório da pesquisa, foi adotada uma abordagem qualitativa, por meio de revisão não sistemática bibliográfica do tema principal do estudo: Softwares

modeladores de incêndio por fluidodinâmica computacional. Foram incluídos na revisão somente trabalhos que continham a participação de bombeiros militares brasileiros como autores.

Os dados foram coletados de trabalhos e artigos publicados em revistas científicas, plataformas digitais e portais de outras corporações.

Contudo, esperava-se que parte das aplicações de CFD por bombeiros militares não resultasse em produções científicas, mas em relatórios e laudos. Em geral, esse tipo de documento não possui caráter público, o que limitou o alcance dessa revisão bibliográfica.

Diante dessa dificuldade, foi realizada entrevista semiestruturada, aplicada aos autores bombeiros militares encontrados por essa revisão bibliográfica. Foram selecionados aqueles que realizaram estudos experimentais com aplicação direta de um *software* simulador de incêndio, limitando-se a um por estado. As definições de entrevista semiestruturada e de estudo experimental foram baseadas em Marconi e Lakatos (2003) e Gil (2007), respectivamente.

O roteiro de entrevistas apresentou questões sobre o propósito do uso dessas ferramentas pelas corporações e que tipo de apoio elas oferecem para seus militares com relação ao uso de CFD, tais como cursos, laboratório, convênios e participação em seminários. Também se buscou extrair dos entrevistados opiniões sobre a utilidade, viabilidade e fatores de fomento ao uso da ferramenta.

2.2 O ciclo operacional

Maus (2005) definiu as atividades do Ciclo Operacional de Bombeiros. Lugon *et al.* (2018) propuseram uma nova nomenclatura desse processo para Ciclo Operacional de Segurança Contra Incêndio, uma vez que se refere apenas a uma parte das atividades desenvolvidas por bombeiros, que também envolvem busca e salvamento, atendimento pré-hospitalar, defesa civil, dentre outras. Baseada nas definições desses autores, o Quadro 1 apresenta as quatro fases do ciclo.

Quadro 1 - Fases do Ciclo Operacional

Fase	Atividades Relacionadas
Normativa ou Preventiva	Criação de normas relativas à segurança contra incêndio e pânico (SCIP) para o público externo e guias e procedimentos operacionais para o público interno
Passiva ou Estrutural	Análise de projeto SCIP, vistorias e fiscalização
Ativa ou de Combate	Atividades de resposta ao sinistro, a fim de impedir ou mitigar suas consequências
Investigativa ou Pericial	Perícias e estudos de caso

Fonte: Elaborado pelos autores.

O ciclo foi criado a partir de uma metodologia denominada Kaizen, trazida do Japão, pela Agência Japonesa de Cooperação Internacional (JICA), inicialmente para o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF). Baseando-se no PDCA (Planejar, Desenvolver, Checar e Agir), metodologia de gerenciamento criada nos Estados Unidos, na década de 1930, Lugon *et al.* (2018) propõem a inclusão de uma quinta fase no Ciclo Operacional de Segurança Contra Incêndio: Fase Corretiva. Para os autores, essa etapa corresponderia à utilização dos resultados da Fase Investigativa na produção científica e consequente melhoria das ações desenvolvidas ao longo do próprio ciclo. Para que tal desenvolvimento científico seja alcançado, os autores apresentam as simulações computacionais como principal ferramenta tecnológica de investigação de incêndio.

2.3 Simuladores de incêndio

Fazzioni (2016) descreveu diversas aplicações de CFD nos estudos de incêndio. Dentre os *softwares* presentes em seu estudo encontram-se: ANSYS, SAFIR, SYSAF e FDS, todos baseados nessa metodologia. Após uma análise de viabilidade, o autor concluiu que o *software* mais indicado para utilização pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) é o FDS, por ser gratuito e possuir uma boa reputação internacional.

Conforme descreve McGrattan *et al.* (2021), o FDS é destinado à solução de equações que descrevem a evolução do fogo, possui código aberto e não requer licença de uso. Esse é o programa CFD simulador de incêndio mais recorrente na literatura técnico-científica nacional e internacional, à frente de concorrentes pagos, como o *SMARTFIRE*, desenvolvido pelo Grupo de Engenharia de Segurança contra o Fogo (*Fire Safety Engineering Group*, em inglês) da Universidade de Greenwich (TABACZENSKI *et al.*, 2017). Inicialmente, o FDS era utilizado basicamente em três áreas: sistemas de condução de fumaça, estudos da ativação de *sprinklers* e reconstrução de incêndios. Atualmente, esse programa também é utilizado na solução de problemas práticos de engenharia de proteção contra o fogo e em estudos dos fundamentos da combustão e da dinâmica dos incêndios.

A entrada de dados do programa é realizada por meio de um arquivo de texto, que é lido e processado por um código FORTRAN. Seus resultados são visualizados por um programa auxiliar, denominado Smokeview (SMV), também gratuito e desenvolvido pelo NIST. Para a criação do arquivo de entrada, existem diversos programas produzidos por outras entidades, com grande variação de interface e de custo. McGrattan *et al.* (2021) descreveram os conhecimentos necessários ao usuário: dinâmica dos fluidos, termodinâmica, transferência de calor, combustão e ciência do fogo.

Braga (2018) cita a simulação de abandono como um estudo complementar à modelagem do incêndio, cuja finalidade é avaliar a fuga das pessoas de uma edificação em caso de incêndio e pânico. O autor listou mais de 20 *softwares* desenvolvidos com esse fim.

2.4 A produção científica nacional por bombeiros militares

Foram identificados trabalhos publicados por bombeiros militares brasileiros em várias fases do Ciclo Operacional, nos seguintes CBM: Distrito Federal (CBMDF), Espírito Santo (CBMES), Goiás (CBMGO), Pernambuco (CBMPE), Rio Grande do Sul (CBMRS) e Santa Catarina (CBMSC). Para melhor apresentação, os trabalhos foram divididos quanto à aplicação direta ou não de um *software* baseado em CFD na avaliação da dinâmica do incêndio, da fumaça ou da evacuação.

2.4.1 Estudos sem aplicação direta de CFD

O Quadro 2 lista as publicações encontradas que abordam o tema sem aplicação direta e as classifica quanto à fase do Ciclo Operacional relacionada.

Alguns dos trabalhos citados possuem como escopo o estudo do comportamento do fogo de maneira geral, sem enfoque em apenas uma fase do Ciclo Operacional. Para essas publicações, a classificação por fases foi definida como geral.

Quadro 2 - Estudos sem aplicação direta de CFD

Referência	Autores Militares	Título	Instituição	Fase do Ciclo Operacional
Braga e Landim (2008)	Braga e Landim	Investigação de incêndios	CBMDF	Investigativa
Braga (2018)	Braga	Simulação computacional aplicada à segurança contra incêndio		Geral
Lugon <i>et al.</i> (2018)	Lugon	A investigação de incêndio no Brasil: uma visão para o futuro	CBMES	Investigativa
Santos (2015)	Santos	A matemática e o fogo: um olhar no futuro	CBMGO	Geral
Tabaczinski <i>et al.</i> (2017)	Corrêa	Aplicação do software <i>Fire Dynamics Simulator</i> (FDS) no estudo da segurança contra incêndios (SCI) no Brasil	CBMPE	Geral
Fazzioni (2016)	Fazzioni	Proposta de utilização da fluidodinâmica computacional como ferramenta para estudo científico de incêndios pelo corpo de bombeiros militar de Santa Catarina	CBMSC	Geral
Rampinelli (2017)	Rampinelli	Sistemas de controle de fumaça em edificações: proposta de instrução normativa		Normativa / Passiva
Basílio e Vidal (2017)	Basílio e Vidal	Investigação de incêndio em edificações: estudo das marcas de combustão e do sentido de propagação das chamas		Investigativa

Fonte: Elaborado pelos autores.

Braga e Landim (2008), oficiais do CBMDF, produziram um capítulo de livro com o tema investigação de incêndio. Os autores abordam a simulação computacional de incêndio relacionando-a à perícia, com um exemplo de aplicação realizada em 2007, em um barracão de madeira no Distrito Federal. Segundo os autores, os resultados obtidos permitiram comparar a temperatura máxima atingida e o tempo de evolução do modelo numérico com os vestígios encontrados no local e os relatos dos bombeiros que o combateram, o que possibilitou detectar sua causa mais provável dentre as hipóteses levantadas.

Braga (2018) voltou a abordar os simuladores na publicação de um capítulo de livro, desta vez relacionando-o à segurança contra incêndios. Nessa publicação, o autor apresentou a simulação computacional de incêndio como uma ferramenta extremamente útil para o projeto e para a avaliação de normas e de edificações existentes. O autor alerta para a necessidade de muita preparação técnica dos profissionais que manipulam esse tipo de *software* para se obterem resultados confiáveis.

Lugon *et al.* (2018) realizaram uma análise profunda sobre a investigação de incêndios no Brasil. Dentre os pontos abordados, destaca-se uma prospecção do futuro dessa atividade com relação à ciência, tecnologia e inovação. Os autores afirmam que o FDS já produziu grande impacto na segurança contra incêndios e tem grande potencial na fase pericial. Pela avaliação de hipóteses, é possível avaliar fontes de ignição, temperatura, fluxo de calor, taxa de liberação de calor, visibilidade, efeitos na edificação, dentre outros, para comparação com as informações obtidas *in loco*.

Tabaczinski *et al.* (2017) descreveram as aplicações do FDS no estudo de Segurança Contra Incêndio e Pânico (SCIP) no Brasil, com base em uma revisão bibliográfica dos trabalhos desenvolvidos no país por autores em geral. Foram listados 16 estudos realizados entre 2008 e 2017, com grande variabilidade de aplicações. Foi possível observar uma ocorrência mais frequente de análises prognósticas, normalmente relacionadas às fases Normativa e Passiva do Ciclo Operacional.

Fazzioni (2016) estudou as aplicações dos *softwares* de modelagem de incêndio por CFD que poderiam ser úteis ao CBMSC. Através de uma revisão bibliográfica, o autor descreveu aplicações da ferramenta no Brasil e no exterior, por pesquisadores em geral, identificando diversas utilidades à corporação de seu estado. Nas fases Normativa e Passiva, a ferramenta pode ser utilizada para o esclarecimento de questões que não são consenso. Na fase Ativa, ela pode auxiliar a corporação a compreender melhor o comportamento do fogo para o desenvolvimento de técnicas e táticas, além de auxiliar no desenvolvimento de combatentes, pela demonstração visual em instruções teóricas que antecedam as práticas. Por fim, na fase Pericial, a fluidodinâmica computacional pode atuar como suporte para o esclarecimento de ocorrências.

Diante desse potencial, Fazzioni (2016) sugeriu a inclusão do tema fluidodinâmica computacional nos cursos de formação e apontou a Diretoria de Atividades Técnicas do CBMSC

como divisão ideal para a realização desse tipo de análise, pelo perfil profissional dos militares lotados nesta seção.

Outro oficial do CBMSC, Rampinelli (2017), ao debater a respeito dos sistemas de controle de fumaça em edificações, defendeu a utilização de CFD na área, tanto para os responsáveis técnicos pelo projeto, quanto para os militares da sua corporação, como integrantes de um órgão de fiscalização.

Em contrapartida, Santos (2015) identificou um nível de conhecimento considerado baixo dentre os formandos do Curso de Formação de Oficiais (CFO) de seu estado a respeito das ferramentas matemáticas. O autor atribuiu o resultado ao não aprofundamento da disciplina de Cálculo. Segundo o autor, há, no entanto, significativo interesse dos alunos pela modelagem matemática para estudos do comportamento do fogo. Os resultados levaram-no a recomendar uma reforma curricular do curso.

Basílio e Vidal (2017) abordaram o exame das marcas remanescentes de um incêndio como indícios importantes durante a realização de uma perícia e indicaram a simulação computacional como ferramenta auxiliar nesse tipo de trabalho.

2.4.2 Estudos com aplicação direta de CFD

O Quadro 3 lista os trabalhos experimentais encontrados. Para uma apresentação mais concisa, estes trabalhos foram organizados por estado e serão apresentados juntamente com os resultados das entrevistas aos autores.

Assim como ocorreu para as pesquisas sem aplicação direta, foram identificados trabalhos com aplicação de CFD para o estudo da dinâmica do fogo, sem enfoque em apenas uma fase do Ciclo Operacional. Nesses casos, foi atribuída classificação por fases como geral.

Quadro 3 - Estudos com aplicação direta de CFD

Referência	Autores Militares	Título	Instituição	Fase do Ciclo Operacional
Alves, Campos e Braga (2008)	Campos e Braga	Simulação computacional de incêndio aplicada ao projeto de arquitetura	CBMDF	Normativa
Mariani (2009)	Mariani	Simulação de incêndio com o <i>Fire Dynamic Simulator</i> (FDS)		Investigativa
Campos e Braga (2010)	Campos e Braga	Simulação computacional aplicada à prevenção de incêndios		Normativa
Silva Filho, Ruschel, Dolvitsch, Lima e Braga (2011)	Braga	Utilização de métodos computacionais na reconstituição de incêndios: aplicação ao caso do Shopping Total		Investigativa
Carlos, Mariani e Moraes (2016)	Mariani	Avaliação do desempenho de sistemas de controle de fumaça por modelagem numérica		Passiva

Cunha, Lugon e Bona (2018)	Lugon e Cunha	Investigação experimental e modelagem da dispersão utilizando <i>Fire Dynamics Simulator</i> (FDS) para um vazamento acidental de GLP	CBMES	Investigativa
Tabaczinski <i>et al.</i> (2019)	Corrêa	Simulação numérica e experimento de incêndio em dormitório residencial	CBMPE	Geral (Dinâmica do incêndio)
Rodrigues (2009)	Rodrigues	Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras	CBMRS	Normativa
Centeno e Rodrigues (2015)	Rodrigues	Reduced-scale study of liquid fuel storage tank fire using fire dynamics simulator		Geral (Dinâmica do incêndio)

Fonte: Elaborado pelos autores.

2.4.2.1 Distrito Federal

Campos e Braga (2010) discutiram a utilização dos simuladores computacionais de incêndio para a avaliação e elaboração de normas de segurança contra incêndio em edificações. Os autores citam uma tendência mundial de criação de legislações de desempenho em complemento às normas prescritivas, predominantes no Brasil. Para a determinação adequada dos parâmetros normativos, os autores destacaram a importância da utilização de ferramentas de cálculo.

Através de estudos de caso, Alves *et al.* (2008) utilizaram os *softwares* FDS e SIMULEX, enquanto Campos e Braga (2010) utilizaram FDS e EVAC, para estudar a evacuação de edifícios em caso de incêndio. Ambos os trabalhos permitiram concluir que as saídas de emergência, mesmo atendendo às prescrições das normas nacionais, não apresentavam um resultado satisfatório no tempo de fuga. Os autores concluem que são necessários estudos mais aprofundados para a revisão dos critérios exigidos para saídas de emergência, além de recomendarem a adoção de parâmetros de desempenho para essas normas.

Com foco na Fase Passiva, Carlos *et al.* (2016) realizaram um estudo sobre o controle de fumaça baseado em normas de SCIP vigentes em Portugal, por meio de simulação computacional no FDS. O modelo consistiu no último pavimento de um edifício de escritórios. Foram adotadas quatro configurações diferentes de admissão de ar e extração de fumaça, para comparação, que envolviam desde a obstrução total dessas passagens até a extração forçada. Os parâmetros de saída escolhidos foram a visibilidade, a temperatura e a *Fractional Effective Dose* (FED), que leva em consideração a concentração de gases provenientes da queima que influenciam a incapacitação das pessoas durante a evacuação. Os resultados levaram os autores a identificar um risco para a segurança das pessoas durante a evacuação de prédios em que não há exigência de controle de fumaça segundo as normas portuguesas atuais.

Mariani (2009) realizou um teste de hipótese de um incêndio ocorrido em uma residência em Samambaia, Distrito Federal, por meio de simulação no FDS. O pesquisador se baseou em um laudo de investigação produzido por militares do CBMDF, contendo croquis, fotografias e informações coletadas. O arquivo de entrada do programa foi criado linha a linha em um editor de texto, sem auxílio de ferramentas de modelagem. Como resultados, foram obtidos os valores de temperatura ao longo do tempo em três planos ortogonais. O trabalho permitiu concluir que a simulação foi efetiva para comprovar a hipótese existente no laudo, com base no cruzamento entre os resultados da simulação e os registros fotográficos. Por outro lado, o autor identifica a necessidade de um alto grau de conhecimento a respeito das propriedades físico-químicas dos materiais envolvidos na queima para a construção correta do arquivo de entrada.

Silva Filho *et al.* (2011) também utilizaram o FDS para estudar um incêndio ocorrido em 2007, no Shopping Total, em Porto Alegre. A base de dados foi obtida dos relatórios de inspeções realizadas após o sinistro, que indicavam um elevado gradiente vertical de temperatura. Diferentemente do trabalho de Mariani (2009), o modelo computacional do Shopping Total era muito complexo para que a sua construção se desse sem o auxílio de um *software* pré-processador. Para isso, foi utilizado o *software* auxiliar *Pyrosim* (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2021), que fornece uma interface para a criação de modelos que serão calculados posteriormente pelo FDS. Os parâmetros de saída escolhidos foram a temperatura e a distribuição de fumaça, que permitiram aos autores concluir que os resultados apresentaram aproximação razoável, mas que é necessário grande desenvolvimento dos bancos de dados de materiais, quanto às propriedades relacionadas ao comportamento em incêndios.

O Coronel BM George Cajaty Barbosa Braga, do CBMDF, concedeu entrevista para o trabalho de Santos (2015), a respeito da relação entre a matemática e o fogo. Dentre os aspectos apontados como importantes para o desenvolvimento tecnológico da corporação, o entrevistado citou o cadastramento do CBMDF como instituição de pesquisa junto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, em 2003. O Coronel abordou ainda a importância da pesquisa para os corpos de bombeiros militares brasileiros, considerada fundamental para a melhoria da prevenção, combate e investigação de incêndios.

Para melhor esclarecimento do contexto de utilização do CFD pelo CBMDF, foi realizada, no dia 28 de junho de 2019, nova entrevista com o Coronel BM George Cajaty Barbosa Braga para este estudo. O pesquisador atribuiu o início da utilização de CFD pelo CBMDF ao ano de 2004. Em 2006, o militar fez um curso de FDS avançado disponibilizado pelo NIST, nos Estados Unidos. Em 2010, o CBMDF, em parceria com a Universidade de Brasília (UnB), ofertou um curso similar a militares e civis em Brasília.

Segundo o entrevistado, a corporação possui, atualmente, um laboratório de simulação computacional, subordinado à Diretoria de Investigação de Incêndio, cujos computadores possuem licença do *Pyrosim* (THUNDERHEAD ENGINEERING, 2021), além de programas simuladores de evacuação, todos adquiridos com verbas de projetos de pesquisa, além do gratuito FDS, o mais

aproveitado. O laboratório teve início por um acordo de cooperação com a JICA na década de 80, o que requereu a contratação de profissionais especializados para trabalhar nele, por meio da criação do quadro complementar, no qual o Coronel atua profissionalmente. Embora voltado inicialmente para a perícia, hoje o laboratório é utilizado para todas as fases do ciclo operacional, conforme declaração do entrevistado:

[...] o que fez uma grande diferença para o CBMDF começar a trabalhar com pesquisa foi a criação do quadro complementar e, em especial, a entrada do pessoal da área de exatas, pois eles vieram para trabalhar no desenvolvimento da investigação de incêndio, algo que por si só já traz o método científico no cerne da sua metodologia. Com o passar dos anos, com os oficiais do quadro complementar aprendendo cada vez mais sobre as atividades dos bombeiros, as questões e perguntas que eram voltadas apenas para a área de investigação, começaram a ser voltadas também para as áreas de prevenção e combate a incêndio, levando ao estágio de desenvolvimento de pesquisa em que estamos hoje (BRAGA, 2018).

Quanto à participação em congressos e seminários, o entrevistado relatou que as publicações de trabalhos dependem, em grande parte, da iniciativa pessoal do pesquisador. O apoio institucional ocorre na forma de tempo disponibilizado para o desenvolvimento das pesquisas.

Embora ainda dependa de iniciativas pessoais, há uma preocupação institucional para o direcionamento das pesquisas, por equipes similares aos Grupos Temáticos Operacionais (GTO) no CBMMG. Nas palavras do pesquisador:

Hoje, apesar de as iniciativas serem pessoais no início, buscamos trazê-las para dentro do grupo de pesquisa, fazendo com que tenhamos uma prioridade na realização das pesquisas, mas também buscando uma ampla discussão do que deve ser pesquisado e como (BRAGA, 2018).

No CBMDF, a aplicação das ferramentas de simulação visa à melhoria do serviço prestado, como pode ser observado pelas palavras do Coronel:

A maior finalidade é de melhoria dos procedimentos utilizados em prevenção, combate e investigação de incêndio. No final, o artigo é mais um meio de divulgação externo, do que propriamente o objetivo final. O nosso maior interesse é fazer com que as áreas de incêndio sejam baseadas em conhecimento técnico-científico, saindo do lugar comum do 'eu acho' e do 'sempre foi assim' (BRAGA, 2018).

Dentre as aplicações, o entrevistado cita a produção e avaliação de normas, estudos de sistemas de prevenção, melhoria de técnicas e táticas de combate, ensino, perícia de incêndios, avaliação do desgaste fisiológico do bombeiro em atividade, melhoria dos procedimentos de segurança e estudo do comportamento do fogo e dinâmica do incêndio.

Sobre a utilização de CFD por bombeiros, o Coronel considera viável e importante. Dentre os países com cultura de pesquisa mais desenvolvidas, o entrevistado cita Portugal, país cujas leis

foram alvo de avaliação de bombeiros brasileiros na pesquisa de Carlos *et al.* (2016). A seguir, a opinião do entrevistado sobre o assunto:

Países como EUA ou da Europa, e aí cito fortemente os nossos irmãos portugueses, que possuem laboratório com boa estrutura para pesquisa em segurança contra incêndio e cursos voltados para a formação de engenheiros de proteção contra incêndio, em nível de mestrado ou doutorado. Não possuímos isso no Brasil. Mas saiba que por mais que estejamos atrasados, a pesquisa nas áreas de atuação dos bombeiros vem se desenvolvendo cada vez mais nos últimos anos pelo mundo. Ou seja, ainda estamos em tempo de participar deste desenvolvimento. Afirmando isso sem medo de errar, pois algumas pesquisas que realizamos aqui servem como referência lá fora (BRAGA, 2018).

2.4.2.2 Espírito Santo

Cunha *et al.* (2018) aplicaram o FDS em um estudo de caso que investigou a dispersão de gás liquefeito de petróleo (GLP) em uma residência que sofreu uma explosão no município de Vila Velha. Com base nos documentos produzidos pela perícia do CBMES, os pesquisadores buscaram ratificar as hipóteses levantadas quanto à dispersão acidental do gás até a sua faixa de explosividade, além de avaliar a provável fonte de ignição. O modelo foi criado com base em croquis e fotografias anexadas ao laudo pericial e o principal parâmetro de saída avaliado foi a concentração do gás no ambiente em vários pontos do imóvel. O tempo decorrido para se atingir a concentração necessária à explosão e o local da fonte de ignição foram coerentes entre o modelo e os dados da perícia. Os autores consideraram a simulação computacional um importante recurso para investigar as causas de explosões que envolvem a dispersão de gases, mas defendem que a perícia no local é indispensável para fornecer os dados e hipóteses que servirão de entrada na análise numérica.

No dia 12 de julho de 2019, foi realizada entrevista com o Major BM André Pimentel Lugon. Segundo ele, o CBMES fornece um curso de especialização específico de FDS, de 40 horas-aula, e também destina determinada carga horária à ferramenta durante o curso de especialização em perícia de incêndios. O CBMES possui licenças dos softwares *Pyrosim* e *Pathfinder*, além de utilizar os gratuitos: FDS e Evac.

Em busca de desenvolvimento científico, há acordos de cooperação técnica entre a corporação e duas instituições públicas de ensino superior: Universidade Federal do Espírito Santo e Instituto Federal do Espírito Santo. O entrevistado destacou a importância dessas parcerias:

Entendemos que a academia precisa estar mais envolvida e entender a importância em desenvolver estudos nessa área. Em cima disso, buscamos uma aproximação maior com a nossa universidade, possibilitando assim um envolvimento maior da comunidade científica (LUGON, 2018).

Quanto às áreas de aplicação pelo CBMES, a ferramenta é utilizada mais frequentemente nas investigações de incêndio, mas também se encontra “Em fase de teste e implementação junto ao Centro de Atividades Técnicas” para a avaliação e produção de normas.

Por fim, o Major considera a utilização de CFD por bombeiros militares brasileiros útil e viável, mas, dependente do alinhamento entre interesse pessoal do pesquisador e apoio institucional. Além disso, ainda há um desafio para a aplicação de CFD para o estudo de incêndios no Brasil relacionado à falta de parametrização de materiais, como pode ser interpretado pelas palavras do pesquisador:

O FDS possibilita a realização de estudos buscando a validação de normas e o aprimoramento do sistema de segurança contra incêndio, além de melhorias nas áreas de combate a incêndio e perícia. [...] Porém, a complexidade de entender a codificação, alinhado à falta de parametrização de materiais, dificulta uma aplicação mais real, carecendo de estudos mais avançados para retratarmos na simulação o que realmente acontece no mundo real (LUGON, 2018).

2.4.2.3 Pernambuco

Tabaczinski *et al.* (2019) realizaram a simulação de um modelo computacional do FDS, baseando-se em um experimento de incêndio em um dormitório típico, previamente realizado. O objetivo foi verificar a temperatura dos gases no modelo e compará-la aos resultados do experimento, cujos valores foram medidos por termopares instalados no interior da estrutura de teste. A base de dados foi proveniente dos parâmetros descritos no experimento e de propriedades dos materiais definidas em normas brasileiras. Os resultados do modelo foram próximos quanto às temperaturas máximas atingidas quando na comparação com as encontradas no experimento. Por outro lado, houve uma dificuldade de validação do modelo diante da redução significativa de oxigênio no ambiente.

No dia 07 de agosto de 2019, foi realizada entrevista com o Tenente-Coronel BM Cristiano Corrêa. Segundo ele, a utilização dos *softwares* no CBMPE é impulsionada por uma parceria com a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), mediante apoio do comando da instituição, o que permite a utilização de uma licença acadêmica do *Pyrosim*, além do FDS e do *SMARTFIRE*. Nas palavras do entrevistado:

Em nosso Estado temos uma parceria com a Universidade Federal, que possui núcleo de Pesquisa RISCTEC e laboratório de ensaio de estruturas em situação de incêndio. [...] Existe ainda uma parceria realizada com o Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal - CBMDF, orientada pelo Sr. Cel George Cajaty Braga, na qual experimentos e simulações são realizados em conjunto. Parceiros privados também são recebidos para testes e experimentos em escala real [...] (TABACZENSKI *et al.*, 2017).

Outro ponto que colocou o CBMPE em posição privilegiada na produção científica nacional por bombeiros foi a criação da revista FLAMMAE:

Estabelecimento de revista técnico-científica (FLAMMAE) que criou um fórum adequado para a visibilidade das pesquisas das corporações bombeiro militar. (...) Com mais de 120 artigos publicados advindos de 22 Unidades da Federação e mais de 30 Instituições de Ensino Superior nacionais e internacionais, o periódico tornou-se um incentivo à pesquisa corporativa (TABACZENSKI *et al.*, 2017).

Perguntado a respeito das aplicações possíveis para esse tipo de ferramenta, o Tenente-Coronel sugeriu sua aplicação em simulações prévias de desastres relacionados a incêndios. Esse tipo de utilização de CFD se encaixaria na fase de Preparação do Ciclo de Proteção e Defesa Civil.

Construção de cenários e consequente preparação de planos de contingência e atuação. Pode-se, por exemplo, ao realizar o estudo de uma área sensível (um parque de tancagens [...], simular combustão ou explosões parciais e totais, levantando indícios de como agir em cada caso específico (TABACZENSKI *et al.*, 2017).

Por fim, o entrevistado considera a utilização desse tipo de ferramenta por bombeiros militares útil e viável, mas que ainda falta a disponibilização de licenças que tornem as interfaces mais simples e a preparação de recursos humanos.

2.4.2.4 Rio Grande do Sul

Rodrigues (2009) analisou a eficiência da compartimentação vertical externa prevista nas normas brasileiras como medida de segurança contra incêndio por meio de ensaios e simulações computacionais com o FDS. O pesquisador produziu um simulador em escala reduzida, de três andares, e realizou 16 experimentos, variando-se os parâmetros de compartimentação vertical e de carga incêndio, com uma queima no primeiro pavimento. Os dados foram coletados por termopares, filmagens e termografia. Paralelamente, o autor criou modelos computacionais similares ao do ensaio, variando o tamanho da malha, além dos parâmetros descritos no ensaio, para comparação e validação do modelo. Com base nos resultados obtidos, o autor considerou a ferramenta importante para análises qualitativas de medidas de SCIP, com baixo custo operacional. Por outro lado, identificou que, para análises quantitativas, há ainda a escassez de informações relativas às propriedades dos materiais utilizados no Brasil, uma vez que a utilização da ferramenta ainda é incipiente no país.

Centeno e Rodrigues (2015) realizaram simulações de incêndio em tanques de armazenamento de etanol utilizando o FDS. O objetivo foi criar correlações matemáticas para definição da altura das chamas, do gradiente de temperatura e do fluxo de calor por radiação, em

função da geometria dos tanques. Os autores justificaram a escolha desses parâmetros por serem aqueles diretamente relacionados à segurança durante o combate a esse tipo de incêndio.

No dia 27 de julho de 2019, o Tenente-Coronel BM Eduardo Estêvam Camargo Rodrigues concedeu entrevista sobre CFD no CBMRS. Segundo o pesquisador, esse tipo de ferramenta é mais útil para perícia e para aperfeiçoamento de normas.

Embora a utilização da fluidodinâmica computacional pelos corpos de bombeiros seja útil e viável pelas diretorias técnicas e de perícia, ainda há pouco investimento. No caso do CBMRS, perguntado a respeito de quais fatores contribuíram para o desenvolvimento da área, o pesquisador destacou o tempo fornecido para o desenvolvimento dos trabalhos: "O apoio da instituição em caráter específico às iniciativas dos bombeiros militares que desejaram estudar o tema, no que tange a liberação e autorização para tal aperfeiçoamento" (RODRIGUES, 2009).

2.4.2.5 Situação atual em Minas Gerais

Em estudos científicos produzidos na corporação, o tema foi citado por Santos (2009), que realizou uma revisão bibliográfica e documental sobre ventilação forçada com o uso de exaustores nas ocorrências de combate a incêndio em ambientes confinados. Ao final do estudo, o autor sugeriu a implantação de um laboratório para pesquisa de incêndios através de modelos computacionais.

Mata (2019), em dissertação desenvolvida no Departamento de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), realizou um estudo das temperaturas em um compartimento fechado durante o combate a incêndio. Para isso, a pesquisadora utilizou o contêiner do CBMMG, com apoio dos militares da corporação, e comparou os resultados a um modelo no FDS. A partir das análises realizadas, a autora considerou que, embora requeira conhecimento aprofundado do assunto, o uso dos softwares de CFD pode fornecer princípios qualitativos importantes para o estudo do comportamento do fogo a baixo custo.

3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram encontrados 17 trabalhos envolvendo fluidodinâmica computacional para o estudo de incêndios com autoria de bombeiros militares, dos quais, nove utilizaram-na diretamente na solução de problemas. Embora haja opções de *softwares* no mercado, todos os estudos experimentais utilizaram o FDS como ferramenta de cálculo, o que coincide com os resultados de Tabaczenski *et al.*, (2017), de que o FDS é o *software* mais utilizado nessa área.

Dos 27 CBM brasileiros, pelo menos seis já demonstraram, nas publicações de seus integrantes, conhecer a importância dessa ferramenta. Contudo, apenas quatro possuem trabalhos publicados com aplicação direta desse tipo de *software*: CBMDF, CBMES, CBMPE e CBMRS. Além

disso, 11 dos 17 trabalhos foram produzidos a partir do ano de 2015, o que demonstra que esse é um campo de estudo em desenvolvimento no país.

A entrevista aos autores permitiu observar o quanto é importante o apoio institucional para o desenvolvimento das pesquisas, seja por disponibilização de laboratórios, por convênios com instituições de ensino ou até por busca de financiamento externo. Há que se destacar ainda a importância das revistas científicas mantidas pelas corporações, como *Flammae*, *Ignis* e *Vigiles*, como incentivo ao desenvolvimento tecnológico.

Contudo, de acordo com os entrevistados, a iniciativa individual dos pesquisadores é predominante. Ainda assim, a disponibilização de tempo para que os militares possam dedicar-se à pesquisa não deixa de ser uma forma importante de apoio. O papel da Instituição é traçar as diretrizes de pesquisa como ocorre no CBMDF, o que poderia ser realizado pelos GTO no CBMMG.

Com base nas fases do Ciclo Operacional, constatou-se que a utilização de CFD por bombeiros militares no Brasil é mais recorrente na fase normativa, assim como por autores em geral (Tabczenski *et al.*, 2017), e também na fase investigativa.

A aplicação de modelagem computacional na fase investigativa é vantajosa porque independe da validação por meio de experimentos, que podem ser substituídos pelos dados do incêndio real coletados. Por ser a principal fonte de informações para o desenvolvimento da ciência do fogo, a perícia é fundamental e deve ser incentivada no CBMMG.

Com relação à fase normativa, há a validação e o aprimoramento das normas existentes, muitas vezes importadas de outros países. Pode-se considerar que a prevenção é uma fonte inesgotável de pesquisa, tendo em vista que a arquitetura se reinventa constantemente e é necessário manter as normas atualizadas.

Uma limitação das ferramentas de modelagem computacional de incêndio foi citada em diversos trabalhos: a falta de parametrização de materiais de construção utilizados no Brasil. Essa é uma área que ainda demanda esforço dos pesquisadores para tornar as simulações mais assertivas.

No CBMMG, há um campo fértil para que essa área de pesquisa se inicie de forma promissora. O trabalho de Mata (2019) mostrou à instituição a importância das pesquisas, principalmente na Fase Ativa. O potencial do contêiner de treinamento como um laboratório experimental para a validação de modelos em diversas linhas de estudo deve ser aproveitado. Diante disso, propõe-se a criação de um curso preparatório de FDS na modalidade especialização, como é realizado no CBMES, ou a sua inclusão na grade curricular do CFO, como proposto por Fazzioni (2016) para o CBMSC.

Vale destacar também trabalhos que tratam da temática de incêndio, tal como Diniz e Ferreira (2019), bem como dos aplicados na área de prevenção e predição de incêndio, relatando-se o monitoramento desses desastres e aliados às técnicas de Geoprocessamento, tais como os apresentados em Fernandes (2019), Fernandes, Cintra, Nero e Temba (2018), Fernandes, Nero, Temba e Soares Filho (2018), Fernandes, Nero, Temba e Elmiro (2020).

O foco deste estudo foi a produção por bombeiros militares, mas a produção por pesquisadores em geral é intensa no Brasil e no mundo. Considerando-se o papel central dos corpos de bombeiros na prevenção, combate e investigação de incêndios, é fundamental que essas instituições acompanhem a vanguarda da produção científica sobre o assunto.

REFERÊNCIAS

ALVES, A. B. C. G.; CAMPOS, A. T.; BRAGA, G. C. B. **Simulação Computacional de Incêndio Aplicada ao Projeto de Arquitetura**. In: Seminário do Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 7, 2008, São Paulo. Disponível em: <https://www.usp.br/nutau/CD/71%20196.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2019.

BASÍLIO, R. G.; VIDAL, V. V. Investigação de Incêndio em Edificações: Estudo das Marcas de Combustão e do Sentido de Propagação das Chamas. **Revista Ignis**, v. 2, n. 1, 2017.

BRAGA, G. C. B.; LANDIM, H. R. O. Investigação de Incêndio. In: SEITO, A. I., *et al.* **A Segurança Contra Incêndio no Brasil**. São Paulo: Projeto Editora, cap XXII, 2008.

BRAGA, G. C. B. Simulação Computacional Aplicada à Segurança Contra Incêndio. In: LUGON, A. P., *et al.* **Livro SCIER: Segurança Contra Incêndio em Edificações - Recomendações**. Revisão 1. Vitória: Firek Segurança Contra Incêndio, 2018.

CAMPOS, A. T.; BRAGA, G. C. B. Simulação Computacional Aplicada à Prevenção de Incêndios. In: **XI Seminário Nacional de Bombeiros**, Blumenau, 2010.

CARLOS, T. B.; MARIANI, L. M.; MORAES, H. H. Q. Avaliação do Desempenho de Sistemas de Controle de Fumaça por Modelagem Numérica. **Revista Ignis**, v. 1, n. 2, ed. Especial: Anais do XVI SENABOM, 2016.

CENTENO, F. R.; RODRIGUES, E. E. C. Reduced-Scale Study of Liquid Fuel Storage Tank Fire Using Fire Dynamics Simulator. **Engenharia Térmica (Thermal Engineering)**, v. 14, n. 1, 2015. DOI: 10.5380/reterm.v14i1.62112.

CADORIN, J.; PINTEA, D.; FRANSSEN, J. **The Design Fire Tool OZone V2.0 – Theoretical Description and Validation on Experimental Fire Tests**. 1. ed. Universidade de Liège, 2009.

CUNHA, I. O. P.; LUGON, A. P.; BONA, B. M. Investigação Experimental e Modelagem da Dispersão Utilizando Fire Dynamics Simulator (FDS) para um Vazamento Acidental de GLP. **Revista Flammæ**, v. 04, n. 11, ed. Especial XVIII SENABOM, 2018.

DINIZ, P. H. T. V.; FERREIRA, L. O. Análise do Risco de Incêndio no Edifício Principal do Hospital João XXIII em Belo Horizonte. **Vigiles**, v. 02, n. 1, 2019. DOI: 10.17648/revistavigiles-2595-4229-v2n1-3.

FAZZIONI, W. **Proposta de Utilização da Fluidodinâmica Computacional como Ferramenta para Estudo Científico de Incêndios pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. 2016. Monografia (Especialização em Administração de Segurança Pública) - Centro de Administração e Socioeconômicas da Universidade do Estado de Santa Catarina: Florianópolis, 2016.

FERNANDES, L. C. **Modelagem de risco de incêndios florestais utilizando redes neurais artificiais aplicada às regiões metropolitanas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Modelagem e Análise de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2019.

FERNANDES, L. C.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; ELMIRO, M. A. T. The use of remote sensing techniques by Modis (MCD45A1) images using to identify and evaluate burned areas in the metropolitan region of Belo Horizonte - MG, Brazil. **Sustentabilidade em Debate**, v. 11, n. 2, 2020. DOI 10.18472/SustDeb.v11n2.2020.28145.

FERNANDES, L. C.; CINTRA, R.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C. Fire Risk Modeling Using Artificial Neural Networks. *In*: Rodrigues, H. C., *et al.* (Org.). **EngOpt 2018 Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Optimization**. 1. ed. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, v. 1, 2018. DOI: 10.1007 / 978-3-319-97773-7_81.

FERNANDES, L. C.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; SOARES FILHO, B. S. Modelagem de Risco de Incêndios Florestais: Uma Visão Geral. **SODEBRÁS**, v. 13, 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

LANNON, C. M.; MILKE, J. A. **Evaluation of Fire Service Training Fires**. The Fire Protection Research Foundation, Massachusetts, 2014.

LUGON, A. P.; BONA, B. M.; PAIVA, S. M.; CUNHA, I. O. P. A Investigação do Incêndio no Brasil: Uma Visão para o Futuro. *In*: LUGON, A. P., *et al.* **Livro SCIER: Segurança Contra Incêndio em Edificações - Recomendações**. Revisão 1. Vitória: Firek Segurança Contra Incêndio, 2018.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de Metodologia Científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MARIANI, L. M. **Simulação de Incêndio Utilizando a Ferramenta Computacional Fire Dynamic Simulator**: Teste da Hipótese de Incêndio Urbano Ocorrido em Samambaia-DF. 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Perícia de Incêndio e Produção de Provas Judiciais) - Centro Universitário Euroamericano, Brasília, 2009.

MATA, K. L. **Análise da Influência do Combate a Incêndio nas Temperaturas de um Compartimento**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2019. DOI: hdl.handle.net/1843/31449.

MAUS, Á. **Segurança Contra Sinistros**: Teoria Geral. 2005. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Estratégica em Segurança Pública) - Curso Superior de Polícia, Universidade do Sul de Santa Catarina: Florianópolis, 2005.

MCGRATTAN, K.; HOSTIKKA, S.; FLOYD, J.; MCDERMOTT, R.; VANELLA, M. **Fire Dynamics Simulator. User's Guide**. 6. ed. Revisão: FDS6.7.6-0-g5064c500c. National Institute of Standards and Technology – NIST & Technical Research Centre of Finland – VTT, Maryland, 2021. DOI: 10.6028/NIST.SP.1019.

MINAS GERAIS. **Constituição do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1989.

MINAS GERAIS. Lei Complementar nº 54, de 13 de Dezembro de 1999. **Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais – CBMMG – e dá outras providências**. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 1999.

PEACOCK, R. D.; RENEKE, P. A.; FORNEY, G. P. **CFAST – Consolidated Model of Fire Growth and Smoke Transport (Version 7)**. Volume 2: User's Guide. National Institute of Standards and Technology – NIST Maryland, 2017. DOI: 10.6028/NIST.TN.1889v2.

RAMPINELLI, D. H. **Sistemas de Controle de Fumaça em Edificações**: Proposta de Instrução Normativa. 2017. Monografia (Curso de Formação de Oficiais) - Academia de Bombeiros Militar de Santa Catarina: Florianópolis, 2017.

RODRIGUES, E. E. C. **Análise da eficiência dos sistemas de compartimentação vertical externa por afastamento entre janelas e por projeções horizontais segundo as exigências normativas brasileiras**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, 2009. DOI: hdl.handle.net/10183/19045.

SANTOS, G. O. **A Matemática e o Fogo**: Um Olhar no Futuro. 2015. Artigo (Curso de Especialização em Gerenciamento de Segurança Pública) - Universidade Estadual de Goiás e Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás: Goiânia, 2015.

SANTOS, G. J. **Relevância da Utilização da Ventilação Forçada com Uso de Exaustor nas Ocorrências de Combate a Incêndio em Ambiente Confinado**. 2009. Monografia - Academia de Polícia Militar: Belo Horizonte, 2009.

SILVA FILHO, L. C. P.; RUSCHEL, F.; DOLVITSCH, J. N.; LIMA, R. C. A.; BRAGA, G. C. B. Utilização de métodos computacionais na reconstituição de incêndios: aplicação ao caso do shopping total. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**, v. 8, n. 3, 2011. DOI: hdl.handle.net/10183/189647.

TABACZENSKI, R.; CORRÊA, C.; SANTOS, M. M. L.; PIRES, T. A. C.; SILVA, J. J. R. Aplicação do Software Fire Dynamics Simulator (FDS) no Estudo da Segurança Contra Incêndios (SCI) no Brasil. **Revista Flammae**, v. 3, n. 7, 2017. DOI:10.17648/2359-4837/flammae.v3n7.p87-116.

TABACZENSKI, R.; CORRÊA, C.; PIRES, T. A.; SILVA, J. J. R. Simulação numérica e experimento de incêndio em dormitório residencial. **Revista Alconpat**, v. 9, n. 1, 2019. DOI: <https://doi.org/10.21041/ra.v9i1.315>

THUNDERHEAD ENGINEERING. **PyroSim User Manual**, Versão 2021-2. Manhattan: 2021. Disponível em: <https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2021-2/user-manual/>. Acesso em: 12 ago. 2021.

VERSTEEG, H. K.; MALALASEKERA, W. **An Introduction to Computational Fluid Dynamics**: The finite volume method. 2. ed. Harlow: Pearson Education Limited, 2007.



Artigo Original

PRÁTICAS DE SEGURANÇA UTILIZADAS DURANTE O COMBATE AO INCÊNDIO FLORESTAL: UMA ANÁLISE COMPARATIVA

SAFETY PRACTICES EMPLOYED DURING WILDFIRE FIGHTING: A COMPARATIVE ANALYSIS

Matheus Deforme Zuliani¹, Guilherme Alcântara Gonçalves¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a5>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

O combate a incêndios florestais proporciona grandes riscos aos bombeiros militares. A adoção de práticas de segurança é elementar para eliminar ou mitigar esses riscos. Por outro lado, apesar de haver norma que trate sobre incêndios florestais no Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), segurança é uma área nela pouco explorada. Há, contudo, manuais de corpos de bombeiros militares de outros estados brasileiros que se aprofundam nessa área. Nesse sentido, a tropa do Pelotão de Combate a Incêndios Florestais (PCIF) do CBMMG foi submetida a um questionário formulado com perguntas sobre práticas de segurança a partir desses manuais. Os resultados foram analisados com objetivo de identificar alguma deficiência na observação de preceitos de segurança por parte do PCIF. Constatou-se que a tropa do PCIF observa importantes padrões de segurança, contudo outras práticas ainda carecem de maior atenção.

