

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**GUILHERME AUGUSTO PICOLOTTO**

**ANÁLISE DINÂMICA DA RESPOSTA METABÓLICA E DESEMPENHO DE  
BOMBEIROS MILITARES DURANTE TAREFA SIMULADA DE RESGATE DE  
VÍTIMA EM OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIO: SUBIDAS DE ESCADA  
EM RITMO AUTOSSELECIONADO E VELOCIDADE CRÍTICA OPERACIONAL**

**CURITIBA**

**2024**

**GUILHERME AUGUSTO PICOLOTTO**

**ANÁLISE DINÂMICA DA RESPOSTA METABÓLICA E DESEMPENHO DE  
BOMBEIROS MILITARES DURANTE TAREFA SIMULADA DE RESGATE DE  
VÍTIMA EM OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIO: SUBIDAS DE ESCADA  
EM RITMO AUTOSSELECIONADO E VELOCIDADE CRÍTICA OPERACIONAL**

**DYNAMIC ANALYSIS OF THE METABOLIC RESPONSE AND PERFORMANCE  
OF MILITARY FIREFIGHTERS DURING A SIMULATED TASK OF RESCUE A  
VICTIM IN A BUILDING FIRE: CLIMBING STAIRS AT A SELF-SELECTED PACE  
AND CRITICAL OPERATIONAL SPEED**

Dissertação apresentada como requisito para  
obtenção do título de Mestre em Educação Física/  
Programa de Pós-Graduação em Educação Física  
da Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Anderson Caetano Paulo

**CURITIBA**

**2024**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



GUILHERME AUGUSTO PICOLOTTO

**ANÁLISE DINÂMICA DA RESPOSTA METABÓLICA E DESEMPENHO DE BOMBEIROS MILITARES DURANTE TAREFA SIMULADA DE RESGATE DE VÍTIMA EM OCORRÊNCIA DE INCÊNDIO EM EDIFÍCIO: SUBIDAS DE ESCADA EM RITMO AUTOSSELECIONADO E VELOCIDADE CRÍTICA OPERACIONAL**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Educação Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Ciências Do Movimento Humano.

Data de aprovação: 21 de Fevereiro de 2024

Dr. Anderson Caetano Paulo, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Anderson Zampier Ulbrich, Doutorado - Universidade Federal do Paraná (Ufpr)

Dra. Maressa Priscila Krause Mocellin, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 21/02/2024.

*Dedico este trabalho à minha esposa, filhos e  
mãe, pessoas especiais que fizeram toda a  
diferença para que eu obtivesse sucesso em  
meu trabalho.*

## AGRADECIMENTOS

Preliminarmente, quero escusar-me àquelas pessoas que estão ausentes dessas palavras, mas registro a minha indelével gratidão pelo tempo e conhecimento fornecidos para elaboração dessa pesquisa.

Agradeço a Deus, pela sua infinita misericórdia e provisão.

Ao Professor Anderson Caetano Paulo, pela orientação na presente dissertação de mestrado, pelo conhecimento ministrado nas aulas e pela serenidade diante das minhas várias limitações.

Aos Professores Anderson Zampier Ulbrich; Adriano Eduardo Lima da Silva e Maressa Priscila Krause Mocellin pelas relevantes críticas e sugestões tanto no exame de qualificação quanto na defesa da dissertação.

Aos membros do grupo de pesquisa TFESP, em especial a Prof.<sup>a</sup> Cintia, Caldeira e Elisângela, pelo incentivo e auxílio no decorrer da pesquisa.

Ao Major PM Médico Alexandre dos Santos Cabral, ao professor Luciano Guiraldelli e aos responsáveis pela Academia Engenharia do Corpo – Rebouças e Edifício Hyde Park pela disponibilidade do seu precioso tempo e espaço para realização das coletas.

A todos os bombeiros militares do CBMPR, oficiais e praças, que de alguma forma contribuíram para a condução desse estudo, doando o seu estimado tempo.

Aos meus irmãos Wislan e Orlandi, pela motivação diária.

À minha mãe Sandra, padrinhos César Augusto (*in memorian*) e Eliane e, avó Terezinha (*in memorian*) pela perseverança, cuidado e amor incondicional.

Aos meus filhos, Caleb e Joshua, por entenderem os inúmeros momentos de ausência que nos privaram do tempo em família.

À minha amada esposa, Laryssa da Silva Ressler Picolotto, pela empatia, constante incentivo, paciência e amor dedicados para que eu pudesse concluir mais esta missão.

Os bombeiros representam um grupo ocupacional único na medida em que seu trabalho os coloca em perigo diariamente para proteger a segurança e o bem-estar dos outros (Donovan *et al.*, 2009).

## RESUMO

Objetivo: Objetivou-se analisar a influência do ritmo de subida de escada no desempenho metabólico do bombeiro ao realizar o resgate de vítima em um edifício. Metodologia: Examinou-se a ventilação por minuto ( $V_E$ ), consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), equivalente metabólico (MET), produção de gás carbônico ( $VCO_2$ ), razão de troca respiratória ( $RER = VCO_2/VO_2$ ), frequência cardíaca (FC) e pulso de oxigênio ( $PuO_2 = VO_2/FC$ ) com o sistema metabólico portátil; respostas de desempenho no resgate; de percepção subjetiva de esforço (PSE) e de dores e desconforto musculoesquelético em 18 participantes, bombeiros militares masculinos, selecionados por conveniência. Primeiramente realizaram um teste ergoespirométrico máximo e depois foram distribuídos mediante um sorteio randomizado e balanceado nas demais fases de testes: a) Testes de subida de escada num ritmo pessoal autosseleccionado (Auto) o mais rápido possível e b) Testes de subida de escada num ritmo de velocidade crítica (VC). Os tempos obtidos nas distâncias de 10 e 20 andares (2ª fase) foram submetidos ao procedimento de regressão linear para determinação da velocidade crítica operacional (coeficiente angular) mediante a equação  $VC = [(N_{20} - N_{10}) / (t_{20} - t_{10})]$ . Resultados: O teste ergoespirométrico revelou um consumo de oxigênio no pico ( $VO_{2pico}$ ) de  $56,2 \pm 11,5$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$  (média  $\pm$  DP). Nos testes Auto 10, Auto 20, VC 10 e VC 20 o  $VO_{2pico}$  foi de  $52,8 \pm 8,4$ ;  $57,3 \pm 8,4$ ;  $51,0 \pm 10,0$  e  $51,7 \pm 8,0$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$  (95,8%; 103,5%; 92,1% e 93,8% do  $VO_{2pico}$ ) respectivamente e a  $FC_{pico}$  foi de  $164,0 \pm 17,0$ ;  $170,1 \pm 21,5$ ;  $160,0 \pm 10,8$  e  $169,4 \pm 11,4$  bpm (90,6%; 93,9%; 88,4% e 93,5% da  $FC_{pico}$ ) respectivamente. A ANOVA *three way* de medidas repetidas, considerando-se o nível de significância em  $p \leq 0,05$ , mostrou que subir numa velocidade crítica operacional, o bombeiro terá um melhor desempenho no andar sinistrado, pois o tempo de resgate (segundos) foi  $50,65 \pm 14,01$  e  $56,00 \pm 14,24$  para VC 10 e VC 20 vs  $58,91 \pm 11,86$  e  $70,28 \pm 19,27$  para Auto 10 e Auto 20, respectivamente. Além disso, no geral a diferença da velocidade média do arrasto entre 10 e 20 andares subindo na velocidade autosseleccionada foi de 7,7%, enquanto na VC foi de 3%. A PSE na VC 10 < Auto 10 ao final da subida ( $p = 0,017$ ) e após o resgate ( $p = 0,001$ ). Após a recuperação, a dor e desconforto musculoesquelético nas regiões das costas média e costas inferior no Auto 10 > Auto 20 e, no teste VC 10 foi maior no tornozelo direito, pé direito e pé esquerdo. Conclusão: O ritmo de subida de escada para resgatar uma vítima, interfere nas respostas metabólicas do bombeiro; o tempo de subida de escada e o tempo total foram menores na estratégia autosseleccionada; a velocidade de resgate foi maior quando adotada a VC e subir vinte andares na estratégia autosseleccionada exige um maior  $VO_2$ , revelando que a velocidade crítica operacional parece ser uma alternativa adequada de ritmo de subida de escada.

Palavras-chave: bombeiro militar; ritmo autosseleccionado; velocidade crítica; teste de subida de escada; resgate de vítima.

## ABSTRACT

**Purpose:** The objective of this study was to analyze the influence of the pace of stair climbing on the metabolic performance of firefighters when rescuing a victim in a building. **Methodology:** Ventilation per minute ( $V_E$ ), oxygen consumption ( $VO_2$ ), metabolic equivalent (MET), carbon dioxide output ( $VCO_2$ ), respiratory exchange ratio ( $RER = VCO_2/VO_2$ ), heart rate (HR) and oxygen pulse ( $PuO_2 = VO_2/HR$ ) were examined with the portable metabolic system; performance responses in the rescue; rating of perceived exertion (RPE) and musculoskeletal pain and discomfort in 18 participants, male military firefighters, selected for convenience. First, they performed a maximal ergospirometry test and then they were distributed through a randomized and balanced draw in the other phases of tests: a) Stair climbing tests at a self-selected personal pace (Auto) as fast as possible and b) Stair climbing tests at a critical speed (VC) pace. The times obtained at distances of 10 and 20 floors (2<sup>nd</sup> phase) were submitted to the linear regression procedure to determine the critical operational speed (slope coefficient) using the equation  $VC = [(N_{20} - N_{10}) / (t_{20} - t_{10})]$ . **Results:** The ergospirometry test revealed a peak oxygen consumption ( $VO_{2peak}$ ) of  $56.2 \pm 11.5$  ml.  $kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (mean  $\pm$  SD). In the Auto 10, Auto 20, VC 10 and VC 20 tests,  $VO_{2peak}$  was  $52.8 \pm 8.4$ ;  $57.3 \pm 8.4$ ;  $51.0 \pm 10.0$  and  $51.7 \pm 8.0$  ml.  $kg^{-1} \cdot min^{-1}$  (95.8%; 103.5%; 92.1% and 93.8% of  $VO_{2peak}$ ) respectively and  $HR_{peak}$  was  $164.0 \pm 17.0$ ;  $170.1 \pm 21.5$ ;  $160.0 \pm 10.8$  and  $169.4 \pm 11.4$  bpm (90.6%, 93.9%, 88.4% and 93.5% of  $HR_{peak}$ ), respectively. The three-way repeated measures ANOVA, considering the significance level at  $p \leq 0.05$ , showed that if the firefighter climbs at a critical operational speed, the firefighter will have a better performance on the floor of the accident, since the rescue time (seconds) was  $50.65 \pm 14.01$  and  $56.00 \pm 14.24$  for VC 10 and VC 20 vs  $58.91 \pm 11.86$  and  $70.28 \pm 19.27$  for Auto 10 and Auto 20, respectively. In addition, overall the difference in the average drag speed between 10 and 20 floors climbing at the self-selected speed was 7.7%, while at VC it was 3%. The RPE in VC 10 < Auto 10 at the end of the ascent ( $p = 0.017$ ) and after rescue ( $p = 0.001$ ). After recovery, musculoskeletal pain and discomfort in the middle back and lower back regions in the Auto 10 > Auto 20 and in the VC 10 test was greater in the right ankle, right foot, and left foot. **Conclusion:** The pace of climbing stairs to rescue a victim interferes with the firefighter's metabolic responses; the time of stair climbing and the total time were shorter in the self-selected strategy; the rescue speed was higher when the VC was adopted and climbing twenty floors in the self-selected strategy requires a higher  $VO_2$ , revealing that the critical operational speed seems to be an adequate alternative for stair climbing pace.