Palavras-chave: Incêndio Florestal; Combate; Segurança; Riscos.

ABSTRACT

Wildfire Firefighting provides great risks to military firefighters. The adoption of safety practices is elemental to eliminate or mitigate these hazards. On the other hand, despite the existing regulation about wildfire fighting in the Military Firefighters Corps of Minas Gerais (CBMMG), safety in this activity is little explored. There are, however, manuals from military firefighters corps of other Brazilian states that deepen into this field. In this context, the troop of the Wildfire Firefighting Platoon (WFP) from the CBMMG was submitted to a questionnaire formulated with questions about safety practices from these manuals. The results were analyzed aiming the identification of any deficiency on the WFP's observation of safety precepts. It was found that WFP's troop observes important safety standards, nevertheless, some other practices are still lacking greater attention.

Keywords: Wildfire; Firefighting; Safety; Risks.

Recebido em: 08/11/2019 - Aprovado em: 14/06/2021

E-mail: matheus.zuliani@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

Incêndio florestal é definido como uma combustão não controlada que se propaga livremente – portanto, não confinada – consumindo combustíveis naturais da floresta (gramíneas, folhas, tocos e galhos mortos, vegetação vivas e afins). Por se propagar livremente, é diretamente influenciado por variações ambientais (características da vegetação, clima e topografia), apresentando assim um comportamento imprevisível (SOARES; BATISTA; NUNES, 2008). Ainda, os autores afirmam que diversas características do ambiente têm forte influência sobre o início, a propagação e a intensidade dos incêndios florestais; os principais fatores ambientais relacionados aos incêndios florestais são: o material combustível (tipo de cobertura vegetal), as condições climáticas e a topografia (SOARES et al., 2008).

Devido às diversas formas de relevo e as especificidades do solo e clima, Minas Gerais apresenta variadas paisagens, recobertas por ambientes dominados por três principais biomas: Cerrado, com 57% do território, Mata Atlântica com 41%, localizado na porção oriental, e Caatinga com 2% do território (DRUMMOND et al., 2005). Há ainda outros biomas menos significativos, como os Campos Rupestres, que ocorrem em regiões de maiores altitudes, no topo de serras e chapadas, em áreas de transição dos três principais biomas (VASCONCELOS, 2011). Entretanto, ao longo do processo de ocupação do estado, amplas áreas de vegetação nativa desses biomas foram substituídas por atividades agropecuárias (DRUMMOND et al., 2005).

O Cerrado é o principal bioma de Minas Gerais, caracterizado pela vegetação composta por gramíneas, arbustos e árvores esparsas, dispostas numa distribuição heterogênea. O solo é deficiente em nutrientes, resultando numa variedade de plantas de aparência seca adaptadas a este tipo de solo (GOIÁS, 2017).

A Mata Atlântica mineira, por sua vez, forma-se em sua região mais próxima da costa, onde há um acentuado contraste altimétrico que proporciona abundantes chuvas de montanha nas encostas serranas a barlavento, bem como nevoeiros, conferindo a essas encostas um caráter de florestas ombrófilas perenifólias (PEREIRA, 2009). Tem formação vegetal com grande riqueza de espécies, apresentando árvores de grande porte com altura entre 15 e 40 metros, arbustos e árvores de pequeno porte entre 3 e 10 metros, variedade de ervas rasteiras, cipós, trepadeiras, dentre outras espécies vegetais (SÃO PAULO, 2006).

Já a formação vegetal da Caatinga é bem definida, sendo composta por árvores baixas e arbustos que comumente perdem suas folhas na estação seca, muitas cactáceas com estruturas adaptadas para armazenamento de água. As árvores apresentam troncos tortuosos, repleta de cortiças e espinhos, e suas raízes cobrem a superfície do solo a fim de capturar o máximo de água durante as leves chuvas (ALVES; MEDEIROS; NÓBREGA, 2017).

O combustível florestal depende da temperatura do ar à sua volta para entrar em ignição, já que diminui a diferença entre a temperatura inicial do combustível, que pode chegar a 75°C, e sua temperatura de ignição, a qual varia de 260° a 400° C de acordo com o tipo de combustível e com as condições atmosféricas. A temperatura também causa instabilidade atmosférica, gerando ventos que atuam na propagação do fogo e mantém a vegetação mais seca (PARANÁ, 2010).

O clima em Minas Gerais é caracterizado por uma estação chuvosa nos verões e um período de seca nos invernos. A estação chuvosa no estado normalmente termina na segunda quinzena de março, quando começa o período de seca que perdura até meados de setembro (REBOITA; RODRIGUES; SILVA; ALVES, 2015). Esse período, contudo, varia de acordo com a região de Minas Gerais e com fenômenos atmosférico-oceânicos, tais como El Niño e La Niña. Em dias de seca, a temperatura e a umidade relativa costumam variar durante o dia. Normalmente, a umidade relativa é máxima durante a madrugada, pouco antes do amanhecer. Por outro lado, habitualmente, a umidade relativa é mínima durante a tarde, entre 12:00h e 15:00h (LOPES; JARDIM, 2012). Nos momentos em que a umidade do ar é máxima, o combustível vegetal absorve água, ao passo que, quando a umidade relativa é mínima, o combustível desidrata. Quanto mais seco fica o combustível, mais facilmente este pode pegar fogo – a temperatura de ignição depende do teor de umidade do combustível – e maior será a velocidade de propagação deste (PARANÁ, 2010).

O relevo mineiro é caracterizado por ser acidentado, formando diferentes complexos topográficos, com altitudes que variam de 76 a 2892 metros de acordo com Reboita et al. (2015). O relevo causa grande influência no clima regional: brisas de vale e de montanha, que influenciam a direção e intensidade do vento, umidade a barlavento, que ocasionam chuvas e nevoeiros e secura a sotavento de serras e chapadas. Além disso, a altitude também influencia no clima: áreas com maior elevação apresentam temperaturas mais baixas que aquelas mais próximas ao nível do mar. Além disso, quanto maior a altitude,

mais rarefeito o ar e menos oxigênio há para alimentar o incêndio florestal. Portanto, quanto mais próximo ao nível do mar, maior sua intensidade (REBOITA et al., 2015).

A inclinação do terreno influencia fortemente a propagação do incêndio. Em aclives, o fogo se propaga mais rapidamente – aproxima a chama do combustível, expondo-o a maior radiação e convecção e secando o combustível à frente. Além disso, o calor do fogo gera uma corrente de ar que, por convecção, desloca-se aclive acima, suprindo-o com mais ar e calor (PARANÁ, 2010).

Os períodos mais críticos para o incêndio florestal no Cerrado ocorrem entre os meses de agosto e outubro, isto é, quando está próximo de terminar o período de estiagem, contudo as temperaturas já aumentaram substancialmente (GOIÁS, 2017). A vegetação ressecada, aliada às altas temperaturas desse período, pega fogo com facilidade, tanto por causas naturais (raios) como por causas antrópicas (SOARES et al., 2008).

As causas antrópicas de ignição de incêndios florestais são as mais comuns, uma vez que atualmente se vivencia um cenário de crescimento das áreas agrícolas e expansão das cidades em direção às florestas (COSTA, 2006; GASQUES; BACCHI; BASTOS, 2016). Por esse motivo, há a tendência de que, com o passar dos anos, haja um aumento da incidência de grandes incêndios florestais desencadeados pela ação do ser humano.

Os grandes incêndios florestais muitas vezes ocorrem em locais de difícil acesso, onde não é possível chegar com viaturas terrestres. Caso não seja possível o uso de aeronaves para acessar o local, o deslocamento é feito a pé por trilhas ou abrindo caminhos no interior da mata, podendo chegar a dezenas de quilômetros de caminhada. Esses deslocamentos são muito desgastantes, já que os bombeiros militares precisam carregar consigo as ferramentas e aparelhos necessários para realizar o combate, além de estarem portando todos os Equipamentos de Proteção Individual (EPI). Além disso, durante o combate, o calor das chamas desidrata os combatentes, o que torna a atividade extenuante, exigindo excelente preparo físico dos envolvidos (MINAS GERAIS, 2007; PARANÁ, 2010).

Enquanto combatem o incêndio, os bombeiros militares estão sujeitos a um complexo ambiente, no qual múltiplos processos físicos influenciam o comportamento do fogo numa variedade de escalas espaciais e temporais. Rápidas mudanças climáticas e nas condições do fogo podem ocorrer a qualquer momento, culminando de forma inesperada em lesões ou mesmo em mortes (PAGE; BUTLER, 2017). Além disso, por

estarem num local afastado, a comunicação via rádio ou celular pode estar inoperante, agravando ainda mais a situação de algum bombeiro militar em caso de acidente.

Ante a este cenário, o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) criou na capital mineira o Pelotão de Combate a Incêndios Florestais (PCIF), pertencente ao Batalhão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres (BEMAD), com o objetivo de especializar bombeiros militares na prevenção e combate aos grandes incêndios florestais. Os militares do PCIF são capacitados para exercer diversas técnicas e táticas de combate direto e indireto, realizar atividades preventivas, utilizar técnicas de sobrevivência em mata, gerenciar e executar Sistemas de Comando em Operações (SCO). Além disso, eles também são habilitados para executar o combate seguindo práticas que os salvaguardam de diversos riscos, sendo, portanto, uma tropa de referência no quesito segurança.

Apesar dos perigos existentes no combate aos incêndios florestais serem conhecidos, diversos relatos de mortes são noticiados todos os anos em regiões propícias a incêndios florestais no mundo. No Canadá, por exemplo, foram relatadas 165 mortes de bombeiros em combate a incêndios florestais entre 1941 e 2010, média de duas fatalidades por ano (ALEXANDER; BUXTON-CARR, 2011 apud PAGE; BUTLER, 2017). Já nos Estados Unidos entre 1990 e 2006, ocorreram 310 mortes durante operações de combate a incêndios florestais, sendo que 64 foram devido a queimaduras ou encurralamento pelo fogo, uma média de quatro por ano (MANGAN, 2007 apud PAGE; BUTLER, 2017).

Tendo em vista que o combate ao incêndio florestal expõe os bombeiros militares a diversos riscos, além de proporcionar dificuldades operacionais de comunicação e logística, somado ao elevado desgaste físico durante as atividades, é de se esperar que haja protocolos e ordens de segurança que gerenciem as operações. Contudo, atualmente, há institucionalizada no CBMMG apenas a Instrução Técnica Operacional nº 11 (ITO-11) de 2007, que estabelece procedimentos e disciplina ações e medidas a serem observadas pela tropa operacional empenhada em ocorrências de prevenção e combate a incêndios florestais (MINAS GERAIS, 2007). Apesar desta ITO apresentar algumas práticas de seguridade, não há um protocolo que guie detalhadamente o comportamento dos militares, com relação à segurança, nas principais situações de risco com as quais podem se deparar durante a atividade.

Por outro lado, manuais de outros estados brasileiros discorrem com maior profundidade sobre segurança nos incêndios florestais. Por exemplo, o Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais do CBMGO (GOIÁS, 2017) apresenta o protocolo LACES, que visa a segurança geral para todas as atuações integradas nos

trabalhos de combate aos incêndios florestais. Trata-se de um protocolo utilizado internacionalmente, que tem seu nome originado de um acrônimo na língua inglesa para os termos "Look out" (Observar), "Anchor point" (Ponto de ancoragem), "Communication" (Comunicação), "Escape route" (Rota de fuga) e "Safety zone" (Zona de segurança). Este protocolo de segurança consiste na exigência do emprego e observação destes cinco elementos durante combates aos incêndios florestais.

O objetivo deste trabalho é, portanto, analisar o grau de segurança dos militares do PCIF durante os combates aos incêndios florestais, buscando verificar se são observadas as normas de segurança existentes na ITO-11 e se há atualizações quanto ao assunto, tendo em vista a existência de manuais mais recentes de outros estados brasileiros que versam sobre segurança no combate ao incêndio florestal. Para alcançar tal objetivo, foi elaborado um questionário respondido pela tropa do PCIF/BEMAD a partir da revisão de doutrinas presentes na ITO-11 e manuais de outros estados da Federação, produzindo resultados numéricos que mensuraram de forma sistemática o grau de segurança dos militares durante combates aos incêndios florestais.

2 MÉTODO

O presente estudo é do tipo empírico, dedicando-se a codificar a face mensurável da realidade social. Entretanto, nenhum tipo de pesquisa é autossuficiente de forma a apresentar um único tipo, pelo contrário, mesclam-se diversos tipos, acentuando um ou outro (PRODANOV; FREITAS, 2013).

Por envolver verdades e interesses locais, essa pesquisa teve natureza aplicada, já que visou produzir conhecimentos úteis na aplicação prática, solucionar problemas específicos relacionados aos riscos existentes em incêndios florestais e detectar possíveis vulnerabilidades de segurança durante o combate realizado por bombeiros militares do CBMMG. Sob a ótica dos objetivos, a pesquisa foi descritiva, uma vez que registrou os fatos com aporte da técnica de coleta de dados por meio de aplicação de questionário, e procurou descrever fatos e características de uma determinada população sem, contudo, interferir neles ou manipulá-los (PRODANOV; FREITAS, 2013; MANZATO; SANTOS, 2014).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, o presente trabalho, num primeiro momento, utilizou-se da pesquisa documental, ou seja, da análise da ITO-11 e de manuais de outros estados brasileiros que versam sobre incêndio florestal. Num segundo momento,

foi feita uma pesquisa de levantamento por meio de um questionário online, cujas perguntas foram formuladas a partir do que os documentos estudados discorriam sobre segurança em incêndios florestais (PRODANOV; FREITAS, 2013). Da perspectiva da abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa, considerando que foi possível transformar as informações e opiniões dos participantes em números a fim de analisá-los (PRODANOV; FREITAS, 2013).

2.1 Instrumentos e participantes

Foram analisadas as práticas, recomendações e protocolos existentes em manuais de outros estados que tratam da atividade de combate aos incêndios florestais. Os principais manuais estudados foram o do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2006) e o do Corpo de Bombeiros Militar de Goiás (GOIÁS, 2017). Dessa análise de manuais, foram levantadas perguntas sobre a segurança em operações de combate aos incêndios florestais a serem feitas ao PCIF do BEMAD, as quais compuseram um questionário online, conforme se vê no Apêndice I.

O acesso crescente à Internet em todo o mundo torna a obtenção de dados cada vez mais facilitada, possibilitando contato rápido e preciso com participantes do estudo, o que melhora e agiliza o processo de pesquisa. Dentre as vantagens do questionário online, pode-se citar a possibilidade de acessar diversos participantes em localizações geográficas distintas com baixo custo, a imparcialidade e anonimato (o pesquisador não influencia nas respostas) e a comodidade dos participantes, que o respondem em momento oportuno (FALEIROS et al., 2016). Deste modo, o questionário foi concebido em plataforma virtual, utilizando a ferramenta Google Forms, que gera links que direcionam os participantes da pesquisa ao questionário. Estes links foram enviados aos participantes por e-mail e pelo aplicativo *Whatsapp*.

Foi possível quantificar os dados obtidos do questionário com uso da Escala Likert, oferecendo cinco opções ou itens de resposta (DALMORO; VIEIRA, 2013). A cada um desses itens são atribuídas pontuações, de tal forma que, ainda que as perguntas sejam subjetivas, através dessa escala multi-item, os dados possam ser mensurados, tornando-os quantitativos (RICHARDSON, 2012).

O questionário foi confeccionado com base em manuais de outros estados. Na primeira seção do questionário, foi apresentado o objetivo do trabalho, isto é, analisar a segurança dos militares durante o combate ao incêndio florestal. Logo em seguida, expôs-

se um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), no qual o autor do questionário se compromete a resguardar o sigilo da privacidade do participante, garantir sua liberdade de se recusar a participar e garantir-lhe a não implicação de riscos e benefícios.

A segunda seção do questionário é composta por perguntas que dizem respeito aos dados sociodemográficos. Nesta etapa, os participantes foram inquiridos quanto ao seu e-mail de contato, posto ou graduação, idade, estado civil, nível de escolaridade, sexo, tempo de serviço no CBMMG e tempo de serviço no BEMAD.

Na terceira seção, os participantes foram indagados quanto à segurança durante o combate aos incêndios florestais. Nesta parte, foram respondidas oito perguntas elaboradas à luz dos manuais. Cada uma destas perguntas apresentava cinco itens de resposta, permitindo ao participante avaliar cada pergunta seguindo uma escala Likert com as opções “sempre”, “quase sempre”, “ocasionalmente”, “quase nunca” e “nunca”.

2.2 Procedimento de coleta de dados

Antes da aplicação do questionário, foi realizado um pré-teste, isto é, uma aplicação prévia do questionário numa pequena parcela do público alvo, totalizando cinco dos militares pertencentes ao PCIF. O intuito deste pré-teste foi revisar e redirecionar certos aspectos do estudo, detectar dificuldades práticas do questionário e preparar os participantes quanto às dificuldades de entendimento que porventura pudessem surgir durante a aplicação do questionário definitivo (RICHARDSON, 2012).

Após a aplicação do pré-teste, foi possível constatar que não ficou claro se as perguntas do questionário tratavam apenas dos militares do PCIF, tendo em vista que suas guarnições são por vezes apoiadas por militares de outras unidades; também não ficou nítido sobre qual a proporção do incêndio florestal (se pequeno, médio ou grande) cada pergunta se referia. O tempo médio para resposta total do pré-teste foi de dois minutos. As devidas correções foram feitas e o questionário definitivo foi enviado para cada militar através das mídias sociais, por meio de um link, para a coleta das respostas. Os militares que se prontificaram a responder tiveram um prazo de sete dias para emitirem a resposta. Os dados foram automaticamente armazenados em uma planilha dinâmica criada pelo próprio Google Forms; após o prazo de sete dias, a planilha parou de receber as respostas e os dados foram descarregados no formato de arquivo tipo “csv”.

A tropa do PCIF totaliza 28 militares e, destes, 24 concordaram com o TCLE e efetivamente responderam a todas perguntas do questionário. Dos quatro militares que não participaram da pesquisa, dois discordaram do TCLE e os outros dois não acessaram o link.

2.3 Procedimento de análise de dados

A planilha com todos os dados obtidos foi trabalhada com o programa Excel. As idades dos participantes foram separadas em sete grupos. Os estados civis foram separados em três grupos: “solteiro”, “casado” e “outros”. Os graus de instrução dos participantes foram separados em três grupos: “ensino médio”, “ensino superior incompleto” e “ensino superior completo”. No quesito Posto/Graduação, houve a seleção de apenas cinco grupos dentro das alternativas: “Soldado”, “Cabo”, “3º Sargento”, “2º Sargento”, “1º Sargento”, “Subtenente”, “2º Tenente”, “1º Tenente”, “Capitão”, “Major”, “Tenente-Coronel” e “Coronel”. Os tempos de serviço no CBMMG foram separados em seis grupos e os tempos de serviço no BEMAD foram separados em quatro grupos.

As respostas dos participantes foram separadas em cinco grupos, sendo eles: “nunca”, “quase nunca”, “ocasionalmente”, “quase sempre” e “sempre”; a cada item de resposta é atribuída uma pontuação, variando de um (“nunca”) a cinco (“sempre”). Desta maneira, quanto mais perto de cinco pontos, melhores as condições de segurança dos militares. Cada grupo foi representado em percentual (com relação à população amostral).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfil sociodemográfico

Os resultados referentes ao perfil sociodemográfico estão descritos na Tabela 1. Nela encontram-se as características (gênero, idade, estado civil, grau de instrução, posto/graduação, tempo de serviço no CBMMG e no BEMAD), os grupos para cada característica, a quantidade de participantes de cada grupo, a respectiva porcentagem e, finalmente, a porcentagem acumulada.

Destaca-se na Tabela 1 que todos os participantes eram do sexo masculino, metade deles com idade entre 26 e 35 anos, correspondendo a uma média de 33,83 anos, e desvio padrão de 8,62 anos, equivalendo a 25,48% da média de idade, ou seja, um valor

levemente alto. No grupo com idade compreendida entre 21 e 25 anos, nenhum dos militares tinha menos de 24 anos. Observa-se também que não havia militares com idade entre 36 e 40 anos.

Quanto ao estado civil, ainda na Tabela 1, a maioria era casada, correspondendo a 62,50% do total. Em se tratando de nível de escolaridade, a maioria apresentava nível superior completo, equivalendo a 37,5% do grupo participante. A maior parte dos participantes é composta por soldados, todos tendo até cinco anos de serviço no CBMMG, representando 58,33% do grupo amostral.

O tempo de serviço médio no CBMMG foi de 11,28 anos, com respectivo desvio padrão de 9,48 anos, equivalendo a 84,10% da média, isto é, um desvio padrão consideravelmente elevado. Um fato relevante a se destacar é a inexistência de militares com tempo de serviço no CBMMG entre 11 e 20 anos, curiosamente onde se posiciona a média calculada, não sendo por acaso o elevado desvio padrão.

Já o tempo de serviço médio no BEMAD foi de 4,85 anos, com relativo desvio padrão de 2,27 anos, representando 46,81% da média, considerado um valor moderadamente alto. Ressalta-se que 75% dos participantes têm entre quatro e sete anos de tempo de serviço no BEMAD, ou seja, experiência moderada, enquanto que os mais experientes, com mais de sete anos, equivalem a 12,50%, e os menos experientes, com três anos ou menos no BEMAD, também a 12,50%.

Tabela 1 - Dados sociodemográficos dos participantes do questionário

Característica	Grupos	Qnt	%	% Ac.
Gênero	Masculino	24	100,00%	100,00%
Idade	Entre 18 e 20 anos	0	00,00%	00,00%
	Entre 21 e 25 anos	5	20,83%	20,83%
	Entre 26 e 30 anos	6	25,00%	45,83%
	Entre 31 e 35 anos	6	25,00%	70,83%
	Entre 36 e 40 anos	0	00,00%	70,83%
	Entre 41 e 45 anos	2	8,33%	79,17%
	Entre 46 e 50 anos	5	20,83%	100,00%
Estado Civil	Solteiro	8	33,33%	33,33%
	Casado	15	62,50%	95,83%
	Outros	1	4,17%	100,00%
Grau de Instrução	Ensino médio	8	33,33%	33,33%
	Ensino superior incompleto	7	29,17%	62,50%
	Ensino superior completo	9	37,50%	100,00%
Posto/Graduação	Soldado	14	58,33%	58,33%
	Cabo	3	12,50%	70,83%

	3º Sargento	3	12,50%	83,33%
	2º Sargento	3	12,50%	95,83%
	2º Tenente	1	4,17%	100,00%
Tempo de Serviço no CBMMG	Entre 0 e 5 anos	14	58,33%	58,33%
	Entre 6 e 10 anos	4	16,67%	75,00%
	Entre 11 e 15 anos	0	0,00%	75,00%
	Entre 16 e 20 anos	0	0,00%	75,00%
	Entre 21 e 25 anos	2	8,33%	83,33%
	Entre 26 e 30 anos	4	16,67%	100,00%
Tempo de Serviço no BEMAD	Entre 0 e 3 anos	3	12,50%	12,50%
	Entre 4 e 7 anos	18	75,00%	87,50%
	Entre 8 e 11 anos	2	8,33%	95,83%
	Entre 12 e 15 anos	1	4,17%	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores.

Analisando os resultados, foi possível perceber neste grupo amostral que houve uma maioria de militares casados, portanto, com presumida estabilidade interpessoal, razoável *expertise* profissional no CBMMG (média superior a 10 anos) e bom tempo de especialização no BEMAD (média de quase cinco anos). Além disso, tratava-se de um grupo com elevado grau educacional, do qual 37,5% possui curso superior completo e 29,17% curso superior incompleto.

O alto desvio padrão no tempo de serviço destes militares evidencia que não são todos os militares que detém elevada *expertise* profissional, isto é, há uma heterogeneidade no grupo quanto a este quesito. Além disso, a presença destes militares com mais de oito anos é importante porquanto a experiência e conhecimento devem ser repassados aos menos experientes, possibilitando uma renovação da tropa e objetivando uma atuação mais qualificada e homogênea do grupo.

3.2 Segurança no combate

Os dados referentes às perguntas sobre segurança em incêndios florestais estão presentes de forma sintetizada nos gráficos das Figuras 1, 2 e 3. Nelas, há oito gráficos de barras que contemplam as oito perguntas sobre segurança, que se encontram no Apêndice I (Seção 3). Em cada gráfico, há cinco barras distintas; cada barra representa uma resposta, isto é, “nunca”, “quase nunca”, “ocasionalmente”, “quase sempre” e “sempre”. Imediatamente acima de cada barra, encontram-se os valores de porcentagem para cada item de resposta.



As perguntas foram:

1. Durante as operações de combate em pequenos, médios e grandes incêndios florestais, quando há grande possibilidade de perigo, há um militar posicionado externamente ao incêndio, responsável por observar o comportamento do fogo, as variáveis que o possam afetar (por exemplo, mudança repentina na direção e/ou velocidade do vento, presença de aclives, mudanças no tipo de vegetação), sendo capaz de visualizar a zona de trabalho, os combatentes, a zona de segurança e a rota de fuga?

2. Durante as operações de combate em pequenos, médios e grandes incêndios, os militares estão atentos e observando o que se passa ao seu redor, tendo conhecimento dos riscos, tais como árvores ou galhos que possam cair, animais peçonhentos, pedras que possam rolar, irregularidades no terreno, mudanças abruptas no comportamento do incêndio, dentre outros?

3. Durante as operações em grandes incêndios florestais, há o estabelecimento do SCO - controle do efetivo, provisão de recursos, alimentação (almoço, janta e lanches) e rendição das equipes?

4. As ferramentas, materiais e equipamentos (incluindo os EPIs) estão em boas condições de uso e quantidade suficiente para todos os militares envolvidos nas operações?

5. Durante o combate a pequenos, médios e grandes incêndios florestais, há na equipe um militar responsável por estabelecer rotas de fuga e zonas de segurança previamente ao combate, certificando-se de que quem está atuando as conheçam, mudando-as à medida que se deslocam na floresta e mantendo contato frequente com o comando?

6. Durante o combate a pequenos, médios e grandes incêndios florestais, mesmo que a equipe se divida em grupos, há pelo menos dois militares em cada grupo, de tal forma que nenhum militar se desloque sozinho ou se perca de vista do outro?

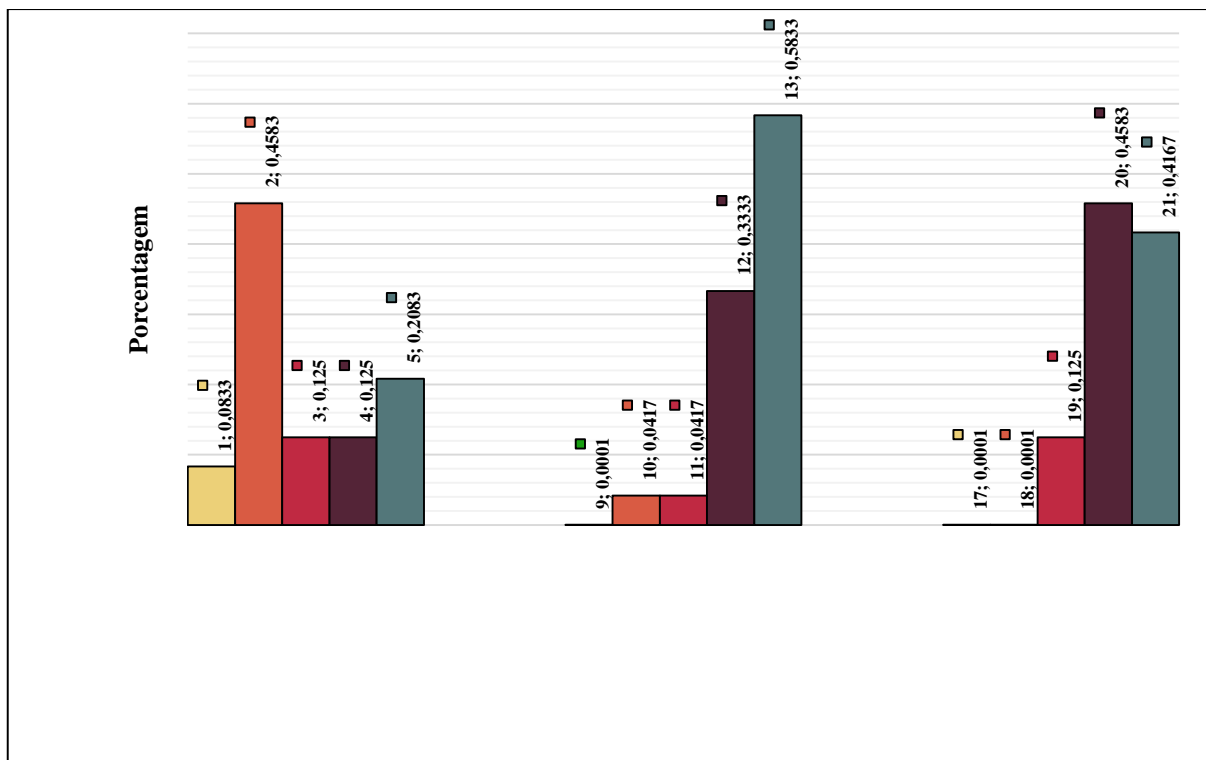
7. Durante as operações em pequenos, médios e grandes incêndios florestais, todos os militares comunicam de imediato qualquer situação de perigo a seus chefes e companheiros de equipe?

8. As horas de trabalho de uma equipe combatendo direta ou indiretamente um pequeno, médio ou grande incêndio florestal são inferiores a 12 horas?

Os gráficos das perguntas 2 (Figura 1), 3 (Figura 1), 6 (Figura 2) e 7 (Figura 3) do questionário sobre segurança em incêndios florestais receberam respostas positivas dos participantes, como se observa a seguir.

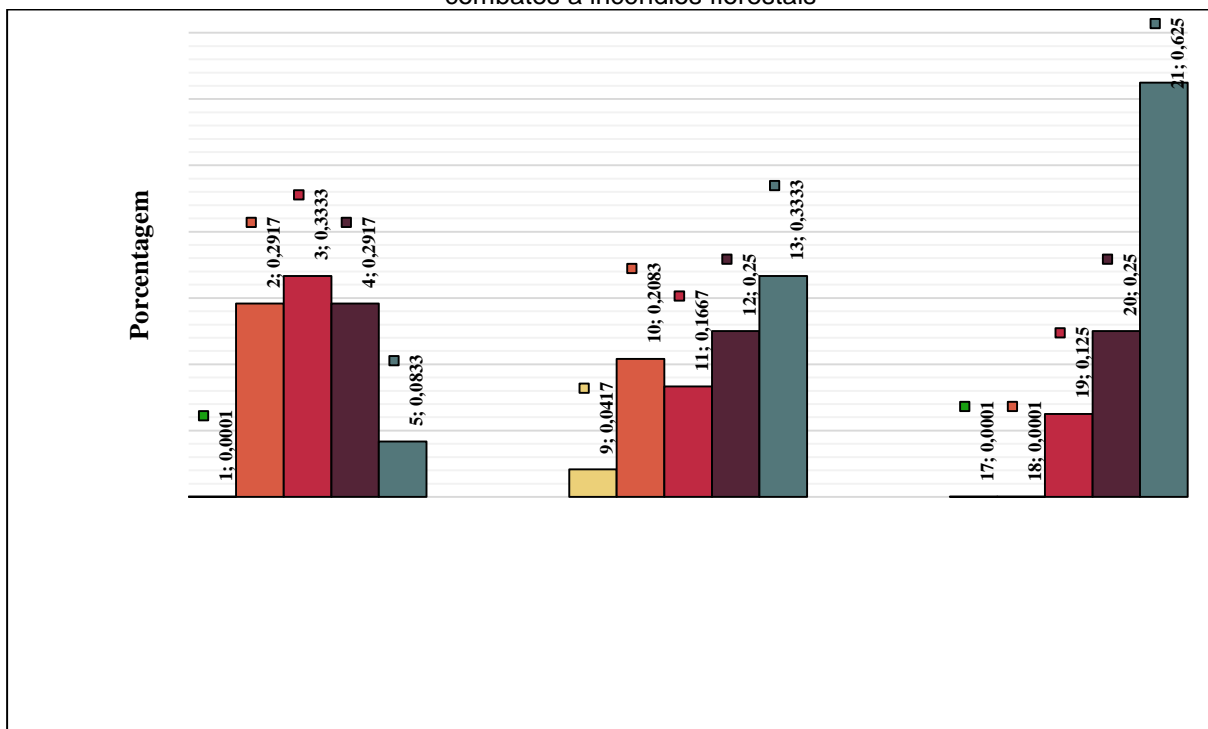
Na pergunta 2, 58,33% das respostas foram “sempre”, com alto valor médio pela Escala Likert de 4,46 (próximo de 5) e baixo desvio padrão de 0,78, indicando que os participantes concordavam que os militares em combate a incêndio florestal estão quase sempre atentos aos perigos e riscos ao seu redor, em especial aos riscos decorrentes das irregularidades do terreno, os quais podem resultar em acidentes envolvendo quedas, tais como torções e/ou fraturas de membros, queimaduras e traumatismos cranioencefálicos, os quais, dependendo da gravidade, podem levar o combatente a óbito (GOIÁS, 2017; MARTINS, 2010; SÃO PAULO, 2006).

Figura 1 - Gráficos de barra referentes às perguntas 1, 2 e 3 do questionário sobre segurança em combates a incêndios florestais



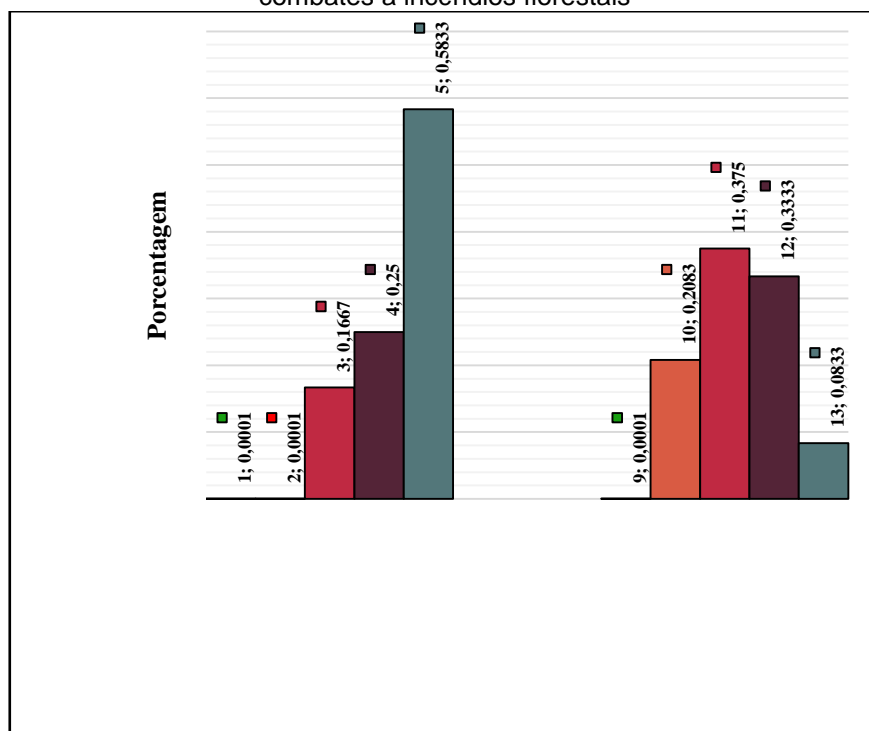
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 2 - Gráficos de barra referentes às perguntas 4, 5 e 6 do questionário sobre segurança em combates a incêndios florestais



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 3 - Gráficos de barra referentes às perguntas 7 e 8 do questionário sobre segurança em combates a incêndios florestais



Fonte: Elaborado pelos autores.



Na pergunta 3, o valor médio pela Escala Likert foi de 4,29, com baixo desvio padrão de 0,69, apontando que o grupo, em sua maioria, concorda que em grandes incêndios quase sempre há o estabelecimento de um organizado Sistema de Comando em Operação (SCO), com controle de efetivo, dos recursos, das alimentações, das rendições e afins (GOIÁS, 2017; SÃO PAULO, 2006).

Na pergunta 6, o valor médio pela Escala Likert foi de 4,5, com baixo desvio padrão de 0,72, em outras palavras, os participantes admitiram que sempre há pelo menos dois militares juntos em qualquer situação durante o combate, de tal forma que nenhum militar se desloque sozinho ou se distancie do outro (GOIÁS, 2017; MINAS GERAIS, 2007).

Quanto à pergunta 7, o valor médio pela escala Likert foi de 4,42, com baixo desvio padrão de 0,76, assinalando que os respondentes consideram que todos os militares quase sempre comunicam de imediato aos seus chefes e companheiros qualquer situação de perigo (GOIÁS, 2017).

Já os gráficos das perguntas 1 (Figura 1), 4 (Figura 2), 5 (Figura 2) e 8 (Figura 3) do questionário, por outro lado, receberam respostas negativas dos participantes, como se observa a seguir.

Verifica-se na pergunta 1 (Figura 1) que a maior parte das respostas foi “quase nunca”, totalizando 45,83% das respostas; pela Escala Likert, obteve-se um valor médio de 2,92 com alto desvio padrão de 1,35. Esse elevado desvio padrão significa que não houve um consenso dos participantes quanto à afirmação de que sempre há um militar da equipe vigiando externamente o incêndio; apesar disso, nota-se uma média baixa para esse quesito de segurança, levando-se a pensar que não é uma prática largamente adotada no CBMMG. Considera-se que isto é preocupante, uma vez que o comportamento do fogo pode mudar repentinamente e encurralar de surpresa a guarnição envolvida no combate, configurando uma situação de grande periculosidade. Este risco pode ser mitigado caso haja um observador externo, o qual possa alertar, seja por rádio ou mesmo alarmes pré-estabelecidos (fogos sinalizadores, apitos, rojões, etc.), ante uma situação de perigo. Portanto, o monitoramento por vigias é fundamental para iniciar qualquer tipo de manobra evasiva, para apoiar na gestão inteligente do combate e, em virtude de sua ampla visão do incêndio florestal, para auxiliar no estabelecimento de rotas de fuga (GOIÁS, 2017; MARTINS, 2010).

Constatou-se para o gráfico relativo à pergunta 4 (Figura 2) um valor médio pela Escala Likert de 3,17 com desvio padrão moderado de 0,96, havendo certa dispersão percentual no gráfico de barras com quantidades praticamente iguais para “quase sempre”,

“ocasionalmente” e “quase nunca”. Apesar disso, nenhum participante respondeu “nunca”. Os valores obtidos neste gráfico são insuficientes para afirmar que as ferramentas, materiais e equipamentos estejam em boas condições de uso e em número satisfatório para o combate, contudo também não se pode concluir o contrário. É um ponto que merece maiores cuidados do CBMMG, uma vez que o uso de EPI, ferramentas e demais materiais são considerados basilares para qualquer atividade de incêndio florestal, recebendo especial atenção inclusive na ITO-11 (MINAS GERAIS, 2007; SÃO PAULO, 2006).

Percebe-se para o gráfico alusivo à pergunta 5 (Figura 2) que o valor médio pela Escala Likert foi de 3,63 com elevado desvio padrão de 1,28. Novamente, o alto desvio padrão não permite uma conclusão confiável quanto à habitual observância pelas equipes de estabelecer rotas de fuga e zonas de segurança ao traçar as estratégias de combate. Entretanto, privilegiando-se a segurança, é recomendável que o CBMMG tome providências no sentido de se elevar a atenção dos militares quanto a esta prática, visto que é de extrema relevância, uma vez que os militares, ao serem surpreendidos pelo incêndio florestal e ficarem encurralados pelo fogo (caso este mude o comportamento abruptamente), talvez não tenham tempo hábil de escaparem das chamas por não haver rotas de fuga predeterminadas para locais seguros, contando com a sorte para escaparem ilesos (GOIÁS, 2017; MARTINS, 2010; MINAS GERAIS, 2007).

Nota-se no gráfico atinente à pergunta 8 (Figura 3) que o valor médio pela Escala Likert foi de 3,29, com moderado desvio padrão de 0,91. Pode-se inferir que os participantes julgaram que as horas de trabalho durante atividade em campo são ocasionalmente inferiores a 12 horas, ou seja, há casos em que as horas trabalhadas foram superiores. O esforço físico elevado somado às condições ambientais adversas na proximidade das chamas propiciam a exaustão dos militares, os quais ficam mais vulneráveis a acidentes. Portanto, a seriedade de se respeitar as 12 horas de trabalho reforça a importância do papel dos gestores de pessoal ao organizarem e providenciarem rodízios de equipes (GOIÁS, 2017; MARTINS, 2010).

Preceitos de segurança existentes nos manuais do CBPMESP, do CBMGO e do CB/PMMPR, e que não são abordados na ITO-11, foram contemplados através das perguntas 1, 2, 5 e 8 na 3ª seção do questionário. Apenas a questão 2, que buscou saber se os bombeiros militares estão sempre atentos aos riscos durante o combate, teve resultado positivo. As demais questões, que discutiam sobre rotas de fuga, zonas de segurança, monitoramento constante do incêndio florestal e as horas de trabalho em campo apresentaram resultados pouco satisfatórios. Em outras palavras, de acordo com as

respostas obtidas pelos participantes, 3 elementos do protocolo LACES, isto é, "observar", "rotas de fuga" e "zonas de segurança", não são sempre observados pela tropa do PCIF (GOIÁS, 2017).

4 CONCLUSÃO

A análise dos resultados remete à conclusão de que a tropa do Pelotão de Combate a Incêndios Florestais (PCIF) do Batalhão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres (BEMAD) observa satisfatoriamente preceitos de segurança existentes na ITO-11, a qual foca sua atenção no estabelecimento de um SCO efetivo, no uso adequado de EPI, no trabalho realizado no mínimo em duplas, nunca individualmente, e na comunicação eficiente entre as equipes e o comandante das operações. Estes pontos da ITO-11 foram traduzidos nas perguntas 3, 4, 6 e 7 da 3ª seção do questionário; apenas os resultados da questão, que abordou o uso de EPI, não foram muito satisfatórios, os demais foram todos positivos.

Preceitos de segurança existentes em outros manuais que não são abordados na ITO-11 não tiveram resultados tão positivos como no caso anterior. Contudo, ainda assim, não podem ser interpretados como negativos, o que remete à conclusão de que os treinamentos da tropa do PCIF contemplam aspectos de segurança que vão além do abordado pela ITO-11.

O presente trabalho analisou a fundo, além da ITO-11, os manuais do CBPMESP, do CBMGO e do CB/PMPR para elaborar um questionário com perguntas objetivas, produzindo resultados quantificáveis. Não foram estudados para elaboração do questionário manuais de instituições civis que também estão engajados no combate a incêndios florestais, tão pouco doutrinas de outros países. Além disso, não foi a totalidade da tropa do PCIF/BEMAD que respondeu ao questionário, isto é, dos 28 militares, quatro não responderam (14,3% da tropa).

O objetivo principal proposto pelo trabalho foi atendido, isto é, analisar o grau de segurança dos militares do PCIF/BEMAD durante os combates a incêndios florestais. Entretanto, tendo em vista o foco da pesquisa ser o PCIF, uma tropa especializada em combate a incêndios florestais, as conclusões sobre segurança desse trabalho não devem ser generalizadas para todo CBMMG.

Sugere-se, portanto, para pesquisas ou avaliações futuras, o emprego dessa metodologia empírica, baseada em um enquadramento teórico a partir das experiências

vividas pelos profissionais questionados, a outros grupos do CBMMG. É necessário o interesse de analisar mais abrangente e profundamente o grau de segurança dos profissionais combatentes de incêndios florestais. Outra sugestão de pesquisa seria a análise estatística das ocorrências de acidentes envolvendo bombeiros militares do CBMMG em combates a incêndios florestais, o que permitiria verificar precisamente as suas deficiências de segurança.

REFERÊNCIAS

ALVES, T. G. R.; MEDEIROS, F. D. S.; NÓBREGA, J. D. Bioma caatinga: conhecer para conservar. *In: Universidade Estadual da Paraíba. IV Congresso Nacional de Educação – CONEDU*. João Pessoa/PB, novembro, 2017.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Coletânea de Manuais Técnicos de Bombeiros: manual de combate a incêndios florestais**. São Paulo: CBPMESP, 2006.

PARANÁ. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Paraná. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 3. ed. revisada e ampliada; Curitiba/PR, 2010.

GOIÁS. Corpo de Bombeiros Militar de Goiás. **Manual Operacional de Bombeiros: Prevenção e combate a incêndios florestais**. Goiânia: CBMGO, 2017.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Instrução Técnica Operacional n. 11: prevenção e combate aos incêndios florestais**. Belo Horizonte: CBMMG, 2007.

COSTA, S. A. P. A expansão das Cidade Brasileiras: Um processo sem fim. *Paisagem Ambiental. Especial ENEPEA*, n. 22, 2006. DOI: 10.11606/issn.2359-5361.v0i22p257-266.