**Keywords:** firefighter; self-selected; critical speed; stair climbing test; rescue of victim.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Quantidade de ocorrências de incêndio por andar atingido entre meados de 2017 e 2022 no estado do Paraná.....	22
Figura 2 - Fases e períodos do ciclo da marcha na subida de escada.....	29
Figura 3 - Regressão linear para determinação da velocidade crítica (VC) e capacidade de trabalho anaeróbio (CTA).....	35
Figura 4 - Participante equipado para realização dos testes físicos desse estudo.....	45
Figura 5 - Simulador de escada ClimbMill (Matrix).....	45
Figura 6 - Condomínio Residencial Hyde Park (33 pavimentos).....	47
Figura 7 - Bombeiro equipado e avaliador subindo escada nas condições de ritmo autosselecionado ou velocidade crítica.....	48
Figura 8 - Representação gráfica dos lances de escada e passos intermediários ( ) até o andar sinistrado.....	50
Figura 9 - Resgate de vítima.....	54
Figura 10 - Aplicação da escala de Borg (6-20).....	56
Figura 11 - <i>Pacing</i> autosselecionado para subir 10 e 20 andares (essa figura tem os degraus e passos intermediários).....	62
Figura 12 - <i>Pacing</i> individual de arrasto da vítima após subir 10 andares no ritmo autosselecionado e no ritmo da velocidade crítica operacional.....	63
Figura 13 - <i>Pacing</i> individual de arrasto da vítima após subir 20 andares no ritmo autosselecionado e no ritmo da velocidade crítica operacional.....	64

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1 - Teste ergoespirométrico e testes de subida de escada do edifício, equipado com EPI para combate a incêndio .....</b>	<b>44</b>
--	-----------

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos de subida de escada com bombeiros .....	30
Tabela 2 - Caracterização dos bombeiros participantes.....	42
Tabela 3 - Dados de massa adicional de cada bombeiro participante .....	46
Tabela 4 - Protocolo TFESP.....	52
Tabela 5 - Escala de percepção subjetiva de esforço .....	57
Tabela 6 - Características individuais dos bombeiros militares no ritmo autosselecionado .....	60
Tabela 7 - Características individuais dos bombeiros militares no ritmo da velocidade crítica operacional .....	61
Tabela 8 - Média e desvio padrão das variáveis cardiorrespiratórias .....	69
Tabela 9 - Média, mínimo e máximo das variáveis de tempo .....	70
Tabela 10 - Média, mínimo e máximo das variáveis de PSE.....	71
Tabela 11 - Resultado da dor e desconforto musculoesquelético segmentado e total.....	73
Tabela 12 - Resultados deste estudo comparados com dados de estudos anteriores .....	76
Tabela 13 - Comparação do ritmo de subida de escadas (degraus/minuto) entre o estudo atual e o Fire Brigade Intervention Model (FBIM) .....	78
Tabela 14 - Comparação da velocidade de resgate de vítima (m/s) entre o estudo atual e outros estudos .....	79

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACR	Aptidão cardiorrespiratória
AL	Alagoas
ANOVA	Análise de variância
Auto 10	Teste usando a estratégia autosselecionada na distância de 10 andares
Auto 20	Teste usando a estratégia autosselecionada na distância de 20 andares
BM	Bombeiro Militar
bpm	Batimentos por minuto
CBMAL	Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas
CBMERJ	Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro
CBMGO	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
CBMPE	Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco
CBMPR	Corpo de Bombeiros Militar do Paraná
cm	Centímetros
CNS	Conselho Nacional de Saúde
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CPAT	<i>Candidate Physical Ability Test</i>
CTA	Capacidade de trabalho anaeróbio
degraus. min <sup>-1</sup>	Degraus por minuto
DP	Desvio padrão
EPI	Equipamento de Proteção Individual
EPRA	Equipamento de Proteção Respiratória Autônomo
FC	Frequência cardíaca
FC <sub>máx</sub>	Frequência cardíaca máxima
FC <sub>pico</sub>	Frequência cardíaca no pico
IEF	Índice de esforço fisiológico
kg	Quilograma
km	Quilômetros
km/h	Quilômetros por hora

l. min <sup>-1</sup>	Litro por minuto
m	Metro
m.s <sup>-1</sup>	Metros por segundo
m <sup>2</sup>	Metros quadrados
MET	Equivalente Metabólico
min.	Minuto
ml. kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup>	Mililitro por quilograma por minuto
mmHg	Milímetros de Mercúrio
MMII	Membros inferiores
mmols. l <sup>-1</sup>	Milimols por litro
MMSS	Membros superiores
O <sub>2</sub>	Oxigênio
PAD	Pressão arterial diastólica
PAS	Pressão arterial sistólica
passos. min. <sup>-1</sup>	Passos por minuto
PI	Passos intermediários
PSE	Percepção subjetiva de esforço
PSI	Libras por polegada quadrada
RER	Razão de troca respiratória
s	Segundo
SPSS	<i>Statistical Package for the Social Sciences</i>
TCLE	Termo De Consentimento Livre e Esclarecido
TCUISV	Termo De Consentimento De Uso De Imagem e Som De Voz
TFESP	Treinamento Físico-Esportivo Saúde e Desenvolvimento
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
VC	Velocidade Crítica
VC 10	Teste usando a estratégia da velocidade crítica na distância de 10 andares
VC 20	Teste usando a estratégia da velocidade crítica na distância de 20 andares
VCO	Velocidade Crítica Operacional

$V_{CO_2}$	Produção de gás carbônico
$V_E$	Ventilação por minuto
$VO_2$	Consumo de oxigênio
$PuO_2$	Pulso de oxigênio
$VO_{2m\acute{a}x,}$	Consumo máximo de oxigênio
$VO_{2pico}$	Consumo de oxigênio no pico

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
2.1	GERAL .....	19
2.2	ESPECÍFICOS .....	19
<b>3</b>	<b>HIPÓTESES</b> .....	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>21</b>
4.1	OPERAÇÕES DE BUSCA E SALVAMENTO EM EDIFÍCIOS .....	21
4.2	ESTRATÉGIAS DE RITMO PARA A SUBIDA DE ESCADA .....	25
4.2.1	<i>Ritmo Autosseleccionado, menor tempo possível e ritmo autoimposto</i> .....	26
4.2.2	<i>Velocidade Crítica</i> .....	32
4.3	VARIÁVEIS CARDIORRESPIRATÓRIAS .....	37
<b>5</b>	<b>MÉTODO</b> .....	<b>42</b>
5.1	PARTICIPANTES.....	42
5.2	DELINEAMENTO DE ESTUDO .....	43
<b>6</b>	<b>VARIÁVEIS DE DESEMPENHO</b> .....	<b>52</b>
6.1	MEDIDAS ANTROPOMÉTRICAS E TESTE ERGOESPIROMÉTRICO .....	52
6.2	TESTES DE SUBIDA DE ESCADA NO RITMO AUTOSSELECIONADO E COM RITMO FIXO NA VELOCIDADE CRÍTICA (VC) .....	53
6.3	TESTES DE SUBIDA DE ESCADA .....	55
6.3.1	<i>Escala de percepção subjetiva de esforço</i> .....	55
6.3.2	<i>Medidas de dores e desconforto musculoesquelético</i> .....	57
<b>7</b>	<b>ANÁLISE ESTATÍSTICA</b> .....	<b>58</b>
<b>8</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>59</b>
8.1	VARIÁVEIS CARDIORRESPIRATÓRIAS .....	65
8.2	VARIÁVEIS DE TEMPO.....	70
8.3	VARIÁVEIS DE PERCEPÇÃO SUBJETIVA DE ESFORÇO .....	71
8.4	VARIÁVEIS DE DOR E DESCONFORTO MUSCULOESQUELÉTICO .....	71
<b>9</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>74</b>
<b>10</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>85</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>86</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Tradicionalmente para selecionar a velocidade crítica (VC) em diferentes modalidades de habilidades cíclicas, são selecionadas duas distâncias de forma arbitrária e solicita-se ao atleta percorrer essas duas distâncias no menor tempo possível. Por exemplo, pesquisadores fizeram isso na corrida (Buchheit *et al.*, 2008; Kramer *et al.*, 2019b) e na natação (Dalamatros *et al.*, 2015; Greco *et al.*, 2006, 2007; Marinho *et al.*, 2009; Papoti *et al.*, 2005; Pelarigo *et al.*, 2007; Rodriguez, Moreno e Keskinen, 2003; Wakayoshi *et al.*, 1993). Com os resultados, calcula-se a média aritmética das velocidades obtidas, sendo essa considerada a velocidade crítica. Um ponto crucial desse procedimento para o exercício realizado acima da velocidade crítica, considera a alocação adequada da capacidade de trabalho para ser esgotada no exato instante em que o atleta ultrapassa a linha de chegada, terminando nesse momento o esforço dos voluntários (Jones e Burnley, 2009).

Essa lógica da linha de chegada não se aplica ao bombeiro que termina a subida da escada, devido aos aspectos peculiares da tarefa desenvolvida por esses profissionais. Durante a subida da escada, o bombeiro poderia estar num lugar controlado composto por portas corta fogo, caixa de escada com tempo requerido de resistência ao fogo de no mínimo 120 minutos, sinalização e iluminação de emergência, no entanto, ao chegar ao andar sinistrado a imprevisibilidade aumenta (intensidade do incêndio, possibilidade de entrada forçada, remoção de escombros, nível de visibilidade restrito, nível de consciência da vítima, peso da vítima, distância para remoção da vítima). Portanto, o bombeiro deveria chegar ao andar sinistrado com energia para desenvolver as tarefas no menor tempo possível (Duarte, Ono e Bento, 2021, p. 97, 144).

Desde 1986, estudos vem descrevendo o comportamento cardiorrespiratório e metabólico de bombeiros subindo escadas (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; O'Connell *et al.*, 1986; Williams-Bell *et al.*, 2010a). Esses estudos variaram o número de andares, a inclusão de tarefas de resgate ao final da subida, e o ritmo. Sobre o ritmo, há lacunas a respeito da sua influência na subida de escada e no desempenho metabólico do bombeiro ao realizar o resgate de vítima em edifício. Encontrou-se estudos que estabelecem: a imposição de um ritmo fixo de 60 degraus por minuto (Garner *et al.*, 2013; Huang *et al.*, 2013; Morris *et al.*, 2018; O'Connell *et al.*, 1986;

Sheaff *et al.*, 2010; Williams-Bell *et al.*, 2009); um protocolo com início em 60 degraus por minuto aumentando de 10-12 passos a cada dois minutos até a exaustão (Ben-Ezra e Verstraete, 1991); um ritmo no menor tempo possível (Calavalle *et al.*, 2013; Heimborg, Rasmussen e Medbø, 2006; Holmér e Gavhed, 2007; Kleinberg *et al.*, 2016; Lindberg, 2014; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010) e um ritmo autosselecionado (Nazari *et al.*, 2018; Taylor *et al.*, 2015; Williams-Bell *et al.*, 2010a; b), todavia, desconhece-se tentativas de se calcular a VC nesta tarefa operacional.

A missão de resgate e de combate a incêndios pode ser demasiadamente exigente para o sistema cardiorrespiratório do bombeiro (Dreger e Petersen, 2007; Elsner e Kolkhorst, 2008; Harvey *et al.*, 2008; Heimborg, Rasmussen e Medbø, 2006; Heimborg e Medbø, 2013; Jagim *et al.*, 2023; Marcel-Millet *et al.*, 2020, 2021; Perroni *et al.*, 2010; Williams-Bell *et al.*, 2009, 2010a; b). Em ocorrências de combate a incêndios, o bombeiro militar (BM) deve trazer consigo equipamentos essenciais, como mangueiras e esguicho de combate a incêndio, ferramentas de arrombamento, lanterna, equipamento de proteção individual (EPI) e equipamento de proteção respiratória autônomo (EPRA), o que geralmente significa carregar uma massa extra de 21-51 kg (Adams *et al.*, 2009; Coca *et al.*, 2010; Doolittle, 1986; Heimborg, Rasmussen e Medbø, 2006; Holmér e Gavhed, 2007; Office of the Deputy Prime Minister, 2004; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010; Williams-Bell *et al.*, 2010a).

A capacidade de transportar massas pesadas por períodos prolongados é uma competência funcional essencial para essa profissão (Lyons, Allsopp e Bilzon, 2005). Um estudo recente relatou que carregar uma massa extra equivalente a 30% da massa corporal resultou numa diminuição de 24,8% na velocidade de subida de escada, sendo considerada um fator mais influente do que o sexo, idade, índice de massa corporal e uso do corrimão, na velocidade de subida de escadas (Latosinski *et al.*, 2024). Esses equipamentos podem restringir a mobilidade (Adams e Keyserling, 1995; Calavalle *et al.*, 2013; Coca *et al.*, 2010), influenciar a cinética e cinemática da marcha (Park *et al.*, 2011), afetar negativamente o desempenho físico (Adams e Keyserling, 1993), agravar o risco de lesões relacionadas a quedas (Park *et al.*, 2010, 2011), aumentar o consumo energético e o tempo para completar as tarefas ocupacionais (Phillips *et al.*, 2016; Taylor, Peoples e Petersen, 2016; Winkelmann *et al.*, 2019), restringir a expansão torácica, diminuindo o volume inspiratório, e ainda por consequência diminuir a função pulmonar (Brown e McConnell, 2012) agravando-a à medida que a massa extra é aumentada (Walker *et al.*, 2015).

Subir escadas é uma tarefa fisicamente exigente para os bombeiros, pois eles podem precisar subir escadas para combater incêndios (Latosinski *et al.*, 2024) nos andares superiores de um edifício alto no qual os elevadores de emergência não estão disponíveis ou falharam (Office of the Deputy Prime Minister, 2004; Teh e Aziz, 2002), trazendo um desgaste aditivo referente ao deslocamento vertical para chegar ao pavimento atingido pelo incêndio, “pois na maioria dos casos todo o material destinado ao combate a incêndio deverá ser transportado pela guarnição através das escadas” (Greinert, 2008). Nota-se, a importância de que o bombeiro militar mantenha o condicionamento físico elevado (Duarte, Ono e Bento, 2021, p. 97; Fogleman e Bhojani, 2005; Louhevaara, 1984; Sheaff *et al.*, 2010; Sothmann *et al.*, 1992) e possua uma boa estratégia de ritmo de trabalho (Williams-Bell *et al.*, 2009). Pesquisas descreveram o desempenho cardiorrespiratório de bombeiros subindo três andares (Holmér e Gavhed, 2007); quatro andares (Calavalle *et al.*, 2013; Elstad *et al.*, 2023; Sothmann *et al.*, 1990), cinco andares (Adams *et al.*, 2009; Bugajska *et al.*, 2007; Dennison *et al.*, 2012; Latosinski *et al.*, 2024), seis andares (Groeller *et al.*, 2015; Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Santos *et al.*, 2023), 10 andares (Xu *et al.*, 2020), 11 andares (Huang *et al.*, 2013; Williams-Bell *et al.*, 2009), 18 andares (O’Connell *et al.*, 1986), 20 andares (Doolittle, 1986; Tómasson *et al.*, 2008), 22 andares (Morris *et al.*, 2018), 23 andares (Williams-Bell *et al.*, 2010a) e 28 andares (Claridge e Spearpoint, 2010a; Office of the Deputy Prime Minister, 2004). A massa adicional de EPI, EPRA e equipamentos pesando aproximadamente ~ 20-50 kg (Bugajska *et al.*, 2007; Calavalle *et al.*, 2013; Coca *et al.*, 2010; Doolittle, 1986; Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Heimburg e Medbø, 2013; Huang *et al.*, 2013; Love *et al.*, 1994; Mamen *et al.*, 2021; Medbø *et al.*, 2020; Morris e Chander, 2018; Nazari *et al.*, 2018; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010; Sothmann *et al.*, 1990; Williams-Bell *et al.*, 2010a; b), executando simulação de resgate utilizando para isso manequins.

A subida de escada requer resistência cardiorrespiratória e resistência de força de membros inferiores, características de uma tarefa fisicamente exigente (Halder, Gao, *et al.*, 2018). Subir escadas e resgatar uma vítima são tarefas de combate a incêndio bastante extenuantes que tem demonstrado atingir quase a frequência cardíaca máxima (Grimwood, 2008; Romet e Frim, 1987; Smith *et al.*, 1997; Sothmann *et al.*, 1992). Parece que bombeiros com dor e desconforto musculoesquelético, particularmente na região lombar, podem ser mais lentos para

concluir tarefas de subida de escada e resgate de vítima (Ras *et al.*, 2024), o que pode estar relacionado a maiores limitações físicas e de trabalho (Nazari, Osifeso e MacDermid, 2020).

Na pesquisa de Kleinberg *et al.*, (2016) sugeriu-se que é possível que outras variáveis como a aptidão cardiorrespiratória, possa contribuir para o desempenho na subida de escada, propondo que estudos futuros são necessários para determinar variáveis fisiológicas adicionais que influenciam no desempenho de bombeiros na tarefa de subida de escada. Além dos níveis de condicionamento físico individuais dos bombeiros, subir em equipe, subir no menor tempo possível ou em um ritmo constante para não chegar totalmente exausto no andar sinistrado parecem ser os principais fatores que afetam a velocidade de subida de escada (Claridge e Spearpoint, 2010a).

No geral, os protocolos adotados na literatura encontrada, exigem que os bombeiros executem uma taxa de trabalho que ele utilizaria em uma cena de incêndio típica, ou seja, no menor tempo possível (Calavalle *et al.*, 2013; Groeller *et al.*, 2015; Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Holmér e Gavhed, 2007; Lindberg, 2014; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010) e em um ritmo autosselecionado (Nazari *et al.*, 2018; Williams-Bell *et al.*, 2010a; b), considerando os inúmeros aspectos nele contidos, como a existência de vítimas, a distância em que deveria deslocar com massa adicional e o tempo disponível para cumprir a missão com eficiência.

Sabe-se que a estratégia de ritmo pode ser otimizada, baseando-se na experiência prévia na tarefa a ser realizada (Franco-Alvarenga *et al.*, 2019; Mauger, Jones e Williams, 2009; Micklewright *et al.*, 2010; Tucker, 2009). Dos testes realizados na presente pesquisa, o participante pôde definir o ritmo de subida de escada, de acordo com a sua experiência, baseado na informação de quantos andares precisaria subir para chegar ao pavimento sinistrado e de que haveria a necessidade de realizar a simulação de resgate de uma vítima. No entanto, esta dificuldade em delimitar a cadência empregada, pode ser auxiliada pela VC, quando o objetivo é determinar o estado metabólico estável máximo, pois ela representa o verdadeiro limite que separa o exercício no qual a homeostase fisiológica pode ser mantida do exercício no qual a manutenção não é possível (Jones *et al.*, 2019).

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

Analisar a influência do ritmo autosselecionado e velocidade crítica para subida de escada no desempenho metabólico do bombeiro ao realizar o resgate de vítima em um edifício.

### **2.2 Específicos**

Comparar as respostas em bombeiros militares, como o ritmo de subida de escada para resgatar uma vítima, interfere:

- a) Nas variáveis cardiorrespiratórias ( $V_E$ ,  $VO_2$ , MET,  $VCO_2$ , RER, FC,  $PuO_2$ , PAS, PAD);
- b) No desempenho no resgate de uma vítima (tempo de subida, tempo de resgate e tempo total);
- c) Na percepção subjetiva de esforço (PSE);
- d) Nas dores e desconforto musculoesquelético;
- e) Na preferência dos voluntários.

### 3 HIPÓTESES

Para testar os objetivos acima, as hipóteses a seguir precisam ser consideradas:

H<sub>1</sub> – Para resgatar uma vítima no 10º e 20º andar, a melhor estratégia de ritmo de subida de escada para bombeiros equipados é o ritmo autosselecionado;

H<sub>2</sub> – Para resgatar uma vítima no 10º e 20º andar, a melhor estratégia de ritmo de subida de escada para bombeiros equipados é o ritmo da velocidade crítica operacional.

## **4 REVISÃO DE LITERATURA**

### **4.1 Operações de Busca e Salvamento em edifícios**

No atendimento a ocorrências de incêndio em edifício, prioriza-se o salvamento de pessoas no local sinistrado, sendo recomendado o desempenho dessa tarefa ocupacional por uma equipe de salvamento que acessará o sinistro com o objetivo de resgatar vítimas. Simultaneamente a equipe de combate a incêndio protegerá a equipe de salvamento e em seguida impedirá o alastramento do incêndio, confinando-o na menor área possível (CBMGO, 2016).

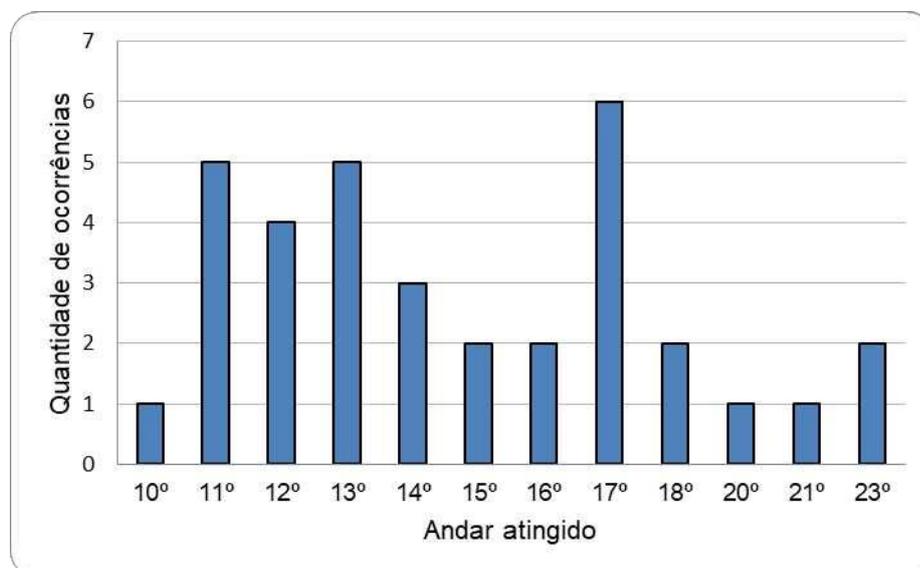
A literatura conceitua edifício alto como aquele com altura superior a 23 metros ou com no mínimo oito pavimentos acima do nível do solo, considerando-se a altura de três metros para cada pavimento (Duarte, Ono e Bento, 2021, p. 17).

O risco à vida em um incêndio, pode ser caracterizado como a probabilidade dos fenômenos a ele inerentes como: déficit de oxigênio, presença de gases nocivos, fumaça e fluxo térmico causarem lesões ou até a morte dos usuários do edifício e dos bombeiros militares responsáveis pelo salvamento e combate a incêndio (Berto, 1998 apud Alves, 2010). Ademais, a construção de edifícios cada vez mais altos significa que cada vez mais pessoas podem se abrigar neles (Duarte, Ono e Bento, 2021, p. 160).

Para este estudo, dez Corpos de Bombeiros Militares no Brasil encaminharam relatórios sobre o número de ocorrências de incêndios em Edifícios nos últimos anos. De acordo com dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ), nos eventos de incêndio em edificação atendidos no período de trinta e quatro meses, quatro vítimas encontravam-se no décimo segundo pavimento. Na incidência de incêndios por pavimentos observou-se a ocorrência de dois no décimo, dois no décimo primeiro, quatro no décimo segundo e oito acima deste pavimento, salientando-se que um mesmo incêndio pode ter atingido mais de um pavimento durante o mesmo atendimento (CBMERJ, 2022).

Conforme informações cedidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (CBMPR), em ocorrências de incêndio em edificação no período de agosto de 2017 a julho de 2022, demonstradas na figura 1, foram encontradas duas vítimas no décimo sexto e duas no décimo sétimo andar (CBMPR, 2022).

**Figura 1 - Quantidade de ocorrências de incêndio por andar atingido entre meados de 2017 e 2022 no estado do Paraná**



**Fonte: o autor (2023).**

Conforme os dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas (CBMAL), houve um evento de incêndio no 19º andar de uma edificação residencial na cidade de Maceió - AL em dezembro de 2021 (CBMAL, 2022). De acordo com o relatório emitido pelo Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco (CBMPE), no período de janeiro de 2018 a julho de 2022, foram atendidos 10 incêndios em edificação distribuídos em: cinco no 10º andar e um nos 11º; 15º; 16º; 17º e 18º andares (CBMPE, 2023). Segundo informações cedidas pelo Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás (CBMGO), no período de agosto de 2017 a abril de 2022, no estado de Goiás, foram atendidos 34 incêndios em edifícios de 10 a 30 pavimentos, encontrando-se nesses, oito vítimas nessas ocorrências (CBMGO, 2022). Seria importante que houvesse um registro detalhado dos incêndios por pavimento e quantidade de vítimas por andar.

Nesse contexto, “os resultados alcançados nas ocorrências se dão em geral à custa de esforços, diante da carga de trabalho e da necessidade de realização das tarefas em tempo hábil” (Brito, 2020). A fadiga do bombeiro militar pode ser acelerada nesse cenário, requerendo deste modo um bom condicionamento físico, devido ao grande esforço físico exigido pelo transporte de massa adicional durante a subida de

escadas, pelas quais são conduzidas as operações de salvamento e ventilação, nos vários pavimentos (Duarte, Ono e Bento, 2021).

Em uma pesquisa norueguesa com 14 bombeiros, Heimburg; Rasmussen; Medbø, (2006) monitoraram o tempo de subida de escada, tempo de resgate, consumo de oxigênio ( $VO_2$ ), ventilação por minuto ( $V_E$ ) e a frequência cardíaca (FC) no decorrer da realização de um protocolo simulado de combate de incêndio o qual consistiu em subir seis andares de escada (total de 124 degraus) equipado com EPI e EPRA, transportando ferramentas, totalizando uma massa extra de 37 kg, em seguida, sem as ferramentas, realizou a simulação de resgate de seis pacientes (boneco + colchão = 80 kg), cada paciente estava sobre um colchão e era arrastado pelo bombeiro que puxava uma corda de incêndio com uma ou com duas mãos, arrastando dois pacientes por 17 m, dois por 22 m e dois por 42 m; distâncias correspondentes ao projeto da edificação. Os participantes subiram os seis andares em  $90 \pm 31$ s, no topo da escada, a  $FC = 167 \pm 13$  bpm ( $88 \pm 4\%$  da  $FC_{m\acute{a}x}$ ),  $VO_2 = 34 \pm 4$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>,  $64 \pm 7\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$ ,  $V_E = 70 \pm 12$  l. min<sup>-1</sup>, e os bombeiros respiraram  $57 \pm 25$  l durante a subida. Realizar os seis resgates até um local seguro durou  $296 \pm 60$  s. Subida mais resgate totalizou o tempo de  $386 \pm 74$  s (intervalo de 289 - 530 s). Ao final do teste  $FC = 182 \pm 15$  bpm ( $96 \pm 5\%$  da  $FC_{m\acute{a}x}$ ),  $VO_2 = 44 \pm 5$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>,  $83 \pm 7\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$ ,  $V_E = 113 \pm 17$  l. min<sup>-1</sup>, e o volume total inspirado no decorrer da subida de escada e da operação de resgate de  $541 \pm 95$  l. A média do  $VO_{2m\acute{a}x} = 4,4 \pm 0,3$  l. min<sup>-1</sup> com um intervalo de (4,0 – 5,0), a  $\sim 83\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$ .