DALMORO, M.; VIEIRA, K. M. Dilemas na construção de escalas tipo likert: o número de itens e a disposição influenciam nos resultados? **Gestão Organizacional**, v. 6, ed. esp., 2013.

DRUMMOND, G. M.; MARTINS, C. S.; MACHADO, A. B. M.; SEBAIO, F. A.; ANTONINI, Y. Biodiversidade em Minas Gerais. **Fundação Biodiversitas**. 2. ed., Belo Horizonte, 2005.

FALEIROS, F.; KÄPPLER, C.; PONTES, F. A. R.; SILVA, S. S. C.; GOES, F. S. N.; CUCICK, C. D. Uso de questionário online e divulgação virtual como estratégia de coleta de dados em estudos científicos. **Texto Contexto Enferm** [on-line], 2016. DOI: 10.1590/0104-07072016003880014.

GASQUES, J. G.; BACCHI, M. R. P.; BASTOS, E. T. Nota Técnica IV: Crescimento e Produtividade da Agricultura Brasileira de 1975 a 2016. **Ipea**. Carta de Conjuntura, n. 38, 1º trimestre, Brasília, 2018.

LOPES, L. C. S.; JARDIM, C. H. Variações de temperatura e umidade relativa do ar em área urbana e rural durante o segmento temporal de inverno de 2011 em Contagem e Betim (MG). **ACTA Geográfica**, Boa Vista, ed. esp., Climatologia Geográfica, 2012.

MANZATO, A. J.; SANTOS, A. B. **A elaboração de questionários na pesquisa quantitativa**. Departamento de Ciência de Computação e Estatística, IBILCE, UNESP, 2014.

MARTINS, S. D. R. **Incêndios Florestais: Comportamento, Segurança e Extinção**. 2010. Dissertação (Mestrado em Dinâmicas Sociais, Riscos Naturais e Tecnológicos) - Faculdade de Ciências e Tecnologia: Departamento de Engenharia Mecânica, Coimbra, 2010.

PAGE, W.; BUTLER, B. An empirically based approach to defining wildland firefighter safety and survival zone separation distances. **CSIRO Publishing, International Journal of Wildland Fire**, n. 26, 2017. DOI: 10.1071/WF16213.

PEREIRA, A. B. Mata atlântica: uma abordagem geográfica. **Revista Nucleus**, v. 6, n. 1, 2009. DOI: 10.3738/1982.2278.152.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico**. Feevale, 2. ed., Universidade Feevale, Novo Hamburgo, 2013.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, n. 11, 2015. DOI: 10.5380/abclima.v17i0.41493.

RICHARDSON, R. J. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. Editora Atlas, 3. ed., São Paulo, 2012.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C.; NUNES, J. R. S. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 2. ed., Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2008.

VASCONCELOS, M. F. O que são campos rupestres e campos de altitude nos topos de montanha do Leste do Brasil? **Brazilian Journal of Botany**, v. 34, n. 2, 2011.



Artigo Original

PROPENSÃO À SÍNDROME DE *BURNOUT*: ESTUDO COM BOMBEIROS MILITARES DA ZONA DA MATA MINEIRA

PROPENSITY TO BURNOUT SYNDROME: A STUDY MILITARY FIREFIGHTERS FROM ZONA DA MATA OF MINAS GERAIS

Rômulo Ulysses Vieira Rodrigues¹, Luiz Carlos Honório¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a6>

¹ Centro Universitário Unihorizontes.

RESUMO

Este artigo procurou descrever a percepção de 15 bombeiros militares do 3º Pelotão localizado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, que atuaram em ações de emergência, quanto às dimensões da síndrome de Burnout. Utilizou-se da pesquisa descritiva composta por entrevista estruturada. No contexto do trabalho evidenciou-se o ritmo do trabalho inconstante, ambiente de trabalho com problemas relacionados à infraestrutura e equipamentos. Na dimensão da síndrome de Burnout, foram analisadas três categorias: exaustão emocional, despersonalização e baixa realização profissional. Quanto às estratégias de regulação, ficaram evidenciadas as subcategorias: sistematização do trabalho, diálogo e apoio espiritual/ psicológico. Conclui-se que os bombeiros militares atuaram em um ambiente de trabalho com propensão à síndrome de Burnout e com vários elementos que predisõem ao adoecimento, como desgastes e sobrecargas nas dimensões organizacional, física e mental.

Palavras-chave: Síndrome de Burnout; Bombeiros Militares de Minas Gerais; Estratégias de defesa.

ABSTRACT

This article sought to describe the perception of 15 military firefighters from the 3rd platoon located in the city of Viçosa, Minas Gerais, who work in emergency actions, regarding the dimensions of the Burnout Syndrome. It was used descriptive research composed of a structured interview. In the context of the work, the research highlighted the shifting work rhythm, the work environment with problems related to infrastructure, equipment. In the dimension Burnout Syndrome, three categories were analyzed: emotional exhaustion, depersonalization and low professional achievement. As for the regulatory strategies, the following subcategories were highlighted: the systematization of work, dialogue and spiritual and psychological support. It is concluded that the military firefighters work in a work environment with a propensity to Burnout Syndrome and with several elements that predispose to illness, such as worn out and overload in the organizational, physical and mental dimensions.

Keywords: Burnout syndrome; Military Firefighters Corps of Minas Gerais; Defense strategies.

Recebido em: 19/05/2020 - Aprovado em: 05/08/2020

E-mail: romulouvr@hotmail.com.

1 INTRODUÇÃO

Maslach e Jackson (1981) foram os pesquisadores que desenvolveram a definição mais aceita na literatura internacional a respeito da síndrome de *Burnout*. Esses autores identificam a síndrome como uma resposta a uma forte tensão emocional produzida pelo contato intenso e direto com outros indivíduos. Essa condição ocorre quando o trabalhador se envolve com seus clientes e seus problemas, de forma excessiva, a ponto de provocar um alto nível de desgaste e exaustão. De acordo com os referidos autores, a síndrome se desenvolve em três dimensões, a saber: exaustão emocional, despersonalização e baixa realização profissional (MASLACH, 2005; MASLACH; JACKSON, 1981).

A síndrome de *Burnout* ocorre com maior frequência em profissionais que atuam em profissões assistenciais, tais como médicos, psicólogos, carcereiros, assistentes sociais, professores, atendentes públicos, enfermeiros, funcionários de telemarketing e bombeiros (LYRA, 2015). Esse constante, e muitas vezes excessivo, contato com o público pode gerar uma tensão emocional, concomitantemente a um desgaste físico e psicológico causado por um sentimento de frustração, que é característico da síndrome (MASLACH; SCHAUFELI; LEITER, 2001).

Nesse contexto, a profissão de bombeiro pode ser considerada uma ocupação que oferece risco significativo para o desenvolvimento da síndrome. Esses profissionais precisam lidar com situações-limite que envolvem perdas humanas e materiais, que colocam os recursos emocionais do sujeito à prova. Tais características laborais empregadas pelos bombeiros os tornam mais vulneráveis ao estresse e, conseqüentemente, ao *Burnout*. Dessa forma, não apenas a saúde física e emocional do bombeiro é comprometida, mas a eficácia dos serviços prestados também é afetada pelo desgaste do profissional (MOURA, 2007).

Barros (2019) descreveu a propensão à síndrome de *Burnout* e o comprometimento organizacional de 15 militares do Primeiro Batalhão de Bombeiros de Minas Gerais, localizado na cidade de Belo Horizonte, tendo em vista as operações de busca e salvamento que executaram na ocasião do rompimento da barragem Córrego do Feijão, na cidade de Brumadinho. Os resultados apontaram que os participantes trabalharam em equipe, com um ritmo de trabalho muito intenso e desgastante. Constatou-se que os bombeiros utilizaram estratégias de regulação individuais e coletivas para enfrentar o desgaste no trabalho, tais como a atividade física, o fortalecimento espiritual e o diálogo com os pares. Relativamente à síndrome de *Burnout*, o estudo demonstrou que, quanto à

exaustão emocional, houve grande comprometimento físico, mental e emocional desses profissionais. Quanto à despersonalização, tentaram não absorver e dedicaram-se a encontrar os desaparecidos. Em relação à baixa realização pessoal, ficou compreendido que os entrevistados se sentiram, em sua maioria, reconhecidos pela família, amigos e população, mas pouco reconhecidos pela corporação.

Silveira (2019) analisou o trabalho executado por 14 bombeiros militares que atuavam na região metropolitana de Belo Horizonte - MG e que prestavam serviços de emergência, à luz das dimensões da síndrome de *Burnout*. No contexto do trabalho, os resultados apontaram ritmo intenso, uma vez que o trabalho planejado exige competência técnica, a comunicação é deficiente e o processo decisório acontece de forma hierárquica, característica inerente à organização militar. As condições laborais foram consideradas deficientes quanto à estrutura física e equipamentos. As relações socioprofissionais foram consideradas boas. Com relação à síndrome de *Burnout*, na exaustão emocional, identificou-se grande esforço físico e mental do trabalhador. Quanto à despersonalização, evidenciou-se o controle das emoções no trabalho, no sentido de não se comprometer emocionalmente com os atendimentos. Na baixa realização pessoal ficou compreendido que os entrevistados se auto avaliam de forma positiva, são reconhecidos e valorizados pela corporação e sociedade.

Diante das considerações delineadas, compreender e analisar a dinâmica do trabalho dos bombeiros militares torna-se significativo, visto que a rotina laboral deste profissional pode favorecer o desenvolvimento da síndrome de *Burnout*. Este estudo visa descrever e analisar a percepção dos bombeiros militares do 3º Pelotão, localizado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, que atuam em ações de emergência, quanto às dimensões da síndrome de *Burnout* no contexto laboral. Assim, estudar as percepções sobre a síndrome de *Burnout* em bombeiros poderá, da mesma forma, resultar em proposições para melhorar a qualidade de vida no trabalho para esses profissionais e, conseqüentemente, em melhor desempenho de suas atribuições.

O primeiro âmbito da síndrome de *Burnout* descrito por Maslach e Jackson (1981) trata da exaustão emocional, que ocorre quando o indivíduo se sente totalmente desgastado emocionalmente, como se tivesse chegado ao seu limite. A fadiga, o cansaço, a falta de entusiasmo e energia para lidar com situações estressoras no ambiente de trabalho também são características dessa dimensão, levando o profissional à crença de que não dispõe de recursos para executar suas tarefas e atender às demandas de clientes, colegas e demais pessoas envolvidas em seu trabalho.

A despersonalização é reconhecida e caracterizada como uma insensibilidade emocional manifesta por meio de uma conduta fria e impessoal do profissional para com os colegas, clientes e outros indivíduos relacionados ao seu ambiente laboral. Nesse sentido, a pessoa acometida por essa dimensão da síndrome de *Burnout*, tende a desenvolver atitudes e sentimentos cínicos e indiferentes em suas relações interpessoais, lidando com o outro como se esse fosse um objeto. A despersonalização é tratada como um mecanismo de defesa denominado *coping* (ou como estratégia de regulação) em parte da literatura que trata da saúde mental no trabalho (REED, 2016). São esforços que os trabalhadores realizam de modo cognitivo e comportamental para enfrentar a pressão no trabalho.

Maslach e Jackson (1981) apontam a baixa realização profissional como a terceira dimensão da síndrome de *Burnout*. As principais características dessa dimensão são a autoavaliação negativa do indivíduo em relação ao seu desempenho profissional, a insatisfação e a frustração com o trabalho. Esses sentimentos podem acarretar falta de envolvimento com o trabalho, queda da produtividade, bem como o desejo de abandonar o emprego (MASLACH *et al.*, 2001).

A síndrome de *Burnout* é considerada uma patologia de ordem psicológica que ocorre como consequência de um ambiente de trabalho nocivo. Portanto, essa síndrome é entendida e reconhecida como uma doença ocupacional, sendo referida pela Classificação Internacional de Doenças, pelo código Z73. É considerada uma das formas mais graves de esgotamento profissional, manifestada por sentimentos de pressão, frustração, incapacidade e exaustão. Todos esses sentimentos, quando surgem, tendem a causar uma baixa satisfação com o trabalho realizado, diminuem a eficiência e podem gerar sentimento de culpa por parte do indivíduo.

A causa da síndrome é resultado das características individuais somadas com as organizacionais. Para evitar, é necessário conhecer suas manifestações para viabilizar a prevenção e o tratamento. Segundo Grangeiro, Alencar e Barreto (2008), o fenômeno ocorre em nível individual, coletivo e organizacional.

2 MÉTODO

A pesquisa realizada foi de natureza descritiva, com abordagem qualitativa, por meio de estudo de caso, cujo objetivo foi descrever o contexto de trabalho das características laborais de bombeiros militares do 3º Pelotão do Corpo de Bombeiros de Viçosa/MG, que

atuam em ocorrências emergenciais, com interesse em investigação sobre a propensão à síndrome de *Burnout*.

Foram envolvidos na pesquisa 15 profissionais, sendo escolhidos por critério de acessibilidade e intencionalidade associados à atividade de socorristas, levando-se em conta o perfil sociodemográfico configurado pelo sexo, idade, estado civil, número de filhos, escolaridade, área de atuação na corporação, tempo de atuação na instituição, carga horária de trabalho e nível hierárquico.

As entrevistas foram realizadas a partir do roteiro estruturado e adaptado, contidos no instrumento *Maslach Burnout Inventory* (MBI), desenvolvido por Christina Maslach e colaboradores. As questões foram inspiradas no roteiro adaptado de Souza (2018). Cabe destacar que este artigo foi desenvolvido a partir da Dissertação de Mestrado em Administração defendida no Centro Universitário Unihorizontes. Porém, antes de iniciar as entrevistas, o projeto de dissertação foi aprovado pelo Conselho de Ética e Pesquisa da referida instituição. As entrevistas foram efetuadas a partir do consentimento da instituição e a assinatura do termo de consentimento de cada entrevistado, sendo gravadas e informado o sigilo e anonimato das declarações e, posteriormente, transcrito para análise.

Ressalta-se que o ambiente desta pesquisa é a sede do Corpo de Bombeiros Militar localizada na cidade de Viçosa, Minas Gerais. O 3º Pelotão do Corpo de Bombeiros foi inaugurado nesta cidade em dezembro de 2014, com a proposta de atender a 11 municípios da região da zona da mata mineira: Viçosa, Teixeiras, Paula Cândido, Pedra do Anta, São Miguel do Anta, Cajuri, Coimbra, Canaã, Araponga, Ervália e São Geraldo. Ao todo, o Corpo de Bombeiros de Viçosa atende a 165.042 pessoas (IBGE, 2019).

Para o tratamento e a análise dos dados extraídos das entrevistas, utilizou-se da técnica análise de conteúdo (BARDIN, 2009). A análise teve como ponto de partida as categorias de registro definidas, *a priori*, por meio da teoria considerada para a pesquisa, a saber: o contexto do trabalho (organização do trabalho, condições do trabalho e relações socioprofissionais), dimensões da síndrome de *Burnout* (exaustão emocional, despersonalização e baixa realização profissional) e estratégias de regulação para lidar com a exaustão no trabalho. A partir do conteúdo das entrevistas emergiram as subcategorias, a saber: na dimensão contexto do trabalho, a categoria organização do trabalho - ritmo do trabalho, responsabilidade na execução das atividades, planejamento do trabalho, competências exigidas no trabalho, meios de comunicação no trabalho e processo decisório; na categoria condições do trabalho - segurança no trabalho e infraestrutura de trabalho; na categoria relações socioprofissionais - relacionamento com as

chefias, os colegas, a população e familiares das vítimas que atendem. Já na dimensão síndrome de *Burnout* na categoria exaustão emocional - desgaste no contexto organizacional, físico e mental; na categoria despersonalização - sentimento pela vítima, impactos dos problemas no trabalho e emoções vivenciadas na atividade; na categoria baixa realização profissional - reconhecimento no trabalho, motivação e expectativas na profissão, remuneração e benefícios; e, na categoria estratégias de regulação - sistematização do trabalho, diálogo e apoio espiritual e psicológico.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Perfil dos pesquisados

O perfil sociodemográfico e ocupacional dos bombeiros militares entrevistados revelou que todos os entrevistados eram do sexo masculino, a idade variava de 23 a 53 anos, com média de 32,4 anos. Quanto ao estado civil, oito se declararam solteiros e sete casados. Somente três possuíam filhos (dois possuíam um filho, e um três filhos). Quanto à escolaridade, sete possuíam superior completo, três superior incompleto, e cinco possuíam nível médio. Todos os entrevistados atuavam na área operacional, e o tempo de trabalho na instituição variava de dois a 26 anos, com média de sete anos. Todos os bombeiros trabalhavam na escala de plantão de 24/72 horas, ou seja, trabalhavam um dia e folgavam três dias. Quanto aos postos e graduações, dois entrevistados eram Sargentos, e os demais, Soldados.

Uma característica apresentada pelos dados demográficos e ocupacionais típica dos sujeitos dessa entrevista, que, em sua maioria, isto é, oito dos 15 entrevistados, possuíam idade igual ou inferior a 30 anos, e somente quatro deles passaram por outro batalhão antes de começar a trabalhar em Viçosa, revelando que eles fizeram o curso de formação e logo em seguida foram designados para Viçosa, sendo seu primeiro local de trabalho na instituição.

3.2 Categorias e subcategorias

Apresenta-se a análise de conteúdo com suas categorias e subcategorias que emergiram durante as entrevistas. Por questão de sigilo, os entrevistados foram nomeados de E1 a E15.

O delineamento desta pesquisa foi baseado nas três dimensões do contexto do trabalho (organização do trabalho, condições de trabalho e relações socioprofissionais), nas três dimensões da síndrome de *Burnout* (exaustão emocional, despersonalização, baixa realização profissional) e nas estratégias defensivas para lidar com a exaustão no trabalho. A partir dessas categorias, surgiram várias subcategorias apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Categorias e subcategorias derivadas das entrevistas

Categorias		Subcategorias
Contexto do trabalho	Organização do trabalho	Ritmo do trabalho Responsabilidades no trabalho Planejamento do trabalho Competências exigidas no trabalho Meios de comunicação no trabalho Processo decisório
	Condições de trabalho	Ambiente de trabalho Segurança no trabalho Infraestrutura de trabalho
	Relações socioprofissionais	Relacionamento com as chefias Relacionamento com os colegas Relacionamento com a população e familiares
Síndrome de <i>Burnout</i>	Exaustão emocional	Desgaste no contexto organizacional Desgaste físico Desgaste mental
	Despersonalização	Sentimento pela vítima Impactos dos problemas no trabalho Emoções vivenciadas na atividade
	Baixa realização profissional	Reconhecimento no trabalho Motivação e expectativas na profissão Remuneração e benefícios
Estratégias de regulação		Sistematização do trabalho Diálogo Apoio espiritual e psicológico

Fonte: Elaborado pelos autores.

A seguir, são apresentados os relatos dos sujeitos da pesquisa com base nas categorias e subcategorias encontradas, com o objetivo de analisar as vivências a partir da percepção dos bombeiros militares.

3.2.1 Contexto do trabalho

Na categoria organização do trabalho emergiram as subcategorias: ritmo do trabalho, responsabilidades no trabalho, planejamento do trabalho, competências exigidas no trabalho, meios de comunicação no trabalho e processo decisório.

Os depoimentos dos entrevistados, de maneira geral, consideram o 3º Pelotão do Corpo de Bombeiros Militar da cidade de Viçosa como um local tranquilo para se trabalhar, apesar das peculiaridades da profissão, já que o plantão é instável e aleatório, dependendo do dia. Para a realização de suas atividades diárias, existe um protocolo a ser seguido e o planejamento é realizado pelas autoridades superiores. Quanto às competências exigidas no trabalho, essas são adquiridas e desenvolvidas na própria instituição. Já em relação aos meios de comunicação, os relatos mencionam vários problemas com os meios tradicionais como o rádio e o telefone fixo, sendo o telefone móvel particular o mais utilizado. Quanto ao processo decisório, não existe para os entrevistados, já que a instituição é hierarquizada e militarizada, conforme relato: “Geralmente, como soldado não participo de processos de decisão, mas geralmente o processo de decisão é basicamente respeitando a hierarquia”. (E8).

Foi possível constatar que os bombeiros vivenciam um ambiente de trabalho de alta pressão laboral, com altos níveis de estressores, advindo tanto do meio organizacional como a falta de autonomia, controle excessivo quanto às atividades a eles atribuídas como atuação em casos de ocorrências em incêndios, chuvas, trânsito, sendo propícios para o desenvolvimento da síndrome de *Burnout* (MELO; CARLOTTO, 2016).

A categoria condições de trabalho identificou, a partir dos relatos, as subcategorias: ambiente do trabalho, segurança no trabalho e infraestrutura de trabalho.

No que cerne ao ambiente de trabalho, os entrevistados consideraram que possuem uma boa relação de companheirismo com a equipe de trabalho, possuem os equipamentos de proteção individual (EPIs) necessários para a execução das atividades, gostam da escala de 24/72 horas e a infraestrutura do quartel é satisfatória. Mas, nos municípios onde atendem não existe o Serviço de Atendimento Móvel de Urgência (SAMU) e acaba sobrecarregando os bombeiros, conforme relato de um entrevistado, 30% são ocorrências inerentes aos bombeiros, e 70% poderiam ser atendidas pelo SAMU, ou seja, ocorrências relacionadas a casos clínicos. A maioria dos entrevistados mencionaram também a precária situação das viaturas, equipamentos ultrapassados tecnologicamente e falta de materiais, além de citarem o militarismo a que são submetidos. Além de outros problemas estruturais, retratados a seguir:



Na medida do que pode, a gente atende, mas também não tem uma condição adequada, ideal, a gente só tem uma equipe, por exemplo, aqui hoje se um motoqueiro caiu e der um incêndio em Teixeiras, vai para um lugar ou vai para o outro, não tem como ir para os dois, se for para os dois, então ou seja é reduzido, muitas vezes tem que dar uma filtrada, ponderar o que você vai fazer ou não. [...] você não tem SAMU, mesmo porque também o hospital em si não oferece estrutura, já cansou de deixar gente na maca no chão, a estrutura aqui em Viçosa é muito precária (E1).

As condições de trabalho nas quais os bombeiros estão inseridos podem ter relação direta com o estresse ocupacional, colocando em risco o bem-estar e a qualidade de vida no trabalho (BARROS; HONÓRIO, 2015). Para Brugnara (2017) a falta de segurança no trabalho constitui em fator extrínseco propulsor de estresse ocupacional, conduzindo a uma sensação de insegurança acerca dos atendimentos que prestam e sendo um dos fatores de propensão ao *Burnout* na profissão dos bombeiros.

Na categoria relações socioprofissionais, foram evidenciadas as subcategorias relacionadas à chefia, aos colegas, à população e aos familiares das vítimas na hora da ocorrência. Os entrevistados relataram possuírem bom relacionamento e convivência com a equipe de trabalho, com a chefia imediata, além da população, familiares e as vítimas que atendem. Portanto, alguns depoimentos evidenciaram determinados problemas relacionados à pouca infraestrutura para atendimento a uma região ampla, não chegando com a rapidez que a população deseja, ou, às vezes, não sendo possível atender toda a demanda, afetando o melhor atendimento à população. Quanto ao relacionamento com a chefia, o relato a seguir mostra a percepção do entrevistado:

Com o comando daqui uma relação muito boa, o Tenente que é o comandante, é muito acessível, tranquilo, mas a gente tem mais contato com o chefe de serviço, com o chefe da sua ala, mas acho que é uma relação bem amigável, apesar da hierarquia, a gente consegue ter uma conversa em que não se sinta inferior porque hierarquicamente ele é superior, acho que pelo menos eu consigo ter essa relação com eles (E8).

Apesar de alguns entrevistados citarem o militarismo como problema no ambiente de trabalho, observa-se pelo relato de E8 que os bombeiros possuem uma boa interação com os superiores hierárquicos. As relações socioprofissionais possuem um forte potencial de aumentar a propensão do *Burnout* nos casos de falta de cooperação, empatia ou de inibir a síndrome quando o ambiente propicia uma boa relação com os colegas, as chefias e quem os rodeiam (BENEVIDES-PEREIRA, 2010; MASLACH, 2005).

3.2.2 Síndrome de *Burnout*



As dimensões referentes à síndrome de *Burnout* no trabalho dos bombeiros militares se dividem em três categorias: a exaustão emocional, a despersonalização e a baixa realização profissional.

Na categoria exaustão emocional, emergiram três subcategorias: desgaste advindo do contexto do trabalho, desgaste físico e desgaste mental. O desgaste relacionado ao contexto do trabalho refere-se à falta de equipamento, sistema de trabalho, hierarquia, disciplina, o plantão de 24 horas de trabalho, risco biológico e falta de infraestrutura adequada, conforme destacado a seguir:

Tem muita coisa aqui que é frustrante, por exemplo, chegar para trabalhar e o caminhão está quebrado, e você ter que atender um telefone e explicar para a pessoa que você não vai poder atender ela, porque você não tem recursos para atender, isso é realmente muito frustrante, você fica até sem jeito de falar, mas eu vou ser obrigado a falar que eu não vou poder atender, isso aí abala qualquer psicológico, até difícil de explicar isso (E1).

[...] eu atualmente estou na ala que eu gostaria de estar, mas quando se vê uma possibilidade de movimentar de ala, talvez, em uma ala que você não goste, é, aí, tipo assim, gera um desgaste, muda, por exemplo, quando você tá vindo trabalhar em ala que você gosta, você levanta mais disposto para vir trabalhar e tudo, sabe que vai encontrar gente que você gosta, quando você tá numa ala que você não gosta, você vem meio: “ah vou encontrar com aquele cara lá, preguiça (E6).

[...] acho que tem mais o risco biológico mesmo do que esforço físico, por exemplo, desencarcerar uma vítima não é tão pesado fisicamente falando, mas a gente tem que tomar cuidado com questão de contaminação, coisas do tipo assim, nesse tipo de ocorrência (E8).

[...] para mim, o mais pesado é acordar de madrugada para ir em uma ocorrência, você está dormindo lá como se tivesse dormindo em casa e do nada tem que acordar sair para uma ocorrência, ligar o sistema da cabeça todo de uma vez, aí para mim esse é o maior esforço (E10).

O desgaste físico foi relacionado com o fato de trabalhar em plantão de 24 horas e com as ocorrências que levam ao esgotamento físico e exaustão, como nos casos de incêndios, corroborando com os estudos de Prado (2011) e Melo e Carlotto (2016).

A exaustão emocional caracteriza-se por um sentimento de desgaste, um esgotamento emocional. Este sentimento foi associado ao planejamento e às situações emergenciais do cotidiano. Os bombeiros, antes de ir trabalhar, já acordam, segundo eles, “em estado de alerta”, sabendo que assumirão um plantão e não sabem o que está por vir nas 24 horas de trabalho. Fato esse que gera tensão, ansiedade e preocupação com a própria segurança e a dos colegas:

[...] então, já teve fase de eu não conseguir dormir na véspera, tanto de ansiedade para vir trabalhar como para ir embora, tanto que eu faço tratamento com psiquiatra e fiz com psicólogo também, mas hoje em dia já está mais controlado (E10).

O esgotamento profissional, ou síndrome de *Burnout*, “é um processo iniciado com excessivos e prolongados níveis de estresse (tensão) no trabalho”. Acontece após tentativas frustradas empenhadas pelo indivíduo, a fim de lidar com o estresse gerado pelas condições negativas de trabalho. Fernandes (2016) e Silveira (2019) ressaltam que a profissão atribuí ao bombeiro longos períodos de trabalho, privação de sono e riscos biológicos, sintomas de fadiga e esgotamento mental pelo fato de lidar com a morte no seu cotidiano. As atividades desempenhadas pelos bombeiros possuem altas cargas emocionais, consideradas de origem psicológica. Esta carga é definida como uma reação de origem emocional à tensão ao lidar excessivamente com pessoas, um adoecimento que emerge como resposta crônica aos estressores interpessoais ocorridos na situação de trabalho (MASLACH *et al.*, 2001).

Na categoria despersonalização, surgiram as subcategorias: sentimento pela vítima que atende, impactos dos problemas no trabalho e emoções vivenciadas na atividade. Os bombeiros nutrem vários sentimentos no seu cotidiano ao atender uma ocorrência como afeto, pena, empatia, gratidão, reconhecimento, comoção:

[...] então você tem um mix de emoções, de ansiedade, de até mesmo de desespero, às vezes você tem que parar, pensar ali, senão você fica desesperado ali na ocorrência cai junto com a pessoa (E1).

[...] depende da situação, eu normalmente me comovo muito com a situação de algumas vítimas, às vezes você chega para atender uma pessoa muito humilde, você vê que às vezes é uma pessoa carente de muitos recursos, isso aí acaba doendo um pouco na gente (E15).

Algumas vezes, de distância, eu chego lá, faço o meu trabalho, faço o que deve que ser feito, dou amparo emocional quando tem que dar amparo emocional, quando tem que agir mesmo para socorrer para imobilizar faço, mas eu procuro manter uma certa distância, não me envolver para não pegar aquela carga emocional, em algumas situações é difícil, quando é criança e idoso (E13).

[...] tento ser o mais profissional possível, no momento da ocorrência me dedico ao máximo até me envolvo de querer que aquela pessoa fique bem assim, tenho uma sensibilidade pela dor dela, tenho muito cuidado, respeito a dor dela, sou sensível ali naquele momento, mas depois que eu encerrei o meu profissional ali com ela (E6).

Compreende-se, pelos depoimentos, que com o decorrer do tempo as pessoas tendem a controlar seus sentimentos, seja porque o trabalho exige, seja para diminuir a

carga psicológica, empenhando um tratamento distante e impessoal aos atendimentos. Nesse contexto, a pessoa acometida por essa dimensão da síndrome de *Burnout* tende a desenvolver atitudes e sentimentos cínicos e indiferentes em suas relações interpessoais. Desse modo, a despersonalização também pode ser entendida como endurecimento afetivo ou coisificação (MASLACH; JACKSON, 1981).

Na categoria baixa realização profissional, que consiste na terceira dimensão da síndrome de *Burnout*, emergiram, por ordem de relevância, as subcategorias: reconhecimento do trabalho, motivação/expectativas na profissão e remuneração/benefícios.

Os entrevistados demonstraram orgulho por serem bombeiros e serem reconhecidos por parte das pessoas que atendem e pela sociedade. Sentem-se orgulhosos também pela boa imagem que a instituição possui junto à população. Eles demonstraram, ainda, motivação em estar atuando para salvar vidas, além de orgulho pelo desempenho de suas funções e reconhecimento da sociedade.

Eu acho que principalmente poder fazer algo que é importante para a sociedade, parece demagogia ou clichê falar isso, mas quando você faz uma coisa que as pessoas reconhecem, a sociedade admira, é importante para a sociedade, às vezes a vida de uma pessoa depende daquele atendimento seu, isso é um sentimento muito bom e é muito motivador, sabe (E8).

Quanto às expectativas da profissão, eles dizem que estão satisfeitos, pois a instituição possui um plano de cargos e salários. Já no que tange a remuneração e benefícios, relatam que estão contentes pelo salário que recebem, mas alguns retratam a defasagem salarial, pois o último aumento foi em 2014, conforme relatos a seguir:

Aqui a gente, 8 anos tem promoção automática pra Cabo ou então a gente pode fazer concurso pra Sargento, que é um concurso interno, aí tem todo ano, se você passar nesse concurso de Sargento depois que você faz 15 anos na instituição você tem possibilidade de concorrer, fazer um concurso de Oficial interno também, aí vira Tenente (E10).

Eu não tinha muita expectativa, uma que eu nem sabia direito o que fazia, eu fiz olhando mesmo para a questão salarial, como eu disse na época com 102% de aumento, eu ganhava muito bem, eu ganho a mesma coisa que eu ganhava há 6 anos atrás, na época isso era muito dinheiro hoje em dia nem é tanto, eu entrei sem criar muita expectativa daqui, do que ia fazer, do que precisa ser feito (E1).

Se eu parar pra pensar que o último reajuste foi em 2014, e esse mesmo salário de 2014 ele tinha um poder de compra maior que ele tem hoje, a questão inflacionária, é, mas eu acho ok. Mas eu vivo bem com esse salário, é, nesse formato que tá, nessa escala 24/72, é, tá bom, não tem muito o que reclamar do salário não, se for melhor eu fico satisfeito, assim (E6).

Constatou-se que os bombeiros entram na profissão com uma visão poética, com a concepção do super-herói. Logo em seguida, sentem frustração pela rigidez da organização do trabalho, do militarismo e da infraestrutura encontrada. Após o período de adaptação, eles se ajustam e sentem prazer na profissão.

O que acontece aqui, acho que você vai ver isso com a maioria das pessoas, a gente tem uma certa frustração de entrar pro Bombeiro, quando você entra a gente acha que o bombeiro é um super-herói, os caras são muito técnicos, acha que tem muitos recursos, não é bem assim, o bombeiro é um ser humano, erra, falha, muitas das vezes não tem recurso, então você já vê que o Bombeiro não é isso tudo quando não está no Bombeiro, só que eu particularmente nunca coloquei muita fé no Bombeiro, médico, de hospital, coisas do tipo, mas você vê quando as pessoas te veem na rua, 'pô você é bombeiro, você é super-herói' não é bem assim, não que a gente não queira ser, mas não tem como ser, você vê que o Bombeiro tem muitas falhas, praticamente a sociedade inteira tem, mas no Bombeiro não era pra ter tantas porque lida com vidas, com situações de desastre, aí você tem uma certa frustração mesmo (E1).

Eu achava que aqui era mais, que tinha mais infraestrutura, achei que aqui havia material humano e tecnológico pra trabalhar, Bombeiro ele carece de muita infraestrutura, então a gente acaba desanimando, não entregando os pontos, desanimando, eu achava que aqui havia mais estrutura pro trabalho, Bombeiro tem muita demanda, de Minas principalmente, então falta muito ainda, deixa muito a desejar, o Bombeiro do interior é muito sucateado, a capital tem algumas coisas, mas o interior é muito sucateado (E13).

A baixa realização profissional se revela como a terceira dimensão da síndrome de *Burnout*. Nela, as principais características são a autoavaliação negativa do indivíduo em relação ao seu desempenho profissional, a insatisfação e a frustração com o trabalho. De forma ampla, percebe-se exatamente o contrário, os bombeiros entrevistados possuem alta realização profissional, motivação para executar suas atividades, se sentem realizados profissionalmente e reconhecidos pela sociedade por seu trabalho, o que pode ser considerado inibidores da síndrome de *Burnout* e do sofrimento no trabalho.

3.2.3 Mecanismos de enfrentamento à exaustão no trabalho

Baseado nos depoimentos dos bombeiros emergiram as subcategorias: sistematização do trabalho, diálogo, apoio espiritual e psicológico.

Eu vejo muito como uma coisa normal mesmo, a gente muda um pouco a forma de ver a vida depois de entrar pro Bombeiro, várias atitudes desse novo modo de ver a vida, uma época de querer todo dia querer aproveitar a vida ao máximo, procurar religião coisa que nunca me interessou, procurei depois que

já era bombeiro, acho que ficar se preocupando muito com o que a gente faz exerce [...] sobre outra pessoa, porque da mesma [...] que eu me tratava como imortal assim, como invencível, a gente vê que as outras pessoas também estão sujeitas a acontecer no dia a dia, [...] mas o impacto gerado muda as relações com as pessoas (E10).

Eu tento sempre lembrar que eu estou numa profissão que eu escolhi, eu penso apesar dessa dor de cabeça que acontece, eu penso que eu não exerceria uma outra profissão com a mesma vontade de acertar como eu exerço aqui, e também já fiz o tratamento com a psicóloga lá, tomo remédio para a depressão e ansiedade (E10).

Tranquilidade, organização, seguir o nosso protocolo de atendimento, e união, união no trabalho, segurança do local. Controlando, tem que se controlar, se for demais emocional, não for um pouco frio, você não consegue trabalhar (E11).

Com frieza, eu procuro ser frio, procuro manter distância, não ter ligação com aquilo sabe, procuro dar amparo, confortar a família, eu me envolvo, mas ao mesmo tempo eu procuro manter distância, por exemplo, igual pegou fogo na casa de fulano, ele é carente e tal, a gente faz uma vaquinha e dá o dinheiro pro cara, alguma roupa, móvel, mas você começar a pegar tudo pra si não é bom, não é legal isso, por que você acaba meio que querendo abraçar o mundo inteiro e você não tem condição de abraçar o mundo, essa frieza não é bom, mas é necessária (E13).

Para lidar com o desgaste originado pelo trabalho, os bombeiros militares fazem uso de estratégias de regulação baseadas na racionalização e utilização de protocolos, no diálogo, no apoio espiritual e psicológico, no lazer e entretenimento, o que demonstra que utilizam estratégias defensivas mais de cunho individual do que coletivo, significando dizer que podem aliviar momentaneamente as causas do sofrimento, mas, por não serem coletivas, não se mostram capazes de alterar a origem do sofrimento, ou seja, a forma de organização do trabalho do bombeiro militar (DEJOURS, 2014).

As estratégias individuais, de modo geral, referem-se à formação em resolução de problemas, assertividade, gestão do tempo de maneira eficaz, formação e capacitação profissional, ou seja, tornar-se sempre competente no trabalho, estabelecer parâmetros, objetivos, participar de programas de combate ao estresse. As estratégias grupais consistem em buscar o apoio coletivo juntamente com colegas e supervisores. Desse modo, os indivíduos melhoram suas capacidades, obtêm novas informações e apoio emocional, ou outro tipo de ajuda. As estratégias organizacionais são essenciais, visto que os maiores problemas causadores do *Burnout* podem estar no contexto laboral. Consistem no desenvolvimento de medidas de prevenção para melhorar o clima organizacional, tais como programas de socialização e implantação de sistemas de avaliação que concedam aos profissionais um papel ativo e de participação nas decisões laborais (GRANGEIRO *et al.*, 2008).

Além dessas estratégias, é recomendado que o indivíduo aprenda a identificar as condições de trabalho que podem estar interferindo na qualidade de vida e prejudicando a saúde física e mental, abrir-se à possibilidade de propor nova dinâmica para as atividades diárias e objetivos profissionais e estabelecer limites dentro e fora do ambiente de trabalho, para que não se sinta sobrecarregado. Outras estratégias como tomar posições proativas e aprender a gerir o estresse também são de grande importância.

Para o tratamento farmacológico, geralmente é recomendado o uso de antidepressivos e ansiolíticos. Os mais utilizados são os antidepressivos, que tendem a diminuir a sensação de inferioridade e de incapacidade, que são os principais sintomas manifestados pelos portadores da síndrome de *Burnout* (FRAZÃO, 2012). Além dos medicamentos, o acompanhamento médico e a mudança no estilo de vida são relevantes. Praticar exercícios físicos e relaxamento é de extrema importância (FERRARI, 2013).

O tratamento psicológico, por sua vez, propicia ao indivíduo ressignificação de projetos, sonhos, profissão, trabalho (FERRARI, 2013). Terapias grupais, como aulas de danças e teatro, por exemplo, também podem ser eficientes por permitirem ao indivíduo a troca de experiências, autoconhecimento, segurança e convívio social (FRAZÃO, 2012).

As estratégias de tratamento em nível individual são diversas, entretanto é necessário levar em consideração o limite de cada indivíduo. As intervenções realizadas junto ao trabalhador sempre são para o benefício dele. Entretanto, isso pode reforçar a concepção, muitas vezes, equivocada de que o *Burnout* é um problema exclusivamente do indivíduo, fortalecendo, assim, os sentimentos de fracasso, isolamento e baixa autoestima. As intervenções devem focar a organização do trabalho, o ambiente social e seu contexto, atingindo-os de forma mais ampla. Desse modo, para qualquer tipo de intervenção, é preciso estar claro que o *Burnout* não é um fenômeno unicamente individual, mas psicossocial (CARLOTTO, 2009).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo procurou descrever e analisar a percepção dos bombeiros militares do 3º Pelotão localizado na cidade de Viçosa, Minas Gerais, que atuam em ações de emergência, no contexto ocupacional, nas três dimensões da síndrome de *Burnout* e nos mecanismos de defesa empregados pelos bombeiros no contexto laboral.

Foi possível inferir pelos resultados apresentados que o contexto ocupacional necessita de algumas melhorias, principalmente quanto aos equipamentos, materiais e

veículos da instituição a fim de propiciar maior segurança para os bombeiros exercerem suas atividades.

Quanto às três dimensões da síndrome de *Burnout* (exaustão emocional, despersonalização, baixa realização profissional), evidenciou-se as duas primeiras dimensões, não foi observado a baixa realização profissional, e sim o contrário. Percebe-se, portanto, que a vocação pela profissão minimiza os efeitos decorrentes da exaustão emocional e da despersonalização que vivenciam no trabalho, não impedindo que se sintam realizados com a função que executam, pois são considerados heróis salvadores de vidas e sujeitos de confiança da sociedade.

De maneira geral, observou-se que os bombeiros utilizam estratégias de regulação mais individuais do que coletivas para se manterem equilibrados e assim diminuam o sofrimento, evitando o adoecimento. Houve relatos de uso de medicamentos e acompanhamento psicológico. A literatura aponta que as estratégias individuais são mais eficazes para fins de adaptação, mas ineficazes para modificar as condições de trabalho que causam o sofrimento e a exaustão laboral.

Esta pesquisa buscou contribuir com a discussão sobre a síndrome de *Burnout* na perspectiva dos bombeiros militares. Como fator limitante pode-se considerar que esta pesquisa foi realizada com 15 bombeiros socorristas em um quartel na cidade de Viçosa, não abrangendo todas as áreas administrativas da corporação. Para pesquisas futuras, sugerem-se novas pesquisas de cunho qualitativo para comparação dos dados neste quartel e em outros quartéis, pesquisa com os bombeiros que atuam na área administrativa, assim como os militares de hierarquia superior. Dessa forma, abre-se uma agenda para novas discussões em profundidade sobre o ambiente laboral dos bombeiros militares.

REFERÊNCIAS

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa, Portugal: Edições 70, LDA, 2009.

BARROS, D. N. **Síndrome de *Burnout* e comprometimento com a organização**: um estudo com bombeiros militares de Minas Gerais participantes do rompimento da barragem da Mina do Córrego do Feijão. 2019. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro Universitário Unihorizontes, Belo Horizonte, 2019.

BARROS, N. M. G. C.; HONÓRIO, L. C. Riscos de adoecimento no trabalho de médicos e enfermeiros em um hospital regional mato-grossense. **REGE – Revista de Gestão da USP**, São Paulo – SP, Brasil, v. 22, n. 1, p. 21-39, 2015. DOI: 10.5700/rege549.

- BENEVIDES-PEREIRA, A. M. T. **Burnout**: quando o trabalho ameaça o bem-estar do trabalhador. 3. ed. São Paulo: Casa do Psicólogo, 2010.
- BRUGNARA, E. S. S. **Bombeiros Militares de Minas Gerais**: uma análise do prazer e sofrimento no trabalho. 2017. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro Universitário Unihorizontes, Belo Horizonte, 2017.
- CARLOTTO, M. S. A relação profissional-paciente e a síndrome de *burnout*. **Encontro: Revista de Psicologia**, v. 12, n. 17, p. 7-20, 2009.
- DEJOURS, C. Work and self-development: The point of view of the psychodynamics of work. **Critical Horizons**, London, v. 15, n. 2, p. 115-130, 2014. DOI: 10.1179/1440991714Z.00000000027.
- FERNANDES, R. S. **Estratégias de coping como fator de prevenção do estresse e Burnout em bombeiros da cidade de São Paulo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Psicologia Clínica) – Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2016.
- FERRARI, J. S. **Síndrome de Burnout**. Portal Brasil Escola, 2013. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/psicologia/sindrome-burnout.htm>. Acesso em: 20 out. 2019.
- FRAZÃO, C. **Tratamento para a Síndrome de Burnout**. Portal Tua Saúde. 2012. Disponível em: <https://www.tuasaude.com/tratamento-para-sindrome-de-burnout/>. Acesso em: 12 mar. 2019.
- GRANGEIRO, M. V. T.; ALENCAR, D. T.; BARRETO, J. O. P. A síndrome de *Burnout*: uma revisão da literatura. **Saúde Coletiva: Coletânea**, n. 2, nov. 2008. Disponível em: <http://coletanea2008.no.comunidades.net/sindrome-de-burnout>. Acesso em: 19 jan. 2018.
- IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA ESTATÍSTICA. **Cidades**. Minas Gerais. Infográficos: dados gerais dos municípios, 2019. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/panorama>. Acesso em: 15 out. 2019.
- LYRA, G. J. H. Síndrome de *Burnout*: Esgotamento profissional, estresse, sintomas e o caminho para a liberdade docente. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, v. 1, p. 01-18, 2015.
- MASLACH, C. Entendendo o *Burnout*. In: ROSSI, A. M.; PERREWÉ, P. L.; SAUTER, S. L. (Org.). **Stress e qualidade de vida no trabalho**: perspectivas atuais da saúde ocupacional. São Paulo: Atlas, 2005.
- MASLACH, C.; JACKSON, S. E. The measurement of experienced Burnout. **Journal of Occupational Behavior**, v. 2, n. 2, p. 99-113, 1981. DOI: 10.1002/job.4030020205
- MASLACH, C.; SCHAUFELI, W. B.; LEITER, M. P. J. Burnout. **Annual Review Psychology**, v. 52, p. 397-422, 2001. DOI: 10.1146/annurev.psych.52.1.397.
- MELO, L. P.; CARLOTTO, M. S. Prevalência e preditores de *Burnout* em bombeiros. **Psicologia Ciência e profissão**, Brasília, v. 36, n. 3, p. 668-681, 2016. DOI: 10.1590/1982-3703001572014.