Em um estudo canadense com 36 bombeiros (33 homens e 3 mulheres), Williams-Bell *et al.*, (2010a) monitoraram o tempo necessário para subir em um edifício de cinco andares equipados com 36,7 kg e realizar a busca e resgate de uma vítima. Foram monitorados  $V_E$ ,  $VO_2$ , produção de gás carbônico ( $VCO_2$ ), RER, FC e o percentual da  $FC_{m\acute{a}x}$  durante a execução de um protocolo simulado de combate a incêndio equivalente a subir cinco andares de escada equipado com EPI (9,2 kg) e EPRA (9,5 kg), transportando ferramentas (18 kg), totalizando uma massa extra de 36,7 kg, em seguida, sem as ferramentas, realizou a simulação de busca rastejando sobre as mãos e os joelhos, usando como guia uma mangueira descarregada de 38 mm por uma distância de 18,3 m, simulou a varredura em busca de uma vítima em três salas distintas (área média de 15,6 m<sup>2</sup>) conforme avançava. Ao final da busca o bombeiro usou uma marreta para golpear um simulador de entrada forçada (resistência entre 700 e 800 psi) para arrombar uma porta, demandando no mínimo

quatro golpes sólidos. Em seguida, ao acessar a sala resgatou um manequim de 75 kg por uma distância de 23 m e desceu cinco andares em busca de uma saída segura. Trinta e seis bombeiros completaram o teste em  $5:27 \pm 1:01$  (min:s) com um intervalo de (4:11 - 9:38), demandando uma  $V_E = 90,7 \pm 14,6$  l.  $\text{min}^{-1}$  (61,6 – 118,5 l.  $\text{min}^{-1}$ ), com a média de  $VO_2 = 3,0 \pm 0,5$  l.  $\text{min}^{-1}$ , correspondendo a  $34,1$  ml.kg $^{-1}$ .min $^{-1}$  (com intervalo de 23,2 – 41,7 ml.kg $^{-1}$ .min $^{-1}$ ),  $VCO_2$  de  $3,4 \pm 0,5$  l.  $\text{min}^{-1}$  (com intervalo de 2,2 – 4,2 l.  $\text{min}^{-1}$ ), RER de  $1,13 \pm 0,12$  (com intervalo de 0,94 – 1,29) e FC de  $160 \pm 13$  bpm (com intervalo de 127 – 189 bpm). Este cenário requereu  $67 \pm 10\%$  do  $VO_{2\text{máx}}$  (com intervalo de 46 – 87%) e  $88\% \pm 5\%$  da  $FC_{\text{máx}}$  (com intervalo de 80 – 94%).

Em uma pesquisa realizada com potenciais recrutas candidatos a bombeiros, Williams-Bell *et al.*, (2009) monitoraram o tempo de execução do *Candidate Physical Ability Test* (CPAT), o  $VO_2$ ,  $V_E$ ,  $VCO_2$ , RER, FC, percentual da  $FC_{\text{máx}}$  e o  $VO_{2\text{máx}}$ . O protocolo consiste em um circuito de oito atividades baseado em um conteúdo projetado para triagem de candidatos a bombeiros. Neste teste o candidato usando um colete de 22,68 kg para simular a massa do EPI e EPRA, além de luvas e capacete, sobe 180 degraus em um simulador de escada em 3 min. (60 degraus .  $\text{min}^{-1}$  com duas massas extras de 5,67 kg cada, sobre o ombro; arrasta uma mangueira de 44 mm equipada com um esguicho de 3 kg por 22,86 m, converte 90°, e arrasta por mais 7,62 m, totalizando 30,48m, depois puxa a mangueira por 15,24 m. Em seguida, retira individualmente de uma estante e transporta duas motosserras (14,5 e 12,7 kg, respectivamente) por 45,72 m e depois recoloca-as individualmente no local de origem; eleva e estende uma escada de 7,32 m contra a parede e desce de maneira controlada até o chão; realiza uma tarefa de entrada forçada atingindo com uma marreta de 4,54 kg um dispositivo de entrada forçada até que a campainha seja ativada, exigindo aproximadamente quatro a cinco golpes sólidos pela maioria dos homens; na tarefa de busca rasteja usando as mãos e pés por um túnel escuro por uma distância de 19,51 m; na tarefa de resgate arrasta um manequim de 74,84 kg por 21,34 m e por fim usando uma ferramenta croque empurra completamente a porta do teto do aparelho abrindo-a três vezes, e em seguida engancha o croque no dispositivo do teto e puxa para baixo completamente cinco vezes, realizando quatro séries de três empurrões e cinco puxadas, sendo estabelecido o tempo máximo total de 10:20 (min:s) para conclusão com aprovação.

Dos 57 participantes (34 homens e 23 mulheres), 46 (32 homens e 14 mulheres) concluíram o teste com êxito. O tempo médio dos homens foi de  $8:32 \pm 51$

(min:s) e das mulheres 11:16 ± 1:28,  $VO_2 = 3,1 \pm 0,5$  l. min<sup>-1</sup> (média ± desvio padrão) vs  $2,3 \pm 0,4$  l. min<sup>-1</sup> ( $38,5 \pm 5,3$  vs  $36,6 \pm 5,5$  ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>),  $V_E = 103,9 \pm 10,6$  l. min<sup>-1</sup> vs  $85,0 \pm 7,0$  l. min<sup>-1</sup>,  $VCO_2 = 3,2 \pm 0,4$  l. min<sup>-1</sup> vs  $2,3 \pm 0,3$  l. min<sup>-1</sup>, R ( $1,03 \pm 0,11$  vs  $0,97 \pm 0,12$ ), FC ( $169 \pm 10$  vs  $171 \pm 5$  bpm), percentual da  $FC_{m\acute{a}x}$  ( $90,1\% \pm 5,3\%$  vs  $90,8\% \pm 3,2\%$ ),  $VO_{2m\acute{a}x}$  ( $73,1\% \pm 8,0\%$  vs  $70,6 \pm 7,3\%$ ), ocorrendo diferenças significativas nas medidas absolutas ( $p < 0,05$ ). Nos estudos com bombeiros as frações de concentrações de O<sub>2</sub> e CO<sub>2</sub> no ar expirado foram medidas por analisadores *Applied Electrochemistry* (Ametek, Pittsburg, PA) (Sothmann *et al.*, 1990); por analisador metabólico portátil Metamax II (Cortex Biophysics, GmbH, Leipzig, German) (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) e Cosmed K4b<sup>2</sup> (Roma, Itália) (Williams-Bell *et al.*, 2009, 2010a; b), e a frequência cardíaca pelo Polar Accurex Plus (PE 3000; Polar Electro, OY Kempele, Finlândia) (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006).

#### 4.2 Estratégias de ritmo para a subida de escada

Plat; Frings-Dresen; Sluiter (2010) relatam que é inerente a atividade ocupacional do bombeiro, trabalhar sob limitações de tempo, subindo escadas no menor tempo possível e em intensidades físicas altamente exigentes para aumentar as possibilidades de salvamento. Nos estudos em que após a subida de escada havia uma tarefa operacional de resgate de vítima, os participantes foram orientados a subir as escadas da melhor forma possível e sem perda de tempo desnecessário, isto é, no menor tempo possível (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) e em um ritmo autosselecionado, a uma taxa de trabalho comumente empregada em uma ocorrência de incêndio (Williams-Bell *et al.*, 2010a).

Segundo o estudo de Halder *et al.*, (2018a), os seres humanos são capazes de subir escadas em ritmos intensos, todavia, a fadiga é rapidamente atingida devido à alta produção de força muscular necessária, limitando deste modo a distância vertical que pode ser alcançada. Eles relatam que estratégias que previnam a fadiga devem ser usadas no decorrer da subida de escada na condição de ritmo autosselecionado, apontando a necessidade de estudos adicionais em ritmo controlado. No estudo de Kamon e Ramanathan (1974), a subida de escada ocorreu até o 5º e 26º andar de um edifício, 120 degraus e 520 degraus respectivamente. Relatou-se que o custo energético por unidade de massa transportada está

linearmente associado à velocidade de subida de escada em diferentes velocidades de 5 m/min. a 20 m/min. ou de aproximadamente 40 a 120 degraus/min. em escadas com degraus de 20 cm de altura, ao passo que comumente os indivíduos tendem a manter um ritmo de 55 a 65 passos/ min.

Na pesquisa de O'Connell *et al.*, (1986) um teste de subida de escada em um edifício de 20 andares, com dezessete bombeiros transportando 39,2 kg de equipamentos além da massa corporal, no tempo de 5 minutos, demonstrou ser extremamente exigente fisicamente, com as medidas de consumo de oxigênio dos participantes oscilando de 63 a 97 % (média = 80,4%) de seus máximos.

#### 4.2.1 Ritmo Autosselecionado, menor tempo possível e ritmo autoimposto

Estudos sugerem que vários fatores podem afetar a velocidade dos bombeiros ao subir escadas como os níveis de aptidão física dos bombeiros, se a subida ocorre em equipe e se a estratégia individual de subida é em um ritmo constante para não chegar ao andar sinistrado totalmente exausto ou no menor tempo possível (Claridge e Spearpoint, 2010a, p. 179; Latosinski *et al.*, 2024).

O exercício em ritmo autosselecionado representa um modo de prescrição no qual o participante pode ajustar a intensidade (ritmo/velocidade) ao se exercitar, geralmente baseado na preferência individual e que essa liberdade de regular a sua intensidade pode resultar numa melhor adesão a longo prazo (Ekkekakis, 2009).

Os seres humanos parecem escolher um comprimento ou frequência de passo de caminhada visando maximizar a distância percorrida e minimizar o custo metabólico em uma determinada velocidade de caminhada (Alexander, 2002; Donelan, Kram e Kuo, 2001; Ekkekakis, 2009; Kuo, 2001; Zarrugh, Todd e Ralston, 1974). Na corrida, geralmente os atletas escolhem naturalmente uma combinação do comprimento e da frequência da passada, que reduza o gasto metabólico (Cavanagh e Williams, 1982). Esta preferência pode ser chamada de auto otimização (Hunter e Smith, 2007). Caminhar em um ritmo autosselecionado pode requerer um menor consumo de oxigênio (Zarrugh e Radcliffe, 1978). A intensidade do exercício autosselecionado não difere entre exercícios em esteira, ciclo ergômetro e de subida de escadas (Glass e Chvala, 2001).

A intensidade dos esforços da maioria dos indivíduos provavelmente é regulada com base na intuição, independentemente da prescrição que lhes é dada,

supostamente impulsionada principalmente por sua tendência a maximizar o prazer e/ou minimizar o desprazer (Ekkekakis, 2009). A maioria dos indivíduos tende em direção a uma intensidade que se aproxima de seu limiar ventilatório ou lactato quando adotada uma intensidade de exercício autosselecionada (Ekkekakis, 2009; Pintar *et al.*, 2006).

Os bombeiros enfrentam incontáveis desafios ao entrar em estruturas em chamas para resgatar vítimas, avaliar as condições de uma estrutura residencial e combater incêndios no menor tempo possível, reduzindo assim a sua exposição ao risco em um incêndio (Ishola e Valles, 2023). Desse modo observa-se que vários estudos adotam a estratégia de subida de escada no menor tempo possível (Calavalle *et al.*, 2013; Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Holmér e Gavhed, 2007; Kleinberg *et al.*, 2016; Lindberg, 2014; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010). Essa estratégia exige que o indivíduo conclua o trabalho atribuído mais rapidamente ou conclua mais trabalho dentro de uma duração definida a uma taxa de conclusão mais rápida (Mangine e Seay, 2022).

Diferentemente da locomoção no solo ou escada, a qual pode ser realizada em uma velocidade autosselecionada, a locomoção em um ritmo autoimposto (fixo) definido pelo usuário pode ser realizada em esteira ergométrica ou simulador de escada (Theunissen *et al.*, 2022). A variabilidade natural na velocidade de locomoção observada na locomoção terrestre pode ser minimizada pela fixação da velocidade na locomoção em esteira ergométrica (Wiens *et al.*, 2019).

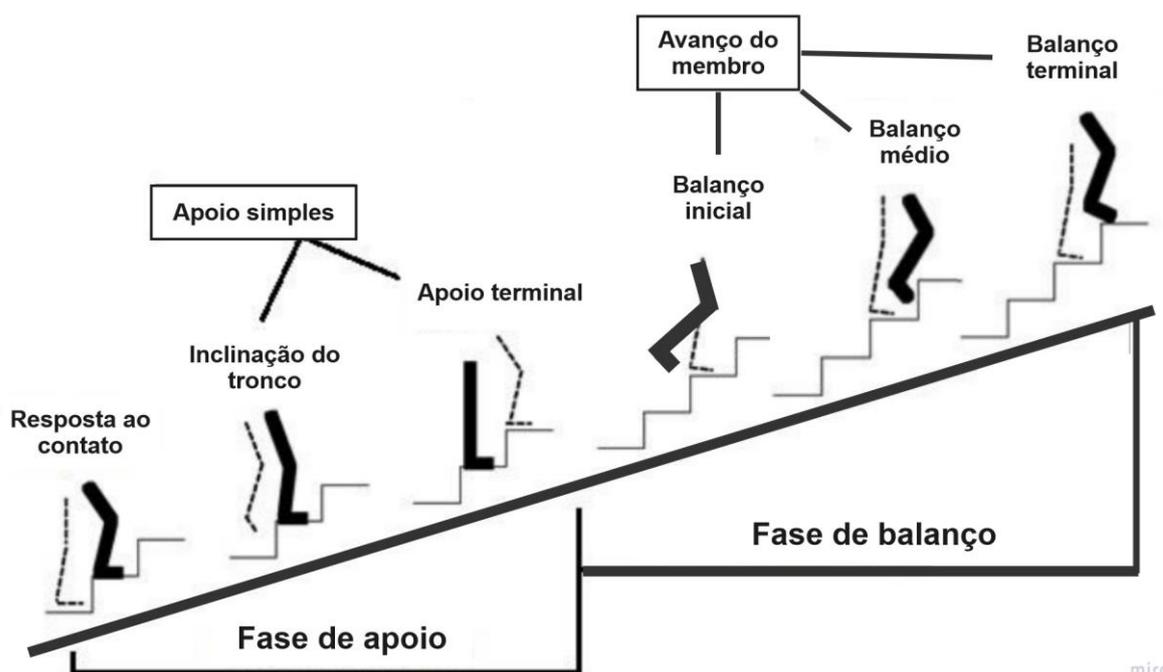
Na literatura pesquisada, ritmo é definido “como um padrão temporal aparente em um movimento ou conjunto de movimentos e cujas partes constituintes são relativamente estáveis” (MacPherson, Collins e Obhi, 2009) e conceituado como a “capacidade de adaptar-se a um ritmo dado, interiorizá-lo e reproduzi-lo em movimento” (Weineck, 1999, p. 520). Ainda, “a capacidade de ritmo é a capacidade de realizar diferentes movimentos numa cadência ou frequência de repetição determinada sem perder a essência de executar a técnica” (Paulo, 2019).

Taxa de degraus, ou cadência, é o número de degraus dados por minuto, e a velocidade de execução é o produto da taxa de degraus e altura do degrau (Luedke *et al.*, 2021). Testes de subida de escada foram realizados com o auxílio de um metrônomo a fim de ajudar os participantes a manterem a necessária cadência (passos. min.<sup>-1</sup>) (Aziz e Teh, 2005; Butts, Dodge e McAlpine, 1993; Gottschall, Aghazarian e Rohrbach, 2010; Howley, Colacino e Swensen, 1992; Larsen *et al.*,

2015; Sykes e Roberts, 2004; Webb, 2012). Foi descoberto que testes padronizados de taxa fixa de passos provocam intensidades vigorosas de exercício, observando maiores intensidades no teste de passo em indivíduos pequenos, obesos e/ou fisicamente inativos (Hansen *et al.*, 2011).

O tempo em que o pé de referência está em contato com o solo (apoio) e o tempo que ele está sem contato com solo (balanço) denomina-se o ciclo de uma marcha. Já a passada é detectada pelo movimento de ambos os membros no decorrer do ciclo da marcha. A fase de apoio é composta por ~ 60% do ciclo da marcha e os 40% restantes equivalem a fase de balanço (Oatis, 2014, p. 895). A fase de apoio é compreendida por três períodos: resposta ao contato ou resposta à carga ou aceitação do peso; inclinação do tronco ou apoio médio e o apoio terminal (figura 2). A resposta ao contato é o período em seguida ao contato com o solo e termina quando todo o pé está sobre ele. Este período objetiva a absorção do choque; a estabilidade para a recepção de peso e a preservação da progressão. A inclinação do tronco é o período após a resposta à imposição de sobrecarga, visto que durante esse período o tronco desliza sobre o pé de suporte, movendo-se de trás do pé de apoio para a frente dele. Este período visa a progressão sobre o pé estacionário e a estabilidade do tronco e do membro. O apoio terminal é o período no qual ocorre o contato contralateral com o solo, encerrando-se a fase de apoio. Nesse período o intuito é a progressão do corpo além do pé de sustentação (Oatis, 2014, p. 895; Perry, 2005, p. 112 - 115). A fase de balanço é compreendida pelos períodos inicial, médio e terminal. O balanço inicial é caracterizado pela rápida retirada do membro do solo. O objetivo deste período é a liberação do pé do solo e avançar o membro a partir de sua posição de queda. No balanço médio o membro de balanço passa o membro de apoio visando avanço do membro e a liberação do pé do solo. No balanço terminal o membro de balanço segue em direção ao solo, preparando-se para o contato. O intuito desse período é completar o avanço do membro e preparar o membro para o apoio (Oatis, 2014, p. 896; Perry, 2005, p. 115 - 117).

**Figura 2 - Fases e períodos do ciclo da marcha na subida de escada**



Fonte: adaptado de Carli, (2013, p. 28)

Subir escadas tem sido relacionada à caminhada (Dewar, 1977), visto que a massa corporal é transferida alternadamente entre os pés no decorrer de cada ciclo da marcha.

MacPherson, Collins e Obhi, (2009) reportaram que os indivíduos têm preferência por uma taxa de movimento específica e exibem um esforço significativamente menor nessa taxa, isto é, em uma cadência preferida. Do contrário, quando o ritmo é imposto ao indivíduo, o consumo de oxigênio tende a aumentar significativamente. Gottschall; Aghazarian; Rohrbach, (2010) relataram por meio de dados metabólicos que velocidades mais rápidas afetaram o custo metabólico mais do que uma frequência de passo mais rápida, apontando que a relação curvilínea entre taxa de consumo de oxigênio e velocidade, demonstra que em uma velocidade autosselecionada, os humanos preferem um padrão de caminhada, ou cadência de passos, que reduz o custo metabólico.

Considerando que em uma ocorrência real o bombeiro militar deve usar estratégias que permitam sua chegada ao local sinistrado com o mínimo gasto de energia, subir escadas segurando firmemente no corrimão proporciona um menor gasto energético (Butts, Dodge e McAlpine, 1993; Howley, Colacino e Swensen,

1992). Subir mais rápido faz com que o indivíduo exerça mais força quando empurra o degrau para ascender a escada em uma sequência de passos. Isso pode possivelmente levar a um maior recrutamento das fibras musculares de contração rápida e menos econômicas, entretanto, às custas de um custo metabólico mais alto (Aziz e Teh, 2005; Hagan, 1992; Teh e Aziz, 2002).

Na tabela 1 relacionou-se as diferenças encontradas de percentual do  $VO_{2máx}$  e da FC dentre as estratégias: no menor tempo possível, ritmo autoimposto, ritmo autosselecionado.

**Tabela 1 - Estudos de subida de escada com bombeiros**

	$VO_{2máx}$ (média $\pm$ DP)	FC $_{máx}$ (média $\pm$ DP)	Estratégia de ritmo
(Nazari <i>et al.</i> , 2018)		89 $\pm$ 7% (subida de escada)	
(Williams-Bell <i>et al.</i> , 2010a)	75%	91% (subida de escada)	autosselecionado, a uma taxa de trabalho comumente empregada em uma ocorrência de incêndio
(Williams-Bell <i>et al.</i> , 2010b)	54 $\pm$ 10%	83 $\pm$ 7% (resgate de vítima)	
(Santos <i>et al.</i> , 2023)	83%	96%	
(Calavalle <i>et al.</i> , 2013)		82,5 $\pm$ 9,9%	
(Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010)		92 $\pm$ 8%	no menor tempo possível
(Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006)	64 $\pm$ 7% (subida de escada)	88 $\pm$ 4% (subida de escada)	
(Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006)	83 $\pm$ 7% (resgate de vítima)	96 $\pm$ 5% (resgate de vítima)	
(Morris <i>et al.</i> , 2018)			
(Garner <i>et al.</i> , 2013)			
(Huang <i>et al.</i> , 2013)			Ritmo autoimposto 60 degraus por minuto
(Sheaff <i>et al.</i> , 2010)			
(Williams-Bell <i>et al.</i> , 2009)	73%	90%	
(O'Connell <i>et al.</i> , 1986)			
(Latosinski <i>et al.</i> , 2024)			no menor tempo possível ou ritmo constante

**Fonte: o autor (2023).**

Encontrou-se na literatura estudos nos quais os bombeiros subiram as escadas em um ritmo constante, permitido apenas um passo de cada vez, sem correr, sem parar e sem segurar nos corrimãos (Calavalle *et al.*, 2013; Kleinberg *et al.*, 2016;

Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010), ou tocá-los momentaneamente apenas para fins de estabilidade (Dennison *et al.*, 2012). Segurar nos corrimãos pode aumentar consideravelmente o consumo de oxigênio em 22,4%, por isso, é importante se ater a permissão ou não dessa estratégia ao comparar diferentes estudos (Oliveira, de *et al.*, 2020).

Nos estudos pesquisados, os bombeiros completaram as tarefas em situações supervisionadas e não em ocorrências reais, ao passo que trabalhavam naquilo que consideravam ser o seu ritmo operacional padrão, em taxas de trabalho determinadas pelos pesquisadores ou no menor tempo possível. Em condições reais, é plausível esperar um aumento nas exigências das tarefas e das tensões psicológicas (Ekkekakis, 2009), contudo, devido a imprevisibilidade de uma ocorrência de incêndio em edifício e mesmo diante do risco à segurança dos pesquisadores para coletar os dados, parece inviável investigar se as taxas de trabalho podem mudar em resposta.

Williams-Bell *et al.*, (2010a) relataram que embora a população estudada tenha retratado muito bem a média de idade, tempo de serviço e distribuição por sexo no Corpo de Bombeiros da cidade e eles tivessem características físicas similares ao grupo de estudo de Von Heimburg; Rasmussen; Medbø (2006). Outros autores propuseram a realização de estudos futuros com testes em condições que simulem melhor o combate real a incêndios, que exijam buscas de longa duração e supressão de incêndios, inclusive com limitação da visão e obstruções desconhecidas (Williams-Bell *et al.*, 2010b).

Pesquisadores relataram que devido à ausência de dados de linha de base sem massa adicional ou botas, os acréscimos nas respostas cardiorrespiratórias no decorrer da pesquisa não podem ser atribuídos à tarefa de subida de escada ou apenas às botas. Recomendaram uma averiguação mais aprofundada para elucidar a demanda física relacionada a massa adicional, incluindo a massa da bota, principalmente nas variáveis que podem prejudicar o desempenho físico na força do quadril, forças de reação do solo e equilíbrio (Huang *et al.*, 2013).

No estudo de Morris *et al.*, (2018) os bombeiros usaram um colete de 34,04 kg, que cobria apenas a região superior anterior e posterior do tronco para simular a massa de EPI enquanto também trajavam camiseta, calção e tênis esportivos. As características do vestuário permitiram a exposição ampla da pele, proporcionando assim a troca de calor produzido pelo corpo do participante com o ambiente, limitando

quaisquer aumentos na temperatura central que teriam acrescido o índice de esforço fisiológico (IEF). Sugeriram que o uso do colete parece aumentar significativamente o nível de lactado sanguíneo e o IEF, apontando para o risco dessa população no desempenho de sua atividade ocupacional, porém, não puderam comprovar a hipótese de que essa massa adicional eleva o nível de sobrecarga cardiovascular.

Em um estudo recente Santos *et al.*, (2023), mediante o monitoramento do analisador metabólico portátil (K4b<sup>2</sup>, Cosmed, Roma, Itália), 38 bombeiros (idade =  $31,8 \pm 5,2$ ;  $VO_{2\text{pico}} = 51,7 \pm 5,4$ ), equipados com EPI e EPRA (massa de 25 kg) realizaram a simulação de resgate, no menor tempo possível, enquanto transportavam um fardo de mangueiras (massa de 20 kg). Os bombeiros iniciaram a partir do subsolo de um edifício carregando um manequim de 30 kg por três lances de escada (10 degraus por lance). Em seguida, o participante subiu seis andares e arrastou um manequim de 80 kg até uma zona segura no patamar do 6º andar ( $\pm 200$  m). Cada andar tinha três lances de 10 degraus cada (total de degraus: 180). Nenhum descanso foi fornecido entre os resgates e o teste teve duração de  $10:13 \pm 2:10$  (min.:s).