MOURA, A. C. B. **Estratégias de *coping* e estilos de vida como mediadores entre o stress e o *burnout* nos bombeiros do distrito de Setúbal.** 2007. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade do Algarve, Algarve, 2007.

PRADO, J. S. **Estresse e qualidade de vida em bombeiros militares.** 2011. Dissertação (Mestrado em Psicologia) – Universidade Católica Dom Bosco, Campo Grande, 2011.

REED, D. J. Coping with occupational stress the role of optimism and coping flexibility. **Psychology Research and Behavior Management**, v. 9, p. 71-79, 2016. DOI: 10.2147/PRBM.S97595.

SILVEIRA, M. C. M. **Síndrome de Burnout: um estudo com bombeiros militares que atuam na região metropolitana de Belo Horizonte – MG.** 2019. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro Universitário Unihorizontes, Belo Horizonte, 2019.

SOUZA, M. C. N. O. **Propensão à síndrome de *burnout*: avaliando fisioterapeutas que atuam em uma Unidade de Terapia Intensiva localizada na região metropolitana de Belo Horizonte.** 2018. Dissertação (Mestrado em Administração) – Centro Universitário Unihorizontes, Belo Horizonte, 2018.



Artigo Original

A HIDRATAÇÃO NA ATIVIDADE DE COMBATE AO INCÊNDIO FLORESTAL

HYDRATION IN WILDFIRE FIGHTING

Ricardo Alexandre Lombello Coelho¹, Ricardo Alves Barbosa¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a7>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

O objetivo primário do presente estudo foi descrever e analisar as informações sobre hidratação contidas na doutrina operacional de Combate ao Incêndio Florestal (CIF) dos Corpos de Bombeiros Militares (CBM) das Unidades Federativas brasileiras. O objetivo secundário foi elaborar um protocolo de hidratação para as atividades de CIF, com informações gerais sobre hidratação, tais como: tipo, temperatura e quantidade de líquido a ser ingerido, entre outras. Para responder aos objetivos, realizou-se um levantamento das doutrinas de CIF dos 27 CBMs. Após leitura integral das obras encontradas, todas as informações de hidratação foram descritas e analisadas com base em artigos científicos sobre o tema. Como conclusão, constatou-se que apenas 18,5% dos CBM abordam o tema hidratação. Após análise, elaborou-se um protocolo de hidratação considerando as especificidades da atividade de combate a incêndio florestal, que estabelece quantidade, periodicidade, tipo e temperatura do líquido a ser ingerido, entre outros.

Palavras-chave: Incêndio florestal; Hidratação; Protocolo.

ABSTRACT

The primary objective of the present study was to describe and analyze the hydration information contained in the operational doctrine of Wildfire Fighting (WF) of the Military Firefighters Corps (MFC) of the Brazilian Federative Units. The secondary objective was to develop a hydration protocol, for WF activities, with general information on hydration, such as type, temperature and quantity of liquid to be ingested, among others. To respond to the objectives, a survey of the WF doctrines of the 27 MFC was carried out. After reading the papers found, all hydration information was described and analyzed based on scientific articles on the subject. In conclusion, it was found that only 18,5% of MFC approach the topic of hydration. After analysis, a hydration protocol was elaborated considering the specificities of the wildfire fighting activity, including the amount and frequency of liquid to be consumed, type and temperature of the drink to be ingested.

Keywords: Wildfire; Hydration; Protocol.

Recebido em: 17/11/2020 - Aprovado em: 28/05/2021

E-mail: ricardo.coelho@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) possui a finalidade de atender diversas ocorrências relacionadas a resgate, busca e salvamento, prevenção e combate a incêndios, proteção e socorrimento público, perícias de incêndio e explosão em locais de sinistro (MINAS GERAIS, 1999). Entre os principais tipos de incêndios atendidos pelo CBMMG, citam-se os florestais. O incêndio florestal é definido como o fogo não controlado, tanto em floresta como em qualquer outra forma de vegetação (BRASIL, 1998; SINTRA, 2006).

Os atendimentos a ocorrências de incêndios florestais são caracterizados por possuírem períodos extensos e imprevisíveis de trabalhos que submetem o indivíduo a operar em condições ambientais com alto nível de estresse térmico (BARR; GREGSON; REILLY, 2010). Portanto, constata-se que, durante um atendimento de ocorrência, além da alta demanda física das ações de combate a incêndio que podem levar um bombeiro a um estresse térmico (QUINTAL, 2012), deve-se considerar, também, as características de alta tensão térmica oriunda, principalmente, da radiação das chamas (BARR *et al.*, 2010; TAVARES, 2009).

A necessidade diária de água varia individualmente, sendo influenciada por uma série de fatores, como as condições ambientais e as características da atividade física, duração da sessão, intensidade do exercício e necessidade de vestimentas que interferem na termorregulação (CARVALHO; MARA, 2010). Como forma de controlar a temperatura em locais que possuem clima quente e/ou durante atividades físicas intensas, o corpo produz e libera o suor. A perda de água através desse processo pode variar de 0,3 litros, em condições de repouso, a 6,0 litros por hora durante uma atividade física intensa (POPKIN; D'ANCI; ROSENBERG, 2010). Especificamente na atividade de CIF, em um estudo, ao avaliar as roupas de proteção utilizadas pelos bombeiros nas ocorrências de incêndio florestal, constatou-se que, em uma tarefa de 20 a 30 minutos, pode haver uma perda de água de 1,2 a 1,8 litros através do suor (KEISER, 2007).

Quando há sudorese, ocorre o resfriamento da pele e, conseqüentemente, controle da temperatura corporal. Porém, se a liberação de água através do suor não for repostada com a ingestão de líquidos, ocorrerá um aumento da temperatura corporal central e, conseqüentemente, um estado de desidratação (MCARDLE; KATCH; KATCH, 2016). A desidratação pode ser caracterizada por uma situação fisiológica resultante de um distúrbio hidroeletrolítico em que há liberação de água e sais minerais pelo corpo

(BONFIM; ENOKIDA, 2012). Destaca-se que, durante o quadro de desidratação, há uma diminuição do volume sanguíneo e, conseqüentemente, poderá ocorrer a manifestação do choque circulatório do tipo hipovolêmico; condição semelhante constatada em casos de hemorragia externas e/ou internas graves (GUYTON; HALL, 2017).

Em uma análise das influências do ambiente provocadas na manutenção da temperatura do indivíduo, há um estudo demonstrando que, em cenários industriais em que existe exposição excessiva ao calor, os indivíduos podem ser submetidos a uma situação de estresse térmico (QUEIROZ; BASTOS, 2005). Esse desgaste térmico, causado pela exposição a ambientes com temperatura excessivamente quente, é uma condição psicofisiológica que pode provocar fragilidade do estado geral de saúde do indivíduo, proporcionar alterações nas reações psicossensoriais e diminuição do desempenho físico (LAMBERTS; XAVIER, 2002).

Em síntese, conforme demonstrado, as atividades de combate a incêndios florestais podem representar um forte estímulo para a desidratação e para outros efeitos deletérios, tanto pelas atividades físicas intensas exercidas durante o combate quanto pelas condições ambientais quentes (QUINTAL, 2012), sendo que a ingestão de água/líquido permitirá uma concreta defesa contra o estresse provocado pelo calor (MCARDLE *et al.*, 2016), pois, um corpo hidratado possibilitará a transpiração como uma forma eficaz de controle e manutenção da temperatura central (HERNANDEZ; NAHAZ, 2009).

Apesar de haver constatações da importância da hidratação nas ocorrências de combate a incêndios florestais, não há, na literatura específica do CBMMG, orientações para a ingestão de líquidos nessa atividade. Portanto, com base nas especificidades das ocorrências de incêndio florestal, há a necessidade de estabelecimento de recomendações sobre hidratação para que, durante os atendimentos, não haja diminuição do desempenho físico, desidratação e/ou outros efeitos prejudiciais aos bombeiros militares. O objetivo primário do presente estudo foi descrever e analisar as informações sobre hidratação contidas na doutrina operacional de Combate a Incêndio Florestais (CIF) dos Corpos de Bombeiros Militares (CBM) das 27 Unidades Federativas brasileiras. O objetivo secundário foi elaborar um protocolo para as atividades de CIF, com informações gerais sobre hidratação (tipo, temperatura e quantidade de líquido a ser ingerido, entre outras).

2 MÉTODO

Para atingir o objetivo primário do presente estudo, realizou-se um levantamento das doutrinas de CIF dos CBM das 27 Unidades Federativas brasileiras. Após leitura integral das obras encontradas, todas as informações de hidratação foram descritas e analisadas com artigos científicos e dissertações sobre o tema. Para atingir o objetivo secundário do presente estudo, utilizou-se a análise das doutrinas citadas, a fim de elaborar um protocolo contemplando as especificidades da atividade de incêndio florestal com base em suas informações científicas.

3 RESULTADOS

3.1 Hidratação nas doutrinas operacionais de CIF

Constatou-se que, dos Corpos de Bombeiros Militares do Brasil que possuem doutrina operacional para as atividades de CIF, apenas cinco citam a hidratação durante o atendimento às ocorrências de incêndio florestal. No quadro 1 são elencados quais manuais, Procedimentos Operacionais Padrão (POP) e/ou Instruções Técnicas Operacionais (ITO) abordam o consumo de líquidos.

Quadro 1 - CBM que possuem manuais e POP de CIF que descrevem parâmetros de hidratação

Estado	Manual de CIF	POP CIF	Hidratação
Goiás	Sim (2017*)	Sim	Sim
Mato Grosso do Sul	Sim (2015*)	Sim	Sim
Paraná	Sim (2010*)	Sim	Sim
Rio de Janeiro	Sim (2019*)	Sim	Sim
Santa Catarina	Sim (2017*)	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores.

* Ano da edição.

3.2 Orientações de hidratação

O Manual de CIF do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) cita o termo hidratação para referenciar o tipo de recipiente que deve ser utilizado no transporte de líquido durante as operações em geral. No item 2.6.7, do capítulo 2 – Tecnologia de Combate a Incêndio, há especificação da mochila:

2.6.7 Mochilas

Para operações em geral, as características primordiais em uma mochila são: baixo peso, capacidade para bolsa de hidratação, possuir barrigueira e tirantes de peito ajustáveis, possuir alças de transporte e possuir capacidade para transportar saco de dormir, barraca e isolante térmico, possuir capa de chuva e ser compartimentada (RIO DE JANEIRO, 2019, p. 65-66).

Enquanto que, no item 2.4.4 do manual CIF do CBMERJ, há orientações sobre a utilização do cantil:

2.4.4 Cantil

Têm por objetivo o armazenamento de água, servindo para manter o combatente em condições de não se desidratar em função do calor intenso dos incêndios florestais. Permite que seu trabalho se faça com menos interrupções, pois evita deslocamentos para a busca de água, geralmente o combatente transporta dois cantis (RIO DE JANEIRO, 2019, p. 57).

O manual de CIF do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Mato Grosso do Sul (CBMMS) cita, no item 4.4.8, a importância da hidratação e o tipo de embalagem que deve ser utilizado para o transporte de líquidos: “4.4.8 cantil ou *camelbak* - É muito importante a devida hidratação do combatente tendo em vista à exaustão sofrida nas fases do combate aos incêndios florestais” (MATO GROSSO DO SUL, 2015, p. 73).

O “Guia do aluno - noções básicas em incêndio florestal do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC)” cita, no item 2.6, a importância de uma estrutura para a hidratação contínua durante as atividades de CIF:

2.6 Chegada no Local

Os incêndios tendem a atingir grandes áreas, e não raras as vezes em que a frente do fogo atinge vários quilômetros de extensão, dessa forma, ao se chegar no local da ocorrência é fundamental que as viaturas e os equipamentos sejam posicionados em local de fácil acesso para combater o incêndio, montar a estrutura de comunicação (caso necessário), descansar e realizar o revezamentos das equipes, reabastecer os reservatórios de água, acessar os primeiros socorros, e finalmente, realizar a alimentação e hidratação. O local deverá ser seguro e sem vegetação por queimar (SANTA CATARINA, 2015, p. 57).

O manual de CIF do Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado do Paraná (CB/PMPR) cita, no item 2.1.2.2, a importância de considerar a umidade relativa do ar e a reidratação durante o atendimento das ocorrências de incêndio florestal:

2.1.2.2 Umidade relativa do ar

Quando discutimos umidade na atmosfera é importante conhecermos dois pontos de referência para qualificar a umidade em qualquer tempo e lugar,

que são o ponto de orvalho e a umidade relativa do ar. A umidade relativa do ar destaca -se no estudo do comportamento do fogo, principalmente em nossa região onde existe, nos períodos críticos à eclosão dos incêndios florestais, uma tendência a dias com umidade relativa do ar extremamente baixa. (...) Outro ponto de destaque que merece a atenção de quem comandará as ações de combate aos incêndios florestais é o desgaste dos combatentes devido à baixa umidade, que poderá causar desidratações e outras complicações, portanto a rehidratação é fator que deve ser colocada em primeiro plano para um combate eficaz e sem perda de pessoal (PARANÁ, 2010, p.39-40).

O manual de CIF do CB/PMPR discorre, ainda, na seção de logística, a palavra hidratação no item “a.3.3 Unidade de Alimentação - É responsável por determinar e satisfazer as necessidades de alimentação e hidratação em todas as instalações do incidente e por todos os recursos ativos dentro da Seção de Operações” (PARANÁ, 2010, p. 93).

O manual de CIF do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO), no capítulo 8 (Noções de Sobrevivência na Selva), destaca a palavra hidratação em conjunto com outros cuidados que devem ser seguidos para uma adaptação ao ambiente florestal:

CAPÍTULO 8 – NOÇÕES DE SOBREVIVÊNCIA NA SELVA

Outra dentre as várias situações extremas que podem acontecer com as Guarnições de Combate a Incêndio Florestal- GCIFs, é a de ficarem por dias dentro da mata e sem recursos ou com os recursos dos fardos escassos, além do fato de que o bombeiro combatente florestal deve estar bastante adaptado ao ambiente florestal de modo a tirar dele certo conforto e evitar situações que possam provocar sua baixa durante as operações. Vários são os cuidados de higiene pessoal e coletiva, com a saúde, hidratação, obtenção de fogo, alimentação e proteção que devem ser observadas para não agravar certas situações. As técnicas de sobrevivência serão descritas conforme a Instrução Provisória IP 21-80- Sobrevivência na Selva, do Exército Brasileiro, edição de 1999, com algumas adaptações (GOIÁS, 2017, p. 210).

No mesmo capítulo, a seção 1 – Efeitos Fisiológicos do calor, traz orientações de como o combatente deve tratar e prevenir os sintomas causados pelo calor excessivo:

Com a excessiva perda de água e sal (forte transpiração) do organismo o bombeiro será acometido de vários sintomas, dentre os principais, associado ao ambiente de selva, são a exaustão, cujos principais sintomas são palidez, náuseas, tonteadas e desmaios, e também as câimbras. Para proteção desses efeitos o combatente florestal deverá, por exemplo:

- Ingerir bastante água (fria e salgada). A solução salina deve ser feita com a dissolução de dois tabletes de sal em um cantil de água (1/4 de colher de chá, ou equivalente) e deve ser ministrada aos goles em intervalos de tempos regulares (1 a 3 minutos) num espaço de 12h [...] (GOIÁS, 2017, p. 210).

O capítulo 9 (Marchas e Estacionamentos), do manual de CIF do CBMGO, cita a importância de tempos periódicos e regulares para hidratação:

CAPÍTULO 9 – MARCHAS E ESTACIONAMENTOS

Auto Horário (ou Auto)

É necessário que durante a execução da marcha as GCIFs tenham um tempo para descanso, ajustar farda e equipamento, realizar necessidades fisiológicas, hidratação e alguma alimentação. Para tal são feitos intervalos de tempos periódicos e regulares que chamamos de Auto Horário ou simplesmente Auto [...] (GOIÁS, 2017, p. 254).

Ainda, de acordo com o manual de CIF do GOIÁS (2017), preconiza-se que o primeiro momento de auto será após 45 minutos de marcha, com 15 minutos de descanso; a partir do segundo auto horário (ou auto), que será com 50 minutos de marcha, o descanso será de 10 minutos. Esse procedimento baseia-se no Manual de Campanha C 21-18 Marchas a pé, do Exército Brasileiro.

4 DISCUSSÃO

O objetivo primário do presente estudo foi descrever e analisar as informações sobre hidratação contidas na doutrina operacional de CIF dos CBM das Unidades Federativas brasileiras. Constatou-se que, das 27 Unidades Federativas, apenas 10 dos CBM possuem manuais, POP e/ou ITO de CIF. Após análise das obras, constatou-se que, apesar do risco de ocorrer uma desidratação nas ocorrências de incêndio florestal, apenas 18,5% dos CBM brasileiros abordam o tema hidratação nos manuais, POP e/ou ITO. Na sequência, serão analisados os seguintes temas encontrados na literatura sobre ingestão de líquido durante a atividade física: orientações sobre hidratação, mecanismo de sede, desidratação, pré-hidratação, hidratação durante a atividade, pós-hidratação, composição do líquido, temperatura do líquido e hiponatremia.

4.1 Orientações sobre hidratação

Apesar de a água ser o elemento químico mais abundante no corpo humano (MCARDLE *et al.*, 2016) e da constatação de que em atividades de CIF há uma alta demanda física em um ambiente, o que pode levar um bombeiro a uma condição de estresse térmico (QUINTAL, 2012), verificou-se que dos 10 CBMs que possuem manuais, POP e/ou ITO, apenas cinco mencionam orientações sobre hidratação durante as atividades de CIF.

A hidratação planejada e adequada a cada atividade, seja de lazer ou de alto rendimento, é capaz de assegurar um bom desempenho e evitar problemas clínicos ao indivíduo (HERNANDEZ; NAHAS, 2009). Além disso, há na literatura científica existente outros dados relevantes, tais como: quando, quanto, tipo, temperatura, benefícios, consequências da má hidratação, entre outros fatores que podem melhorar ou não o rendimento do indivíduo. Diante do exposto, destaca-se que a desidratação não ocorre somente pela sudorese acentuada, mas, também, pela ingestão inadequada e/ou a má absorção do líquido pelo organismo (HERNANDEZ; NAHAS, 2009). Portanto, atividades físicas excessivas e/ou em climas com altas temperaturas, requerem uma avaliação permanente da ingestão de líquidos para alcance da reidratação completa (CHEUVRONT; SAWKA, 2005).

4.2 Mecanismo de sede

Dos manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados, em nenhum houve menção sobre confiar ou não no mecanismo de sede. Ao verificar a literatura, constatou-se que existe uma minoria de estudos que defendem que não há como estabelecer uma estratégia única de hidratação para todas as atividades físicas, pois, como elas são executadas em ambientes e temperaturas diferentes, o mecanismo da sede seria o método mais seguro para o indivíduo se manter hidratado (MELLO, 2010).

O principal argumento contra o mecanismo da sede demonstra que ele só é ativado quando há o aumento da concentração de sódio e a diminuição do volume sanguíneo (PERRELLA; NORIYUK; ROSSI, 2005). Sendo assim, quando há o início da vontade de ingerir líquidos, o déficit de água no corpo já está, aproximadamente, a 2% (WENDT; LOON; LICHTENBELT, 2007). Além disso, com o início da hidratação, altera-se a pressão osmótica plasmática e, precocemente, a sensação de sede (MARINS; FERREIRA, 2005). Conseqüentemente, a vontade de ingerir líquidos é interrompida antes da reposição hídrica adequada (PERRELLA *et al.*, 2005).

Por fim, a maioria dos estudos recomendam que a hidratação, durante a prática de diversas atividades físicas, deve ser realizada através de protocolos que contenham as recomendações de ingestão de líquidos antes, durante e após as atividades; e não, apenas, pelo mecanismo da sede (BONFIM; ENOKIDA, 2012; HERNANDEZ e NAHAZ, 2009; SAWKA *et al.*, 2007). Diante do exposto, durante a atividade de CIF, conclui-se que os militares não devem se basear, apenas, no mecanismo da sede. Afinal, caso isso

aconteça, há um aumento da probabilidade de desidratação durante e/ou após o combate. Portanto, evidencia-se a necessidade da padronização de uma estratégia de hidratação para a atividade de combate a incêndios florestais.

4.3 Desidratação

Em nenhum dos manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados houve menção dos efeitos deletérios da desidratação durante o atendimento das ocorrências de incêndio florestal. No entanto, durante as atividades com uma longa exposição a temperaturas elevadas, eletrólitos são perdidos no processo de transpiração. Esses minerais, quando não repostos, provocam dores e espasmos musculares na região abdominal e nos membros (MCARDLE *et al.*, 2016). Além disso, o desequilíbrio das concentrações eletrolíticas e a ineficiência na reposição energética estão ligados à supressão de força e a ativação do mecanismo da sede (FERREIRA; CEDRAZ; CAMPOS; MELO, 2017). No mesmo sentido, a atividade física realizada em ambientes quentes também pode causar a fadiga e a desidratação (GOMES; BARROSO; GONZAGA; PRADO, 2014).

Destaca-se, ainda, que, devido à desidratação, pode haver uma diminuição do volume sanguíneo e, conseqüentemente, a manifestação do choque circulatório do tipo hipovolêmico (GUYTON; HALL, 2017). Em regra, sabe-se que, ocorrendo desidratação com percentuais de 1 a 2% de perda de líquido corporal, já há o aumento da temperatura em até 0,4 C. Com a desidratação a 3%, acontece uma diminuição significativa no desempenho; já com 4 a 6% de desidratação, surge a fadiga e acima de 6% de desidratação, há risco de choque circulatório hipovolêmico e/ou o óbito do indivíduo (CARVALHO, 2003).

Destarte, na execução de atividades físicas em lugares com elevadas temperaturas, é fundamental que o bombeiro mantenha uma boa hidratação, pois, em ambientes nessas condições, há o aumento da sudorese e, conseqüentemente, aumento da probabilidade do surgimento de um estado de desidratação (QUINTAL, 2012). Em um estudo com atletas da Universidade Federal de Viçosa, por exemplo, demonstrou-se que uma boa estratégia de hidratação evita os sinais e sintomas da desidratação, tais como câimbras e sede intensa (MARINS; FERREIRA, 2005).

Na atividade de CIF, além do calor produzido pela atividade física, há também a probabilidade de elevação da temperatura corporal, principalmente através da radiação do calor das chamas. Desta forma, a junção destes fatores aumenta a probabilidade de

perda de líquido corporal. Isso reforça, veemente, a necessidade do planejamento de uma estratégia eficiente de ingestão de líquidos para prevenção dos efeitos deletérios da desidratação. Assim, em síntese, constata-se que, ao ser submetido aos efeitos deletérios da desidratação, o indivíduo poderá sofrer desde a elevação da temperatura corporal a apresentar um quadro simples de câimbras e/ou dores e espasmos musculares na região abdominal e membros, além do risco de choque circulatório hipovolêmico e/ou morte.

4.4 Pré-hidratação

Analisados os manuais, POP e/ou ITO de CIF, em nenhum deles houve menção dos critérios para a pré-hidratação para o atendimento às ocorrências de incêndio florestal. No entanto, sabe-se que a hiperidratação (ingestão de água realizada antes das atividades físicas exercidas em altas temperaturas) permite uma proteção termorreguladora (MCARDLE *et al.*, 2016). A Sociedade Brasileira de Medicina do Exercício e do Esporte (SBMEE) recomenda que o indivíduo deve ingerir de 250 a 500 ml de água duas horas antes de iniciar as atividades físicas (HERNANDEZ; NAHAZ, 2009). Já o *American College of Sports Medicine* (ACSM) defende a ingestão de 500 ml de líquidos duas horas antes das atividades físicas e acrescenta que, desta forma, há tempo para eliminação do excesso de líquido ingerido (SAWKA *et al.*, 2007).

Em ocorrências não contínuas, devido à distribuição do CBMMG no estado, o início das atividades de CIF de determinados militares pode variar de minutos a horas. Assim, em alguns casos, não será possível a previsão, defendida pela SBMEE e pelo ACSM, de ingestão de líquidos duas horas antes do início das atividades de CIF. No entanto, em ocorrências contínuas de incêndio florestal, em que o militar sabe o início das atividades de CIF, haverá tempo suficiente para ingestão e para eliminação de excesso de líquidos. Apesar de não haver posicionamento explícito do SBMEE e/ou da ACSM, infere-se que a pré-hidratação, de 250 a 500 ml de líquidos, deve ocorrer mesmo quando o início do atendimento possa ocorrer em minutos.

4.5 Hidratação durante a atividade

Entre os manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados, houve destaque de maneira explícita do tema reidratação durante o atendimento às ocorrências de incêndio florestal apenas nos manuais do CB/PMPR e do CBMGO. O manual do CB/PMPR menciona a

importância da reidratação, no entanto, não estabelece outros critérios em que se deve ocorrer a ingestão de líquidos. Já o manual do CBMGO, com base no Manual de Campanha C 21-18 Marchas a pé do Exército Brasileiro, menciona a importância da reidratação e preconiza que o primeiro momento será após 45 minutos de marcha e os demais momentos serão a cada 50 minutos de atividade (GOIÁS, 2017).

Apesar do Manual do CBMGO indicar intervalos variando de 45 a 50 minutos, constata-se que, nas atividades físicas em geral, a ACSM recomenda o contínuo consumo de líquido durante a atividade para repor a perda de água através da transpiração (SAWKA *et al.*, 2007). De forma mais específica, em intervalos de 15 a 20 minutos, deve-se ingerir, em média, de 125 a 600 ml, variando conforme as taxas de sudorese (HERNANDEZ; NAHAZ, 2009). Outra estratégia para a reposição de líquido durante a atividade física seria consumir, aproximadamente, 830 a 1.200 ml a cada hora de exercício; ou seja, 140 a 300 ml a cada 10 a 15 minutos (MCARDLE *et al.*, 2016).

Algumas literaturas defendem que a melhor estratégia de hidratação é obtida através do uso de balanças de precisão para mensurar o peso do indivíduo antes e depois da perda de líquido (SAWKA *et al.*, 2007). Na atividade de CIF, atualmente, seria inviável manter uma balança de precisão em cada frente de trabalho, pois isso exigiria de cada militar equipar e desequipar para a pesagem, visto que não há como o indivíduo fazer a pesagem equipado, por exemplo, com a bomba costal. O exame de sangue, através de marcadores plasmáticos, é outro indicador de hidratação defendido na literatura (SAWKA *et al.*, 2007). Contudo, por se tratar de um teste laboratorial, há necessidade de um aparato técnico para coleta e análise das amostras. Sendo assim, atualmente, essa estratégia também é impraticável na atividade de CIF. Diante do exposto, conclui-se que as recomendações mais aplicáveis para as ocorrências de incêndios florestais são as demonstradas, anteriormente, por Hernandez e Nahaz (2009) e por Mcardle *et al.* (2016); ou seja, que a cada 15 minutos de atividade, haja uma hidratação de 125 a 300 ml de líquidos.

Na atividade de CIF, recomenda-se a utilização do cantil e/ou mochila de hidratação para a reposição do líquido perdido durante a sudação e, conseqüentemente, manutenção do estado de hidratação. Importante salientar que a ingestão da água armazenada na bomba / mochila costal, ainda que ela seja potável, não é indicada, pois existe a possibilidade do recipiente conter resquícios de produtos químicos utilizados em combates anteriores. Além disso, há também a possibilidade do próprio material do

equipamento desprender produtos químicos, como por exemplo, o Bisfenol A (componente que pode ser utilizado para fabricação do plástico).

Destarte, recomenda-se que o bombeiro possua uma mochila de hidratação com capacidade média de 1,5 a 2,5 litros e/ou dois cantis com volume médio de 900 ml cada. Assim, ao acatar as recomendações da literatura de ingerir durante a atividade, no mínimo, 125 ml de líquido a cada 20 minutos, ele terá uma autonomia para hidratação de, em média, três (mochila de hidratação de 1,5 litros) a cinco ou seis horas (mochila de hidratação de 2,5 litros). Outro ponto importante a ser destacado é que, durante o *briefing*, os militares sejam orientados sobre a localização de fontes naturais de água no terreno (lagoa, cachoeira, rios). Caso haja esses locais, os militares poderão utilizar essa água em conjunto com um tratamento imediato: pastilhas Clorin e/ou tubo filtrante. Caso não haja água disponível no terreno, o posto de comando deverá preparar a logística para fornecimento de água, aproximadamente, a cada três horas de combate.

4.6 Pós-hidratação


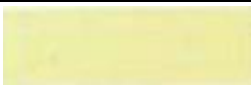






Em nenhum dos manuais, POP e/ou ITO de CIF houve menção explícita da hidratação após o atendimento às ocorrências de incêndio florestal. No entanto, quando se atua em ambientes que possuam altas temperaturas, é importante que o bombeiro, após as atividades de combate a incêndio, ingira líquidos para manutenção das taxas de sudorese e do volume sanguíneo (SHARKEY; GARSKILL, 2009). A SBMEE acrescenta que, após a atividade física, a ingestão de água deve seguir com intuito de suprir as perdas por sudorese e diurese (HERNANDEZ; NAHAZ, 2009).

O peso corporal associado ao exame de urina corresponde a outro marcador de hidratação, devendo ser aferido na primeira pesagem após a micção e na segunda depois da atividade. A técnica descreve que a perda de 1 grama equivale a 1 ml de água corporal perdida (SAWKA *et al.*, 2007). A alteração de peso corporal antes e depois da realização de um exercício físico é um parâmetro útil e simples para determinar mudanças radicais do volume total de água no corpo (CHEUVRONT; SAWKA, 2005) e um instrumento para determinar a quantidade de líquido a ser repostado (MARINS; FERREIRA, 2005).

Conforme discutido anteriormente, o uso da balança para a hidratação durante a atividade de CIF é inviável. No entanto, após a atividade, poderá haver uma certa aplicabilidade. Nesse momento, seria necessário, no mínimo, uma balança e que os militares fossem pesados antes e após o combate, sem equipamentos e de preferência

com fardamento de atividade física (somente short e camiseta). Em relação à urinálise, atualmente continua sendo inviável para a atividade de CIF. Porém, considera-se extremamente relevante instruir os militares sobre o significado da escala de oito tons de coloração da urina – Anexo A (ARMSTRONG *et al.*, 1994 *apud* SANTANA *et al.*, 2017, p. 28).

Quadro 2 - Estado de hidratação, segundo a coloração da urina

	Bem hidratado	Funções fisiológicas normais e desempenho esportivo preservado.
		
	Minimamente desidratado	Termorregulação prejudicada e desempenho esportivo ligeiramente afetado.
		
	Significativamente desidratado	Termorregulação severamente prejudicada e desempenho esportivo grandemente afetado.
		
	Seriamente desidratado	Risco de colapso.
		

Fonte: Armstrong *et al.*, (1994) *apud* Santana *et al.*, (2017).

4.7 Composição do líquido

Entre os manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados, houve especificação da composição do líquido apenas no manual de Goiás (GOIÁS, 2017, p. 210): “A solução salina deve ser feita com a dissolução de dois tabletes de sal em um cantil de água (1/4 de colher de chá, ou equivalente)”. Em observação a estudos as atividades de longa duração, é indicado que ocorra o consumo simultâneo de água e repositores energéticos e eletrolíticos, uma vez que o consumo apenas de água é incapaz de fornecer energia e eletrólitos, o que pode levar à fadiga, desidratação e modificação no balanço hidroeletrólítico (GOMES *et al.*, 2014). Nas atividades físicas, a ingestão de bebidas que são compostas por eletrólitos e carboidratos tende a garantir mais vantagens que apenas o consumo de água (MCARDLE *et al.*, 2016). Nas atividades com duração acima de uma hora, ou abaixo de uma hora, porém intensas, deve haver a reposição de carboidrato e

sódio (HERNANDEZ; NAHAZ, 2009). O bombeiro em atividade de combate a incêndio, durante a reposição hídrica, deverá consumir porções pequenas de carboidratos e eletrólitos (QUINTAL, 2012).

Em relação às bebidas comerciais, nenhum dos manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados faz alguma menção. No entanto, sabe-se que a oferta de bebidas isotônicas aparenta ser mais eficaz do que a água, no que tange à reposição hídrica de eletrólitos e glicogênio, prevenindo a queda no desempenho e outras patologias como a redução da concentração plasmática de sódio (THIENGO; GIMENES, 2008). Já no estudo realizado com nadadores na cidade de Aracaju, foi constatado que, mesmo que a água seja uma excelente opção para a reposição hídrica, a bebida esportiva apresentou um desempenho melhor como repositores hídricos (PRADO; BARROSO; GÓIS; REINERT, 2009). A água é uma boa escolha para reidratação, contudo, em atividades com baixa duração e alta intensidade pode ter uma desvantagem em relação às bebidas de sabor por não possuir, em sua composição, sódio e carboidratos, além de ser insípida, favorecendo a desidratação (HERNANDEZ; NAHAS, 2009).

No estudo realizado com bombeiros do distrito de Coimbra, Portugal, revelou-se que a bebida mais consumida foi a água (69,2%) e as bebidas energéticas tiveram o percentual de, apenas 15,7% (QUINTAL, 2012). No entanto, na atividade de CIF, seria interessante que os líquidos a serem ingeridos fossem compostos por carboidratos e eletrólitos. Desta forma, caso seja possível, em atividades maiores do que uma hora, o bombeiro deve preferir a ingestão de bebidas isotônicas à água pura. Para isso, deverão ser utilizadas, predominantemente, as compradas em pó, devido à facilidade de armazenamento e transporte, por serem menos perecíveis e por produzirem uma grande quantidade de líquido isotônico. Em regra, utiliza-se 30 gramas do pó misturado em 400 ml de água, ou seja, para uma atividade de duas a três horas utiliza-se, aproximadamente, 150 gramas de pó em dois litros de água.

4.8 Temperatura do líquido

Ao abordar a temperatura do líquido a ser consumido, nos manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados, apenas o manual de Goiás faz referência à temperatura ideal para hidratação: “[...] a temperatura da água deve ser fria” (GOIÁS, 2017). Ao avaliar equipes de futebol de base no Brasil sobre hidratação, verificou-se que a maioria optou por bebidas mais frias (FERREIRA *et al.*, 2009). Fazendo um paralelo entre uma bebida que

esteja em temperatura ambiente e outra com a temperatura mais baixa, em torno de 6° a 22° C, a segunda bebida é mais palatável nos exercícios, especialmente os realizados em temperaturas mais elevadas (ARMSTRONG *et al.*, 1985). Esses resultados coadunam com a SBMEE que recomenda a ingestão de líquidos com temperaturas mais baixas do que a temperatura ambiente, entre 15° e 22° C (HERNANDEZ; NAHAS, 2009).

Para a manutenção da temperatura do líquido, a mochila de hidratação, em regra, possui uma proteção térmica pela estrutura e o cantil possui uma capa térmica. No entanto, em ambientes de CIF, essas proteções são constantemente confrontadas, principalmente, com a radiação das chamas. Desta forma, há uma tendência de que o líquido carregado pelos bombeiros fique a uma temperatura superior à recomendada, entre 15° e 22° C. Para minimizar a elevação da temperatura, caso o ambiente de combate ofereça condições, recomenda-se que a mochila de hidratação e/ou o cantil sejam posicionados em local mais distante das chamas e/ou que, antes da saída para o combate, o líquido esteja em uma temperatura inferior a 15° C.

4.9 Hiponatremia

Dos manuais, POP e/ou ITO de CIF analisados, em nenhum houve menção sobre o excesso da ingestão de água. O elevado consumo pode provocar uma perda substancial de sódio, que tem o nível diminuído pela não reposição adequada, provocando um fenômeno conhecido como hiponatremia (MCARDLE *et al.*, 2016). O ACSM (SAWKA *et al.*, 2007) sugere que, em atividades com tempo superior a uma hora, a reposição hídrica deverá ser acrescida de líquido com sódio (0,5 a 0,7 g/l de água), a fim de se evitar a hiponatremia. Um estudo sobre hidratação e nutrição no esporte relacionou os sinais e sintomas causados pela hiponatremia que podem variar de leves (imperceptível) ou moderados (distúrbios gastrointestinais, como distensão do abdome e enjoos) a severos (convulsões, parada respiratória, estado de coma, danos cerebrais irreversíveis e óbito) (CARVALHO; MARA, 2010).

As condições ambientais na atividade de combate a incêndios florestais fornecem um estímulo constante para a ingestão de líquidos. Se o consumo for apenas de água, há uma probabilidade maior de desenvolvimento da hiponatremia. Para prevenção deste distúrbio, em combates com duração acima de uma hora, considera-se pertinente que o sódio faça parte da composição dos líquidos a serem ingeridos. Conforme citado

anteriormente, reforça-se que as bebidas isotônicas em pó possuem os eletrólitos necessários para prevenção da hiponatremia.

5 LIMITAÇÃO DO ESTUDO

Após descrever e analisar as informações sobre hidratação contidas na doutrina operacional de combate a incêndios florestais dos Corpos de Bombeiros Militares das Unidades Federativas brasileiras, expõe-se que o presente estudo teve como limitação o fato de analisar apenas as doutrinas de CIF. Assim, se existirem protocolos de hidratação gerais em outras normas das corporações e/ou em outros manuais institucionais, esta pesquisa não possuía o objetivo de detectá-los.

6 CONCLUSÃO

Como conclusão do objetivo primário, constatou-se que, apesar do risco de ocorrer uma desidratação nas atividades de CIF, apenas 18,5% dos CBM brasileiros abordam o tema hidratação nos manuais, POP e/ou ITO. Em síntese, o manual de CIF do CBMGO relata o maior conjunto de orientações sobre hidratação, tais como: temperatura, intervalo de hidratação e composição do líquido. Como conclusão do objetivo secundário, constatou-se que a maioria dos artigos científicos considera, principalmente, as particularidades da hidratação para as práticas esportivas. Assim, para contemplar as especificidades do combate aos incêndios florestais, elaborou-se um protocolo de hidratação para a atividade. O protocolo elaborado demonstra, principalmente, orientações gerais sobre hidratação, mecanismo da sede, desidratação, hiponatremia, informações sobre a composição e/ou preparo da bebida, ingestão de líquido com sódio, temperatura ideal do líquido e recipientes adequados para o armazenamento. Para estudos futuros, sugere-se a análise da transferência de calor e da termorregulação corporal envolvendo as especificidades do combate aos incêndios florestais, pois esses fatores influenciam, diretamente, na hidratação durante a atividade.

REFERÊNCIAS

ARMSTRONG, L. E., *et al.* Voluntary dehydration and electrolyte losses during prolonged exercise in the heat. **Aviation, space, and environmental medicine**, Kansas St., Natick, MA, USA, v. 56, n. 8, 1985.

BARR, D.; GREGSON, W.; REILLY, T. The thermal ergonomics of firefighting reviewed. **Applied ergonomics**, v. 41, n. 1, 2010.

BONFIM, L. K.; ENOKIDA, D. M. A importância da hidratação em praticantes de atividade física: Um ensaio clínico. **Revista Thêma et Scientia**, v. 2, n. 1, 2012.

BRASIL. Decreto Federal n. 2.661, de 08 de julho de 1998. **Regulamenta o parágrafo único do art. 27 da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965 (código florestal), mediante o estabelecimento de normas de precaução relativas ao emprego do fogo em práticas agropastoris e florestais, e dá outras providências.** Diário Oficial da União: Brasília, DF, 1998

CARVALHO, T. Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para a saúde. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, Rio de Janeiro, v. 9, n. 2, 2003.

CARVALHO, T.; MARA, L. S. Hidratação e nutrição no esporte. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 16, n. 2, 2010.

CHEUVRONT, S. N.; SAWKA, M. N. Hydration Assessment of Athletes. **Sports Science Exchange 97**, Natick – Massachusetts/Estados Unidos, v. 18, n. 2, 2005.

FERREIRA, F. G., *et al.*. Nível de conhecimento e práticas de hidratação em atletas de futebol de categoria de base. **Revista Brasileira de Cineantropometria e Desempenho Humano**, Florianópolis, v. 11, n. 2, 2009.

FERREIRA, M. E. R.; CEDRAZ, M. C.; CAMPOS, A. L. P.; MELO, F. T.. Avaliação da desidratação de corredores de rua de feira de Santana-BA. **Revista Brasileira de Nutrição Esportiva**, São Paulo, v. 11, n. 68, 2017.

GOIÁS, Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. **Manual Operacional de Bombeiros: Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 1. ed. Goiânia: CBMGO, 2017.

GOMES, L. S.; BARROSO, S. S.; GONZAGA, W. S.; PRADO, E. S. Estado de hidratação em ciclistas após três formas distintas de reposição hídrica. **Revista Brasileira Ciências e Movimento**, Taguatinga, v. 22, n. 3, 2014. DOI: 10.18511/0103-1716/rbcm.v22n3p89-97.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de Fisiologia Médica**, 13. ed. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2017.

HERNANDEZ, A. J.; NAHAS, R. M. Modificações dietéticas, reposição hídrica, suplementos alimentares e drogas: comprovação de ação ergogênica e potenciais riscos para a saúde. **Revista Brasileira Medicina do Esporte**, v. 15, n 3, 2009.

KEISER, C. **Steam Burns - Moisture Management in Firefighter Protective Clothing**. 2007. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto Federal Suíço de Tecnologia ETH Zurique, St. Gallen, 2007.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A. P. **Conforto térmico e Stress térmico**. Florianópolis: Editora UFSC/LabEEE, 2002.

MARINS, J. C. B.; FERREIRA, F. G.. Nível de conhecimento dos atletas universitários da UFV sobre hidratação. **Fitness & Performance Journal**, Rio de Janeiro, v. 4, n. 3, 2005. DOI: 10.3900/fpj.4.3.175.p.

MATO GROSSO DO SUL. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Mato Grosso do Sul. **Manual Técnico Bombeiro Militar Prevenção e Combate aos Incêndios Florestais**. 1. ed. Campo Grande: CBMMS, 2015.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. I.; KATCH, V. L. **Fisiologia do Exercício, Nutrição, Energia e Desempenho Humano**. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan Ltda, 2016.

MELO, M. A. A. **Estado de Hidratação: Conceitos e Métodos de Avaliação**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Educação Física) - UFMG - Escola de Educação Física Fisioterapia e Terapia Ocupacional, Belo Horizonte, 2010.

MINAS GERAIS. Lei Complementar n. 54, de 13 de dezembro de 1999. **Dispõe sobre a organização básica do Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais - CBMMG - e dá outras providências**. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa, p. 6, 1999.

PARANÁ. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado do Paraná. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndios Florestais**. 3. ed. Curitiba: CB/PMSP, 2010.

PERRELLA, M. M.; NORIYUKI, P. S.; ROSSI, L. Avaliação da perda hídrica durante treino intenso de rugby. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, São Paulo, v. 11, n. 4, 2005.

POPKIN, B. M.; D'ANCI, K. E.; ROSENBERG, I. H. Water, Hydration, and health. **Nutrition reviews**, v. 68, n. 8, 2010.

PRADO, E. S.; BARROSO, S. S.; GÓIS, H. O.; REINERT, T.. Estado de hidratação em nadadores após três diferentes formas de reposição hídrica na cidade de Aracaju. **Journal Fitness e Performace**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 3, 2009.

QUEIROZ. T. C. F.; BASTOS, L. E. G. **Riscos de exposição ao calor e circulação de poluentes em ambiente de trabalho industrial**: método de análise em oficina de fundição naval. Rio de Janeiro: DARF/FAU/UFRJ, 2005.

QUINTAL, P. E. S. **Caracterização do stresse térmico no combate a incêndios e avaliação de sistemas de arrefecimento individual**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia. Coimbra, 2012. DOI: hdl.handle.net/10316/20457.

RIO DE JANEIRO. Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro. **Manual de Prevenção e Combate a Incêndio Florestal**. 1. ed. Rio de Janeiro: CBMRJ, 2019.

SANTA CATARINA. Corpo de Bombeiros do Estado de Santa Catarina. **Guia do Aluno – Noções em Incêndios Florestais**. 1. ed. Florianópolis: CBMSC, 2015.

SANTANA, T. C. *et al.* Nível de hidratação e reposição hídrica dos atletas da seleção brasileira militar de futebol: comportamento semelhante nas diferentes posições da equipe. **Revista Brasileira de Futebol (The Brazilian Journal of Soccer Science)**, v. 8, n. 2, 2017.

SAWKA, M. N. *et al.* American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. **Medicine and science in sports and exercise**, v. 39, n. 2, 2007. DOI: 10.1249/mss.0b013e31802ca597.

SHARKEY, B. J.; GASKILL S. E. **Fitness and work capacity: 2009 edition**: Montana - United States of America. National Wildfire Coordinating Group, Missoula Technology and Development Center, USDA Forest Service, December 2009.

SINTRA, Escola Nacional de Bombeiros. **Manual de Combate a Incêndio Florestais para Equipes de Primeira Intervenção**, 3. ed. Sintra-Portugal: Escola Nacional de Bombeiros, 2006.

TAVARES, M. **Exposição ocupacional às temperaturas extremas**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2009.

THIENGO, C. R.; GIMENES, S. V. Estratégias para a reposição hídrica no futebol. **Revista Digital Efdeportes**, Buenos Aires, v. 13, n. 119, 2008.

WENDT, D.; LOON, L. J. C.; LICHTNBELT, W. D. Vvan Marken. Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance. **American Journal of Sports Medicine**, Holanda, v. 37, n. 8, 2007. DOI: 10.2165/00007256-200737080-00002.



Artigo Original

ESTUDO DO PERFIL DE VÍTIMAS DESAPARECIDAS PARA AUXILIAR NA ELABORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS DE BUSCA CANINA

PROFILE STUDY OF MISSING VICTIMS TO ASSIST IN THE DEVELOPMENT OF CANINE SEARCH STRATEGIES

Clemente Stähelin Michels¹; Tiago José Domingos¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a8>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina.

RESUMO

Este trabalho segue o tema “comportamento de pessoas perdidas”. Seu principal objetivo é analisar o comportamento de pessoas desaparecidas no estado de Santa Catarina, atendidas entre 2013 e 2019 por binômios do Corpo de Bombeiros Militar (CBMSC). Espera-se constatar a presença de diferentes categorias de pessoas perdidas durante a análise e verificar a existência de comportamentos específicos para cada uma. Os resultados permitirão que bombeiros sejam capazes de usá-los como ferramenta para planejamento de buscas e melhorar sua capacidade de resposta. Com relação a este tema, atualmente há registros de diversos autores, dentre os quais podemos citar William Syrotuck, Robert Koester, Dave Perkins e Pete Roberts, que forneceram grande parte das orientações deste estudo. De fato, esses autores proporcionaram uma base sólida para esta pesquisa. Tão importante quanto a compreensão do comportamento das pessoas desaparecidas em um âmbito regional, foi verificar a qualidade dos relatórios disponíveis pelo CBMSC. Os dados levantados evidenciaram que categorias de pessoas com depressão e mal de Alzheimer lideraram a lista das vítimas mais atendidas.

Palavras-chave: Busca e resgate; Comportamento de pessoa perdida; Planejamento de Buscas.

ABSTRACT

This work follows the subject of “missing person behavior”. The main objective is to analyze the behavior of people reported missing in the state of Santa Catarina – Brazil, between the years 2013 and 2019, where dog teams of the Military Firefighter Corps (CBMSC) were deployed. Ultimately it is expected to describe the specific behavior for different categories of missing people which may be revealed during the analysis. Different authors have been writing over this subject, such as William Syrotuck, Robert Koester, Dave Perkins e Pete Roberts, that have provided much of the basis for this study. In fact these authors have given a solid background for this research. As important as the understanding of the regional missing person behavior, was to verify the quality of the reports available today by the CBMSC. The data collected made evident that categories like people with depression and Alzheimer lead the list of most rescued victims.

Keywords: Search and rescue; Missing person behavior; Search planning.

Recebido em: 28/05/2020 - Aprovado em: 11/09/2020

E-mail: csmichels@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O que acontece com uma pessoa até que ela entre na condição de estar perdida? Ela irá percorrer um certo caminho e realizar algumas ações até que não consiga mais retornar à sua origem. As pessoas que se perdem possuem as mais variadas características.

Alguns estudos procuram categorizar essas pessoas em grupos e delimitar os comportamentos semelhantes (Gatt, 2006; Hill, 1998; ISRID, 2010; Koester, 2008; Perkins; Roberts, 2000; Syrotuck, 2000; Vandergraff; Phillips, 2005). Em um primeiro momento é difícil imaginar como estabelecer uma relação entre duas ocorrências distintas, com pessoas com características diferentes e em locais igualmente diversos. No entanto, o Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBMSC) vem atendendo um número substancial deste tipo de ocorrência desde a implantação do serviço de cães em 2002. Portanto, com um número maior de atendimentos, seria possível observar comportamentos que se repetem.

Alguns padrões, com relação ao comportamento da vítima, se repetem e sua identificação pode ser útil para a elaboração de estratégias de busca. Visto que no atendimento de uma ocorrência, a fase de coleta de informações é, via de regra, muito trabalhosa, e dificilmente é possível extrair tantas informações quanto necessário para a elaboração de uma estratégia inicial de busca. Um bombeiro acaba realizando as tomadas de decisão iniciais através da sua intuição profissional. Desta forma, através de tentativa e erro, à medida que desenvolve o atendimento, o bombeiro coleta novas informações de forma a refinar o seu planejamento de busca.

Com o estabelecimento de um modelo preditivo de comportamento, seria possível definir planos de busca mais eficientes. Para a solução de muitos problemas, a informação mais importante pode ser aquela que ainda não se tem acesso. De posse de um “guia de busca”, um bombeiro poderá tomar decisões mais técnicas mesmo sem possuir alguns dados que seriam relevantes para o planejamento.

Este trabalho tem por base a análise de 63 ocorrências atendidas pelas equipes de busca canina do CBMSC. Desta forma, elas representam melhor as ocorrências desta natureza que são atendidas por binômios (dupla formada entre homem e cão). Isto por levar em consideração fatores como por exemplo, a complexidade das ocorrências onde cães são empregados. Também os tempo-respostas que costumam ter influência na demora pela solicitação do atendimento (Gatt, 2006). Ainda assim espera-se que quaisquer

ocorrências de busca, que tenham menor complexidade, possam ser favorecidas com os resultados obtidos.

Foram convidados a responder o formulário de pesquisa, 10 bombeiros cinotécnicos que atuaram em atendimentos realizados entre 2013 e 2019. Dentre eles, sete binômios responderam ao formulário de forma a satisfazer os requisitos para validar a análise desta pesquisa.

1.1 O estudo comportamental como ferramenta de planejamento

Vandergraff e Phillips (2005) desenvolveram uma proposta para planos de ação destinada aos gestores de buscas nos parques nacionais dos Estados Unidos (EUA). Eles foram instituídos através do Departamento do Interior dos EUA, que estabeleceu em suas ações iniciais que o Comportamento De Pessoa Perdida¹ (MPB) (tradução livre) deve embasar o planejamento das buscas. E também orienta que questões como idade e condição mental têm precedência na definição das prioridades da busca.

2 MÉTODO

2.1 Último Ponto Visto (UPV)

Existem na literatura várias terminologias para designar o ponto de início de uma busca por pessoa perdida. Parizotto (20--) cita a sigla UPV em material disponibilizado para o planejamento de busca. Outros autores utilizam as siglas LKP² (Último Ponto Conhecido), PLS³ (Último Ponto Visto) ou IPP⁴ (Ponto de Planejamento Inicial). Interessante perceber que o último ponto visto considera que alguém efetivamente foi testemunha ocular de que a vítima esteve em determinado local. No entanto, um outro vestígio, como uma mochila, uma bicicleta ou outro pertence pode ter sido encontrado posteriormente, o que torna este um local onde é provável que a vítima esteve.

O IPP é um termo que abrange os termos anteriores e identifica o ponto onde as buscas têm seu início. Porém, caso um novo indício da vítima seja detectado em um outro

¹Missing Person Behaviour (MPB) ou Lost Person Behaviour (GATT, 2006; HILL, 1998; ISRID, 2010; KOESTER, 2008; PERKINS; ROBERTS, 2000; SYROTUCK, 2000; VANDERGRAFF; PHILLIPS, 2005).

2 Last Known Point.

3 Point Last Seen.

4 Initial Planning Point.

local, a aplicação da sigla perde seu sentido e deve-se considerar o emprego de um “novo ponto sabido” e um “ponto de planejamento secundário”. Importante frisar que estas terminologias buscam conceituar o ponto de início dos trabalhos de busca. Não existe um termo mais correto, mas um que todos os envolvidos na busca tenham conhecimento, proporcionando uma comunicação inteligível entre os membros da equipe (GATT, 2006; HARVARD, 2014; VANDERGRAFF; PHILLIPS, 2005).

2.2 Local de encontro

Um assunto de destaque e notável enfoque nas teses de Perkins e Roberts (2000) trata do *local de encontro* das vítimas, termo que representa as características da localidade em questão. Este tipo de informação pode variar de forma significativa entre as diversas categorias, portanto, pode-se estabelecer planos de ação diferentes nas buscas por vítimas das diversas categorias, considerando suas distinções.

Syrotuck (2000) não apresenta tantas opções quanto outros autores, mas, ainda assim, separa os casos onde as vítimas utilizaram “caminhos de menor resistência”⁵. Esses caminhos podem ser pequenas estradas rurais, trilhas, córregos ou drenagens (tipos de canais concretados, pouco comuns no Brasil). Apesar de mencionar a existência de todos esses tipos de lugares, o autor considera todos os casos em uma única variável.

Outros autores já se dedicam a diferenciar mais detalhadamente os locais de encontro conforme suas características. Gatt (2006) e Perkins e Roberts (2000), inclusive, fazem uma série de diferenciações como por exemplo, utilizando o termo “rodovia” para as estradas pavimentadas. O termo “estradas rurais”, para aquelas sem pavimentação, mas ainda destinadas ao trânsito regular de veículos. E ainda o termo “trilhas” para aqueles caminhos que não são destinados a veículos convencionais ou somente para o tráfego de pessoas. Segundo Hill (1998), as pessoas perdidas utilizam esses meios como “métodos de reorientação”. Outro método que podemos citar, seria o uso de marcos geográficos ou limites geográficos, que consiste em uma pessoa perdida utilizar o topo de um morro como referência para orientação. Assim como também pode seguir a crista de um morro ou um vale. No fundo de um vale, por exemplo, pode haver um rio que é tanto um marco como um limite geográfico. O limite geográfico se refere à fronteira entre dois terrenos com características distintas, tais como, a margem de um reflorestamento ao lado de uma pradaria ou as margens de um lago.

5 Travel aids (paths of least resistance).



Koester (2008) e Harvard University(2014) trabalham com o conceito de Área de Probabilidade⁶, mencionado também por Vandergraff e Phillips (2005). Eles estabelecem os possíveis locais de encontro baseados nos comportamentos apresentados pelo perfil das vítimas em buscas anteriores. Harvard University (2014) elaborou um aplicativo que sugere as Áreas de Probabilidade com base nas informações disponíveis de uma vítima. As áreas são apresentadas com base em uma série de modelos podendo ser:

- Probabilidade por distância média, que considera um terreno homogêneo onde a vítima pode se deslocar radialmente uma mesma distância em qualquer direção, formando uma área circular;
- Probabilidade com direção da vítima definida, ocorre quando há mais de um indicio de passagem da vítima, dando uma noção da direção tomada, desta forma a área de probabilidade forma um leque com uma linha mediana que passa pelos dois pontos de passagem da vítima;
- Probabilidade por deslocamento vertical, que leva em consideração a mudança de cota do terreno, considerando que a vítima tenha a tendência de subir ou descer o terreno;
- Probabilidade pelo uso de estradas e trilhas definidas, desta forma a área de busca se concentra as margens das vias e caminhos de menor resistência;
- Probabilidade por mobilidade da vítima, que leva em consideração a capacidade da vítima em cobrir terreno considerando os acidentes geográficos;
- Probabilidade por locais de encontro, que avalia o perfil da vítima e os principais locais onde o tipo de vítima é encontrado, devendo ser avaliado se dentro da área de busca existem locais similares para priorizar as buscas.

2.3 Distância da localização

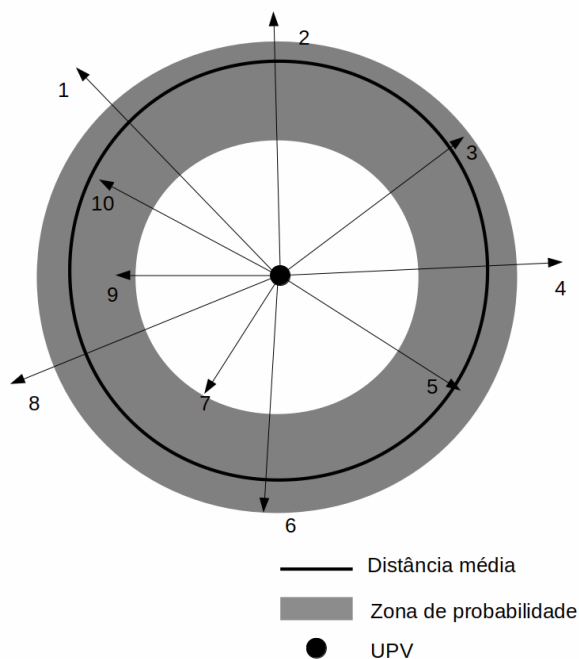
A distância da localização é a distância em linha reta entre o UPV e o local de encontro da vítima. Essa distância é importante para o responsável pelo planejamento, pois, vai delimitar o tamanho da área de busca. Uma área circular, tendo a distância da localização como raio, irá definir como será a alocação dos recursos de uma busca (FISHER, 2004; GATT, 2006; PERKINS; ROBERTS, 2000; SYROTUCK, 2000).

6 POA (probability of area).

2.4 Distância média - $D_{média}$

A distância de localização se torna uma ferramenta de planejamento no momento em que, de posse de uma amostra suficientemente grande de registros de ocorrências, seja possível definir uma distância média $D_{média}$ que as vítimas se deslocam. Para Perkins e Roberts (2011), a quantidade mínima para se extrair uma média é de 10 valores distintos de distância de localização. Essas distâncias médias ainda podem ser desdobradas (terem sua precisão ainda mais acuradas) à medida que novos perfis são categorizados. Desta forma, é possível estabelecer uma distância média para o deslocamento de crianças, adultos e idosos, ou mesmo de pessoas com problemas como demência e depressão (FISHER, 2004; GATT, 2006; PERKINS; ROBERTS, 2000; SYROTUCK, 2000).

Figura 1 - Distância média das 10 vítimas encontradas, mostrando zona de probabilidade de 50% (vítimas 3, 5, 6, 9 e 10)



Fonte: Elaborado pelos autores.

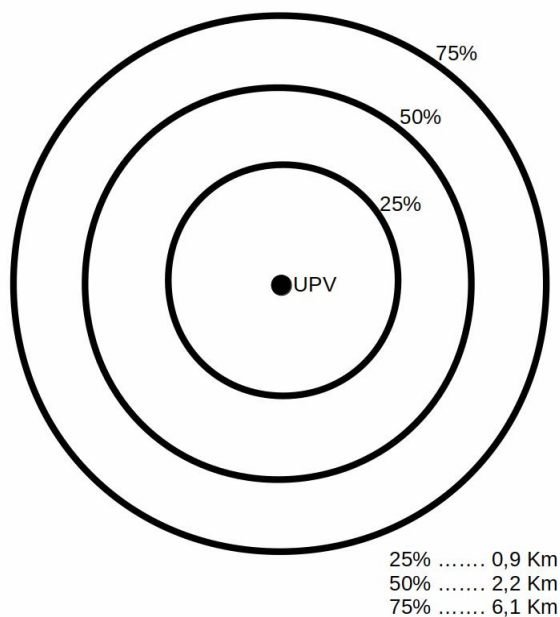
A distância média ainda pode ser apresentada nas seguintes formas:

- A metade da distância da vítima encontrada no ponto mais distante;
- A metade da distância entre a vítima mais próxima e a vítima mais distante;
- A média aritmética das distâncias de localização até o UPV de todas as vítimas (figura 1);
- A moda da distribuição estatística das distâncias das vítimas;

e A distância medida entre o UPV até onde 50% das vítimas foram encontradas (figura 2);

f Ou ainda pode ser demonstrado através do percentual não cumulativo das vítimas, em intervalos regulares de distância.

Figura 2 - Percentual cumulativo de vítimas, pela distância da localização



Fonte: Elaborado pelos autores.

2.5 Sumário dos dados

Para as análises deste estudo foram entrevistados 10 bombeiros cinotécnicos que atuaram em buscas entre os anos de 2013 e 2019. Cada bombeiro trabalha com seu próprio cão, sem haver trocas desta dupla durante sua carreira, até a aposentadoria do cão. Um destes bombeiros já havia aposentado seu primeiro cão, tendo formado um segundo cão de busca. Desta forma, 11 cães no total foram empregados nas buscas dos bombeiros entrevistados.

Ainda assim, apenas sete bombeiros cinotécnicos apresentaram dados suficientes nas entrevistas, de forma que pudessem ser validados e mensurados para esta pesquisa. Após esta validação, foram reunidos um total de dados de 63 ocorrências, as quais respondiam as seguintes questões: data da ocorrência, idade ou faixa etária da vítima, município da ocorrência, sexo da vítima, suspeita de vítima de agressão, condição mental (normal ou alterada – Alzheimer, senilidade, psicose, esquizofrenia, depressão), apresentação de comportamento de fuga, apresentação de comportamento suicida,

histórico de comportamento suicida, histórico de desaparecimentos, portador de necessidades especiais (físicas ou sensoriais – cegueira, surdez ou mudez), uso de medicação controlada, uso de drogas, se a vítima foi localizada ou não após a busca, descrição das características do local onde foi encontrada a vítima (edificação, ambiente rural, abrigo improvisado, mata, campo aberto, trilha, margens de rios ou lagos), descrição das características dos locais onde ocorreram as buscas, distância da localização da vítima ao último ponto avistado em linha reta, distância percorrida pelo binômio e total de dias de buscas. Também foi aberto espaço para que os binômios apresentassem dificuldades observadas nas buscas e quaisquer outras observações.

Ao analisarmos as 63 ocorrências foram constatadas que os perfis mais recorrentes foram, respectivamente, os de vítimas com transtornos depressivos, com 17 atendimentos, os portadores do mal de Alzheimer, com 14 e, o terceiro maior grupo, de crianças entre 0 e 16 anos, com sete atendimentos. Frisamos que um dos atendimentos do terceiro grupo tratava-se de duas crianças, de cinco e três anos de idade. As demais 25 ocorrências não constituem um grupo com perfil definido. Os dados serão os apresentados nas seções 3.1 a 3.3 deste trabalho. Havendo a possibilidade, pequenos subgrupos serão apresentados, mas sem a intenção de estabelecer um comportamento definido para um perfil.

2.6 Tamanho da amostra

Dos sete atendimentos registrados para buscas de crianças, apenas cinco traziam informação da distância em que foram encontrados. Não é contabilizado o caso de um bebê de 8 meses, por estar associado ao desaparecimento da mãe, portadora de distúrbio psicológico. Neste caso, se tratando de um fator de influência predominante às características próprias das crianças.

Dos 14 atendimentos realizados a portadores do mal de Alzheimer, 12 registros contavam com dados de distância da localização ao UPV. Fazendo ainda uma análise dos dados brutos, foi possível verificar o afloramento de subgrupos para este perfil. No entanto, não havia casos suficientes para apresentar estes resultados, conforme o nível de confiabilidade estipulados nos estudos de Perkins e Roberts (2011) ou de Gatt (2006) realizaram seus estudos e definiram quatro categorias para reportarem os incidentes, sendo estas “mais de 50 incidentes”, “entre 20 e 50 incidentes”, “entre 10 e 20 incidentes” e “menos de 10 incidentes”. Os incidentes em categorias com menos de 10 ocorrências eram apresentados com dados brutos, sem fazer parte de estatísticas em seu estudo. Como o

estudo de Perkins e Roberts foi utilizado como referência e este trabalho lidou com estatística, utilizou-se este quesito para não apresentar os resultados sob a categorização dos subgrupos que se verificou, mas estavam em número amostral baixo (menos de 10).

Dos 17 atendimentos em casos envolvendo vítimas de transtornos depressivos, apenas 12 traziam dados sobre as distâncias em que foram encontradas e apenas uma não foi encontrada até o momento do registro do atendimento.

3 DISCUSSÃO

3.1 Análise das distâncias percorridas

A tabela 1 apresenta os dados cumulativos referentes às distâncias das vítimas encontradas em relação ao UPV. Isso significa que, até a distância apresentada ou distâncias inferiores, foi encontrado um dado certo percentual de vítimas.

Tabela 1 – Percentual de vítimas encontradas por distância percorrida em quilômetros

Crianças	N	N _u	25%	50%	75%	100%
CBMSC	7	5	-	-	-	-
Perkins e Roberts*	25	-	0,1	0,5	2,0	5,0
Gatt	62	34	0,6	1,1	2,0	5,0**
Mal de Alzheimer	N	N _u	25%	50%	75%	100%
CBMSC	14	12	0,8	1,8	4,0	7,5
Perkins e Roberts*	65	-	0,5	1,2	3,0	8,8
Gatt	41	20	0,5	1,0	2,0	3,3**
Depressão	N	N _u	25%	50%	75%	100%
CBMSC	17	12	0,04	0,50	1,0	4,0*
Perkins e Roberts***	457	-	0,5	1,0	2,5	15
Gatt	41	20	0,5	1,0	2,0	3,3**

Fonte: Elaborado pelo autor.

* Dados de buscas apenas em áreas rurais, valores para 20%, 40 %, 80% e 100%.

** valor para 95%.

*** Valores para 20%, 50 %, 70% e 90%; N=tamanho da amostra; N_u=amostra com dados válidos

Conforme evidenciado por Perkins e Roberts (2011), com uma amostra pequena, não é prudente buscar definir padrões para o perfil. No caso do grupo de crianças, a amostra útil ainda é pequena, no entanto, é possível verificar que os resultados se enquadram dentro do que apresentam Perkins e Roberts (2011) e Gatt *et al.* (2006) e se torna aceitável aplicar os parâmetros sugeridos por estes autores.



A distância média encontrada para o grupo de portadores do mal de Alzheimer, através da média aritmética, foi de 2,8 quilômetros para os atendimentos do CBMSC. Ainda assim, o desvio médio calculado é muito grande (2,09 km), o que significa que é necessário ter sempre em mente a distribuição cumulativa das vítimas encontradas. Foi possível verificar pequenas variações e dividir em subgrupos para homens, pessoas com histórico de desaparecimento prévio e sem caso de desaparecimento anterior, onde o desvio médio pode variar para mais ou para menos. Para mulheres não é interessante apresentar uma distância média por apresentar resultados muito próximos ou muito distantes (0,5 km a mais próxima e 7,5 km a mais distante).

Para o perfil de vítimas de transtorno depressivo, é possível dividir o subgrupo para homens, no entanto, com apenas três casos registrados para mulheres, não é apresentado um resultado para distância média. Duas mulheres foram encontradas a 500 metros e uma a 1 Km de distância do UPV.

3.2 Local de encontro

Dos atendimentos realizados, quatro crianças retornaram para casa ou foram encontradas na casa de conhecidos. Uma criança foi encontrada em meio a um taquaral e uma encontrada em uma estrada rural. Devido à quantidade limitada de casos para análise na amostra, não é pertinente descrever um comportamento padrão, em termos de percentual, para as crianças atendidas pelo CBMSC. Interessante verificar o enquadramento destes atendimentos nos estudos já existentes, conforme podemos perceber em paralelo aos resultados que Perkins e Roberts (2011) apresentam na distribuição para a sua amostra de 25 crianças perdidas em áreas rurais, conforme tabela 2.

Já para os portadores do mal de Alzheimer, os resultados são apresentados em valores absolutos. São apresentados, no entanto, os percentuais no caso dos estudos usados como referência para este trabalho. Os resultados para o grupo de vítimas de transtornos depressivos são, da mesma forma, apresentados em valores absolutos. Desta maneira, são apresentados os percentuais para os estudos usados como referência para este trabalho, nos quais se busca verificar a possibilidade de enquadrar essas informações com os padrões verificados por outros autores. São apresentados na tabela 2 os resultados para os estudos de Perkins e Roberts (2011) e Gatt (2006).

Tabela 2 - Porcentagem de pessoas encontradas por tipo de local

Tipo de local	Vítimas com depressão			Mal de Alzheimer			Crianças
	CBMSC	Perkins e Roberts	Gatt	CBMSC	Perkins e Roberts	Gatt	Perkins e Roberts
Edificações	17,6%	38,8%	40%	30,77%	21,6%	30%	52%
Estradas e trilhas	5,8%	20,7%	10%	23,08%	33,3%	20%	5%
Corpos d'água	29,41%	9,5%	10%	23,08%	1,6%	10%	4%
Mata e seus contornos	29,41%	13%	-	23,08%	6,6%	-	20%
Valas, córregos e cercas	-	-	-	-	-	-	8%
Campo aberto	-	-	-	-	-	-	5%
Outros	17,6%	18%	15%	-	-	-	-

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Casos de ocorrências não agrupáveis

Este grupo conta com 25 registros de atendimentos dos mais variados tipos. Por exemplo, dois são relacionados com discussões com companheiro ou familiar, dois casos de caçadores perdidos na mata, três casos de afogamento em água doce e também casos de apoio a investigações policiais.

Como não é possível uma análise consistente destes dados, os registros permanecerão aguardando novas coletas de informações para que eventualmente possam ser estudados e fornecer informações úteis para as equipes de busca.

3.4 Comparativo

Analisando a tabela 3, é possível perceber que os resultados para os diferentes perfis ainda se sobrepõem muito. Ainda assim, podem auxiliar os bombeiros no planejamento, no momento de definir locais específicos para o emprego de recursos nas buscas.

Tabela 3 - Distância média (D_m) dos perfis levantados

Perfil	Amostra N_u	D_m (Km)	Desvio médio (Km)
Geral	44	1,82	1,70
Crianças	5	-	-
Alzheimer	12	2,80	2,09
Depressivos	12	0,86	0,75
Outros	14	1,11	1,02

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Este estudo demonstrou que existe uma tendência para atendimento de perfis específicos, sendo os mais recorrentes os casos de demência associados ao mal de Alzheimer e as vítimas de transtornos depressivos. O grupo de crianças de 0 a 16 anos também se mostrou presente, no entanto, com um número de atendimentos mais modesto.

Houve uma grande dificuldade de levantar os dados de busca da corporação. A expectativa era de se conseguir uma quantidade de amostras superior ao que foi disponibilizado para este trabalho, que contou com 63 atendimentos. Infelizmente, o sistema utilizado na corporação ainda não proporciona o correto lançamento de dados dos atendimentos de buscas por pessoas perdidas, o que prejudicou a coleta de dados.

As mais importantes contribuições deste trabalho se referem às distâncias percorridas pelas vítimas e os locais onde elas são encontradas. É possível verificar que a distribuição percentual de encontro das vítimas, segue a mesma lógica dos estudos usados como referência. Ainda que uma pequena variação nos resultados exista, como esperado.

Verificar que os locais de encontro de vítimas também tendem a ser os mesmos é encorajador. Uma das melhores informações para o planejamento de uma busca, é saber por onde começar a procurar. Desta forma, consideramos de grande valia a informação de quais são os locais com maior probabilidade para se encontrar uma pessoa perdida.

Mesmo que estes resultados tenham sido obtidos com base em dados de ocorrências atendidas por binômios, quaisquer equipes de busca terrestre podem utilizá-los para planejamento. Estas informações constituem uma ferramenta de planejamento para as ações iniciais de uma busca e, quanto mais informações as equipes dispuserem, mais fácil será o desenrolar de uma operação. De posse destas informações, os bombeiros poderão estabelecer áreas de busca mais eficientemente, bem como priorizar os locais de maior probabilidade.

Espera-se que este trabalho confira maior grau de profissionalismo e segurança para a atuação das equipes do CBMSC. Graças ao trabalho e dedicação dos seus profissionais, este estudo pôde ser realizado. Somente com o compartilhamento do conhecimento, o planejamento de buscas deixa de ser uma prática empírica e dependente do nível de experiência. Desta forma, todos podem se beneficiar com a padronização de procedimentos e prestar serviços de excelência, para, acima de tudo, salvar vidas.

REFERÊNCIAS

FISHER, T. **Establishing a Statistical Search Area**. 3 p. Trabalho não publicado. 2004.

GATT, R. (org). **Missing Person Behaviour: An Australian Study**. Victoria, Austrália. 2006.

HARVARD UNIVERSITY. Radcliffe Institute. **Lost Person Behavior || Radcliffe Institute**, Cambridge/Boston. [s. l.: s.n.], 2014. 1 vídeo (48:28 min). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=hE1B6JOu2R8>. Acesso em: 22 nov. 2019.

HILL, K. A. The Psychology of Lost. *In*: HILL, Keneth A. **Lost Person Behaviour**. Ottawa, Canadá. National SAR Secretariat. 1998.

ISRID, International Search & Rescue Incident Database. **ISRID Overview**. 2010. 46 slides. Color. Apresentação em pdf.

KOESTER, R. J. **Lost Person Behavior: A Search and Rescue Guide on Where to Look - for Land, Air and Water**. Virginia, EUA. dbS Productions LLC. 2008

PARIZOTTO, W. **Aspectos especiais de busca e resgate de pessoas perdidas**. 9 p. Trabalho não publicado. 20--.

PERKINS, D.; ROBERTS, P. **Missing Person Behavior: An Aid to the Search Manager**. 1. ed. Reino Unido. ERI International Inc. 2000.

PERKINS, D.; ROBERTS, P. **The U.K. Missing Person Behaviour Study**. Reino Unido. The Centre for Search Research. 2011.

SYROTUCK, W. G. **Analysis of Lost Person Behaviour: An Aid to Search Planning**. 3. ed. Pennsylvania, EUA. Barkleigh Productions Inc. 2000.

VANDERGRAFF, B.; PHILLIPS, K. **Search Management Action Plan**. 2 p. Trabalho não publicado. 2005.



Revisão Narrativa

IMPORTÂNCIA DA CERTIFICAÇÃO DE CÃES NA ATIVIDADE DE BUSCA E RESGATE NO CORPO DE BOMBEIROS

THE IMPORTANCE OF THE CERTIFICATION OF DOGS IN THE SEARCH AND RESCUE ACTIVITY IN THE FIRE DEPARTMENT

Fernanda Maria de Pádua Andrade¹, Carmo Vinícius Martins de Oliveira¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a9>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

Os cães possuem elevada capacidade de aprendizado, o que permitiu sua adaptação ao convívio humano. Uma das tarefas desenvolvidas por cães em auxílio ao homem é o trabalho na atividade de busca e resgate. O treinamento de cães para atuar com busca é um trabalho que exige tempo, paciência e capacitação técnica, o que requer investimentos elevados. A certificação é uma garantia de que o binômio homem/cão apresente a qualificação mínima para atuar, sempre que acionados. O objetivo deste artigo é discutir sobre a importância das certificações dos cães utilizados nas operações de busca e resgate, como forma de se garantir o preparo do cão para atuar em ambientes inóspitos, bem como justificar o investimento na área. A certificação é uma das ferramentas usadas na gestão de qualidade, que tem como principal objetivo garantir que todo o processo de produção de uma empresa, desde a aquisição da matéria prima, até a oferta do produto ao mercado, esteja sob rígida fiscalização, evitando assim, falhas que contribuam com a perda de qualidade do produto final. Considerando os grandes avanços gerenciais pelos quais o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais vem passando, buscando otimizar o gasto do dinheiro público e, ainda sim, melhorar a qualidade dos serviços prestados à sociedade, a certificação do binômio homem/cão destaca-se como uma importante ferramenta gerencial no momento que conclui a cadeia de produção de um trabalho executado com excelência e dedicação, ofertando um produto de qualidade garantida. A certificação é a forma de justificar o alto investimento na atividade de busca e salvamento com cães.

Palavras-chave: Certificação; Cães de Busca; Corpo de Bombeiros; Gestão de Qualidade.

ABSTRACT

Dogs have a high learning capacity, which allowed them to adapt to human life. One of the tasks developed by dogs in aid of man is to work in the search and rescue activity. The training of dogs to work with search requires time, patience, and technical training, which demands high investments. Certification is a guarantee that the man/dog binomial has the minimum qualification to act, whenever triggered. This article aims to discuss the importance of the certifications of dogs used in search and rescue operations, as a way to ensure the preparation of the dog to act in inhospitable environments, as well as justify the investment in the area. The certification is one of the tools used in quality management, which has as main objective to ensure that the entire production process of a company, from the acquisition of raw material to the offer of the product to the market, is under strict supervision, thus avoiding failures that contribute to the loss of quality of the final product. Considering the great managerial advances that the Military Firefighters Corps of Minas Gerais has been going through, seeking to optimize the expenditure of public money and, still, improve the quality of services provided to society, the certification of the binomial man/dog stands out as an important management tool concluding the production chain of an activity performed with excellence and dedication and offering a product of guaranteed quality. Certification is the way to justify the high investment in search and rescue activity with dogs.

1 INTRODUÇÃO

Os cães possuem elevada capacidade de aprendizado, o que permitiu sua adaptação ao convívio humano ao longo de sua evolução. Considerados animais extremamente detalhistas, a proximidade com o homem contribuiu para o desenvolvimento de sua inteligência social, o que permitiu a seleção de diferentes raças para a realização de múltiplas tarefas a serviço do homem, como descreve Miranda e Lezeta (2015).

Uma das tarefas realizadas pelos cães, que tem ganhado destaque ao longo dos anos, é o trabalho na atividade de busca e resgate, tornando-se uma eficiente ferramenta capaz de atingir seus objetivos num curto espaço de tempo.

No Brasil, segundo Piva (2011), o reduzido número de eventos relacionados a desastres naturais retardou a utilização de cães na atividade de salvamento, passando a ser utilizados pelos Corpos de Bombeiros do país apenas a partir da década de 1990. Assim, com a especialização da atividade, diferentes instituições militares nacionais passaram a adotar um modelo técnico de trabalho com cães, baseados em metodologias internacionais.

O Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), em resposta às mudanças ocorridas na Administração Pública, evoluiu de um sistema burocratizado e rígido para um sistema gerencial, com foco na gestão estratégica e de qualidade. O Plano de Comando (MINAS GERAIS, 2017) da corporação formalizou metas para médio e longo prazo, objetivando atender as demandas sociais com maior celeridade, transparência e qualidade. O investimento na atividade de busca e salvamento é uma das estratégias adotadas para alcançar tal objetivo pois, dentro desse cenário, o binômio homem/cão apresenta-se como uma ferramenta de destaque. Sua capacidade de detecção de odores, sua agilidade e sua capacidade de ouvir em faixas mais altas, ajudam a incrementar a eficiência e a taxa de sucesso das operações de busca e salvamento (ZEAGLER *et al.*, 2016).

A primeira organização de resgate com cães, a Associação Americana de Cães de Resgate, foi inaugurada em 1961, com objetivo de realizar buscas por pessoas perdidas (Florença, 2004). Como consequência da verticalização das áreas urbanas, as ocorrências de desastres naturais passaram a apresentar maiores riscos, como colapso de grandes

edificações e soterramento de vítimas. Tal fato desviou o foco inicial da utilização de cães na atividade de busca, passando então a ser treinados para atuar em ambientes colapsados.

Conforme relatado por Casarim (2016), o CBMMG iniciou sua atividade com cães, em caráter experimental, no segundo semestre de 1999, na cidade de Uberlândia, com o então Capitão BM Rubem da Cruz. Porém, somente em 2005, na capital mineira, através dos trabalhos desenvolvidos por esse oficial, houve a publicação da Instrução Técnica nº 03, datada de 20 de setembro de 2005. Tal instrução versa sobre as diretrizes para o emprego operacional de cães instituindo, desta forma, o início efetivo da Equipe de Busca, Resgate e Salvamento com Cães no CBMMG, com canil nas unidades do Primeiro Batalhão de Bombeiros Militar (1º BBM), na cidade de Belo Horizonte e Oitavo Batalhão de Bombeiros Militar (8º BBM), na cidade de Uberaba.

A capacitação dos militares do CBMMG e o destaque de ocorrências ambientais como incêndios florestais, deslizamentos de encostas e enchentes/inundações, contribuíram para que, em 2014, fosse inaugurado o Batalhão de Emergências Ambientais e Desastres (BEMAD), sendo regulamentado pela Resolução nº 585 de 04 de dezembro de 2014 (alterada pela Resolução nº 741/17). A norma descreve em seu artigo primeiro que o BEMAD é a Unidade de Execução especializada, dentro da estrutura organizacional do CBMMG, responsável pelas ações de prevenção e atendimento às emergências ambientais, sinistros decorrentes de desastres naturais e antropogênicos, combate a incêndios florestais, operações com produtos perigosos, atividades de busca e salvamento e ações de defesa civil.

Com a homologação dessa nova resolução, o canil até então pertencente ao 1º BBM, passou a pertencer ao novo Batalhão, compondo a Companhia de Busca e Salvamento. Conforme a legislação, o Pelotão de Busca e Salvamento com Cães passou a ser uma importante ferramenta de auxílio às atividades de busca e resgate por pessoas desaparecidas em matas, busca e recuperação de cadáveres desaparecidos ou em locais de difícil acesso, demonstração operacional e cinoterapia (MINAS GERAIS, 2014).

O treinamento de cães para atuar na atividade de busca e resgate é um trabalho que exige tempo, paciência, métodos adequados, capacitação técnica e, principalmente, experiência por parte de todos os envolvidos: adestrador, figurante e guia, como apresentado por Andrade (2015). Tal especialização sugere a necessidade de se garantir o preparo do binômio (homem/cão) no intuito de se atingir a resposta esperada, sendo um dos objetivos deste artigo demonstrar a Certificação como ferramenta apropriada para tal.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, c2019) define Certificação como um processo pelo qual uma entidade independente (3ª parte) avalia se determinado produto atende às normas técnicas. No caso dos cães, o processo de Certificação para atividade de busca e resgate se caracteriza por testes aplicados ao binômio homem/cão, permitindo que se conheça a desenvoltura do animal no desempenho desta atividade.

Nesse contexto, o objetivo deste artigo é discutir a importância das Certificações dos cães utilizados nas operações de busca e resgate, com o intuito de se garantir o preparo mínimo do binômio para atuar em ambientes inóspitos, visando sua segurança, da equipe e das vítimas, bem como justificar o investimento na atividade.

2 MÉTODO

O presente estudo configura-se como uma revisão de literatura narrativa, após um levantamento documental e bibliográfico. Rother (2007) define os artigos de revisão narrativa como publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento de um determinado assunto, sob o ponto de vista conceitual da interpretação e análise crítica do autor, diante das literaturas publicadas em livros e artigos de revistas impressas e eletrônicas.

A pesquisa concentrou-se em três áreas: gestão estratégica e de qualidade; psicologia canina e Certificação de cães.

A bibliografia e documentos analisados foram selecionados a partir de publicações sobre atividades com cães; regulamentos nacionais e internacionais que tratam do tema; artigos adquiridos em buscas nas plataformas apropriadas, com foco nas temáticas já descritas, além de livros nacionais e internacionais sobre administração e treinamento de cães.

3 DESENVOLVIMENTO

3.1 Gestão de qualidade e planejamento estratégico

A implementação de novas tecnologias impactou a forma de viver do cidadão, descortinando um novo cenário para o serviço público, em que as demandas sociais requerem maior celeridade, transparência e qualidade - Plano de Comando (MINAS GERAIS, 2017).

Outra questão a ser considerada é a tendência, por parte do Estado, em reduzir os custos de sua gestão adotando um modelo mais liberal, com menor intervenção na economia e serviços sociais, o que leva à necessidade, por parte da administração pública, de oferecer um produto de qualidade, com um custo reduzido.

Essa evolução, pela qual passa a administração pública, visa o aperfeiçoamento dos serviços prestados à população. Diante desse novo cenário, altamente competitivo e exigente, o Estado reformulou o seu sistema de gestão, deixando de lado a burocratização e a rigidez para implementar um novo modelo focado no sistema gerencial, baseado na gestão de qualidade e no planejamento estratégico.

Albertin (2018) defende que o nível de qualidade do sistema gerencial é resultado das ações de planejamento. Para o autor, a qualidade não evolui por si só, precisa ser estimulada, motivada e desenvolvida por novos processos e ferramentas. O planejamento de qualidade ocorre alinhado com o planejamento estratégico, e identifica os processos e recursos necessários para atingir efetivamente as políticas (objetivos), estratégias e metas da organização.

Outro ponto a ser considerado quando se trata de uma gestão baseada na qualidade, conforme Juran e Defeo (2015), é que a qualidade precisa ser administrada, ela não acontece sozinha, devendo envolver cada funcionário participante do processo. A falha em qualquer das fases da produção em uma organização irá interferir nos custos finais do produto e na satisfação do cliente. A gestão voltada para qualidade é um conjunto de métodos universais que qualquer organização pode utilizar para alcançar resultados superiores, mediante o desenvolvimento de projetos, melhorias contínuas e a garantia de seus produtos, serviços e processos, atendendo as necessidades dos clientes e demais partes interessadas.

Já o planejamento estratégico, segundo Tavares (2010), é uma abordagem sistemática para definição de metas a médio e longo prazo, que utiliza elementos (visão, missão, políticas e valores) direcionados aos interesses do cliente.

Para se ter sucesso em um modelo de sistema gerencial é fundamental o envolvimento de todos os setores da organização, não só na criação de novas atividades, como também no estabelecimento de prioridades, reformulação de atividades já existentes e descarte daquilo que já não agrega valor.

3.1.1 Planejamento de qualidade

Em 1987, a *International Organization Standardization* (ISO) editou a série 9000 com o objetivo de estabelecer critérios para a implantação de Sistemas de Garantia de Qualidade. A primeira versão criou uma estrutura de três normas sujeitas à Certificação, a ISO 9001, 9002 e 9003, além da ISO 9000, que era uma espécie de guia para seleção da norma mais adequada ao tipo de organização. Ter um Certificado ISO 9000 significa que uma instituição possui um sistema gerencial voltado para qualidade e que atende aos requisitos de uma norma internacional, conforme salienta Vicentini (2015).

A NBR ISO 9000 define o planejamento de qualidade como parte da gestão da qualidade focada no estabelecimento de objetivos, especificando os recursos e processos operacionais necessários para atender tais objetivos, Albertin (2018).

Palácio (2018) classifica a ISO como a principal organização mundial certificadora, independente, não governamental e reconhecida mundialmente por organismos nacionais de normatização em 161 países. Constituída em 1947, publicou mais de 21 mil normatizações internacionais que abrangem quase todos os aspectos da tecnologia e dos negócios. O representante no Brasil da ISO é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Ainda segundo o autor, a ISO mantém uma relação estreita com a Organização Mundial de Comércio, com a qual contribui elaborando normas internacionais para reduzir os obstáculos técnicos do comércio, e com as Agências Especializadas da Organização das Nações Unidas (ONU), fazendo harmonização técnica ou assistência técnica, incluindo o seu Conselho Econômico e Social.

3.1.2 Certificação

A avaliação realizada no processo de Certificação se baseia em auditorias na cadeia produtiva, coletas e ensaios de amostras. O resultado satisfatório destas atividades leva à concessão da Certificação da empresa conforme sua área de atuação. Vicentini (2015) relata a diferença: enquanto os laudos e relatórios de ensaios utilizados na demonstração de que determinada amostra atende ou não uma norma técnica, a Certificação busca a garantia por uma produção controlada, atendendo a normas técnicas preestabelecidas.

A Certificação está disponível para qualquer empresa, seja ela nacional ou estrangeira, bastando que ela demonstre e garanta que seu processo produtivo seja controlado e que seus produtos estejam em conformidade com as normas sendo assim, uma importante ferramenta na Gestão de Qualidade da empresa (ABNT, c2019).

3.2 Cães de busca e resgate

O trabalho com cães na atividade de busca e resgate tem chamado atenção das instituições militares, aumentando o investimento na área devido ao reconhecimento do cão, quando bem treinado, como uma eficiente ferramenta, retornando uma resposta esperada em curto espaço de tempo, assim descreve Nunes e Parizotto (2016).

Durante séculos os cães têm servido ao homem, acompanhando-o ao longo de sua evolução. Como forma de potencializar as habilidades de cada raça na execução de tarefas, os homens realizavam cruzamentos entre aqueles cães que se destacavam nas diferentes atividades, o que contribuiu para a especialização das raças de trabalho.

Miranda (2010) destaca que apesar dessa evolução e seleção das raças para os diferentes tipos de trabalho, cada cão é uma entidade em si mesma, fazendo com que o manejo desses animais, do nascimento à vida adulta, exerça forte influência em seu comportamento. Isso ocorre porque os cães possuem uma grande capacidade de observação e associação, apresentando grande sensibilidade às variações que ocorrem em seu entorno, o que contribui na construção de sua personalidade.

No caso dos cães selecionados para atuar em busca e resgate, um erro no manejo ou treinamento desses animais poderia negar sua capacidade de atuação. A maneira de se evitar o descarte precoce desses cães é adotar o adestramento positivo, que consiste na análise individual de cada cão e escolha da motivação certa para seu aprendizado. Um bom adestrador tem a capacidade de moldar as competências emocionais dos cães em favor de seus objetivos, induzindo o animal a “trabalhar” por vontade própria, de forma lúdica, com total responsabilidade sobre suas ações, assim descreve Miranda e Lezeta (2015).