#### 4.2.2 Velocidade Crítica

Diferenças substanciais na demanda fisiológica, tempo de exaustão e desempenho em trabalhos contínuos, podem ocorrer dependendo da intensidade do exercício (Bertuzzi *et al.*, 2017, p. 125). A VC ou estado estacionário aeróbio máximo, é conceituada como a mais alta intensidade de exercício que teoricamente pode ser mantida por um longo período e sem exaustão (Monod e Scherrer, 1965; Smyth e Muniz-Pumares, 2020). A exaustão ocorre após a depleção de todas as reservas anaeróbias do organismo devido ao seu consumo para manutenção da intensidade do exercício acima da VC (Bertuzzi *et al.*, 2017, p. 120).

Há muito tempo sua medida prevê desempenho, prescreve exercício e detecta adaptações de treinamento em modalidades esportivas como corrida (Galbraith *et al.*, 2011; Hughson, Orok e Staudt, 1984; Kranenburg e Smith, 1996; Moritani *et al.*, 1981; Smith e Jones, 2001), natação (Wakayoshi, K. ; *et al.*, 1992; Wakayoshi, K. *et al.*, 1992; Zacca *et al.*, 2016) e canoagem (Clingeffer, Mc Naughton e Davoren, 1994), e mais recentemente foi sugerida sua aplicação para militares (Dicks e Pettitt, 2021; Solomonson *et al.*, 2016).

Na pesquisa de Solomonson *et al.*, (2016), a amostra de 14 participantes masculinos (idade  $26 \pm 5$  anos, altura  $181 \pm 4$  cm, massa corporal  $90 \pm 14$  kg) composta por estudantes universitários recreacionalmente treinados e por atletas táticos, dentre eles um bombeiro, completaram dois diferentes testes de exercício 3-*minute all-out* (3MT), em dias separados, com e sem massa adicional. Foi usado um colete de 18,86 kg, equivalente a massas relativas que variam de 15 a 25% da massa corporal. Evitou-se contrabalancear a ordem de teste porque a condição com massa adicional foi muito rigorosa e os autores queriam que os indivíduos retornassem para realizar o teste sem massa adicional.

Em uma pista coberta de 200 metros, com cones distribuídos em intervalos de 20 m ao redor do interior da pista, os participantes foram instruídos e encorajados verbalmente a acelerar até a velocidade máxima e a tentar manter a velocidade máxima pelo maior tempo possível no decorrer do teste. Conforme o indivíduo passava por cada cone, um pesquisador registrava os tempos divididos usando um cronômetro comercial. Os tempos fracionados foram tabulados em uma planilha (*Microsoft Office 2011 Excel*) e as velocidades foram calculadas usando a mudança no deslocamento em relação à mudança no tempo. A VC foi calculada como a velocidade média durante os últimos 30 segundos do teste. A velocidade durante os 150 segundos iniciais ( $V_{150s}$ ) foi determinada e utilizada para calcular a capacidade de trabalho anaeróbio (CTA) usando a equação (Solomonson *et al.*, 2016):

$$CTA = 150 (V_{150s} - VC)$$

Os autores concluíram que um declínio previsível na VC é resultante do transporte de massa adicional e que a estratégia da VC pode melhorar o desempenho de atletas táticos em algumas de suas tarefas mais críticas (Solomonson *et al.*, 2016).

No outro estudo os autores realizaram uma breve revisão com o objetivo de fornecer uma visão geral das populações táticas – militares, policiais, bombeiros e equipes de resgate – e do conceito de VC; descrever os diferentes métodos e equipamentos utilizados nos testes de VC; revisar a literatura referente a VC associada a tarefas táticas ocupacionais; e demonstrar o uso de prescrições de exercícios derivados da VC para populações táticas. Concluíram que o uso da 3MT mostrou-se vantajoso para populações táticas na predição da VC e da CTA, devido a necessidade de somente uma sessão e a possibilidade de completá-lo com uma

quantidade substancial de participantes usando recursos de fácil acesso (por exemplo, cronômetro, cones e relógios esportivos) (Dicks e Pettitt, 2021).

O algoritmo proposto por Monod e Scherrer, (1965) fundamentado na potência e no tempo decorrido até a fadiga, pode ser empregado para determinar a VC. Esse modelo hiperbólico recomenda a quantidade mínima de dois testes para a determinação da VC (Faraco, 2011), isto é, o método tradicional que exige a execução de dois ou mais testes preditivos exaustivos com durações do tempo distintas até a exaustão, apresenta-se como uma grande desvantagem metodológica da estimativa da VC (Bertuzzi *et al.*, 2017, p. 132). D. J. Housh, T. J. Housh e Bauge, (1990) propõe que a duração do tempo para exaustão para as duas cargas de trabalho esteja entre 1 e 10 minutos e (Black *et al.*, 2017) sugerem entre 2 min e 14 min, contudo, encontrou-se na maioria os trabalhos, os testes preditivos variando de 2 a 15 minutos para a corrida e ciclismo (Bertuzzi *et al.*, 2017, p. 132; Dekerle *et al.*, 2006; Dekerle, Vanhatalo e Burnley, 2008; Jones e Vanhatalo, 2017; Soares-Caldeira *et al.*, 2012).

Nesse contexto, comparado ao método tradicional, o teste 3MT demonstra-se uma alternativa para a estimativa da VC, tendo em vista a necessidade de realização de tão somente um teste máximo de 180 segundos, para garantir que todas as reservas anaeróbicas sejam consumidas ao final do exercício. No ciclismo é necessário o emprego de cicloergômetro para manutenção da carga fixa, registrando a potência no decorrer do teste conforme a oscilação do ritmo (Dekerle, Vanhatalo e Burnley, 2008). Estudos examinaram a previsão do desempenho de atletas de futebol e rugby (Kramer *et al.*, 2019a) e corredoras de longa distância universitárias (Pettitt, Jamnick e Clark, 2012) em um teste de corrida no menor tempo possível em uma pista de atletismo ao longo dos 3 minutos de teste mensurando dados do sensor de posicionamento global (GPS), já Broxterman *et al.*, (2013) em trabalho realizado com corredores classificados de não ativo a altamente treinado (tempo da maratona de <150 min) avaliaram a velocidade de corrida do indivíduo durante o teste de 3 minutos de esteira, registrando o desempenho segundo a segundo usando um acelerômetro posicionado no pé direito.

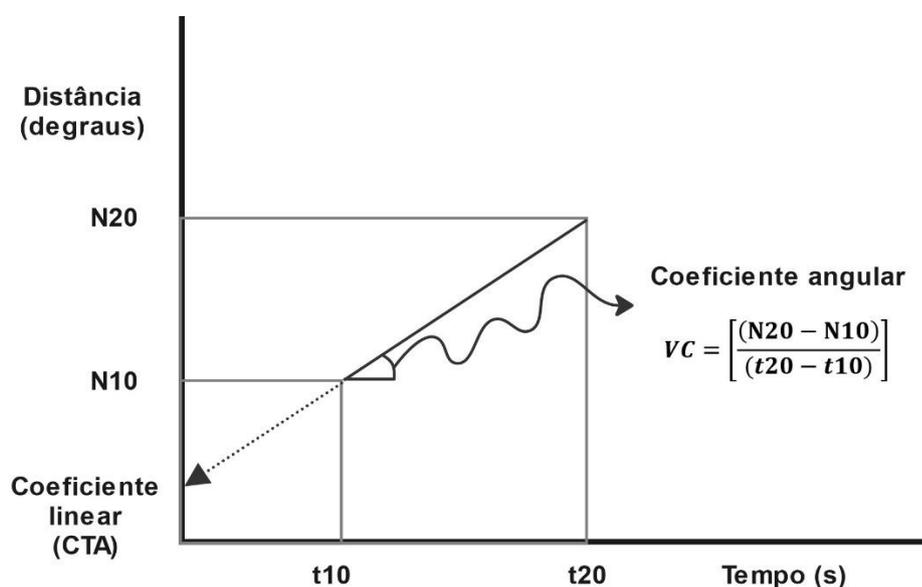
O conceito da VC pode ter a versatilidade de se adaptar ao treinamento com transporte de carga e subida de escada como um sistema bioenergético integrado para avaliação e servir como medida mecânica, demarcando os domínios do exercício pesado e severo, associado ao estado estacionário máximo aeróbio ou máximo de lactato (Bertuzzi *et al.*, 2017, p. 121; Dicks e Pettitt, 2021). A VC, medida em unidades

de  $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ , situa-se a 5% abaixo do  $\text{VO}_{2\text{máx}}$  e do limiar de lactato sanguíneo, entre o limite superior do domínio intensidade do exercício pesado e o limite inferior do domínio intensidade do exercício severo (Bertuzzi, 2017; Jones et al., 2010).

O exercício pesado é qualificado pela maior intensidade do exercício que não tem relação com o acúmulo de metabólitos, sendo que o exercício acima deste domínio está associado a distúrbios da homeostase muscular e sanguínea por acidose (Massini *et al.*, 2016). No decorrer do exercício supra VC (domínio pesado) há uma perturbação progressiva do metabolismo mediante a depleção dos substratos musculares (isto é, lactato sanguíneo elevado), ocasionando a fadiga muscular localizada e uma subsequente diminuição da eficiência na tarefa (Jones *et al.*, 2008; Murgatroyd *et al.*, 2011). Um importante fenômeno que pode ocorrer após uma saída forte, é a redução do ritmo de exercício na fase intermediária. Tal redução teria como finalidade evitar que a fadiga seja instalada precocemente (Franco-Alvarenga *et al.*, 2019).

A capacidade de trabalho anaeróbico (CTA), também conhecida como  $D'$ , é um marcador da capacidade anaeróbia, medida em unidades de metros em testes de corrida, é a máxima distância que pode ser percorrida durante o exercício acima da VC, a partir dos estoques de fosfagênios e da glicólise anaeróbia (Bertuzzi, 2017, p. 119; Broxterman et al., 2015; Jones e Vanhatalo, 2017; Moritani et al., 1981).

**Figura 3 - Regressão linear para determinação da velocidade crítica (VC) e capacidade de trabalho anaeróbico (CTA)**



Fonte: o autor (2023).

Os dados de distância ( $N_{10}$  e  $N_{20}$ ) – número de degraus em 10 e 20 andares, respectivamente – e tempo ( $t_{10}$  e  $t_{20}$ ) – tempo para subir 10 e 20 andares, respectivamente – são submetidos ao procedimento de regressão linear para estimar a VC e CTA (modelo distância-tempo). O coeficiente angular de cada uma das regressões individuais e o coeficiente linear dos participantes representam a VC e a CTA, respectivamente (Papoti *et al.*, 2005).

No esporte, se a cadência não puder ser mantida, ou seja, se o ritmo for mais rápido do que a VC do atleta, a depleção dos estoques energéticos musculares anaeróbios (CTA), resultará na perda do ritmo antes da linha de chegada (Kirby, Winn, *et al.*, 2021), e por conseguinte, o atleta pode ser derrotado por um adversário ou ser removido do jogo e substituído por outro jogador (Kirby, Bradley e Wilkins, 2019). No caso de um salvamento de vítima em edifício, vidas podem ser perdidas se o bombeiro militar não chegar a tempo e em condições físicas e psicológicas para salvá-las. Portanto, as avaliações da taxa de trabalho sustentada, que são específicas para as demandas da tarefa ocupacional são de interesse tanto para bombeiros militares que atuam nesse cenário quanto para os gestores dos Corpos de Bombeiros Militares (Souza, 2023).

Atletas e treinadores podem gerar uma estratégia de ritmo para atender às necessidades do evento a partir do fornecimento de um “limiar” em torno do qual a taxa de trabalho sustentável mais alta pode ser determinada (Jones e Vanhatalo, 2017; Morton e Veronique Billat, 2004; Poole *et al.*, 2016). Qualquer taxa de trabalho abaixo da VC resulta em um perfil metabólico estável (Jones *et al.*, 2008; Kirby, Bradley e Wilkins, 2019). Limiares de fadiga como VC, tem sido usado para descrever os limites do domínio de intensidade do exercício pesado bem como demarcar o trabalho com fadiga e sem fadiga (Massini *et al.*, 2016).

Encontrou-se na literatura em diversos esportes que a VC se situa em intensidades semelhantes, por exemplo,  $83 \pm 6\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$ , em participantes moderadamente treinados em corrida, ciclismo e esportes recreacionais (Bergstrom *et al.*, 2013),  $86,5 \pm 4,3\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$  em corredores classificados de não ativo a altamente treinado (tempo da maratona de  $<150$  min) (Broxterman *et al.*, 2013),  $83,8 \pm 3,6\%$   $VO_{2m\acute{a}x}$ , em participantes com experiência de dois anos em corrida e volume médio semanal de  $24,9 \pm 5,2$  km (Massini *et al.*, 2016).

Visando minimizar a desvantagem metodológica da estimativa da VC pelo método tradicional com a necessidade de realização de três ou mais testes preditivos

exaustivos com diferentes distâncias até a exaustão. Utilizou-se nesta pesquisa somente dois testes de esforço máximo para determinar a VC (Papoti *et al.*, 2005).