3.2.1 Seleção do cão

A seleção do cão é determinada pelo tipo de atividade que o animal irá desempenhar devendo ser realizados testes para identificar os traços desejados em cada animal, no grau que se busca tal característica (MIRANDA, 2010).

A idade ideal para retirar o filhote de sua ninhada é aos 56 dias de vida. Até essa data, o cãozinho desenvolve sua capacidade de socialização dentro da matilha, fundamental para sua desenvoltura durante o treinamento. A partir desse período o cão já apresenta cognição (processos mentais como percepção, memória, aprendizagem e

expectativa) permitindo a internalização de maus hábitos, ou até mesmo traumas emocionais (MIRANDA, 2010).

A seleção dos filhotes ocorre através de uma série de testes aplicados aos cães, que recebem pontuações para cada resposta apresentada. Miranda (2015) descreve as características a serem avaliadas nos testes para seleção do cão, como atenção, desejo de agradar, responsividade, iniciativa, persistência e determinação, intensidade, competitividade, poder físico, sensibilidade (mental, corporal e auditiva), instinto de proteção, espírito de luta, adaptação, socialização e submissão.

Empenhos em busca são extremamente desgastantes para o binômio. Ambientes inóspitos, longos percursos, temperaturas elevadas, entre outros obstáculos a serem enfrentados pelo cão, o que torna fundamental a adequada seleção e treinamento. A equipe responsável pelo cão deve trabalhar para o desenvolvimento de tais habilidades, fundamentais em cães de busca, considerando a imprevisibilidade do ambiente em que irá atuar. Quando bem conduzido, o homem consegue otimizar, no treinamento, todas as habilidades dos cães em seu benefício (PARIZOTO, 2013).

Micheletti *et al.* (2016) afirma que, além das habilidades comportamentais, é necessário destacar uma importante característica relacionada à anatomia do cão, o olfato – sentido mais desenvolvido nesses animais. Suas narinas apresentam 200 milhões de receptores para odores, enquanto os humanos possuem por volta de cinco milhões, 40 vezes menos quando comparado ao cão. O ato de farejar é outro fator, elencado pelo autor, fundamental para o bom desempenho na identificação de partículas odoríferas no ambiente. O farejar consiste na interrupção da ventilação respiratória normal por uma série de inalações e exalações curtas. Micheletti (2016) conclui que as relações anatômicas dos cães, que compõem suas cavidades nasais, asseguram o deslocamento do ar farejado preferencialmente para o epitélio olfatório e sua retenção nessa região, onde as substâncias odoríferas irão se concentrar pela repetição de tal ato.

3.2.2 Certificação de cães

Com objetivo de avaliar cães (Pastor Alemão) aptos para serviços de guarda e policiamento, desenvolveu-se a prova de *Schutzhund* (*shutz* = proteção; *hund* = cão). Ao final da segunda guerra mundial (1945-1946) outras raças alemãs passaram a realizar a prova como forma de garantir uma padronização e funcionalidade entre as raças. Posteriormente, a prova se disseminou a outros países adotando uma tendência mais

esportiva, o que contribuiu na alteração de sua nomenclatura para IPO (*Internationale Prüfung Ordnung* ou Regulamento de Prova Internacional). A prova passou então a avaliar habilidades esportivas, além dos testes já empregados na avaliação do faro e obediência de cães com instinto de proteção. Ao longo da evolução da cinotecnia, o IPO serviu como base para diferentes outras provas, tanto para cães de trabalho como para atividades esportivas. A prova apresenta três testes: faro, obediência e a prova de trânsito (requisito fundamental na Europa para posse responsável). A evolução dessas provas ao longo dos anos teve como intenção manter a criação das raças aptas ao trabalho, selecionando cães mais saudáveis e com melhor aptidão às diferentes funções, descreve a Comissão Nacional de IGP (*Internationale Gebrauchshunde Prüfungsordnung* ou Regulamento de Prova Internacional de Cão de Utilidade) no Brasil (2019).

A Sociedade Brasileira de Cães Pastores Alemães (2004) publicou o Regulamento Internacional de Provas de Trabalho, elaborado pela Comissão para Cães de Utilidade da Federação Cinológica Internacional, demonstrando a necessidade de uma avaliação mais rigorosa e específica para os cães em atividades de grande risco, fazendo com que o regulamento utilizado nos testes de IPO fosse adaptado para auxiliar na elaboração de provas de Certificação de cães para atividade de busca e resgate.

Piva (2011) discorre sobre a importância da Certificação de cães como garantia na qualificação continuada do binômio homem/cão, acreditando que além de demonstrar a presença dos requisitos mínimos para atuação na ocorrência real, a necessidade de renovação dos certificados garante o treinamento continuado da equipe.

Nunes e Parizotto (2016) consideram a Certificação dos cães, treinados para atuar no serviço de busca e resgate, uma forma de garantir a qualidade do serviço prestado, respaldando o treinamento, além de atender às exigências da ONU, órgão internacional responsável por regulamentar e coordenar tal atividade mundialmente.

O endereço eletrônico da *United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* apresenta um breve histórico do Departamento de Assuntos Comunitários na ONU, criado em 1991, sendo convertido, em 1998, para Escritório de Coordenação e Assuntos Comunitários – *United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs* (OCHA), dividido em duas vertentes, desastres naturais e emergências complexas. Seu principal papel não é operacional, mas de direção, garantindo resposta rápida aos desastres naturais e crises humanitárias (OCHA, s.d.).

Já o *International Search and Rescue Advisory Group* – Grupo de Assessoria Internacional de operações de busca e salvamento (INSARAG) é um dos grupos

subordinados a OCHA, sendo responsável pela metodologia e orientação na elaboração e emprego das diretrizes das equipes *Urban Search and Rescue Team* – Equipe de Busca e Resgate Urbano, preparadas para atuar em situações de grandes desastres (INSARAG, c2019).

No Volume II de seu Guia, Preparação e Resposta (ONU, 2015), o INSARAG apresenta um tópico específico para equipe com cães de busca e resgate, destacando a importância do treinamento do binômio, e sua Certificação por organizações reconhecidas pela ONU. Determina em suas diretrizes que, aqueles países que possuem interesse em atuar em equipes de busca e resgate com cães precisam ter o binômio homem/cão certificados, sugerindo que cada país possua sua Certificação nacional.

O INSARAG também é responsável por elaborar a prova *Mission Readiness Test* – Teste de Prontidão para Missão, além de manter atualizada a metodologia sobre busca com cães. Tal teste oferece os procedimentos necessários para as organizações interessadas em certificar cães a nível internacional. Para ser um membro do INSARAG, de acordo com o Guia Volume I – Políticas (INSARAG, 2015), é necessário:

- Ser uma organização pública ou não governamental (ONGs) que trabalhe com resgate;
- Ter origem nos países membros das Nações Unidas;
- Possuir interesse em participar de uma rede mundial de intercâmbio de conhecimentos e técnicas de salvamento em escombros e coordenação operativa no local dos desastres.

Trujillo (2008) acredita que o desenvolvimento da atividade na América Latina ocorreu devido à aproximação do INSARAG com as organizações de busca e resgate com cães do continente, considerando que a maioria dos países da região não possuía nenhuma regra oficial de treinamento e avaliação para seus cães de busca.

No Brasil, embora exista uma Certificação nacional por iniciativa da LIGABOM Liga Nacional dos Corpos de Bombeiros Militares (LIGABOM) ela não é reconhecida pelo INSARAG, o que faz com que os estados interessados em certificar seus cães para prestar auxílio a ONU recorram a Certificações internacionais fornecidos por outras organizações de Certificação de cães na atividade de busca, destacando-se duas delas (Piva, 2011):

- FEMA – *Federal Emergency Management Agency* (Agência Federal de Gestão de Emergências);
- IRO – *International Rescua Dog* (Organização Internacional de Cães de Resgate).

A FEMA é um órgão governamental dos Estados Unidos criado em 1979, responsável por coordenar as ações de gerenciamento de desastres no país. Conforme descrito em suas diretrizes, atua na preparação, operação e recuperação dos danos ocasionados por eventos extremos no país como furacões e terremotos. O trabalho com cães compõe um dos braços da FEMA, devendo as equipes de busca com cães passar pela chancela da instituição obtendo o certificado, estando aptos a atuar em situações de desastres (ESTADOS UNIDOS, 2019).

Piva (2011) considera a Certificação concedida pela FEMA um dos testes mais rigorosos dentre os reconhecidos pela ONU. Entretanto, devido à falta de interesse, por parte do governo norte-americano, em atuar na Certificação de cães de outras nações, torna-se inviável às instituições brasileiras buscar por tais serviços.

Já a IRO, organização criada em 1993, busca a congregação de todas as organizações nacionais de salvamento com cães, tendo um papel de destaque no INSARAG. Conforme seu regulamento, as provas de cães de resgate são estruturadas para qualificar cada cão individualmente na sua área de atuação. O sucesso de uma prova demonstra que o treinamento foi adequado e que os cães estão aptos a trabalhar na sua categoria, objetivo básico para atuar em uma missão. Os animais certificados pela IRO podem operar em cinco áreas: escombros, rural, avalanches, água e rastro (PIVA, 2011).

Parizotto (2015) destaca pontos positivos da IRO como sendo a organização de maior capilaridade mundial reconhecida pelo INSARAG, além de apresentar um baixo custo para o envio de juízes a fim de promover os eventos de Certificação.

No Brasil a LIGABOM é a organização nacional responsável pela Certificação de cães no trabalho de busca e resgate, embora não reconhecida pela ONU. Piva (2011) acredita que, para o cenário nacional, no qual atua, a LIGABOM apresente testes mais criteriosos quando comparados com as provas da IRO. Isso porque, por ser um órgão internacional, as diretrizes da ONU se concentram em ocorrências de desastres em ambientes urbanos, deixando emergências de menores proporções desassistidas de padronização, o que motivou a formulação de testes e protocolos regionalizados.

O Regulamento Brasileiro de Certificação da LIGABOM compreende um conjunto de testes baseados em buscas rurais e urbanas, ou de restos mortais, conforme a especialidade que se deseja certificar o cão. Os conhecimentos humanos fundamentais e as habilidades de obediência básica são objetos de avaliação ao longo de todas as provas (BRASIL, 2015).

4 RESULTADOS

O treinamento de cães para atividades de busca e resgate não é uma tarefa fácil, uma vez que depende do grande comprometimento dos envolvidos para se ter sucesso. Quando mal sucedido o resultado é um produto ineficiente, desqualificando a atividade, bem como a corporação.

Juran e DeFeo (2015) defendem que a excelência em desempenho é o estado no qual uma organização alcança resultados superiores mediante a aplicação dos métodos universais de gestão de qualidade e, para tal, é necessário garantir que esses métodos sejam empregados com sucesso. A jornada do ponto em que a organização se encontra até o ponto em que ela quer chegar, exige uma mudança transformacional, o que permitirá à organização sustentar seu desempenho e alcançar o status de empresa de classe mundial.

Quando se fala em Certificação de cães de busca e resgate, a IRO descreve o processo como provas estruturadas para qualificar cada cão individualmente na sua área de trabalho. O sucesso de uma prova demonstra que o treinamento foi adequado para eles e que estes estão aptos a trabalhar na sua categoria, requisito básico para atuar em uma missão.

A ABNT sugere a Certificação como o “básico” para se obter um produto de qualidade. No caso dos cães de busca, a Certificação seria a garantia de uma atuação segura num ambiente de desastre. Isso porque, nesse tipo de ambiente, há fatores adversos ao treinamento, podendo desencadear uma reação inesperada do cão.

Como destacado por Miranda (2010) apesar da seleção e evolução das raças para os diferentes tipos de trabalho, associada a um adequado adestramento, cada animal apresenta sua particularidade, respondendo de forma individual a cada situação. Assim, todos os animais devem passar por testes de Certificação para serem qualificados para o pronto emprego.

Piva (2011) defende a Certificação como forma de promover a qualidade dos serviços de busca e resgate através de um processo técnico, além de assegurar a capacitação dos envolvidos, bem como o treinamento das equipes, de forma permanente.

Conforme regulamento do emprego dos cães de salvamento nas atividades dos Corpos de Bombeiros Militares – LIGABOM (BRASIL, 2015) – o comportamento do cão será avaliado durante todo o processo, devendo o animal ser desqualificado caso apresente qualquer alteração referente à: segurança e compostura do cão no meio de

estranhos; segurança e compostura durante distúrbios inesperados; adaptação a situações difíceis ou qualquer outro tipo de temperamento considerado inadequado.

A seleção dos cães para atividade de busca e salvamento é fundamental quando se deseja evitar desvios de comportamento. A seleção de animais aptos ao serviço, bem como a garantia na padronização e qualidade dos cães, vem evoluindo ao longo dos anos, contribuindo para o fortalecimento da atividade.

O Tenente-Coronel BM Walter Parizotto (2008), idealizador da atividade de cães de busca no Corpo de Bombeiros de Santa Catarina, e um dos fomentadores da Certificação Nacional (LIGABOM) de cães de busca e resgate, acredita que a boa preparação de cães para atuar em operações de busca e resgate é de 1000 horas de treinamento, para uma hora de trabalho e, por isso, só pessoas dedicadas atingem o sucesso na atividade.

O investimento em cinotecnia contribuiu para melhores técnicas de manejo e treinamentos, culminando no processo de Certificação, ferramenta adotada pelas empresas interessadas em ofertar produtos de alta qualidade. A Certificação dos Cães de Busca e Resgate é o atestado do cumprimento de todas as etapas, seleção, manejo e treinamento dos animais, ofertando um produto de destaque às corporações.

A seleção dos filhotes para atividade evita o descarte de animais que, após início do treinamento, demonstrem inaptidão para o trabalho a ser realizado. Também auxilia o treinador a conhecer melhor o cão com o qual irá trabalhar, identificando dois importantes fatores intrínsecos ao animal que, quando bem conduzido, resultarão no sucesso do treinamento, sendo eles: genética - responsável por definir a capacidade do animal em absorver os ensinamentos e responder de forma eficiente; personalidade – comportamento que o animal irá adotar em resposta ao ambiente, desde seu nascimento até sua fase adulta. Uma formação de qualidade é aquela capaz de externalizar as aptidões de cada cão, respeitando suas individualidades.

Dentre os testes aplicados nas diferentes áreas (esporte, guarda, busca), a obediência do cão é fundamental, sendo a primeira aptidão a ser trabalhada, tornando-se a base para o sucesso de qualquer treinamento.

O gerenciamento de riscos também se torna fundamental em um ambiente de desastre. Ao se empenhar o cão, a segurança da equipe e das vítimas deve ser alvo de atenção, e para tal é necessário o máximo de controle do animal por seu guia.

O sucesso de qualquer atividade depende da adoção de métodos e ferramentas de gestão, poupando recursos humanos e financeiros e garantindo a confiabilidade da sociedade ao oferecer uma resposta satisfatória às suas demandas.

5 CONCLUSÃO

A Certificação de cães de busca e resgate, mesmo aquelas não reconhecidas pela ONU, busca assegurar uma boa atuação do binômio homem/cão sempre que acionados, oferecendo segurança e o retorno esperado pela sociedade, bem como justificando o investimento do recurso público em tal atividade. Ela é uma das ferramentas da Gestão de Qualidade, adotada por uma empresa que preza pela qualidade do produto ofertado à sociedade.

A Certificação do binômio homem/cão apresenta como objetivo principal a garantia de que a equipe está capacitada para atuar quando necessário, comprovando que todas as etapas foram concluídas de forma satisfatória, atendendo os pré-requisitos necessários para caracterizar uma gestão de qualidade.

A instituição CBMMG tem buscado por essa vanguarda no modelo gerencial, demonstrada com a elaboração de seu Plano de Comando, tendo definido metas e objetivos. Concomitante a essa transformação, sua brilhante atuação em ocorrências de grande destaque mundial despertou a importância em atestar a qualidade de seu serviço. Nesse contexto, a Certificação de seus cães se torna uma ferramenta de grande relevância, comprovando a todos os órgãos, nacionais e estrangeiros, sua excelência enquanto garantidor das ações de proteção e defesa civil.

A atividade de busca e salvamento com cães apresenta um custo elevado e limitação em seu emprego, mas, quando bem executada, oferece excelentes resultados. Fato este que exige um certo rigor no planejamento de toda a atividade, não podendo ocorrer falhas que contribuam para a ineficácia do serviço.

A certificação do binômio homem/cão é uma garantia de que o gerenciamento da atividade segue o planejado pela Instituição, com objetivo de garantir a qualidade dos serviços prestados.

Este artigo conclui que seria benéfico à corporação maiores estudos com objetivo de viabilizar provas de Certificação dos cães pertencentes ao CBMMG, identificando as falhas no processo e garantindo o treinamento e a busca permanente de novos conhecimentos.

REFERÊNCIAS

ALBERTIN, M. **Planejamento Avançado da Qualidade: Sistema de gestão, técnicas e ferramentas**. 1. ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2018.

ANDRADE, J. L. F. D. **Seleção, Adestramento e Emprego do Cão de Guerra de Dupla Aptidão**. 1. ed. Rio de Janeiro: Câmara Brasileira de Jovens Escritores, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **O que é certificação e como obtê-la**. C2019. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/certificacao/o-que-e>. Acesso em: 29 jun. 2019.

BRASIL. Conselho Nacional dos Corpos de Bombeiros do Brasil - LIGABOM. **Regulamentação do emprego dos cães de salvamento nas atividades dos Corpos de Bombeiros Militar**. Brasil, 2015.

CASARIM, A. H. **Estudo da viabilidade técnica e econômica para ampliação das Equipes de Busca, Resgate e Salvamento com Cães no Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Aperfeiçoamento/Especialização em Gestão Estratégica de Políticas Públicas) – Fundação João Pinheiro, Belo Horizonte, 2016.

DALLARI, A. A. Contrato regido por cláusulas uniformes. **Revista do Tribunal de Contas do Estado de São Paulo**, 1993. DOI: 10.12660/rda.v192.1993.45738.

ESTADOS UNIDOS. Federal Emergency Management Agency. **About the agency**. 2019. Disponível em: <https://www.fema.gov/about-agency>. Acesso em: 10 jul. 2019.

FLORENÇA, V. **O Emprego de Cães no Serviço de Salvamento do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. 2004. Trabalho de Conclusão de Curso (Pós-Graduação Lato-Senso em Administração e Segurança Pública) - Universidade do Sul de Santa Catarina, Santa Catarina, 2004.

INSARAG. International Search and Rescue Advisory Group. **About background**. c2019. Disponível em: <https://www.insarag.org/>. Acesso em: 10 jul. 2019.

JURAN, J. M; DEFEIO, J. A. **Fundamentos da qualidade para líderes**. 1. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.

MICHELETTI, M. H., *et al.* Cães de detecção: Uma breve revisão sobre o uso do nariz canino. **Revista Brasileira de Medicina Veterinária**, Brasília, v. 38, n. 4, 2016.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Plano de Comando 2015-2026**. 2. ed. Belo Horizonte, 2017.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Resolução nº 585, 04 de dezembro de 2014. **Dispões sobre as definições, estrutura, organização e atribuições do Batalhão de Emergências Ambientais e Resposta a Desastres (BEMAD)**. Belo Horizonte: Comando-Geral, 2014.

MIRANDA, A. P; LEZETA, I. M. F. **La construcción del perro de defensa: Herencia, medio e aprendizaje**. Espanha: Díaz de Santos, 2015.

MIRANDA, A. P. **Psicología del aprendizaje y adiestramiento del perro**. 2. ed. Espanha: Díaz de Santos, 2010.

- NUNES, H. J. S; PARIZOTTO, W. Certificação de cães de busca, resgate e salvamento: Análise sobre a eficácia da metodologia de avaliação adotada pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. **Revista Ordem e Progresso**, v. 9, n. 1, 2016.
- OCHA. United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs. **Who we are**. s.d. Disponível em: <https://www.unocha.org/about-us/who-we-are>. Acesso em: 10 jul. 2019.
- ONU. INSARAG. **Guías de INSARAG - Volumen I: Política**. Disponível em: https://www.insarag.org/wp-content/uploads/2016/06/INSARAG_Guidelines_Vol_I_-_Politica_SPA_20160218.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- ONU. INSARAG. **Guías de INSARAG - Volumen II: Preparación y respuesta**. Manual C: Clasificación y Reclasificación Externa de INSARAG. 2015. Disponível em: http://www.insarag.org/images/stories/INSARAG_Guidelines_Vol_II_Manual_C_SPA_2016_0218.pdf. Acesso em: 10 jul. 2019.
- PALÁCIO, A. E. S. **Sistema de Gestão, certificação e auditoria**. 1. ed. São Paulo: SENAC, 2018.
- PARIZOTTO, W. O Uso de Cães pelo Corpo de Bombeiros. **Bombeiros Anjos da Vida**, n. 01, 2008.
- PARIZOTTO, W. **Parâmetros técnicos para aprendizagem dos cães de busca, resgate e salvamento**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Pública com ênfase a Atividade de Bombeiro Militar) - Universidade de Santa Catarina, Santa Catarina, 2013.
- PARIZOTTO, W. **Processo de certificação dos cães de busca e resgate do Estado de Santa Catarina**. In: WORKSHOP NACIONAL DE BUSCA, RESGATE E SALVAMENTO COM CÃES, 1., 2015, Uberaba.
- PIVA, I. M. **A certificação dos cães de busca e resgate do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Formação de Oficiais) – Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.
- ROTHER, E. T. Revisão sistemática x revisão narrativa. **Acta paul. enferm.**, São Paulo, v. 20, n. 2, 2007. DOI: 10.1590/S0103-21002007000200001.
- SOCIEDADE BRASILEIRA DE CÃES PASTORES ALEMÃES. **Regulamento Internacional de Provas de Trabalho para Cães de Utilidade e de Competições para Cães de Faro da FCI**. Comissão para Cães de Utilidade da FCI (AZG), 2004.
- TAVARES, M. C. **Gestão estratégica**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- TRUJILLO, E. G. C. **MRT Europa 2008 em Alemanha, y sus repercusiones para Latinoamérica**. 2008.
- VICENTINI, A. **ISO 9001 em Ambientes Educacionais: Sistema de gestão de qualidade**. 1. ed. São Paulo: Phorte, 2015.
- ZEAGLER, C.; BYRNE, C.; VALENTIN, G.; FREIL, L.; KIDDER, E.; CROUCH, J.; STARNER, T.; JACKSON, M. M. Search and Rescue: Dog and Handler Collaboration Through Wearable and Mobile Interfaces. **ACI'16: Proceedings of the Third International**



Andrade; Oliveira

Conference on Animal-Computer Interaction, n. 6, 2016. DOI:
10.1145/2995257.2995390.



Estudo de Caso

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DA RPA (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT) NA OPERAÇÃO DE BRUMADINHO-MG

STUDY ON THE USE OF RPA (REMOTELY PILOTED AIRCRAFT) IN THE OPERATION OF BRUMADINHO-MG

Douglas Freitas Muller da Silva¹, Alexandre Gomes Rodrigues¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a10>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

O dia 25 de janeiro de 2019 ficou marcado pela avalanche de lama que resultou na destruição de parte considerável de uma comunidade e da mineradora em Brumadinho/MG, deixando 270 vítimas fatais. Na operação de resgate e salvamento conduzida pelo Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG) os helicópteros realizaram um trabalho essencial, contudo, gradativamente foram sucedidos pelas Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA). Neste sentido, foi realizado este estudo com o objetivo de avaliar a utilização dessas RPAs na operação de busca e salvamento em Brumadinho em substituição aos helicópteros. Para tanto, a metodologia aplicada foi a pesquisa de campo com abordagem quanti-qualitativa e realização de entrevistas, aplicação de questionário além de realização de uma live. Os resultados encontrados apontaram que o emprego da RPA foi muito importante e eficiente para a operação, demonstrando que o seu uso ocasionou uma economia de 99,06% para a Corporação. Destarte, concluiu-se que a sucessão ao helicóptero pelo drone foi eficiente operacional e financeiramente e apresentou um grande potencial para ser utilizado em outras atividades e operações futuras do CBMMG.

Palavras-chave: Tragédia; Operação Brumadinho; Bombeiro Militar; RPA (*Remotely Piloted Aircraft*); Drone.

ABSTRACT

January 25th in 2019 was marked by an avalanche of mud that destroyed a considerable part of the community and the mining company in Brumadinho/MG, leaving 270 deaths. In the rescue operation conducted by the Military Firefighters Corps of Minas Gerais (CBMMG) the helicopters performed essential work, however, a few days after the end of the rescue of victims of the tragedy, they were succeeded by Remotely Piloted Aircraft (RPA). This study was carried out to evaluate the use of these RPAs in the Brumadinho operation instead of helicopters. Therefore, the methodology applied was field research with a quantitative-qualitative approach with interviews, a questionnaire, and a live interview. The results found showed that the use of RPA was very important and efficient for the operation, demonstrating that its use resulted in savings of 99.06% for the Corporation. Thus, it was concluded that the succession to the helicopter by the drone was operationally and financially efficient and presented a great potential to be used in other activities and future operations of CBMMG.

Keywords: Tragedy; Operation Brumadinho; Military Firefighter; RPA (*Remotely Piloted Aircraft*); Drone.

Recebido em: 20/04/2021 - Aprovado em: 16/08/2021

E-mail: douglas.freitas.silva@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

No dia 25 de janeiro de 2019, em Brumadinho/MG, às 12h28m25s, ocorreu o rompimento da Barragem 1 da Mina Córrego do Feijão. Essa data ficou marcada pela avalanche de lama, que resultou na destruição de parte considerável da comunidade e da própria mineradora, bem como destruiu um bioma com grande biodiversidade, já que a região abrigava uma enorme área remanescente da Mata Atlântica (CASTRO JÚNIOR; PAIVA, 2019).

Das 270 vítimas fatais, 259 foram localizadas e identificadas, sendo que, no decorrer do tempo, vêm sendo encontrados segmentos corpóreos. A tragédia deixou, ainda, 135 pessoas desabrigadas (MARIA; ALVES, 2019).

Devido à magnitude do desastre, foi preciso uma integração de diversos órgãos e instituições públicas para atuar, tanto operacional como administrativamente, totalizando 55 órgãos públicos de âmbitos municipal, estadual e federal. Dos órgãos públicos atuantes, destaca-se para este artigo a atuação integrada das unidades do Corpo de Bombeiros Militar (CBMMG), Polícia Civil, Polícia Militar, Defesa Civil, Força Aérea Brasileira e Exército (MINAS GERAIS, 2019), que utilizaram 62 máquinas pesadas, 31 aeronaves e 22 equipes de cães farejadores.

Salientam-se ainda os recursos utilizados para a operação de busca e salvamento, dos quais citam-se: sete drones, de propriedade do CBMMG, com tecnologia de leitura térmica; um balão de observação e um radar de drones; imagens de satélite e monitoramento por instrumentos de alta precisão (GOUVÊA, 2019).

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA - do inglês *Remotely Piloted Aircraft*) são conhecidas popularmente pela denominação americana “drones” que, conforme explicam Pecharromán e Veiga (2016), trata-se de um termo aplicável a todo e qualquer objeto voador sem tripulação e que é utilizado para fins profissionais ou recreativos.

Na operação de Brumadinho, de acordo com o portal Resgate Aeromédico (BENI, 2019), os drones que operaram são profissionais, denominados *Mavic 2 Enterprise Dual*, e possuem acessórios capazes de aumentar a interação da RPA com o ambiente por meio de lanterna de *led*, alto-falante, luz de identificação que proporciona segurança e evita a colisão daquele com o helicóptero (*beacon*), além do recurso de câmera.

Assim sendo, este estudo traz como objetivo geral avaliar a utilização das RPAs na operação de Brumadinho, para servir de base na busca de melhorias, tanto operacionais quanto econômicas, para futuras utilizações desse tipo de equipamento. Já os objetivos

específicos, consistem em: identificar quais foram as ações executadas pelas RPAs; verificar se os resultados alcançados com o uso de RPA foram relevantes; comparar a utilização de helicóptero vs. RPA; identificar se a utilização de RPA foi economicamente eficiente para a corporação; apontar o nível de importância da utilização de RPA para a operação de Brumadinho.

Ao realizar o estudo, busca-se responder ao questionamento: a ação de substituição do helicóptero pelo drone foi eficiente operacional e financeiramente para a corporação? Para tanto, são utilizados na metodologia a pesquisa bibliográfica, documental e o estudo de caso.

2 MÉTODO

A metodologia desta pesquisa fundamenta-se na abordagem quanti-qualitativa, uma vez que as entrevistas e questionários aplicados visam verificar a percepção dos respondentes quanto aos fatos a eles expostos e apresentar dados que demonstrem os benefícios da aquisição e utilização de RPAs como de helicópteros, utilizando-se, portanto, de dados matemáticos/estatísticos (MARCONI; LAKATOS, 2010; PRODANOV; FREITAS, 2013).

A população deste estudo foi constituída por profissionais do CBMMG que estiveram atuando diretamente na operação Brumadinho. A primeira amostra é composta pelo Comandante do Batalhão de Operações Aéreas (BOA); quatro Comandantes de Incidentes; a Chefe da Seção de Operações; o Piloto de Helicóptero do CBMMG e o 1º Tenente BM do BOA – CBMMG.

A segunda amostra foi composta por 20 Pilotos de Aeronaves Remotamente Pilotadas do CBMMG, os quais, em sua totalidade, responderam ao questionário aplicado por meio da ferramenta *Google Forms*, após esclarecimentos sobre a importância do estudo, a explanação dos objetivos da pesquisa e a livre participação (sem qualquer obrigatoriedade em responder aos instrumentos).

3 RESULTADOS

3.1 Entrevistas

Por meio das entrevistas realizadas, foi possível constatar diversas informações e diferenças importantes referentes ao uso, na operação de Brumadinho, de helicópteros e

drones, suas aplicabilidades, benefícios, entre outros.

Foi observado que os helicópteros do CBMMG realizaram, na Operação de Busca e Salvamento na 'Operação Brumadinho', 271.6 horas de voo, no ano de 2019, e foram importantes no início das operações e no decorrer delas. Dentre as várias ações dos helicópteros destacadas pelos entrevistados, estão: buscas por vítimas, salvamentos diversos, atendimento com equipe médica, levantamento de dados, transporte de tropa e equipamentos e retirada de corpos ou segmentos. Entretanto, em certo momento, os helicópteros foram substituídos pelos drones, que voaram um total de 498 horas, aproximadamente, de forma a auxiliar nas buscas por sobreviventes e fornecer imagens do local do desastre.

O Comandante de Incidentes e a Chefe de Operações do BOA informaram que a transição da utilização dos helicópteros pelas RPAs ocorreu durante o mês de fevereiro, momento em que iniciaram a utilização da tecnologia de leitura térmica dessas. Esse recurso possibilita localizar objetos que possuem uma diferença de temperatura em relação ao ambiente, assim, oferecendo uma esperança maior de sucesso nas buscas no local. Destacou, ainda, que os equipamentos começaram a ser utilizados oficialmente em 21 de fevereiro de 2019, momento em que o CBMMG recebeu as RPAs *Mavic 2 Enterprise Dual*, com a capacidade de leitura térmica.

Todavia, no momento em que foi iniciada a utilização desse recurso, já havia se passado muito tempo e não mais era possível encontrar pessoas com vida, contudo, a Chefe de Operações do BOA, em entrevista, destacou que foi registrada a localização, pela câmera térmica de drones, de um container metálico, no qual havia um corpo.

Foi destacado pelos entrevistados que a utilização de drones, juntamente com os helicópteros, pode acarretar ameaça para a aviação, devido ao risco de colisão. Logo, o uso simultâneo pode não ser viável, considerando que os helicópteros estavam resgatando e transportando várias vítimas com vida.

Sob a hipótese de que não houvesse helicópteros desde o princípio da operação, os entrevistados afirmaram que o uso de drones poderia ter sido empregado inicialmente para localização dos corpos e delimitação das áreas de buscas, entre outras atividades. Porém, o transporte de tropa, de alimento para equipes em campo e de equipamentos operacionais e o resgate de vítimas em local de difícil acesso ficariam prejudicados. Contudo, conforme o piloto de helicóptero entrevistado declarou, no momento em que houve a substituição, um fator positivo verificado é que os caminhos na lama já estavam abertos de forma a possibilitar o deslocamento de tropa por meio de viaturas.

Alusivo à eficiência dos drones na operação, foi confirmado pelos entrevistados e pelos pilotos que esses proporcionam uma grande economia para a corporação, realizando diversas atividades que são inviáveis de serem desempenhadas pelos helicópteros, devido ao custo e ao risco.

Após a realização das entrevistas, foi aplicado um questionário aos pilotos de RPAs da corporação, totalizando uma amostra de 20 profissionais. Quando perguntados sobre quais as ações executadas pelas RPAs na Operação Brumadinho/MG, por se tratar de uma pergunta aberta, várias foram as respostas: monitoramento, busca, comunicação social e acompanhamento das operações em campo, orientação para chefes de frentes e *staff* (pessoal), captura de imagens em tempo real, coleta de dados e produção de ortomosaicos. Todas contribuíram sobremaneira para o resultado positivo da busca por corpos.

Ao atribuir um nível de eficiência ao trabalho de controle e mapeamento das áreas cobertas pelos drones e ao trabalho de procura de corpos ou segmentos corpóreos em Brumadinho, 50% consideraram “muito eficiente” e 50% “eficiente”.

Atinente ao tempo utilizado para mapear todas as áreas de trabalho do dia com o uso do drone, a maioria da amostra (55%) aponta que o tempo estimado é de mais de quatro horas; para 25%, entre três e quatro horas; para 15%, entre duas e três horas e 5% até uma hora.

Todos os pilotos classificaram como “muito importante” ou “importante” a utilização de RPA para a operação de Brumadinho, assim como 90% classificaram como “muito importante” e 10% como “importante” o investimento em drones para utilização em outras operações de busca de vítimas desaparecidas, atuação em monitoramentos em combates a incêndios florestais, reconhecimento de locais de difícil acesso, entre outros.

Para complementação desta pesquisa, foi feita uma entrevista com o 1º Tenente BM do BOA – CBMMG, responsável pelo controle do NOTAM (*Notice to Airmen*) nas operações de Brumadinho, o qual esclareceu que, durante a operação, foi solicitada ao Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) a restrição do espaço aéreo na região da barragem, ao que foi atendido por meio da expedição de NOTAM.

3.2 Estudo de Campo *on-line* em Tempo Real

Foi realizado pelo pesquisador deste trabalho um estudo de campo por meio de *live* com a plataforma do *Google Meet*, que foi utilizada como forma de viabilizar, ainda que em

momento de restrições devido à pandemia da COVID-19, o trabalho *in loco*, de forma virtual.

Para a confecção deste trabalho, foram disponibilizadas pelo CBMMG várias fotos/imagens captadas pelas RPAs durante a operação, sendo constatado nessas imagens que as equipes demarcaram as áreas já vistoriadas e pendentes, área de descarte de material já vistoriada, entre outros.

Além desses benefícios, verificou-se na *live* que, por meio da filmagem aérea, angaria-se um reconhecimento do terreno que permite evitar rotas de impossível acesso a pé, bem como o direcionamento das próximas estratégias.

4 DISCUSSÃO

Na operação, a utilização dos helicópteros foi fundamental na execução do trabalho inicial, contudo, puderam ser substituídos pelos drones em 21 de fevereiro de 2019, em virtude de não haver mais necessidade de transporte aéreo de recursos humanos e logísticos, bem como para diminuir os custos da operação.

Essa substituição trouxe inúmeros benefícios além de economia, entre os quais podemos destacar as imagens (fotografias) de controle e realização de mapeamento de áreas trabalhadas, visto que, se fossem utilizados os helicópteros, seriam necessários voos a baixas altitudes, aumentando o risco da operação. Dito isso, podemos concluir que o controle de áreas trabalhadas, o qual é viabilizado com as fotos aéreas capturadas pelos drones, é essencial para o controle da operação e seria uma atividade onerosa e inviável de ser realizada pelos helicópteros, devido à altura de voo de segurança.

A maioria dos entrevistados apontou que os drones poderiam ter sido utilizados desde o princípio para efetuar as buscas, principalmente à noite, momento em que os helicópteros não atuam e a temperatura ambiente diminui, proporcionando que as vítimas sejam encontradas mais facilmente com as câmeras térmicas, mapeando das áreas e outros recursos, evidenciando, assim, a relevância do recurso e a importância de sua utilização no início dos trabalhos em futuras operações, posto que proporcionará uma eficiência ainda maior nas buscas quando ainda houver pessoas com vida desaparecidas. Esse fato coaduna com o artigo científico de Bridi e Castro (2020) que concluíram que a leitura térmica é eficiente para o encontro de pessoas com vida, por ser a temperatura corporal diferente do ambiente.

Embora as RPAs pudessem ser usadas durante a noite ou durante o dia com

revezamento de locais e sob coordenação e monitoramento do controle do espaço aéreo local, destaca-se a positividade do uso do equipamento e a necessidade de se avaliar nas próximas operações semelhantes a esse uso conjugado com helicópteros e de forma coordenada.

Os entrevistados destacaram que, em algumas ações, a utilização dos helicópteros foi fundamental, principalmente quanto à locomoção dos militares para acesso e retirada de vítimas ainda vivas, de segmentos corpóreos e na redução de tempo para se chegar de um lugar a outro, contudo, ambos os recursos foram importantes, cada um a seu tempo.

Quanto à existência de registros de encontro de corpo ou segmento corpóreo realizado pelo drone, a Chefe da Seção de Operações do BOA afirmou que, no momento em que os drones foram introduzidos na operação, já haviam sido realizadas intensas buscas pelas aeronaves e equipes de terra, sendo que os corpos e segmentos que estavam na superfície já haviam sido retirados. Contudo, por meio do importante recurso de câmera com leitura térmica dos drones, que possui a capacidade de diferenciar a temperatura de materiais, foi possível localizar um *container* e encontrar um corpo que estava em seu interior, fato divulgado em matéria do portal Resgate Aeromédico:

[...] em um voo noturno com o drone, foi possível identificar, pela variação de temperatura na lama, uma área que apresentava calor. O ponto foi marcado e os bombeiros realizaram uma escavação, encontrando no local um container metálico e dentro dele um corpo de uma vítima (BENI, 2019).

Relativo à economicidade da RPA, esta foi classificada com alto nível de importância pelos entrevistados e respondentes. Esta afirmativa foi comprovada por meio da análise dos valores das horas de voo fornecidos pelo BOA e correlação com as horas de voo realizadas com as RPAs, descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Levantamento de valores de investimento helicóptero vs. RPA

Aeronaves	Hora de voo	Velocidade de deslocamento	Valor da hora de voo (R\$)	Valor do km/hora	Autonomia cobertura
RPA CBMMG	1 hora	72 km/hora	-	-	Raio de 2 km SEM deslocamento do operador
RPA com seguro e manutenção	1 hora	72 km/hora	59,33	0,82	Raio de 2 km SEM deslocamento do operador
Helicóptero	1 hora	180 km/hora	5.800,00	32,22	54 km

Fonte: Minas Gerais (2020).

Para verificar essa economia, relacionaram-se os dados referentes às horas de voo informadas pelo Comandante do BOA e os custos apontados na Tabela 1. Deste modo, no que se refere aos custos com os helicópteros e as RPAs, identificou-se que:

a) Os helicópteros do CBMMG voaram 271,6 horas em 2019, podendo esta despesa ser calculada com a seguinte equação:

$$271,6 \text{ horas voo} \times \text{R\$ } 5.800,00 \text{ Valor/h} = \text{R\$ } 1.575.280,00$$

Logo, constata-se que o custo das horas de voo dos helicópteros do CBMMG foi de, aproximadamente, R\$1.575.280,00 (um milhão, quinhentos e setenta e cinco mil, duzentos e oitenta reais).

b) Já no que se refere aos custos com os drones, ao efetuar a mesma equação utilizada no cálculo dos helicópteros, verificou-se a seguinte equação:

$$498,5 \text{ horas} \times \text{R\$ } 59,33 \text{ valor/h} = \text{R\$ } 29.576,00$$

Logo, observa-se que o gasto na operação de Brumadinho com as 498,5 horas de voo das RPAs foi de, aproximadamente, R\$ 29.576,00 (vinte e nove mil, quinhentos e setenta e seis reais).

Diante do gasto identificado em ambos os instrumentos de voo, faz-se necessário apurar qual a economia obtida pela corporação com a utilização dos drones na operação de Brumadinho.

Contudo, considerando que o tempo de voo de cada aeronave é diferente, para se fazer uma comparação, visando encontrar uma relação entre o tempo gasto nos trabalhos de monitoramento de áreas trabalhadas, foi feito um experimento com as RPAs, nos dias 20 e 21 de agosto de 2021. Desta forma, foi possível mensurar o tempo de voo gasto pelas RPAs para retirada de fotos de monitoramento das frentes de trabalho, atividade desempenhada até hoje na operação. Para apurar o tempo de trabalho com os helicópteros, realizaram-se entrevistas com os copilotos que atuaram na operação de Brumadinho, arguindo-se quanto tempo seria necessário para se cobrir áreas exatamente iguais com os helicópteros.

Pelas entrevistas, constatou-se que os helicópteros cobririam as sete áreas trabalhadas na data do experimento com uma média de 35 minutos de voo, aproximadamente; já as RPAs, gastaram 32 minutos de voo no experimento. Não foram

considerados neste trabalho o tempo gasto para os helicópteros se deslocarem para a base da operação, o tempo de planejamento de voo do piloto ou quaisquer outros preparativos, o tempo para a troca de baterias ou de deslocamento das RPAs de uma área de trabalho a outra e a quantidade de militares ocupados em cada atividade, considerando o objetivo de se calcular o tempo efetivamente voado em ambas as máquinas.

Assim, verifica-se que o trabalho de controle de áreas feito por meio das RPAs, caso fosse realizado por helicópteros, demoraria quase o mesmo tempo, aproximadamente 545 horas.

Logo, simulou-se o possível gasto, com a seguinte fórmula:

$$498,5h + (46,5 \text{ horas adicionais}) \times R\$5.800,00 \text{ Valor/h} = R\$ 3.161.000,00$$

Logo, subtraindo o valor encontrado acima pelo real valor gasto com os drones, observa-se que:

$$\begin{aligned} R\$ 3.161.000,00 \text{ (valor que seria gasto com helicóptero)} - R\$29.576,00 \text{ (gasto com drone)} \\ = R\$ 3.131.424,00 \text{ de economia.} \end{aligned}$$

Dessa forma, verifica-se que, caso todo o tempo de trabalho em que o drone foi utilizado (conforme horas de voo e custo de hora/voo), conforme a Tabela 1, tivesse sido realizado pelos helicópteros, o custo de voo seria de R\$ 3.161.000,00. Logo, subtraindo esse valor encontrado pelo real valor gasto com os drones, têm-se R\$ 3.131.424,00 de economia.

Assim, apesar de os helicópteros realizarem o voo com mais velocidade, quando os locais puderem ser acessados pelas equipes a pé, em operações semelhantes à de Brumadinho, as RPAs serão muito mais econômicas, para os trabalhos de monitoramento e controle aéreo.

Utilizando estes resultados e fazendo uma relação entre o valor da hora voo do drone e helicóptero, percebe-se que a despesa com o primeiro foi de 0,94% do valor que seria gasto com o segundo. Logo, a economia constatada foi de, aproximadamente, 99,06% aos cofres públicos, corroborando o já referido que o custo para utilização da RPA é infinitamente menor frente aos custos com helicóptero (COSTA, 2019 *apud* THIELS, 2015).

Foi acrescentado pela Chefe da Seção de Operações que “o interesse dos

militares e comandos para saber mais sobre as aplicações dessa ferramenta tivera um aumento significativo, ocasionando a realização de diversos cursos voltados para pilotagem de drones após o desastre”. Fato confirmado pelos pilotos que responderam ao questionário deste estudo, visto que 95% são formados nos cursos ministrados pelo CBMMG.

Concernente aos trabalhos realizados pelos drones, os pilotos que responderam ao questionário, por unanimidade, consideraram-no eficiente e enumeraram diversas ações que os drones realizaram. Tal resultado também foi demonstrado no estudo de campo realizado por meio da *live*, em que foi possível apresentar um mapeamento das áreas trabalhadas, bem como a coordenação das estratégias futuras e o acompanhamento do trabalho realizado no dia, demonstrando na prática que o equipamento se tornou imprescindível para a operação.

Foi perguntado aos entrevistados, caso houvesse outra operação, se fariam algo diferente. A Chefe da Seção de Operações afirmou que incluiria a utilização dos drones, entretanto, apesar de concordar, o Piloto de Helicóptero do CBMMG ressaltou a importância do conhecimento sobre essa ferramenta e acrescentou a necessidade do Comandante da Operação conhecer todos os benefícios e possibilidades que o drone pode oferecer nas atividades do bombeiro para, então, haver uma concordância para a sua utilização.

Por fim, o resultado do questionário aplicado aos pilotos de RPA confirmou, por unanimidade, o alto nível de importância do trabalho realizado.

5 CONCLUSÃO

Considerada uma das maiores tragédias humanas e ambientais dos últimos tempos, o rompimento da barragem de Brumadinho moveu diversos órgãos públicos para auxiliar na busca e salvamento de suas vítimas, tendo o Corpo de Bombeiros de Minas Gerais um papel crucial nessa busca.

O estudo demonstrou que os helicópteros realizaram um trabalho fundamental durante os momentos de caos, ao serem utilizados para a locomoção dos bombeiros militares, ao possibilitar acesso às áreas atingidas (que seria impossível chegar de outra forma), no transporte de materiais, no resgate de vítimas e remoção de corpos, dentre tantas outras ações que auxiliaram de forma primorosa para que o trabalho fosse desenvolvido.

Entretanto, em 21 de fevereiro de 2019, os helicópteros foram substituídos pelas Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA), sendo motivado, principalmente, pelo custo/benefício, visto que, conforme demonstrado, o custo das horas/voo do drone é 99,06% mais baixo, se comparado aos helicópteros. Além disso, o seu uso para a corporação pode trazer eficiência, eficácia e celeridade aos atendimentos.

Foi comprovado, também, que a RPA, além de ter contribuído de forma eficiente durante todo o restante da operação, auxilia nos serviços realizados naquela área até hoje.

Decerto ficou demonstrado que o drone encontrou, diretamente, apenas um corpo durante essa operação. Contudo, há que se ressaltar que foi um achado memorável, pois, sem o uso de tal equipamento não se sabe se o corpo seria encontrado. Já que, com auxílio da câmera termal do equipamento, tal feito pôde se tornar realidade, demonstrando, assim, o potencial desta ferramenta.

Portanto, se empregada desde o início nas próximas operações, existindo vítimas ainda com vida e, conseqüentemente, com temperatura corporal diferente da temperatura do solo, possibilitará que grande quantidade de vítimas seja encontrada ainda com vida, principalmente durante a noite, e seja resgatada com agilidade pelos helicópteros e conduzida a recurso hospitalar.

Além disso, foi demonstrado que o mapeamento da área afetada, que vem sendo realizada com as RPAs diariamente, tem sido fundamental para a continuidade da gestão do trabalho que está sendo realizado em Brumadinho.

Sendo assim, pode-se concluir que, diante do custo/benefício verificado, todas as ações realizadas por meio da RPA serviram para demonstrar que o equipamento foi primordial na operação Brumadinho e que possui um grande potencial para ser utilizado em tantas outras atividades e operações futuras do CBMMG.

Diante disso, este estudo traz como sugestão que o potencial do drone em encontrar vítimas com vida, principalmente à noite, seja exaustivamente divulgado aos comandantes de futuras operações, bem como que esse equipamento passe a ser um instrumento presente em todas as frações do CBMMG.

REFERÊNCIAS

BENI, E. Drones com câmeras termais do Corpo de Bombeiros de Minas Gerais auxiliam nas buscas em Brumadinho. **Resgate Aeromédico**, 2019. Disponível em: <https://www.resgateaeromedico.com.br/drones-com-cameras-termais-do-corpo-de-bombeiros-de-minas-gerais-auxiliam-nas-buscas-em-brumadinho/#:~:text=Mulheres%20na%20Avia%C3%A7%C3%A3o-,Drones%20com%20c%C3%A2meras%20termais%20de%20busca%20em%20Brumadinho>

20termas%20do%20Corpo%20de%20Bombeiros%20de,auxilias%20nas%20buscas%20em%20Brumadinho&text=Minas%20Gerais%20%E2%80%93%20O%20uso%20dos,no%20dia%2025%20de%20janeiro. Acesso em: 10 ago. 2020.

BRIDI, D. W. S.; CASTRO, K. S. Câmera termal em drones: Vantagens e desvantagens em relação a busca aérea com câmeras tradicionais para localização de vítimas perdidas em mata. **VIGILES**, v. 3, n. 1, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.17648/revistavigiles-2595-4229-v3n1-4>.

CASTRO JÚNIOR, M. M.; PAIVA, F. J. C. B. E. **A negligência do poder público diante do impacto ambiental na atividade laboral: Da Barragem do Feijão em Minas Gerais.** Ambito Jurídico. Disponível em: <https://ambitojuridico.com.br/cadernos/direito-ambiental/a-negligencia-do-poderpublico-diante-do-impacto-ambiental-na-atividade-laboral-da-barragem-do-feijao-emminas-gerais/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

COSTA, R. D. **Análise da atuação dos drones na segurança de um país.** Dissertação (Mestrado em Direito e Segurança) - Universidade Nova de Lisboa, 2019. Disponível em: https://run.unl.pt/bitstream/10362/91298/1/Costa_2019.pdf. Acesso em: 20 ago. 2020.

FREITAS, C. M.; SILVA; M. A. Acidentes de trabalho que se tornam desastres: os casos dos rompimentos em barragens de mineração no Brasil. **Rev Bras Med Trab.** v. 17, n. 1, 2019. DOI: 10.5327/Z1679443520190405.

GOUVÊA, A. T. **Gerenciamento do desastre em Brumadinho:** abordagem das ações dos órgãos envolvidos na Resposta. Juiz de Fora. 2020. Apresentação em slide. 85 slides. Color, Aula no curso de Mapeamento de áreas de risco com o aplicativo Álea. Disponível em: <https://www.ufjf.br/sistemaalea/files/2019/03/09-Capitão-Acácio-Tristão.pdf>. Acesso em: 28 maio 2020.

MARIA, L; ALVES, F. Após tragédia, 135 pessoas desabrigadas estão em hotéis de Brumadinho. **O Tempo**, Belo Horizonte, 2019. Disponível em: <https://www.otempo.com.br/cidades/apos-tragedia-135-pessoas-desabrigadas-estaoem-hotéis-de-brumadinho-1.2128101#:~:text=Após%20tragédia%2C%20135%20pessoas%20desabrigadas%20estão%20em%20hotéis%20de%20Brumadinho,-Informação%20foi%20repassada.> Acesso em: 28 set. 2020.

MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos da metodologia científica.** 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Batalhão de Operações Aéreas - BOA. **Nota Técnica**, 2020.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. Operação Brumadinho. **Bombeiros**, 2019. Disponível em: <http://www.bombeiros.mg.gov.br/component/content/article/32-embm/73416-cbmmgoperacaobrumadinho.html>. Acesso em: 20 jul. 2020.

NASCIMENTO, F. P.; SOUSA, F. L. L. **Metodologia da pesquisa científica:** teoria e prática: como elaborar TCC. Fortaleza: INESP, 2017.

PECHARROMÁN, J. M. P.; VEIGA, R. **Estudo Sobre a Indústria Brasileira e Europeia de Veículos Aéreos Não Tripulados** – Relatório. *In*: Projeto apoio aos diálogos setoriais União Europeia - Brasil. Brasília - DF, 2016. p. 92.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico**: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.



Artigo Original

AVALIAÇÃO DO RISCO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS EM MINAS GERAIS: PROJEÇÕES ATÉ 2040

WILDFIRE RISK ASSESSMENT IN MINAS GERAIS: PROJECTIONS UNTIL 2040

Iâncor Diego Castro de Andrade Pereira¹, Melina Amoni Silveira Alves²

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a11>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

² Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

RESUMO

O presente trabalho objetiva traçar um panorama futuro dos incêndios florestais no estado de Minas Gerais, por meio da aplicação de fórmulas de Risco de Incêndio às tendências de mudança do clima e avaliar potenciais agravantes de incêndios, como as florestas de Eucalipto. O artigo trata-se de uma pesquisa quantitativa empírica com dados secundários, na qual foi utilizado o modelo de Risco de Incêndios de Batista et al. (2014) adaptado, que combina variáveis climáticas e fitotopográficas. Os resultados foram processados no Sistema de Informação Geográfica denominado ArcGis, pela técnica de álgebra de mapas, possibilitando a criação de mapas de risco com projeções para 2040. Após o processamento de dados, foi observado que as mesorregiões do Vale do Jequitinhonha, Vale do Rio Doce, Norte, Noroeste e região Central do Estado têm grande risco futuro de desenvolver macroincêndios florestais. Sobretudo, buscou-se apontar as áreas de maior interesse na prevenção de catástrofes ambientais, possibilitando maior atuação de prevenção do Estado.

Palavras-chave: Incêndio florestal; Mudança do clima; Minas Gerais; Bombeiro Militar; Risco de incêndio florestal.

ABSTRACT

This paper aims to draw a future outlook for wildfires in the State of Minas Gerais, through the application of Fire Risk formulas to climate change trends, and evaluate aggravating factors such as the influence of Eucalyptus forests. The article is an empirical quantitative research with secondary data, using the adapted Fire Risk model of Batista et al. (2014), which combines climatic and phyto-topographic variables. The results were processed in the ArcGis geographic information system by the map algebra technique, allowing the creation of risk maps with projections until 2040. After data processing, it has been demonstrated that the regions of the Jequitinhonha Valley, Rio Doce Valley, the north, northwest and central regions of the state are at a high future risk of developing major wildfires. The main objective was to point out the areas of greatest interest in the prevention of environmental disasters, enabling a more suitable state prevention action.

Keywords: Wildfire; Climate change; Minas Gerais, Firefighter; Wildfire risk.

Recebido em: 08/11/2019 - Aprovado em: 20/08/2021

E-mail: iancor.pereira@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

Durante muito tempo, acreditou-se que para haver fogo eram necessários três elementos: comburente, combustível e calor, constituindo-se o triângulo do fogo. Estudos mais recentes mostram que existe uma reação química contínua entre combustível e o comburente, em que mais calor é liberado para a reação mantendo-a sustentável. Esse processo chama-se “Tetraedro do Fogo”, definido pela combinação do combustível com o oxigênio, na presença de uma fonte de calor, em uma reação química em cadeia, liberando energia em forma de luz e mais calor, além de outros produtos químicos (DISTRITO FEDERAL, 2013).

Entende-se como incêndio florestal toda destruição total ou parcial da vegetação, em áreas florestais, ocasionada pelo fogo, sem o controle do homem, tendo origens diversas (SÃO PAULO, 2006). Para Freire (2005), são necessários três fatores simultâneos para que os incêndios florestais ocorram: condições meteorológicas propícias, disponibilidade de combustível vegetal e presença de uma fonte de ignição. Os fatores apresentados variam em função do ambiente e, de acordo com as características desse, provocarão propagações distintas.

O vento influencia, principalmente, na velocidade de propagação de um incêndio, pois, empurra a chama à frente, resultando um pré-aquecimento do combustível. Ajuda, ainda, a secar a vegetação e a transportar fagulhas em suspensão que são produzidas pela coluna térmica. A temperatura e umidade relativa do ar também são fatores preponderantes, pois, agem diretamente sobre o combustível, deixando-o mais susceptível de entrar em ignição. A quantidade de umidade no combustível varia com o tipo e condições da vegetação, exposição solar, umidade relativa do ar, temperatura e localização geográfica (NFPA, 2011).

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC), nas próximas décadas, todos os continentes passarão por significativas mudanças no clima, com alterações nas médias de temperatura e do regime de chuvas, o que muito provavelmente irá impactar na intensidade e na frequência dos incêndios florestais (IPCC, 2014).

Outro fator importante é a topografia e, de acordo com Trindade *et al.* (2008), se compararmos a velocidade de propagação do fogo no terreno plano e em aclives, em florestas de Eucalipto, teremos o dobro de velocidade de propagação em um aclive de 10°

e quatro vezes mais velocidade em um aclive de 20°. Por isso, incêndios em aclives são extremamente mais rápidos e perigosos do que aqueles que avançam em declives.

Segundo o Manual de Perícia de Incêndio e Explosão do Distrito Federal (2009), o combustível em incêndios florestais pode ser qualquer material orgânico, vivo ou morto, capaz de entrar em ignição e queimar e pode influenciar na propagação de maneiras diferentes, dependendo da quantidade, umidade, inflamabilidade, continuidade e compactação.

O Eucalipto é um tipo de vegetação que torna o combate aos incêndios florestais particularmente mais difícil. O Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF) da Universidade de Coimbra, relata que além de apresentar uma copa muito alta, sua queima caracteriza-se por intensa dispersão de fagulhas incandescentes, o que propicia o início de novos focos isolados, distantes da linha de incêndio. Incêndios florestais que avançam em matas de Eucalipto caracterizam-se por um combate muito mais complexo e perigoso, devido a violenta queima e a possibilidade de dispersão além da linha do fogo (CEIF, 2017).

Um devastador exemplo foi o incêndio de Pedrógão Grande (PG), em Portugal, no ano de 2017, que vitimou 65 pessoas e feriu outras centenas. O CEIF descreveu no relatório sobre o referido incêndio, que houve testemunhos da visualização de ramos de Eucalipto de dimensão razoável, com diâmetro superior a 5 cm e comprimento superior a 40 cm, além de cascas, folhas e outros materiais incandescentes que voarem, por vezes a grande altura, espalhando o fogo. Neste sentido, é de se acreditar, conforme exposto pelo CEIF, que esta ocorrência foi resultante de materiais projetados a cerca de 10 km da linha de fogo, que é a distância do local de ignição à frente das chamas de Pedrógão (CEIF, 2017).

O CEIF reforça que o território atingido pelo incêndio florestal de PG possuía um potencial de risco de incêndio (RI) muito elevado, devido às condições climáticas, o relevo acidentado e à cobertura vegetal muito densa e mal gerida. No dia 17 de junho de 2017, a maioria das estações meteorológicas da região registrou temperaturas máximas superiores a 40°C e umidades relativas mínimas entre 15 e 20%, resultando em teores de umidade do combustível morto muito baixos, cerca de 4 a 6%. Parte dessa cobertura não tinha sido afetada por grandes incêndios nos últimos anos, dispondo, por isso, de uma carga combustível muito elevada (CEIF, 2017).

Portanto, pode-se perceber que incêndios florestais são ocorrências complexas e com vários fatores que os influenciam. Preveni-los e preparar bem as forças de combate

para agir estratégica e eficientemente é uma forma de reduzir os danos e potenciais fatalidades.

O presente trabalho pretendeu traçar um panorama futuro dos incêndios florestais no Estado de Minas Gerais, por meio da aplicação de fórmulas de RI às tendências de mudança do clima e avaliar possíveis agravantes como a influência das florestas de Eucalipto, com intuito de apontar as áreas de maior interesse e nortear futuras medidas de planejamento e prevenção dessas catástrofes ambientais.

2 MÉTODO

2.1 Delineamento

O presente trabalho trata-se de uma pesquisa quantitativa empírica, com dados secundários em que pretendeu-se calcular o risco de incêndio no estado de Minas Gerais, em um cenário futuro, combinando variáveis de vegetação, topografia, altimetria e as influências das mudanças no clima, previstas até 2040. Possíveis fatores agravantes, como a distribuição das florestas de Eucalipto no Estado e sua tendência de crescimento, também foram avaliados.

2.2 Caracterização do objeto de pesquisa

2.2.1 As Florestas de Eucalipto em Minas Gerais

O Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo define reflorestamento como vegetações plantadas, normalmente de forma homogênea quanto às espécies, cultivada em maciços para suprimentos industriais, comerciais e para consumo local, tais como: lenha (energia), madeira e outros usos. Normalmente, apresentam limites regulares e carregados definidos, figurando o Eucalipto e o Pinus como as principais espécies inseridas em território nacional (SÃO PAULO, 2006).

No Brasil, segundo a Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2017), que reúne produtores de celulose, papel, painéis e pisos de madeira e florestas no país, em 2016, o setor gerou US\$ 28,1 bilhões (cerca de R\$ 88 bilhões), com participação de 9,3% nas exportações da balança comercial brasileira. Além disso, a produção nacional de celulose totalizou 18,7 milhões de toneladas, crescimento de 8,1% em relação a 2015.

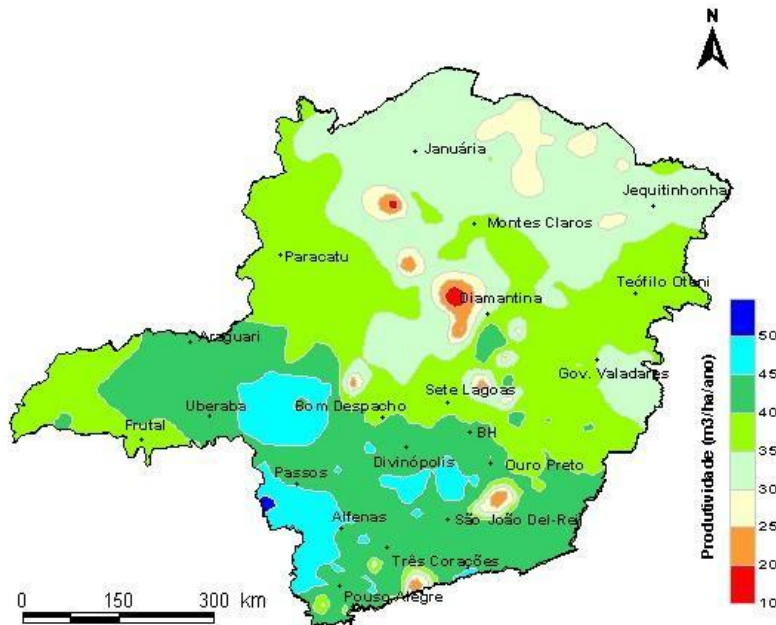
Recentemente, em dezembro de 2018, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) lançou o Plano Nacional de Desenvolvimento de Florestas Plantadas, com ações previstas para os próximos dez anos. O objetivo é aumentar em 2 milhões de hectares a área de cultivos comerciais. Atualmente, de acordo com dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a área cultivada chega a 10 milhões de hectares, principalmente com Eucalipto, Pinus e Acácias (IBGE, 2015).

O resultado confirma o Brasil como o quarto maior produtor do mundo e deixou o país próximo ao Canadá, o terceiro. O setor é liderado pelos Estados Unidos da América, seguido pela China. Segundo a Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas, as áreas de plantios florestais com Eucalipto estão distribuídas em todo o território nacional - 54,2% se concentram no Sudeste, 16,4%, no Nordeste, 12,2%, no Centro-Oeste, 11,8%, na região Sul e 5,5%, no Norte (IBÁ, 2017).

A produção de carvão vegetal da silvicultura atingiu 5.390.315 de toneladas (IBGE, 2015). Desse total, Minas Gerais, principal estado produtor, contribuiu com 82,8%, seguido por Maranhão (9,8%) e Bahia (2,1%). Juntos, esses estados foram responsáveis por 94,7% do montante nacional. Da produção de carvão vegetal da silvicultura, 98,8% foi oriunda do plantio de Eucalipto. Dos 20 principais municípios produtores – à exceção de dois situados no Maranhão (Bom Jardim e Açailândia) e um no Mato Grosso do Sul (Ribas do Rio Pardo) – todos são de Minas Gerais, onde se destacam Itamarandiba e João Pinheiro, respectivamente, no Nordeste e Noroeste do Estado.

Segundo o Relatório Zoneamento do Eucalipto em Minas Gerais (GUIMARÃES; SANS, 2010), o uso de alta tecnologia permite a viabilização do cultivo em todo o estado de Minas Gerais. Para o uso de nível tecnológico médio, não é recomendável o plantio nas regiões Norte de Minas e Vale do Jequitinhonha, onde o limite mínimo estabelecido para a produtividade, 25m³/ha/ano, não é alcançado sem o emprego de alta tecnologia no cultivo. Mas, Minas Gerais se destaca com a maioria dos municípios apresentando potencial produtivo superior aos limites mínimos estabelecidos como critérios de recomendação de cultivo, em destaque o centro-sul e o triângulo mineiro (Figura 1).

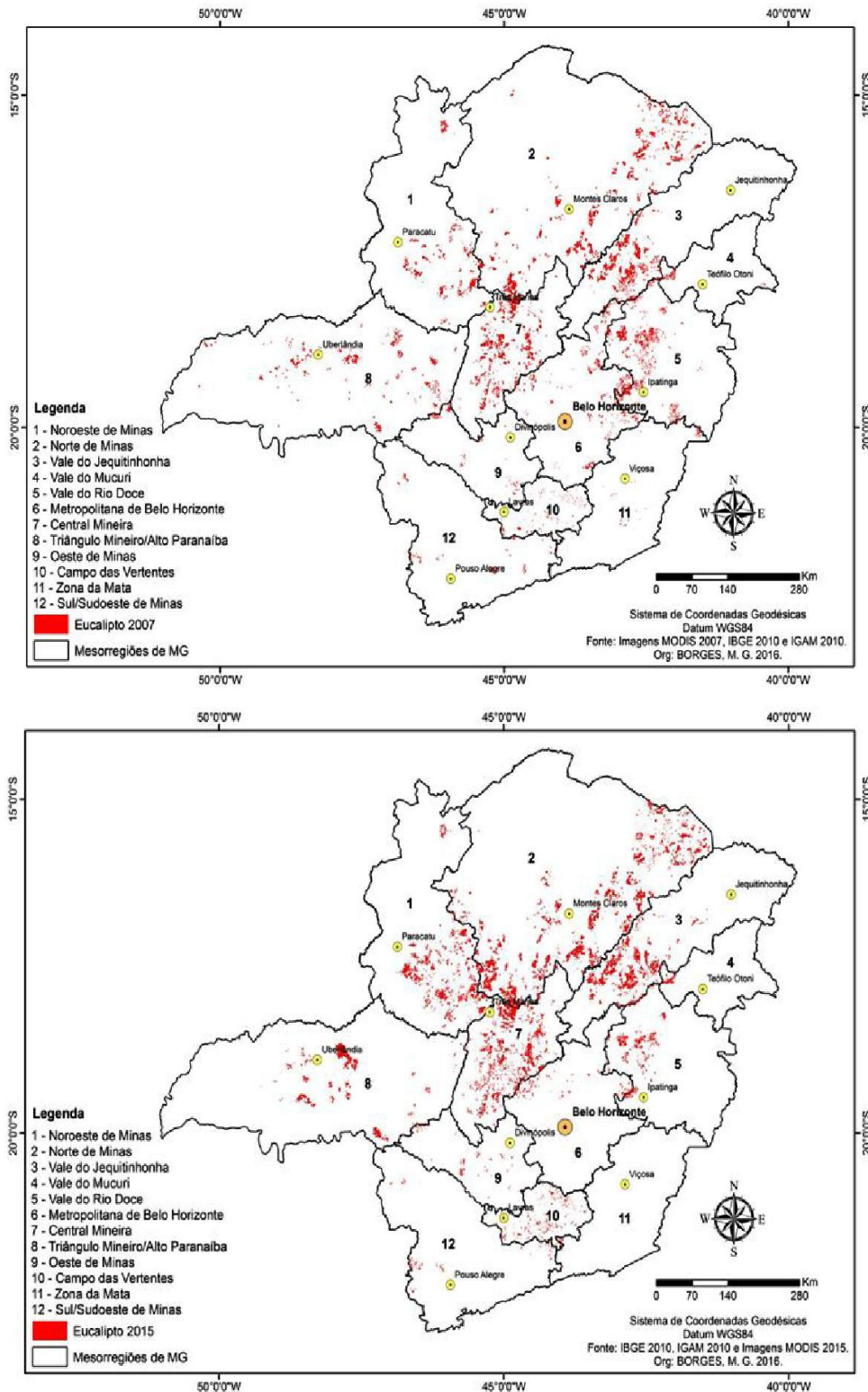
Figura 1 - Potencial produtivo do Eucalipto em MG com uso de alto nível tecnológico



Fonte: Relatório Zoneamento do Eucalipto em Minas Gerais (GUIMARÃES; SANS, 2010).

O diagnóstico das florestas de Eucalipto no Estado, produzido por Borges, Leite e Leite (2018), apresenta um paralelo entre os anos de 2007 e 2015 e, a partir dos dados gerados, quantificados e espacializados, os autores concluíram que as áreas de Eucalipto no estado de Minas Gerais aumentaram sua produção em 348.824,08 hectares de áreas plantadas no período, com aumento em sua produção nas mesorregiões Norte, Noroeste, Centro, Campo das Vertentes, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e no Vale do Jequitinhonha. Ao passo que, foram observadas perdas de monocultura de Eucalipto nas mesorregiões Metropolitana de Belo Horizonte, Oeste, Sul/Sudoeste, Vale do Mucuri, Vale do Rio Doce e Zona da Mata.

Figura 2. Distribuição do Eucalipto em MG, 2007 e 2015



Fonte: Imagens MODIS publicado por Borges *et al.* (2018).

Nota: Áreas plantadas com Eucalipto no Estado de Minas Gerais referentes aos anos de 2007, acima, e 2015, abaixo.

Segundo a Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade, o plantio e corte de florestas plantadas com espécies florestais nativas ou exóticas, em Minas Gerais, independem de autorização

prévia, mas devem ser informados ao órgão ambiental do Estado no prazo de até um ano após sua execução (MINAS GERAIS, 2013).

Percebe-se que Minas Gerais possui papel de destaque no plantio de Eucalipto no país. O potencial agravante de tais culturas em incêndios florestais e a facilidade do plantio sem o adequado manejo, fazem com que as regiões de florestas plantadas necessitem de mais atenção por parte dos órgãos de prevenção e combate à incêndios.

2.2.2 Mudança do Clima

As mudanças do clima podem afetar significativamente o número de incêndios florestais anuais, a duração da sazonalidade dos incêndios, a área total queimada e a intensidade do fogo (IPCC, 2014).

Vários estudos demonstram o impacto das mudanças do clima no comportamento dos incêndios florestais em várias partes do mundo. Liu *et al.* (2012) apresenta os padrões espaciais de ocorrência de incêndios e sua tendência futura no nordeste da China e as pesquisas realizadas por Westerling e Bryant (2008) relacionam as mudanças do clima com os incêndios florestais na Califórnia (EUA).

O 5º Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2014) indica alterações significativas no clima, para os próximos cinquenta anos, referentes às mudanças na temperatura e no regime de chuva que, conseqüentemente, impactam direta e indiretamente grande parte da população, os recursos hídricos, a infraestrutura urbana e rural, as florestas e a biodiversidade, bem como o risco de incêndios florestais.

Para avaliação dos impactos da mudança no clima, são produzidos cenários de concentração de gases de efeitos estufa (GEE), que são utilizados para elaboração de projeções por meio de modelos climáticos globais. O Projeto de Comparação de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project – CMIP5*), disponibiliza simulações de vários modelos globais de diferentes centros climáticos no mundo, baseados nos cenários de emissão de GEE elaborados pelo IPCC (2014).

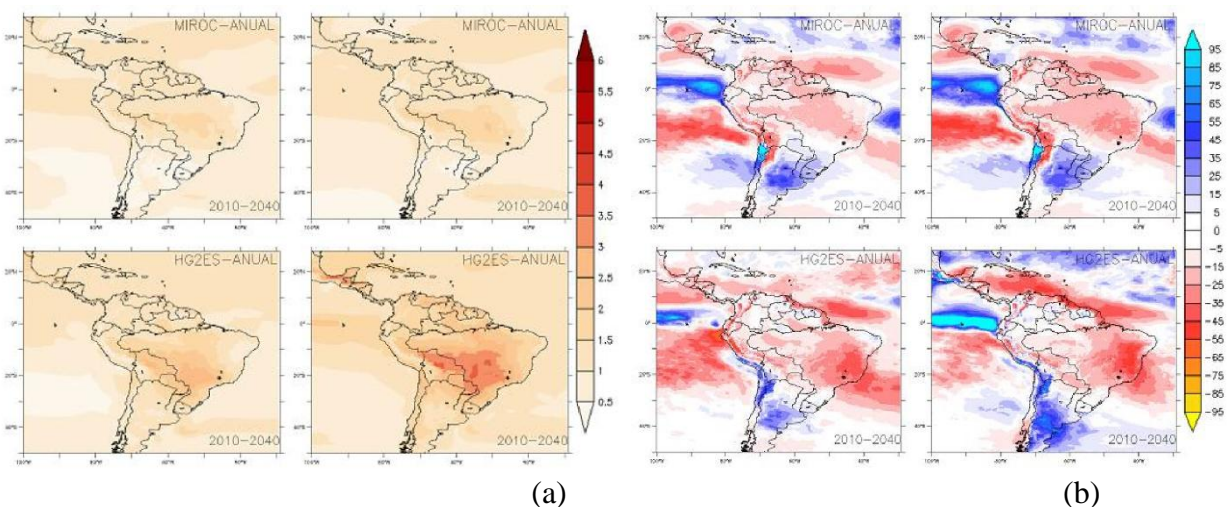
Dentre os modelos globais utilizados, destaca-se o HadGEM2-ES, do Reino Unido (*Met Office Hadley Centre*) e o MIROC5, do Japão (*Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology, Atmosphere and Ocean Research Institute*). No Brasil, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) aplicou a regionalização através do modelo ETA, aninhada a dois modelos climáticos globais, o HadGem e o MIROC, para dois diferentes cenários de

concentração de GEE, um otimista (RCP4.5) e outro pessimista (RCP8.5), com resultados até o final do século XXI.

Na Figura 3 (a) são apresentadas as variações em médias anuais de temperatura média, em °C, para os períodos 2011-2040 (a), simuladas pelos modelos para os dois cenários. Para o período, as simulações mostram o Centro-Oeste e parte do Sudeste do Brasil com anomalias de temperatura maiores do que as demais regiões do país. No período de 2011-2040, é possível identificar um acréscimo de temperatura de 2,5°C. Já o modelo ETA/MIROC5 na mesma situação, indica anomalias em torno de 4,5°C para o RCP 8.5 e em torno de 2°C para o RCP 4.5 (INPE, 2016).

Ainda na Figura 3 (b) são mostradas as anomalias de precipitação média anual (%) para o período 2011-2040 simuladas pelos modelos para os cenários RCP4.5 e RCP 8.5. Para o período, as simulações mostram o extremo sul do Brasil com anomalias positivas e as demais regiões do país com anomalias negativas. As simulações do modelo ETA/HadGEM2-ES mostram, principalmente na região litorânea do Brasil, anomalias negativas de precipitações no período (INPE, 2016).

Figura 3. Variações de temperatura e umidade para América do Sul, 2011 a 2040



Fonte: INPE (2016).

Nota: (a) Anomalia de temperatura média (°C) para o ETA/MIROC5 e ETA/HadGEM2-ES (cenários RCP4.5 e RCP8.5, da esquerda para direita): período 2010-2040. (b) Anomalia de precipitação média anual (%) para o ETA/MIROC5 e ETA/HadGEM2-ES (cenários RCP4.5 e RCP8, da esquerda para direita): período 2010-2040

Os resultados apresentados demonstram tendências climáticas que muito provavelmente impactarão na frequência e na duração dos incêndios florestais. Recomenda-se que tais informações sejam levadas em consideração no planejamento para ações de prevenção e combate aos incêndios florestais para a próxima década.

2.3 Procedimentos de coleta e análise dos dados

Os índices de perigo de incêndios florestais são desenvolvidos para tentar mensurar a suscetibilidade e a severidade de ocorrência de incêndios, a partir de dados climáticos. Ao longo dos anos, foram desenvolvidos diversos índices de perigo em várias regiões do planeta. No Brasil, o mais utilizado é o aperfeiçoamento da Fórmula de Monte Alegre (FMA), através da inserção da variável de velocidade do vento na equação (NUNES *et al.* 2006).

$$FMA^+ = \sum_{i=1}^n (100/H_i) e^{0,04 v}$$

FMA+ é Fórmula de Monte Alegre Alterada; *H* é a umidade relativa do ar (%), medida às 13 horas; *n* é o número de dias sem chuva maior ou igual a 13 mm; *v* é a velocidade do vento (m/s), medida às 13 horas; *e* é a base dos logaritmos naturais.

Essa modificação, fez com que o novo índice, chamado de Fórmula de Monte Alegre Alterada (*FMA+*), descrevesse um modelo de perigo de incêndio, limitado às variáveis climáticas, que não apenas apresentava a possibilidade de haver um incêndio a partir de uma ignição, mas também o potencial de propagação do fogo.

Incêndios florestais são ocorrências muito complexas, que somam, na análise de seu surgimento e propagação, as influências climáticas, a topografia e o tipo de cobertura vegetal. Dessa forma, no presente trabalho, foi utilizado o método de Batista *et al.* (2014) adaptado, descrito mais à frente, que agrega os resultados da *FMA+* às demais influências agravantes e atenuantes.

Para estimar o risco de incêndios associado às condições de mudança do clima foram usados os dados do modelo Eta-HadGEM2-ES elaborado pelo CPTEC-INPE referente à precipitação, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos em Minas Gerais, no período histórico de 1961 a 1990 e de 2011 a 2040, considerando o cenário RCP 8.5. Os dados foram obtidos na plataforma PROJETA¹ em frequência diária, no formato texto (.csv), com resolução espacial de 20 km². As variáveis foram tratadas e organizadas em um banco de dados para referência e cálculo.

A *FMA+* foi aplicada aos dados obtidos e a interpretação do grau de perigo da *FMA+* foi realizada atribuindo valores de 0 a 1 para cada *pixel* do mapa, sendo o risco nulo e 1 o risco muito alto, conforme Tabela 1.

¹ Disponível em: <https://projeta.cptec.inpe.br/#/dashboard>. Acesso em: 21 dez. 2021.

O mapa de risco em função da cobertura vegetal foi elaborado com base no mapa de tipos de vegetação disponibilizado pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA). As coberturas vegetais encontradas neste levantamento foram agrupadas em categorias, como feito por Setzer, Sismanoglu e Martins (2016). As categorias de coberturas vegetais foram classificadas em valores entre 0 e 1, sendo 0 atribuído à cobertura menos suscetível à ocorrência de incêndios e 1 à cobertura mais suscetível.

Os mapas de topografia foram extraídos do Modelo Digital de Elevação (MDE), disponibilizados pela Embrapa, no software ArcGis. Os mapas de altimetria, declividade e orientação das encostas (INPE, 2019) foram classificados em relação à propensão de incêndios de acordo com Oliveira *et al.* (2002), utilizando, também, a escala de 0 a 1.

Tabela 1 - Interpretação do grau de perigo calculado pela FMA+ atribuído à Equação 2

Valor de FMA+	Grau de Perigo	Valor atribuído
Até 3,0	Nulo	0,00
3,1 a 8,0	Baixo	0,25
8,1 a 14,0	Médio	0,50
14,1 a 24,0	Alto	0,75
Acima de 24	Muito alto	1,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

O modelo de risco de incêndios de Batista *et al.* (2014), utilizado neste trabalho, combina todas as variáveis previamente citadas e apresenta um risco mais abrangente. A influência da proximidade urbana foi retirada da fórmula original, mantendo-se as proporções das outras variáveis, conforme equação 2.

$$RI = 0.5 \times (V) + 0.5 \times (0.25 \times FMA + 0.25 \times D + 0.25 \times O + 0.25 \times A)$$

RI é o risco de incêndio; *V* é o tipo de vegetação; *FMA* é a interpretação dos valores da Fórmula de Monte Alegre Alterada; *D* é a declividade; *O* é a orientação das encostas; *A* é a altimetria.

Os valores resultantes foram processados no sistema de informação geográfico ArcGis, utilizando a técnica de álgebra de mapas. Foram desenvolvidos mapas de *RI* para Minas Gerais, apresentados no próximo capítulo, a partir dos dados de risco obtidos da equação 2.

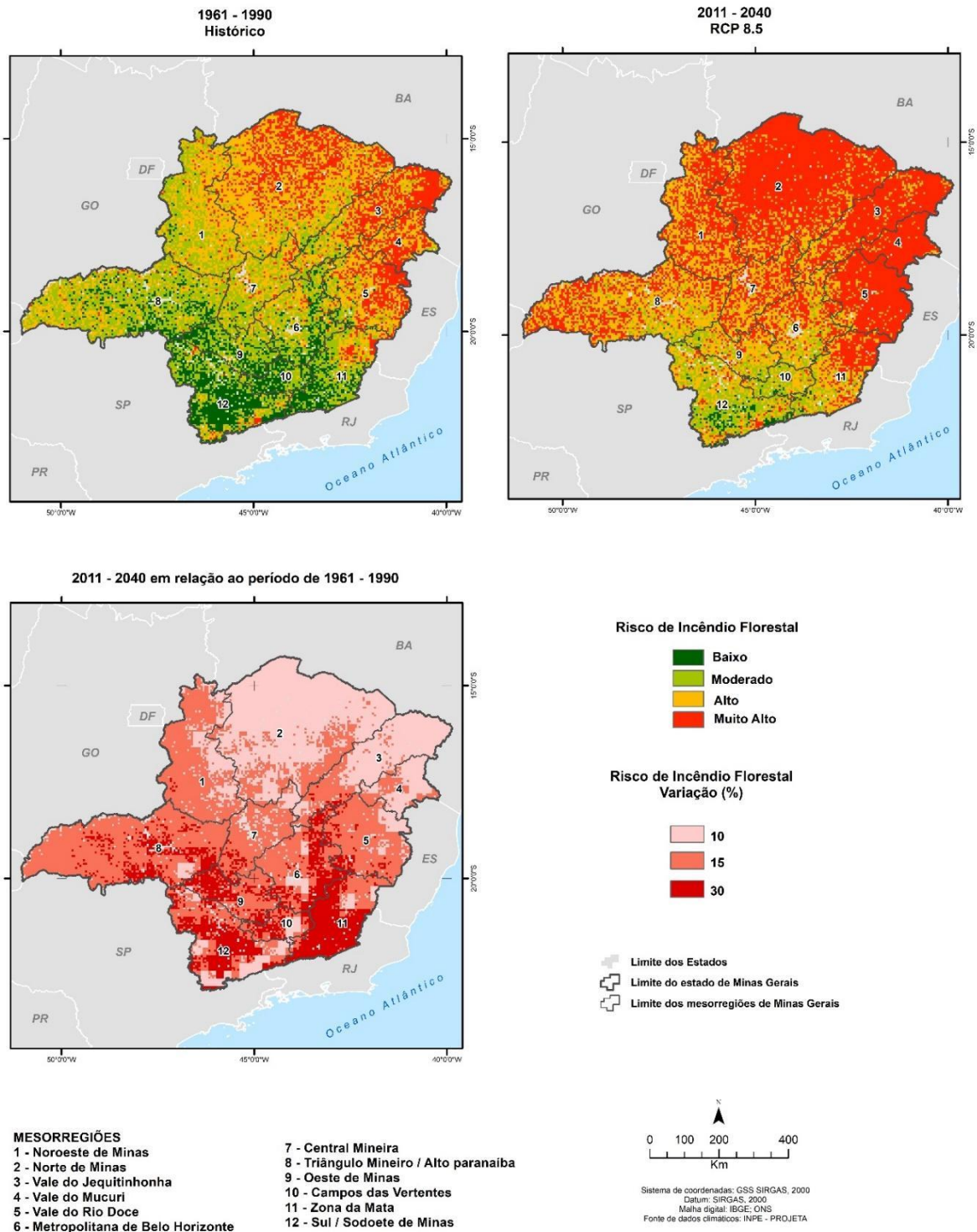
Para avaliar se há correlação entre as áreas de alto RI florestal e os setores de alta incidência de Eucalipto, usou-se os mapas produzidos por Borges, Leite e Leite (2018), tendo as doze mesorregiões do estado de Minas Gerais como referência.

3 RESULTADOS

3.1 RI florestal para Minas Gerais

Os resultados para o RI florestal em Minas Gerais, destacando-se as mesorregiões do estado, com base nas mudanças do clima e nas características fitotopográficas são apresentados nos mapas da Figura 4.

Figura 4 - RI Florestal para Minas Gerais



Fonte: Elaborado pelos autores.

Nota: Risco de incêndio florestal para Minas Gerais modelo Eta-HadGEM2-ES cenário RCP 8.5.: período 1961-1990, 2011-2040 e diferença percentual entre ambos.

3.2 Avaliação da influência das florestas de Eucalipto nos incêndios florestais

Tendo por base o trabalho de Borges, Leite e Leite (2018), observa-se que as mesorregiões do Vale do Jequitinhonha, Vale do Rio Doce, Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba, Norte, Noroeste e região Central do Estado destacam-se na exploração do Eucalipto. Conforme relatório do CEIF já apresentado, os riscos de um incêndio florestal, em regiões com Eucalipto, ganhar grandes proporções são muito significativos, portanto, fica claro o potencial agravante que as mesorregiões citadas apresentam, se acometidas por um eventual incêndio florestal.

4 DISCUSSÃO

O emprego das fórmulas de RI à base de dados, descrito nesse artigo, só se fez possível devido ao apoio da Waycarbon Soluções Ambientais e Projetos de Carbono, na pessoa da Dra. Melina Amoni S. Alves, com computadores e *softwares* capazes de realizar as análises propostas, sem os quais o método proposto não conseguiria chegar aos resultados obtidos.

No presente trabalho, demonstrou-se que em todo o estado de Minas Gerais, o RI aumentará em pelo menos 10% para projeções até 2040, sendo que em várias mesorregiões a variação observada é superior a 15% de aumento, tendo o registro histórico como referência. A Zona da Mata, Sul / Sudoeste, Oeste, Campos das Vertentes e região Metropolitana de Belo Horizonte apresentam um crescimento marcante no RI quando comparado ao registro histórico. Destaca-se um aumento de 30% no RI para quase toda Zona da Mata no período. As regiões citadas passam de um risco “baixo” a “moderado” para um risco “moderado” a “alto” em 2040, mas não são os pontos mais sensíveis a serem destacados.

Pode-se perceber que nas mesorregiões do Vale do Jequitinhonha, Vale do Mucuri e Vale do Rio Doce e Norte de Minas, o RI em 2040 se caracteriza como “muito alto” em quase a totalidade do mapa. Mas, a maior preocupação se concentra no Norte, Noroeste e região Central do estado, além do Vale do Jequitinhonha e Vale do Rio Doce. Esses setores, além dos índices de RI elevados, são exatamente as regiões em que o Eucalipto se encontra abundante e em franco crescimento, apesar do potencial produtivo não ser o melhor do estado (BORGES; LEITE; LEITE, 2018; GUIMARÃES; SANS, 2010).

A qualidade questionável do manejo do abundante combustível, somada a possível influência das mudanças estimadas do clima, apresentadas nesse artigo, fazem com que tais regiões necessitem de maior atenção dos órgãos de prevenção à incêndios florestais e

uma metodologia padronizada de manejo do combustível é fundamental para reduzir a proporção dos danos e das perdas humanas em eventuais incêndios florestais.

Analisando as políticas florestais e de proteção à biodiversidade em Minas Gerais, nota-se que essas não são devidamente rígidas frente ao risco. A Lei Estadual nº 20.922, de 16 de outubro de 2013, permite o plantio de espécies exóticas sem prévia autorização ou plano de manejo. Tendo em vista o potencial danoso de um combustível que eleva a complexidade e a dificuldade de combate dos incêndios florestais, como descrito no relatório do CEIF (2017), fica evidente a necessidade de o estado tratar o tema com maior preocupação. A regulamentação das atividades florestais, com fiscalizações frequentes e eficientes, o fomento ao manejo dos combustíveis florestais, a capacitação do agronegócio para a adoção de práticas mitigadoras do risco e a formação de brigadas orgânicas nas empresas são práticas positivas que poderiam, em uma eventual revisão da legislação vigente, se tornar obrigações ao agronegócio.

O CEIF relata que o território português, que foi atingido pelo incêndio florestal de PG em 2017, possuía um potencial de RI muito elevado devido às condições climáticas, ao relevo acidentado e à cobertura vegetal muito densa. Parte dessa cobertura não tinha sido afetada por grandes incêndios nos últimos anos, dispondo por isso de uma carga combustível muito elevada e mal gerida. A falta de limpeza do entorno das estradas permitiu que muitas pessoas fossem surpreendidas em plena fuga pela fumaça e radiação do incêndio, pelas chamas da vegetação ao redor e mesmo por árvores caídas na própria estrada. A quase totalidade das vítimas morreram quando tentavam fugir de carro pela estrada, apenas em um trecho de 400 metros da EN236-1 30 pessoas perderam a vida (CTI, 2018).

Ainda segundo o CEIF (2017), a grande dimensão da tragédia coloca em evidência a fragilidade do sistema de emergência português, que não estava preparado para fazer face a um número tão massivo de pessoas afetadas, feridas ou mortas. Fato que traz grande preocupação quando comparamos todos os massivos esforços internacionais e o número expressivo de viaturas e aeronaves empregadas à época ao que temos disponível no Brasil para combater catástrofes do gênero.

A CTI propõe, em seu relatório sobre o grande desastre de Portugal (CTI, 2018), o estímulo a criação das Zonas de Proteção às Aldeias (ZPA) de Portugal como projeto de criação de interfaces urbano florestais mais resilientes ao fogo. Foi desenvolvido um plano de ação frente à tragédia de 2017, em que vários objetivos foram traçados para mitigar futuros desastres. Dentre os objetivos propostos, alguns estão relacionados com o

presente trabalho, como a valorização ambiental, conservação e fomento da biodiversidade, findar a exploração florestal intensiva de Eucalipto numa faixa de no mínimo 100 metros das casas e a eliminar, dentro da ZPA, os Eucaliptos, substituindo-os por árvores como sobreiros (espécies autóctones e mais resistentes ao fogo) e outras folhosas de forma correta e ordenada (CTI, 2018). A ação descrita, evidencia pontos relevantes de aprendizado pós-tragédia, que devem ser levados em consideração por outros estados e nações que sofrem com incêndios florestais para reduzir as perdas naturais e materiais e evitar possíveis fatalidades.