### 4.3 Variáveis Cardiorrespiratórias

O consumo máximo de oxigênio ou potência aeróbia máxima ( $VO_{2máx}$ ) é definido como a maior taxa de absorção, transporte e consumo de oxigênio atmosférico em esforço de característica máxima no decorrer de um exercício dinâmico exaustivo, tendo sido descrito como uma das mais relevantes variáveis determinantes do desempenho do sistema cardiorrespiratório (Bertuzzi *et al.*, 2017; Herdy e Caixeta, 2016; Kraemer, Fleck e Deschenes, 2016; Mcardle, Katch e Katch, 2016; Powers e Howley, 2017; Soares-Caldeira, 2018).

A capacidade cardiorrespiratória é determinada com base na medida do consumo de  $O_2$  relativo/absoluto ao peso corporal, indicada para qualquer esforço finito. A associação presente entre a velocidade da subida de degraus e a necessidade de  $O_2$  relativo ( $ml.kg^{-1}.min^{-1}$ ) parece ser linear (Powers e Howley, 2017). A mensuração do  $VO_{2máx}$  pode ser obtida por meio de testes diretos e indiretos. Associados a ergômetros (ex.: cicloergômetro, esteira ergométrica, banco de *step*, remoergômetro), equipamentos e instrumentos como os analisadores de gases laboratoriais ou portáteis, são capazes de quantificar a troca de gases de oxigênio ( $O_2$ ), de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) e de volumes pulmonares denominando-se os testes diretos (Soares-Caldeira, 2018).

Considerando a especificidade da tarefa ocupacional do bombeiro de subir escadas com peso extra, recomenda-se que o teste de bombeiros seja realizado em um dispositivo de subida de escada (Ben-Ezra e Verstraete, 1988). Encontrou-se somente um estudo com bombeiros que objetivou desenvolver e validar protocolos graduais submáximos e máximos de escadas e desenvolver equações máximas e submáximas precisas para prever o  $VO_{2pico}$  (Tierney *et al.*, 2010), todavia, os participantes não realizaram o teste transportando a massa adicional de equipamentos. É importante destacar que o teste no simulador de escada é capaz de gerar equações máximas e submáximas um pouco mais precisas do que o teste em esteira na predição  $VO_{2pico}$  para a população de bombeiros (Tierney *et al.*, 2010).

A avaliação do  $VO_{2máx}$  pode ser obtida por meio da utilização de protocolos de testes incrementais ou de cargas progressivas, classificados como testes

incrementais com estágios e/ou testes incrementais do tipo rampa. O alcance do  $VO_{2m\acute{a}x}$  é observado preliminarmente quando no decorrer da sucessão dos estágios no teste progressivo, ocorre um acréscimo menor que  $150 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1}$  ou  $2,1 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  entre os estágios do teste (Powers e Howley, 2017, p. 342).

Entretanto, devido à dificuldade de verificar esse indicador em indivíduos com baixo nível de condicionamento aeróbio, adota-se critérios secundários como: razão de troca respiratória  $\geq 1,15$ ; frequência cardíaca (FC) durante o último estágio do esforço situada  $\pm 10$  bpm da frequência cardíaca máxima ( $FC_{m\acute{a}x}$ ) preditiva para a idade, no entanto, segundo Powers e Howley, (2017, p. 342) devido ao erro potencial relativamente grande (1 DP = 10-12 bpm) ao estimar a  $FC_{m\acute{a}x}$  com algoritmos preditivos por idade, por exemplo (220 – idade), não há na literatura embasamento teórico como um critério para ter alcançado um  $VO_{2m\acute{a}x}$ ; exaustão voluntária; concentração de lactato sanguíneo pós exercício  $> 8 \text{ mmols} \cdot \text{l}^{-1}$  (Kraemer, Fleck e Deschenes, 2016; Powers e Howley, 2017; Soares-Caldeira, 2018).

Bertuzzi *et al.*, (2017, p. 78) relataram que um alto valor de  $VO_{2m\acute{a}x}$  parece ser uma condição para que os atletas tenham êxito em competições de longa duração, baseados nos resultados de  $VO_{2m\acute{a}x}$  de atletas esquiadores *cross-country* ( $> 81 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), corredores de 10 km (Média =  $71,7 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e corredores especialistas em provas de 16 km com duração entre 48,9 e 49,0 minutos ( $81,6 - 78,4 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), respectivamente.

Recomendações de  $VO_{2pico}$  para bombeiros variam entre  $33,6$  e  $46 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (Drew-Nord *et al.*, 2011). A aptidão cardiorrespiratória (ACR) em bombeiros é categorizada como suficiente quando o  $VO_{2m\acute{a}x} > 42 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ou 12 METS, conforme proposto pela *American National Fire Protection Association* (NFPA) (McKinney *et al.*, 2021; NFPA 1582, 2023; Noh *et al.*, 2020; Peate, Lundergan e Johnson, 2002; Sothmann *et al.*, 1992; Storer *et al.*, 2014) como o limite mínimo para desempenho seguro no combate a incêndio. No tocante a atletas táticos como é o caso de bombeiros militares, a literatura menciona que indivíduos abaixo de  $33,5 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  tinham alta probabilidade de não concluir a simulação em um tempo aceitável (Sothmann *et al.*, 1990). Um estudo recente, realizado com bombeiros alemães, categorizou os participantes com base no METS alcançado, representando muito baixo ( $\leq 10$  METS), baixo (10 a 12 METS), intermediário ( $> 12$  a 14 METS) e alto nível de aptidão física ( $> 14$  METS) (Strauss *et al.*, 2021).

Outros estudos estimam valores ainda maiores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  como:  $44 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Durand *et al.*, 2011),  $45 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Gledhill e Jamnik, 1992; Kiss *et al.*, 2014),  $46 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Windisch, Seiberl, Hahn, *et al.*, 2017) e de  $50 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) para que os bombeiros realizem sua tarefa ocupacional de forma saudável e segura. Fogleman e Bhojani (2005) classificaram bombeiros com baixa capacidade aeróbia com um  $VO_{2m\acute{a}x} < 31 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ ; com capacidade aeróbia recomendada ou média  $\geq 31 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  a  $\leq 43 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  e com alta capacidade  $> 43 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ .

Nos manuscritos em que amostras de bombeiros foram avaliadas, não se encontrou distinção dos valores de  $VO_{2m\acute{a}x}$  entre homens e mulheres. No estudo de Herdy e Caixeta (2016), o qual contou com uma amostra de 2.837 testes realizados em participantes aparentemente saudáveis, verificou-se que a média do  $VO_{2m\acute{a}x}$  da população feminina equivale a uma variação entre 76% e 83% da média do  $VO_{2m\acute{a}x}$  da população masculina dentro da mesma faixa etária. Já em outro estudo os valores médios do  $VO_{2m\acute{a}x}$  das mulheres coincidem com somente 70% dos valores médios do  $VO_{2m\acute{a}x}$  dos homens (Nunes *et al.*, 2005).

Considerando a classificação da ACR pelo  $VO_{2m\acute{a}x}$  relativo para homens e mulheres proposta por Herdy e Caixeta (2016), e o valor de  $VO_{2m\acute{a}x} \geq 42 \text{ ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$  recomendado para bombeiros pela maioria dos autores, é esperado uma ACR classificada como boa para os bombeiros masculinos dos 15 – 44 anos e excelente para aqueles com mais de 45 anos. No tocante as bombeiras militares esperam-se um  $VO_{2m\acute{a}x}$  excelente independente da faixa etária.

Em diversos estudos, no decorrer dos testes de subida de escada realizados com bombeiros, encontrou-se como limitação a ausência da mensuração dos dados de troca gasosa pulmonar (Calavalle *et al.*, 2013; Garner *et al.*, 2013; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010). Porém, mesmo naqueles estudos em que se realizou essa medida, os dados não foram analisados sob o prisma da VC (Bugajska *et al.*, 2007; Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Huang *et al.*, 2013; Morris *et al.*, 2018; Nazari *et al.*, 2018; Williams-Bell *et al.*, 2009, 2010a).

Nas pesquisas em que analisou-se a VC, o  $\dot{V}O_2$  foi mensurado respiração-a-respiração e analisados os dados de troca gasosa pulmonar (Clark *et al.*, 2019; Jones *et al.*, 2021; Kirby, Clark, *et al.*, 2021; Massini *et al.*, 2016; Windisch, Seiberl, Hahn, *et al.*, 2017; Windisch, Seiberl, Schwirtz, *et al.*, 2017), todavia, não com participantes bombeiros desempenhando a tarefa ocupacional de subida de escadas com posterior

realização do resgate de vítima. Deste modo, esta lacuna na literatura leva-nos a verificar se existe alguma influência do ritmo de subida de escada no desempenho do bombeiro ao realizar o resgate de vítima em edifício.

Windisch *et al.*, (2017a) enfatizam fortemente que em pesquisas relacionadas a atividades de combate a incêndio que avaliam o nível de condicionamento físico dos bombeiros, além da verificação do  $VO_2$  e da FC, também seja considerado o valor de razão de troca respiratória (RER). Em outro estudo, relatou-se que é imprescindível que os bombeiros possuam um bom nível de condicionamento físico para permanecer o mínimo de tempo possível acima do ponto de compensação respiratória em simulações de combate a incêndios em temperaturas extremas com fumaça, baixa visibilidade e comportamentos extremos do fogo inesperados (Windisch, Seiberl, Hahn, *et al.*, 2017).

Um estudo realizado com homens e mulheres com experiência variada com o simulador de escada relatou que trabalhos futuros envolvendo esse equipamento devem abordar a questão do uso das mãos ao segurar o suporte de corrimão e/ou posição do corpo (Butts, Dodge e McAlpine, 1993). Segundo outra pesquisa, deve-se minimizar o uso do corrimão ao realizar um teste em uma esteira, visto que os suportes laterais e dianteiros podem diminuir a carga corporal e por conseguinte o esforço físico (Fletcher *et al.*, 2013). Um estudo recente com trinta e cinco alunos de graduação de ambos os sexos, identificou que durante um teste máximo em esteira ergométrica houve diferença significativa ( $p < 0,001$ ) no  $VO_{2máx}$ , dos indivíduos que seguraram o suporte de corrimão  $VO_{2máx} = 41,07 \pm 7,49$  em relação aos que não seguraram  $VO_{2máx} = 33,28 \pm 5,29$ , prolongando ligeiramente as influências parassimpáticas na FC quando os participantes se agarram à esteira (Oliveira, de *et al.*, 2020).

Em outra pesquisa realizada com homens e mulheres, envolvidos em várias atividades físicas por no mínimo 30 minutos semanais, relatou-se como limitação a ausência de avaliação direta das diferenças entre os padrões de subida de escada usando um degrau e dois degraus de cada vez, por meio de medidas de eletromiografia que demonstrem o nível de ativação dos músculos e/ou medição real mediante a plataforma de força. Para estudos futuros foi recomendado adotar essas técnicas de mensuração para proporcionar uma compreensão individualizada e otimizada das demandas fisiológicas e musculares em relação ao padrão de passo (Aziz e Teh, 2005). Contudo, um estudo recente relatou que o espaçamento reduzido entre degraus nas escadas pode ser mais ergonomicamente compatível para os

bombeiros, sugerindo redução do estresse biomecânico e indicando um risco reduzido de tropeçar, podendo ter impacto na redução da fadiga, na melhoria da eficiência da escalada e no aumento da segurança dos bombeiros em subidas longas, peculiares de operações de combate a incêndios (Simeonov *et al.*, 2020).

Em outra pesquisa analisou-se o gasto energético total para subir escada mediante um degrau e por meio de dois degraus, atribuindo a períodos curtos as limitações de sensibilidade na medida da frequência cardíaca para predição do  $VO_2$ . Ainda se sugeriu que estudos futuros que utilizem a frequência cardíaca como meio de obtenção da taxa de gasto energético durante a subida de escadas, adotem uma equação de predição para grupos de participantes adultos saudáveis (Halsey, Watkins e Duggan, 2012).

Na pesquisa de Williams-Bell *et al.*, (2010a) a  $V_E$ ,  $VO_2$  e FC aumentou rapidamente nos primeiros cinco a seis andares da subida de escada, em seguida, atingiu níveis relativamente estáveis até que a subida de escada fosse encerrada quando os bombeiros consumiram 55% do ar armazenado no cilindro do EPRA ou ao chegar ao último andar (23º). Os valores individuais dos participantes que foram relativamente constantes após o 6º andar coincidiram com a menor velocidade sustentada após subirem rapidamente no início da tarefa. A média da  $V_E$  durante a subida da escada foi de 85,3 l.  $min^{-1}$  (variação de 56,8 a 113,6 l.  $min^{-1}$ ).

Num estudo norueguês, bombeiros profissionais em tempo integral do *Fredrikstad Fire and Rescue Brigade* (Noruega) (33 homens), com idade de  $37 \pm 7$  anos, massa corporal de  $85 \pm 10$  kg, estatura de  $182 \pm 7$  cm, realizaram tarefas de combate a incêndio e resgate, dentre as quais o bombeiro participante realizou o resgate simulado de uma vítima, agarrando pelos braços ou pés de um boneco pesando 70 kg, caminhou para trás, arrastando o manequim por 35 m, e após uma conversão de 180 graus, por mais 35 m atingindo o pico de  $V_E = 130 \pm 20$  l.  $min^{-1}$  (Mamen *et al.*, 2021).