O CEIF finaliza seu relatório sugerindo a criação de um Programa Nacional de Gestão dos Incêndios Florestais, que envolva e congregue as entidades mais diversas da sociedade civil e do Estado. Este programa teria um caráter interministerial e a capacidade de mobilizar as várias entidades, incluindo a população. Tal sugestão converge com as demandas que Minas Gerais apresenta na logística e operacionalização do combate aos seus incêndios florestais.

Segundo a primeira prioridade do Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030, para amplo entendimento do risco de desastres, as políticas e práticas para a gestão do risco devem ser baseadas em uma compreensão clara do risco em todas as suas dimensões de vulnerabilidade, capacidade, exposição de pessoas e bens e características dos perigos ao meio ambiente. Tal conhecimento pode ser aproveitado para realizar uma avaliação de riscos pré-desastre, para prevenção e mitigação e para o desenvolvimento e a implementação de preparação adequada e resposta eficaz a desastres. Para alcançar esse objetivo, se faz necessário promover colaboração entre mecanismos e instituições globais e regionais para a implementação de instrumentos coerentes e ferramentas relevantes para a redução do risco de desastres (ONU, 2015).

Portanto, concluímos que é imperativo que Minas Gerais continue a fortalecer projetos interagências, como a Força Tarefa Previncêndio, criada através do Decreto nº 44.043, de 09 de junho de 2005, ou o Plano Integrado de Preparação e Resposta aos Incêndios Rurais, lançado em 2021, pelo CBMMG. Tais ações estimulam a prevenção à incêndios florestais e melhoram a preparação dos atores envolvidos em eventuais sinistros de grande vulto. Estimular a pesquisa e discussão das metodologias empregadas na gestão de risco e na resposta, como feito nos Grupos Táticos Operacionais do CBMMG, também são projetos fundamentais para que os conhecimentos sejam atualizados e difundidos na tropa.

Recomendamos, para trabalhos futuros, a proposição e organização de simulados conjuntos aos demais órgãos atinentes ao assunto. O mapeamento das unidades BM relacionadas às áreas de maior risco destacadas no presente artigo também poderia auxiliar na preparação da tropa que eventualmente será acionada. Recomendamos, também, a formulação de materiais que prevejam e sistematizem os possíveis recursos necessários, áreas de maior risco, possíveis ações a serem tomadas e os agentes que irão atuar, caso um incêndio florestal de grandes proporções venha a ocorrer em Minas Gerais.

REFERÊNCIAS

BATISTA, A. C. *et al.* Análise dos impactos das mudanças climáticas sobre o risco de incêndios florestais no Estado do Paraná. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 104, 2014.

BORGES, M. G.; LEITE, M. E.; LEITE, M. R. Mapeamento do Eucalipto no Estado de Minas Gerais Utilizando o Sensor Modis. **Espaço Aberto**, PPGG - UFRJ, Rio de Janeiro, v. 8, n.1, 2018. DOI: 10.36403/espacoaberto.2018.14364

CEIF - Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais. **O Complexo de Incêndios de Pedrógão Grande e Concelhos Limítrofes, iniciado a 17 de Junho de 2017**. Universidade de Coimbra, 2017.

CTI - Comissão Técnica Independente, Guerreiro J. *et. al.* (coord.) **Avaliação dos incêndios ocorridos entre 14 e 16 de outubro de 2017 em Portugal Continental**. Relatório Final. Assembleia da República. Lisboa, 2018.

DISTRITO FEDERAL. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Manual Básico de Combate a Incêndio**. Módulo I, 2. ed. Brasília-DF, 2013.

DISTRITO FEDERAL. Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal. **Norma Reguladora Nr 03. Metodologia para Investigação de Incêndio Florestal**. Brasília-DF, 2009.

GUIMARÃES, D. P.; SANS, L. M. A. **Zoneamento do Potencial Produtivo do Eucalipto em Minas Gerais**. EMBRAPA, 2010. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/486013/uso-do-modelo-de-crescimento-3-pg-para-o-zoneamento-do-potencial-produtivo-do-Eucalipto-no-estado-de-minas-gerais>. Acesso em: 26 abr. 2019.

FREIRE, P. F. B. **Uso do sistema de informações geográficas para o Mapeamento de focos de calor por incêndios Florestais: um estudo de caso na área do Parque Nacional da Chapada dos Guimarães - Mato Grosso**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório 2017**. 2017

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura 2015**, v. 30, 2015.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Topodata - Banco de dados geomorfológicos do Brasil**. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br>. Acesso em 14 jul. 2019.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa queimadas do INPE - versão 10, Junho/2016**. Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovação e Comunicação, 2016.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. **Relatório do IPCC/ONU: novos cenários climáticos**. Geneva: ONU, 2014.

LIU, Z.; YANG, J.; CHAN, Y.; WEISBERG, P. J. Spatial patterns and drivers of fire occurrence and its future trend under climate change in a boreal forest of Northeast China. **Global Change Biology**, London, v. 18, n. 6, 2012.

MINAS GERAIS. **Cartilha sobre a nova lei florestal de Minas Gerais Orientações aos produtores rurais**. Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013. Belo Horizonte: Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais, 2013.

NFPA - National Fire Protection Association *et al.* **NFPA 921: Guide for Fire and Explosion Investigations**, 2011 edition. National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2011.

NUNES, J. R. S. *et al.* FMA+ - Um novo índice de perigo de incêndios florestais para o estado do Paraná, Brasil. **Floresta**, v. 36, n. 1, 2006.

OLIVEIRA, D. S. *et al.* **Zoneamento de risco de incêndios em povoados florestais no norte de Santa Catarina**. 2002. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

ONU – Organização das Nações Unidas - **Marco de Sendai para a Redução do Risco de Desastres 2015-2030**. A/CONF.224/L.2, 2015.

SÃO PAULO. Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo. **Manual de combate a incêndios florestais**. 1. ed., São Paulo, 2006.

SETZER, A. W.; SISMANOGLU, R. A.; MARTINS, G. **Metodologia do cálculo do risco de fogo do programa queimadas do inpe-versão 10**, 2016.

TRINDADE, C. A. *et al.* **Uso de ferramentas de geoprocessamento para apoio à Elaboração de laudos de incêndios florestais**. 2008. Monografia (Curso de Perícia de Incêndio) - Divisão de Investigação e Prevenção de Incêndios, Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, Brasília, 2008.

WESTERLING, A. L.; BRYANT, B. P. Climate change and wildfire in California. **Climatic Change**, v. 87, n. 1, (Supl.), 2008.



Artigo Original

USO DE TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL PARA A PREDIÇÃO DE OCORRÊNCIAS DE INCÊNDIOS EM VEGETAÇÃO

USE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES TO PREDICT VEGETATION FIRE OCCURRENCES

Flavio Mauricio da Cunha Souza¹

DOI: <https://doi.org/10.56914/vigiles.v4i1a12>

¹ Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais.

RESUMO

As mudanças climáticas ocorridas nas últimas décadas, implicaram em alterações dos períodos chuvosos e de estiagem, que são os principais fatores levados em consideração para o planejamento de órgãos públicos, como o Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), no enfrentamento dos incêndios em vegetação. Com o avanço das ferramentas computacionais e a disponibilidade de dados correlativos a ocorrências de incêndios em vegetação, como dados climáticos, algumas técnicas de Inteligência Artificial se tornaram viáveis para predições desse tipo de ocorrência. Neste sentido, esta pesquisa propõe desenvolver uma ferramenta baseada em Redes Neurais Recorrentes (RNN) – Long Short Term Memory (LSTM), que utiliza dados históricos de atendimentos de ocorrências de incêndios em vegetação e de variáveis meteorológicas para a predição destes eventos. A ferramenta desenvolvida apresentou boa acurácia na predição dos períodos mais propensos à ocorrência desses incêndios, podendo ser utilizada pelo comando do CBMMG como fonte de assessoramento.

Palavras-chave: Incêndios em vegetação; Inteligência artificial; Predição; Dados climáticos; Planejamento.

ABSTRACT

Climate change in recent decades has led to changes in both wet and dry seasons, which are the main factors taken into account for the planning of public bodies, such as the Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais (CBMMG), regarding vegetation fire fighting. With the development of computational tools and the availability of data related to the occurrence of vegetation fires, such as climate data, some Artificial Intelligence techniques have become viable to predict this type of occurrence. In this sense, this research proposes to develop a tool based on Recurrent Neural Networks (RNN) – Long Short Term Memory (LSTM), which uses historical data from occurrences of fires in vegetation and meteorological variables to predict these events. The developed tool showed good accuracy in predicting the periods most prone to the occurrence of these fires, and can be used by the CBMMG Command as a source of advice.

Keywords: *Vegetation fires; Artificial Intelligence; Prediction; Climate data; Planning.*

Recebido em: 10/05/2021 - Aprovado em: 16/08/2021

E-mail: flavio.cunha@bombeiros.mg.gov.br

1 INTRODUÇÃO

Operações em incêndios em vegetação são complexas, envolvem riscos e dificuldades de atuação. O efetivo controle deste tipo de operações, do pessoal envolvido e da dinâmica do fogo, demandam planejamento adequado e gerenciamento correto do emprego dos recursos humanos e logísticos. O planejamento deve preceder qualquer ação e um estudo de situação bem feito deve fornecer os dados necessários para que o planejamento seja adequado e exequível. Com o intuito de antever essas ocorrências e antecipar ações preventivas, neste trabalho propõe-se o desenvolvimento de uma ferramenta computacional que utilize técnicas de inteligência artificial, para indicar de maneira confiável a possibilidade de ocorrências de incêndio em vegetação. O objeto de estudo deste trabalho foi o Parque Estadual Serra Verde (PESV), em Belo Horizonte, Minas Gerais. Em termos de aplicação e uso dos conceitos de redes neurais artificiais, no campo da predição e do combate aos incêndios, vale destacar alguns trabalhos recentemente publicados, tais como apresentados em Fernandes *et al.* (2018a, 2018b, 2020) e Fernandes (2019).

O PESV é uma área de preservação ambiental que fica localizada nas proximidades da Cidade Administrativa de Minas Gerais (CAMG), sede do governo estadual, e de outras edificações residenciais. Por diversos motivos, principalmente em épocas de estiagem, ocorrem focos de incêndios nessa área. A proximidade dos focos de incêndio no PESV às residências e à CAMG geram situações adversas e perigosas a pessoas e bens. Para o rápido e efetivo emprego de bombeiros militares no combate à incêndios nas áreas adjacentes à CAMG, é necessário o empenho de tropa extraordinária do CBMMG, composta pelos militares do quadro administrativo, que trabalham nos vários prédios do complexo, denominado “Quarto Esforço” (MINAS GERAIS, 2017). Esse empenho deve ser bem planejado, de forma que os militares sejam mobilizados o quanto antes, dado o princípio de incêndio, e desmobilizados tão logo o incêndio seja mitigado, para que voltem a desempenhar suas funções administrativas que ficaram suspensas nesse período.

Atualmente, o planejamento para mobilizar esses militares é baseado numa janela de meses fixa no ano, estimada pela média anual de precipitação de chuva no estado de Minas Gerais (MINAS GERAIS, 2018a), chamada de “Período de Estiagem”, que compreende os meses de abril a setembro (MINAS GERAIS, 2018b). Porém, as mudanças climáticas das últimas quatro décadas, percebidas em Minas Gerais, têm causado alterações dessa janela, podendo adiar, atrasar, encurtar ou aumentar o Período de

Estiagem (REBOITA *et al.*, 2018). Essas alterações podem gerar empenhos desnecessários do Quarto Esforço ou sua desmobilização numa época muito suscetível à ocorrência de incêndios naquele local. A previsão desses eventos, em tempo hábil para planejamento, se mostra útil para otimizar o emprego de recursos do CBMMG, bem como minimizar os possíveis danos causados ao PESV, à CAMG e seus usuários e às demais edificações no entorno.

Em incêndios em vegetação, o comportamento do fogo é resultado de interações entre clima, condições do combustível, topografia, técnica de queima e forma de ignição. A umidade dos vegetais varia dependendo da espécie e, independente do percentual de umidade interna, o vegetal pode entrar em combustão. Porém, somente quando a umidade interna do vegetal apresenta valores menores que 12%, há a possibilidade de propagação das chamas (TORRES, 2016). No período de estiagem, há o acúmulo na superfície do solo de folhas secas, gravetos e pequenas lascas de árvores, de diâmetro inferior a 6 mm, que pode, em contato com o ar quente e seco, num período superior a uma hora, passar de úmido (> 50%) para valores inferiores a 12%. Ou seja, mesmo após um dia de chuvas, essa vegetação, em contato direto com a radiação do sol e a baixa umidade do ar, poderá ficar em condições de propagar rapidamente um incêndio (TORRES, 2016). Temperaturas ambiente elevadas, associadas à baixa umidade relativa do ar, aumentam a evaporação nos vegetais, tornando-os mais secos e, conseqüentemente, mais combustíveis. Portanto, o clima local e suas variáveis meteorológicas influem diretamente nos ecossistemas e processos biológicos (TORRES, 2016).

Com base em análises utilizando estatísticas cruzadas da correlação de Pearson(r), que é uma medida de associação linear entre variáveis (FIGUEIREDO FILHO; SILVA JÚNIOR, 2016), as variáveis meteorológicas que mais contribuem para a ocorrência de incêndios em vegetação são: umidade relativa máxima e mínima, precipitação, velocidade do vento e radiação solar (VIGANO, 2017).

Métodos de inteligência artificial, como a Rede Neural Artificial *Multilayer Perceptron* (RNA/MLP), com o algoritmo *backpropagation* para recalculando os pesos das ligações entre neurônios de diferentes camadas, foram utilizados para a previsão de incêndios e queimadas, tendo obtido resultados significantes em biomas como florestas no norte de Portugal (SAFI; BOUROMI, 2013), ecossistemas de florestas no Mediterrâneo (SATIR *et al.*, 2016) e no pantanal brasileiro (VIGANO *et al.*, 2017), valendo destacar também os trabalhos realizados recentemente na Região Metropolitana de Belo Horizonte desenvolvido por Fernandes (2019).

Entretanto, os resultados referenciados mostram que esse método funcionou muito bem para situações em que foram consideradas poucas ou apenas uma variável de entrada e grandes massas de dados históricos, como no caso do pantanal brasileiro (VIGANO *et al.*, 2017), tendo sua acurácia diminuída quando foram aumentadas as variáveis de entrada e foi reduzido o período de tempo analisado de dados históricos.

Este é um fato importante para este trabalho, uma vez que o CBMMG digitalizou seus registros de ocorrências a partir de 2012, sendo inviável a consulta de dados históricos anteriores.

Outra abordagem para a previsão de incêndio florestais, também em Portugal, foi a substituição do *backpropagation* pelo *Particle Swarm Optimization* (PSO) para determinar os pesos da RNA, a fim de diminuir o erro considerando maior quantidade de variáveis e menor período de dados históricos para o treinamento da rede (STORER; GREEN, 2016). Neste caso, a substituição do algoritmo de cálculo dos pesos da RNA melhorou e diminuiu significativamente o erro, mas outros tipos de ações, como a quebra de variáveis discretas em unidades menores, ano em mês, por exemplo, se mostraram mais eficientes para este fim.

Para uma análise eficiente das abordagens citadas e dos resultados desta pesquisa para a previsão de incêndios em vegetação é fundamental o entendimento do conceito de séries temporais. As séries temporais são observações de variáveis feitas de forma sequencial ao longo do tempo. Devido a sua estrutura, uma série temporal apresenta várias características, como tendência e sazonalidade e, através delas, é possível encontrar padrões que podem facilitar previsões. Tendência é uma variação, ascendente ou descendente, que se mantém como um padrão durante um certo período de tempo (MORETTIN; TOLOI, 2004). Uma série temporal é sazonal (periódica) quando os fenômenos se repetem a cada período idêntico de tempo, afetando o comportamento da série consistentemente ao longo de sua duração. O menor período para este fenômeno repetitivo é chamado de período sazonal (MORETTIN; TOLOI, 2004), como é o caso dos incêndios em vegetação.

Além do conceito de séries temporais, para facilitar o entendimento da ferramenta proposta nesta pesquisa, é necessário definir o que é uma Rede Neural Artificial (RNA). A RNA pode ser definida como uma estrutura matemática não-linear, capaz de representar arbitrariamente processos não-lineares que relacionam entradas e saídas de um sistema. Em suma, deve ser uma estrutura com potencial de aplicação em situações que requeiram a classificação de padrões, aproximação de funções, aprendizado em áreas de difíceis

modelagens, de previsão, e com frequentes mudanças de ambiente (HAYKIN, 2009). O neurônio artificial é inspirado numa abstração do funcionamento de um neurônio real, que pode ser descrita pela Equação 2.1,

$$y = \varphi \left(\sum_{i=1}^m w_i x_i + b \right) \quad (2.1)$$

em que x_1, x_2, \dots, x_m são os sinais de entrada; w_1, w_2, \dots, w_m os respectivos pesos sinápticos; b é um bias, $\varphi(\cdot)$ uma função de ativação e y a saída.

Vários neurônios interconectados, em uma ou mais camadas, formam redes que têm a capacidade de reproduzir com muita precisão diversos tipos de modelos complexos.

As redes neurais alimentadas diretamente, ou *feedforward neural networks*, são os tipos mais comuns de redes neurais. Elas são caracterizadas pelas conexões entre os neurônios que não formam laços fechados. Ou seja, o fluxo de informações ocorre apenas no sentido das entradas para as saídas, não há realimentação da rede. Essas redes são compostas por camadas conectadas em sequência e as camadas fundamentais dessas redes são: camada de entrada, camada interna, ou oculta, e camada de saída (SILVA, 2019). Geralmente, são utilizadas redes densamente conectadas, isto é, todo neurônio é conectado a todos os neurônios de sua camada posterior.

Um dos algoritmos mais utilizados e comuns para o treinamento e correção de erros de uma rede neural diretamente alimentada é denominado *backpropagation* (LINNAINMAA, 1976). Esse algoritmo apresenta ao modelo, descrito pela rede neural, um conjunto de pares de entradas e saídas conhecidos. A partir do vetor de entrada, o modelo calcula a saída e, em seguida, o erro determinado por uma função que compara a saída calculada com a saída desejada. Por fim, os pesos das conexões entre os nós da rede são ajustados a fim de minimizar esse erro, geralmente pelo método do gradiente. Para isto, deve ser obtida a derivada parcial do erro relativo a cada peso ajustável. Cada ciclo desse processo é chamado de época. O número de épocas, é o número de vezes que todo o conjunto de dados é passado através da rede neural durante o treinamento (JANG; SUN; MIZUTANI, 1997). Atualizar os pesos e outros parâmetros com apenas em uma época não é suficiente, já que levaria ao subajuste (*underfitting*). À medida que o número de épocas aumenta, mais vezes o peso e outros parâmetros são atualizados na rede neural, e assim, a precisão do treinamento e a precisão da validação aumentarão. No entanto, quando o número de épocas atinge um certo ponto, a acurácia da validação começa a diminuir, enquanto a acurácia do treinamento ainda está aumentando. Isso significa que o modelo está

superajustando (*overfitting*). Assim, o número ideal de épocas é o ponto em que a acurácia da validação atinge seu valor mais alto.

Em problemas que tratam de séries temporais, um tipo de rede neural que tem ganhado campo e sendo bastante utilizada são as redes neurais recorrentes (RNN), que possui pelo menos um laço fechado. Seu modelo equivalente, diretamente alimentado, é obtido pela sequência de entradas de dados de interações passadas. Essa arquitetura permite, de maneira mais simplificada, processar dados sequenciais, de forma que os estados das entradas anteriores são propagados, como um tipo de memória. A ideia principal é que uma RNN pode ser alimentada de modo reverso, com dados relevantes ao modelo. A retropropagação dos erros em RNNs é chamada retropropagação através do tempo, ou *backpropagation through time* (WERBOS, 1990).

Porém, a habilidade de RNNs convencionais trabalharem com informações das entradas passadas é restrita, pois, dificilmente consegue treinar relações de longo prazo. O gradiente propagado por muitos estágios tende a se perder ou divergir (GOODFELLOW *et al.*, 2016). Para evitar esse tipo de problema com o gradiente, são usadas arquiteturas especiais de redes recorrentes, como a *Long Short-Term Memory* (LSTM).

Long Short-Term Memory (LSTM) é um tipo especial de RNN proposto por Hochreiter e Schmidhuber (1997) para solucionar o problema do treinamento de dependências de longo prazo.

Em redes com muitas camadas, como é o caso das LSTM, alguns problemas são comuns de acontecer. Um deles ocorre se a rede é iniciada com uma taxa de aprendizagem muito alta. Nesse contexto, os pesos de cada unidade da camada oculta de neurônios se tornarão muito grandes positivos ou negativos. As derivadas dos erros nestas unidades se tornarão muito pequenas e o erro não decrescerá. Neste caso, geralmente, um platô é confundido com um mínimo local.

Uma alternativa para essa situação é o algoritmo de otimização *RMSprop*, que divide a taxa de aprendizagem para um peso, pela média corrente das magnitudes dos gradientes recentes para aquele peso. O *RMSprop* combina a ideia de apenas usar o sinal do gradiente com a ideia de adaptar o tamanho do passo separadamente para cada peso (KURBIEL; KHALEGHIAN, 2017).

2 MÉTODO

2.1 Contexto

Considerando os aspectos positivos e negativos, indicados na introdução, dos trabalhos apresentados por (VIGANO *et al.*, 2017) e (STORER; GREEN, 2016), e a necessidade de prever as ocorrências de incêndios no PESV com o menor erro possível, trabalhando com múltiplas variáveis num período curto de tempo de dados históricos, decidiu-se, para este trabalho, testar uma nova abordagem com o uso de Redes Neurais Recorrentes (RNN), que são aplicadas amplamente em previsões envolvendo séries temporais (MANDIC; CHAMBERS, 2001). O que também é apresentado em trabalhos como os de Anochi e Campos Velho (2014), bem como em Fernandes (2019) e Fernandes *et al.* (2020). Neste trabalho, serão levadas em consideração apenas a tendência e a sazonalidade. Como há dependências de longos prazos entre as variáveis de entrada com a saída desejada, as LSTM se mostram promissoras neste caso.

Com base nos registros históricos de atendimento do CBMMG, as ocorrências de incêndios em vegetação no PESV e dos dados históricos das variáveis meteorológicas do banco de dados do INMET, uma rede neural recorrente do tipo LSTM foi construída para ter como entradas esses registros e dados, fornecendo como saída a previsão de novas ocorrências.

De posse desta previsão, é possível analisar o uso de redes LSTM para este tipo de problema de forma quantitativa, por meio do método de validação cruzada da rede, e também de forma qualitativa, se atende às necessidades do comando do CBMMG quanto à uma ferramenta de assessoramento.

O interesse neste tipo de trabalho não é prever apenas quantas ocorrências podem acontecer num período de tempo, mas também saber quando esse período terá início e fim, já que esse tipo de dado é sazonal.

Para se ter um prazo razoável para o planejamento de tomadas de decisões relativas às ações preventivas e de combate aos incêndios em vegetação no PESV, foi definido que o intervalo de interesse para as previsões fosse de um ano, de modo que a previsão do período de estiagem possa ser visualizada por completo antes dele se iniciar.

2.2 Materiais utilizados

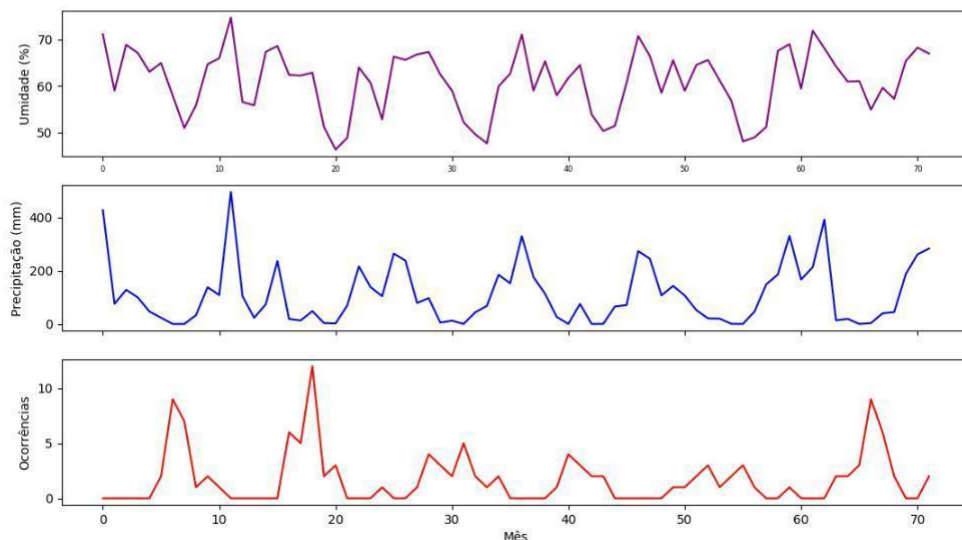
Para a realização deste projeto foram utilizados um computador pessoal, *notebook* com processador *intel i3* e 4 Gb de memória *RAM*, Ambiente de Desenvolvimento Integrado (IDE) genérico para desenvolvimento de códigos de programação, linguagem *Python* de programação e diversas das suas bibliotecas.

2.3 Dados

Os dados utilizados como entradas da rede neural construída foram os registros de ocorrências atendidas pelo CBMMG no PESV, no período entre 01/01/2013 e 31/12/2018, solicitados junto ao Centro Integrado de Defesa Social (CINDS-BM), e os dados meteorológicos da estação meteorológica 83587 (Latitude: -19,93; Longitude: -43,93) do INMET, em Belo Horizonte, disponíveis no Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP).

O BDMEP oferece dados de uma gama de variáveis meteorológicas diferentes. Os que selecionados para a utilização neste trabalho, dentre aqueles citados na seção 2.2.4, tiveram como critérios a disponibilidade da variável no BDMEP e baixa quantidade de dados faltantes ou trocados. Sendo assim, as variáveis meteorológicas selecionadas foram umidade relativa do ar e precipitação. Os dados de históricos de ocorrências, além de servirem de comparação com os dados de saída – previsões – da rede, também foram utilizados como entradas, uma vez que este tipo de dado como entrada obteve maior eficiência na minimização dos erros de previsão no trabalho de Viganò (2017).

Figura 1 - Representação gráfica dos dados utilizados neste trabalho



Fonte: Elaborado pelo autor.

Considerando a acentuada sazonalidade dos dados e a necessidade do planejamento das ações num prazo razoável, definiu-se a divisão do período total em meses. Portanto, as variáveis trabalhadas, que fazem parte da base de dados do problema,

são as médias mensais de umidade relativa do ar, as precipitações totais mensais e os totais mensais de ocorrências atendidas pelo CBMMG, no PESV, ao longo de 72 meses, exibidos pelos gráficos da Figura 1.

Definida a base de dados, devido a sua heterogeneidade, foram necessários tratamentos prévios. Primeiramente, foram detectados dados faltantes ou com valores espúrios. Para este tipo de problema, foi utilizada interpolação para o preenchimento desses dados, de modo a minimizar a interferência deles na rede. Outro tipo de tratamento, foi a normalização desses dados, por se tratarem de informações de diferentes ordens de grandeza, através de uma transformação linear para o intervalo [0,1].

Como as LSTM trabalham com previsões baseadas em séries temporais e considerando as características da base de dados, foi criada uma estrutura de dados previsores em que cada previsão é feita com base em informações dos doze meses anteriores. Esta estrutura é formada pelo processo de “janelamento móvel”, semelhante ao utilizado por Bastos (2018).

Assim, na construção da estrutura de previsores deste trabalho, a janela de dados foi de $n = 12$ meses e o passo utilizado foi de $j = 1$. Esse processo foi repetido em número de deslocamentos $k = 60$, para percorrer todo o período de dados, criando uma estrutura de previsores tridimensional de dimensões $d = n \times p \times k$, sendo p o número de variáveis previsoras (ou atributos previsores).

Para este trabalho, foram separados do total de 72 meses, dados dos 60 meses primeiros para treinamento da rede e os 12 meses restantes para testes.

2.4 Estrutura e implementação da rede neural

A RNA utilizada foi uma rede LSTM, com três atributos previsores, três camadas ocultas, sendo que a primeira possui 100 neurônios e as duas seguintes 50 neurônios. A camada de saída possui apenas um neurônio com função de ativação linear. Essa configuração foi estabelecida empiricamente. O algoritmo de otimização utilizado para minimizar os erros dos pesos na rede foi o *RMSprop*, a função de custo foi o MSE e a métrica utilizada foi o Erro Médio Absoluto (*Mean Absolut Error* - MAE). O MAE mede a acurácia da previsão pela média das magnitudes dos erros das previsões e é mais utilizado quando se pretende medir o erro da previsão na mesma unidade que a série original.

2.5 Testes de validação

Para validar a RNA LSTM implementada nessa pesquisa, foi utilizada a validação cruzada k-fold, com base em Amaral (2017), que consiste numa técnica computacional aplicada a modelos de predição, que usa todas as amostras de dados disponíveis como amostras de treinamento e teste. O conceito se resume em repartir os dados em K conjuntos, de tamanhos aproximados. Um desses conjuntos é usado para testes e os outros K-1 conjuntos são usados para estimação de parâmetros e cálculo de erro. Este processo é realizado K vezes, assim garantindo que todos os dados sejam, ao menos uma vez, parte do conjunto de testes. No final das K iterações, o Erro Médio Absoluto (MAE - *Mean Absolute Error*) é calculado considerando todos os conjuntos. O processo descrito avalia a capacidade de predição do modelo (AMARAL, 2017).

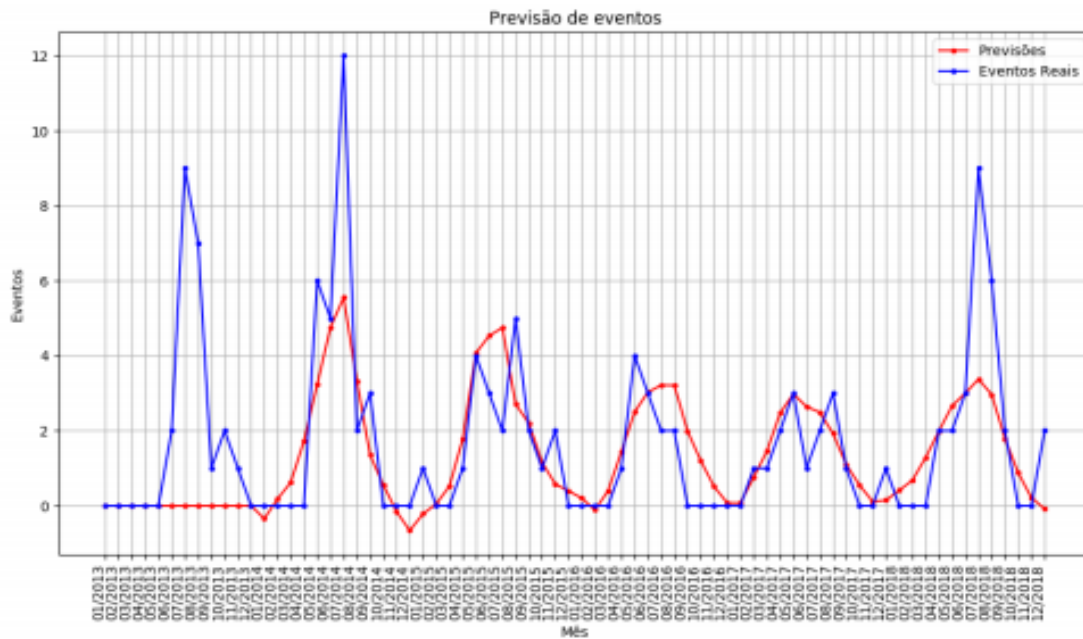
Considerando a validação cruzada k-fold, já que na base de dados utilizada constam 72 registros de cada atributo, definiu-se k=6. Conseqüentemente, a base de dados foi dividida em seis subconjuntos, onde cada subconjunto tem 12 registros, que corresponde exatamente a divisão em anos dos dados e coincide com a quantidade de informações testadas na rede.

3 RESULTADOS

3.1 Dinâmica da LSTM implementada

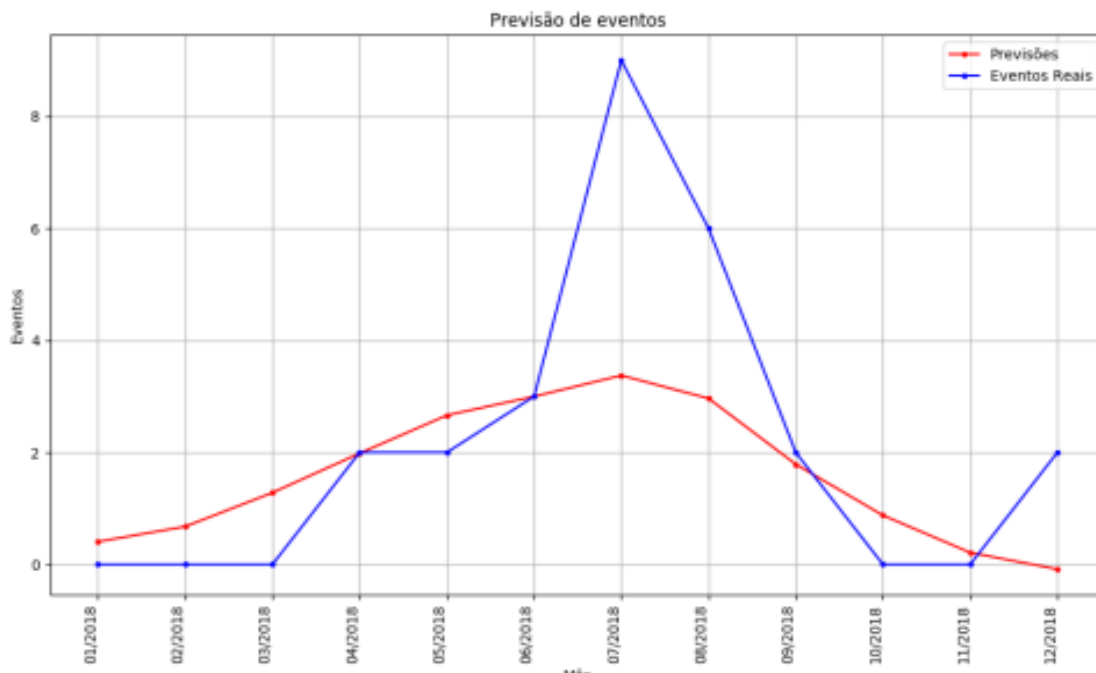
A rede LSTM implementada recebeu a estrutura de dados de treinamento por 100 épocas e *batch size*, número de exemplos de treinamento, que são apresentados no modelo antes que o peso e os bias sejam atualizados, igual a 30, gerando como saída os dados exibidos nas Figuras 2 e 3 e na Tabela 1.

Figura 2 - Gráficos dos eventos reais de ocorrências registrados e das previsões feitas pela rede LSTM implementada no período total da base de dados



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 3 - Gráficos dos eventos reais de ocorrências registrados e das previsões feitas pela rede LSTM implementada somente na parte de teste (últimos 12 meses da Figura 2)



Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 1 - Métricas da rede LSTM

Média eventos reais	Média previsões	MSE (Erro mínimo pesos)	MAE (Previsões/Eventos reais)
2,1667	1,6680	0,01348	0,9624

Fonte: Elaborado pelo autor.

4 DISCUSSÃO

Analisando os gráficos das Figuras 2 e 3, pode-se observar que as tendências das previsões dadas pelo modelo gerado pela rede LSTM coincidem com as tendências dos dados de eventos reais de ocorrências de incêndios em vegetação no PESV, principalmente nas vizinhanças, de quando o número de eventos para ambos é igual a 2. Outros fatos interessantes ao observar os pontos próximos de evento igual a 2, é que nesses pontos foram onde ocorreu a menor taxa de erro entre as previsões e eventos reais e eles aconteceram, geralmente, nas épocas de início e de término do período de estiagem. Levando em consideração os dados do teste apresentados na Figura 3 e as análises supracitadas, tomando o período entre a previsão com tendência crescente e valor próximo a 2 e a previsão com tendência decrescente e valor próximo a 2, são abarcadas 92,3% das ocorrências de incêndio em vegetação, no PESV, do ano de 2018. Resultados semelhantes são verificados repetindo-se esta mesma linha de raciocínio para os dados de treinamento e as previsões do modelo para estes dados. Nos anos de 2014 e 2017 este período se deu entre os meses de maio e setembro, o que ajudaria o comando do CBMMG na decisão de empenhar o Quarto Esforço um mês depois do que ele foi empenhado, sem prejuízos das ações no PESV. Portanto, os pontos das previsões em torno do valor 2 se mostram ótimos candidatos para a tomada de decisão do comando do CBMMG para empenho ou desmobilização do Quarto Esforço.

A tabela 1 revela que, se compararmos as previsões com os eventos reais, ponto-a-ponto, existe um erro de previsão da rede na ordem de aproximadamente 44%.

Os resultados dos erros absolutos obtidos para os k testes e a média destes erros pelo teste de validação cruzada k-fold são apresentados na tabela 2, onde é possível perceber que para diferentes partes do conjunto de dados tomados como treinamento e como teste, o MAE das previsões teve um desvio médio de aproximadamente 47%. Tendo por base os resultados das tabelas 1 e 2, verifica-se que a precisão deste modelo preditivo

foi afetada, muito provavelmente, pelo banco de dados limitado e pela variância entre os dados de um ano em relação aos demais.

Tabela 2 - Validação Cruzada k=6

K	1	2	3	4	5	6	Média MAE	Desvio Média MAE
MAE	2,0725	2,5873	0,5412	0,9628	0,6776	1,3886	1,3707	0,6445

Fonte: Elaborado pelo autor.

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados apresentados, é possível concluir que o uso de uma RNA do tipo LSTM para a previsão de ocorrências de incêndios em vegetação, no caso do PESV, não teve uma precisão muito grande. Entretanto, considerando os períodos de maior incidência deste tipo de ocorrência e as tendências em torno do valor 2, essa abordagem pode ter utilidade prática, sendo possível assessorar o comando do CBMMG no planejamento da mobilização e desmobilização do Quarto Esforço.

As maiores dificuldades para o desenvolvimento dessa ferramenta se deram pelo banco de dados limitado e pela construção, de forma empírica, da estrutura da RNA, uma vez que ainda não se tem uma técnica bem consolidada para determinar qual é o número ideal de neurônios em cada camada ou qual é o otimizador ideal para a rede.

Outras possibilidades para melhorar a precisão desse tipo de predição são testar outros tipos de RNA para a predição de incêndios em vegetação, no PESV, e comparar os resultados com os desta LSTM desenvolvida, utilizar esta LSTM em outros tipos de previsões que possuam conjuntos de dados maiores ou fazer modificações nesta LSTM para melhorar seu desempenho e testar outros intervalos de previsão para a mesma rede.

Além disso, uma sugestão seria o georreferenciamento desses dados, a exemplo do que é desenvolvido em várias pesquisas com o emprego de Sistemas de Informação Geográfica. Adicionalmente, sugere-se a integração com várias outras tecnologias, incluindo a logística de deslocamento e o monitoramento em tempo real das ocorrências e do combate aos incêndios.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R. P. F. **Aplicação de métodos computacionais a dados vibracionais para detecção de alterações estruturais**. 2017. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

ANOCHI, J. A.; CAMPOS VELHO, H. F. de. **Optimization of feedforward neural network by Multiple Particle Collision Algorithm**. 2014. *IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence (FOCI)*, 2014, pp. 128-134. DOI: 10.1109/FOCI.2014.7007817.

BASTOS, M. V. C. **Utilização de otimização evolucionária multiobjetivo no treinamento de redes neurais artificiais para a predição de tendência em séries financeiras**. 2018. Monografia (Graduação em Engenharia de Sistemas) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

FERNANDES, L. C. **Modelagem de risco de incêndios florestais utilizando redes neurais artificiais aplicada às regiões metropolitanas**. 2019. Dissertação (mestrado em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais) - Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2019.

FERNANDES, L. C.; ELMIRO, M. A. T.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C. The use of remote sensing techniques by Modis (MCD45A1) images using to identify and evaluate burned areas in the metropolitan region of Belo Horizonte - MG, Brazil. **Sustentabilidade em debate**, v. 11, 2020.

FERNANDES, L. C.; FERNANDES, R. S. C.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C. Fire Risk Modeling Using Artificial Neural Networks. *In: Rodrigues, H. C.; et al. (Org.). EngOpt 2018 Proceedings of the 6th International Conference on Engineering Optimization*. 1 ed. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG, v. 1, 2018a.

FERNANDES, L. C.; NERO, M. A.; TEMBA, P. C.; SOARES FILHO, B. S. Modelagem de risco de incêndios florestais: uma visão geral. **SODEBRÁS**, v. 13, 2018b.

FIGUEIREDO FILHO, D. B.; SILVA JÚNIOR, J. A. Desvendando os mistérios do Coeficiente de Correlação de Pearson (r). **Revista Política Hoje**, v. 18, n. 1, 2016.

GOODFELLOW, I.; BENGIO, Y.; COURVILLE, A. **Deep Learning**. [S.l.]: MIT Press, 2016.

HAYKIN, S. **Neural networks and learning machines**. 3 ed. [S.l.]: Prentice Hall/Pearson, 2009.

HOCHREITER, S.; SCHMIDHUBER, J. Long Short-term Memory. **Neural Computation**, v. 9, n. 8, 1997. DOI:10.1162/neco.1997.9.8.1735.

JANG, J.-S. R.; SUN, C.-T.; MIZUTANI, E. **Neuro-fuzzy and soft computing: a computational approach to learning and machine intelligence**. [S.l.]: Prentice Hall, 1997.

KURBIEL, T.; KHALEGHIAN, S. **Training of deep neural networks based on distance measures using RMSProp**. CoRR, abs/1708.01911, 2017.

LINNAINMAA, S. Taylor expansion of the accumulated rounding error. **BIT Numerical Mathematics**, v. 16, 1976. DOI: 10.1007/BF01931367.

MANDIC, D. P.; CHAMBERS, J. A. **Recurrent Neural Networks for Prediction: Learning algorithms, architectures, and stability**. London: John Wiley & Sons Ltd, 2001.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Memorando n. 3149 - EMBM**: 4º esforço. Belo Horizonte, 2018a.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Memorando n. 3153 - EMBM**: Período Sazonal. Belo Horizonte, 2018b.

MINAS GERAIS. Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. **Memorando n. 3143 - EMBM**: Atuação em ocorrências de combate a incêndios florestais nas imediações da CAMG durante o Período de Estiagem 2017 e orientações 4º esforço. Belo Horizonte, 2017.

MORETTIN, P. A.; TOLOI, C. M. C. **Análise de séries temporais**. São Paulo: ABE- Projeto Fisher e Editora Edgard Blucher, 2004.

REBOITA, M. S.; MARRAFON, V. H. A.; LLOPART, M.; ROCHA, R.P. Cenários de mudanças climáticas projetados para o estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, 2018. DOI: 10.5380/abclima.v1i0.60524.

SAFI, Y.; BOUROMI, A. Prediction of Forest Fires Using Artificial Neural Networks. **Applied Mathematical Sciences**, v. 7, n. 6, 2013.

SATIR, O.; BERBEROGLU, S.; DONMEZ, C. Mapping regional forest fire probability using artificial neural network model in a Mediterranean forest ecosystem. **Geomatics, Natural Hazards and Risk**, v. 7, n. 5, 2016. DOI: 10.1080/19475705.2015.1084541

SILVA, J. T. F. **Um Modelo Computacional de Redes Neurais para Localização de Faltas em Redes de Distribuição**. 2019. Monografia (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019.

STORER, J.; GREEN, R. PSO Trained Neural Networks for Predicting Forest Fire Size: A Comparison of Implementation and Performance. *In*: International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), 2016. **Anais [...]** IEEE: Vancouver, 2016. DOI: 10.1109/ijcnn.2016.7727265.

TORRES, F. T. P. Relações entre fatores climáticos e ocorrências de incêndios florestais na cidade de Juiz de Fora(MG). **Caminhos de Geografia** - revista on line, v. 18, n. 7, 2016.

VIGANO, H. H. G. *et al.* Redes Neurais Artificiais na Previsão de Queimadas e Incêndios no Pantanal. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 10, n. 5, 2017. DOI: 10.26848/rbgf.v.10.p1355-1367.

VIGANO, H. H. G. **Redes Neurais Artificiais e Análise Multivariada de Séries Temporais para a Modelagem da Previsão de Queimadas e Incêndios no Pantanal**. 2017. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento Regional) - Universidade Anhanguera-Uniderp: Campo Grande, 2017.

WERBOS, P. J. Backpropagation through time: What it does and how to do it. **Proceedings of the IEEE**, v. 78, n. 10, 1990. DOI: 10.1109/5.58337.