Na pesquisa de Williams-Bell *et al.*, (2010b), bombeiros profissionais do *Toronto Fire Services* (Toronto, Ontario) (33 homens e 3 mulheres), com idade variando de 30 a 53 anos, com 0,5 a 30 anos de serviço ( $12,0 \pm 8,5$  anos), resgataram um manequim de 75 kg por uma distância de 27,5 m exigindo-se o  $VO_2$  de  $2401 \pm 491$  ml.  $min^{-1}$ ;  $27,5 \pm 5,8$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$ .

## 5 MÉTODO

### 5.1 Participantes

Os bombeiros militares da cidade de Curitiba e região metropolitana foram convidados para participar do estudo. Os critérios de inclusão foram: a) ser voluntário; b) ser bombeiro militar da ativa; c) apresentar liberação médica para realizar esforço cardiovascular máximo; d) não estar fazendo uso de medicamentos como beta-bloqueadores pois que afetaria as respostas ao exercício; e) não apresentar lesão ou doença que impeça a realização dos esforços operacionais no presente documento. Já os critérios de exclusão foram: a) não realizar algum dos testes propostos nos diferentes dias; b) faltar em alguma das sessões experimentais; c) sofrer qualquer tipo de lesão, ou aparecimento de dor que impeça a participação nos testes.

Assim a amostra contou com 18 bombeiros militares do sexo masculino cujas características estão disponíveis na tabela 2.

**Tabela 2 - Caracterização dos bombeiros participantes**

<b>Características</b>	<b>média ± desvio padrão</b>
N	18
Idade (anos)	36,6 ± 1,5
Tempo de serviço no Corpo de Bombeiros Militar (anos)	12,6 ± 1,2
Estatura (cm)	176,5 ± 1,3
Massa corporal (kg)	83,3 ± 2,3
Índice de massa corporal (kg . m <sup>-2</sup> )	26,7 ± 0,5
Peso corporal com EPI (kg)	114,8 ± 9,6
VO <sub>2pico</sub> (ml . kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> )	56,2 ± 11,5
FC <sub>máx</sub> (bpm)	181,8 ± 11,2

Legenda: EPI = Equipamento de proteção individual; VO<sub>2pico</sub> = Consumo de oxigênio atingido durante um teste ergoespirométrico máximo; FC<sub>máx</sub> = Maior valor de frequência cardíaca atingida durante um teste ergoespirométrico máximo.

**Fonte: o autor (2023).**

A presente pesquisa foi aprovada pelo Comitê de Ética em Pesquisa envolvendo Seres Humanos (CEP) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), sob protocolo CAAE: 59909322.1.0000.5547. Esta pesquisa também conta com a anuência do Diretor Interino de Ensino e Pesquisa da Polícia Militar do Paraná (PMPR), de acordo com publicação em Boletim-Geral nº 055 de 22 de março de 2022, bem como dos comandantes locais dos bombeiros militares voluntários. Esse projeto também teve a anuência dos moradores do edifício Hyde Park sito a Rua Nunes Machado, nº 79, Centro – Curitiba-PR. Todos os participantes assinaram o Termo De

Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e Uso De Imagem e Som De Voz (TCUISV), seguindo as normas do Conselho Nacional de Saúde (CNS) (Resolução nº 466/2012).

## 5.2 Delineamento de estudo

Todos os testes foram realizados no período de 10 de março a 02 de abril de 2023, sendo separados por 72 horas e o participante foi orientado a comparecer às sessões experimentais alimentado, hidratado e sem prática de atividade física vigorosa nas 24 horas antes dos testes. O delineamento do estudo contou com 3 fases: a) Teste ergoespirométrico máximo; b) Testes de subida de escada num ritmo autosseleccionado; c) Testes de subida de escada num ritmo de velocidade crítica (Quadro 1). Após a liberação médica e assinatura do TCLE e do TCUISV, os participantes vestiram o EPI de combate a incêndio, um colete de 20,9 kg (para simular o peso de EPRA, mangueira e machado) (Kleinberg *et al.*, 2016), e o sistema metabólico portátil K5 (Cosmed, Roma, Itália), vide figura 4. Os dados de massa adicional estão descritos na tabela 3. Na primeira fase, o bombeiro foi monitorado na posição sentado por dois minutos, a seguir ele se levantou e subiu na escada ergométrica ClimbMill (Matrix, Cottage Grove, EUA) e iniciou o teste ergoespirométrico máximo (figura 5). No teste a velocidade foi aumentada a cada dois minutos e foi interrompido por desistência voluntária ou por decisão do médico que acompanhou o teste. Durante o teste não foi permitido que o bombeiro militar segurasse no corrimão da escada. Por fim, o bombeiro ficou novamente na posição sentada por quatro minutos, e a primeira fase foi encerrada. Essa primeira fase teve o objetivo de gerar valores de referência máxima de consumo de oxigênio e frequência cardíaca num ambiente controlado.

**Quadro 1 - Teste ergoespirométrico e testes de subida de escada do edifício, equipado com EPI para combate a incêndio**

1ª fase	2ª fase		3ª fase	
Teste ergoespirométrico máximo	Teste no ritmo autosselecionado 1	Teste no ritmo autosselecionado 2	Teste no ritmo da velocidade crítica 1	Teste no ritmo da velocidade crítica 2
Subir em um simulador de escada, em uma velocidade incremental a cada 2 min. até a exaustão voluntária ou a interrupção determinada pelo médico avaliador.	Subir 10 ou 20 andares de um edifício num ritmo pessoal o mais rápido possível, sabendo que ao final do percurso haveria uma tarefa operacional de resgate.	Subir a quantidade de andares não sorteada no Teste 2 num ritmo pessoal o mais rápido possível, sabendo que ao final do percurso haveria uma tarefa operacional de resgate.	Subir 10 ou 20 andares de um edifício no ritmo da VC (calculada entre os testes da 2ª fase), sabendo que ao final do percurso haveria uma tarefa operacional de resgate.	Subir a quantidade de andares não sorteada no ritmo da VC (calculada entre os testes da 2ª fase), sabendo que ao final do percurso haveria uma tarefa operacional de resgate.
Dados computados nas fases 2 e 3.	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) Variáveis cardiorrespiratórias e de dor e desconforto musculoesquelético em repouso;</li> <li>2) Variáveis cardiorrespiratórias; tempo total para chegar ao local sinistrado e a PSE;</li> <li>3) Variáveis cardiorrespiratórias; tempo para completar a tarefa operacional de resgate e a PSE;</li> <li>4) Variáveis cardiorrespiratórias durante a recuperação e variáveis de dor e desconforto musculoesquelético e de PSE após a recuperação.</li> </ol>			

Fonte: o autor (2023).

**Figura 4 - Participante equipado para realização dos testes físicos desse estudo**



Legenda: 1) capacete Gallet F-1; 2) balaclava; 3) sistema metabólico portátil K5; 4) jaqueta do conjunto de aproximação; 5) calça; 6) colete de peso de 20,9 kg; 7) luvas de combate a incêndio e 8) botas.

Fonte: o autor (2023)

**Figura 5 - Simulador de escada ClimbMill (Matrix)**



Fonte: o autor (2023)

Tabela 3 - Dados de massa adicional de cada bombeiro participante

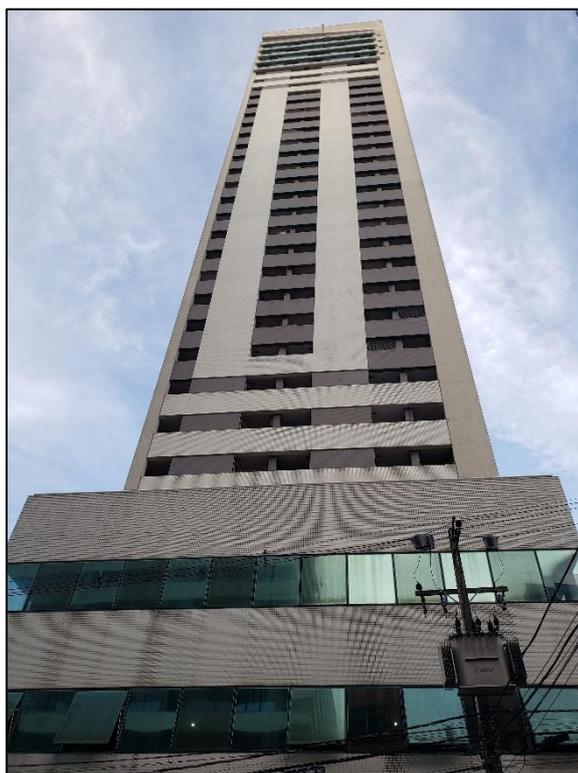
Voluntário	Massa da jaqueta	Massa da calça + botas	Massa das luvas	Massa do capacete + balaclava	Massa do colete de peso	Massa do K5	Massa total com EPI + colete de peso + K5	Massa adicional (EPI + colete de peso + K5)	% da massa corporal
1	2,30	4,15	0,20	1,85	20,90	1,40	113,10	31,15	38,01
2	2,10	4,35	0,30	1,85	20,90	1,40	100,40	31,35	45,40
3	2,65	4,45	0,25	1,75	20,90	1,40	110,70	31,50	39,77
4	2,25	5,65	0,20	1,75	20,90	1,40	141,10	32,20	29,57
5	1,85	5,10	0,25	1,85	20,90	1,40	104,00	31,55	43,55
6	2,30	4,15	0,25	1,85	20,90	1,40	120,30	30,95	34,64
7	2,05	4,45	0,15	1,80	20,90	1,40	118,30	30,50	34,74
8	2,40	5,75	0,40	2,10	20,90	1,40	114,35	33,10	40,74
9	2,00	4,20	0,25	1,70	20,90	1,40	122,05	30,55	33,39
10	2,00	3,90	0,20	1,60	20,90	1,40	109,10	30,10	38,10
11	1,75	4,00	0,25	1,80	20,90	1,40	113,10	30,65	37,17
12	1,90	4,30	0,35	1,70	20,90	1,40	119,05	30,95	35,13
13	1,95	4,25	0,20	1,75	20,90	1,40	129,30	30,70	31,14
14	2,35	4,05	0,25	1,70	20,90	1,40	100,60	31,05	44,64
15	2,50	6,00	0,25	1,70	20,90	1,40	109,65	33,35	43,71
16	1,80	5,20	0,15	1,90	20,90	1,40	110,75	31,80	40,28
17	1,80	5,10	0,25	1,55	20,90	1,40	112,70	31,60	38,96
18	2,40	5,65	0,30	1,75	20,90	1,40	117,15	32,65	38,64
<b>Média</b>	<b>2,10</b>	<b>4,70</b>	<b>0,20</b>	<b>1,80</b>	<b>20,90</b>	<b>1,40</b>	<b>114,76</b>	<b>31,40</b>	<b>38,20</b>
<b>DP</b>	<b>0,30</b>	<b>0,70</b>	<b>0,10</b>	<b>0,10</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>9,84</b>	<b>0,90</b>	<b>4,50</b>

Legenda: massa dos equipamentos dada em quilogramas (kg).

Fonte: o autor (2023).

Para a segunda fase os bombeiros compareceram ao edifício Hyde Park que contém 33 pavimentos, vide figura 6.

**Figura 6 - Condomínio Residencial Hyde Park (33 pavimentos)**



**Fonte: o autor (2023)**

No terraço do edifício, os bombeiros vestiram os mesmos equipamentos da figura 4, e foram monitorados na posição sentado por dois minutos. Então, levando em consideração um sorteio randomizado e balanceado, o bombeiro e um avaliador desceram 10 ou 20 andares de elevador no primeiro dia. Posicionaram-se no início da escada de emergência do respectivo andar sorteado. Neste momento cada bombeiro recebeu a seguinte instrução operacional: “O edifício está em chamas, você deve chegar ao terraço em um ritmo autosselecionado e resgatar uma vítima inconsciente de 71 kg o mais rápido possível”. Com a autorização do avaliador, acionamento do cronômetro digital (Unity, São Paulo, Brasil) e monitorização constante do K5, o bombeiro iniciou a subida de escada com dois critérios: não podia apoiar no corrimão dos lances de escada e deveria subir apoiando um pé em cada degrau. Já o avaliador

subiu no mesmo ritmo do bombeiro, mantendo uma distância aproximada de dois metros enquanto segurava o notebook e o cronômetro digital (Figura 7). Esse procedimento garantiu o registro constante das variáveis do K5, registro do tempo e a fiscalização do padrão de execução técnica de subida das escadas entre os diferentes dias. Ao chegar ao terraço (andar sinistrado), o bombeiro sinalizou um valor na escala de percepção subjetiva de esforço (6-20) (Borg, 1982), a duração do tempo de subida das escadas foi registrada, e o bombeiro se dirigiu até a vítima.

**Figura 7 - Bombeiro equipado e avaliador subindo escada nas condições de ritmo autosselecionado ou velocidade crítica**



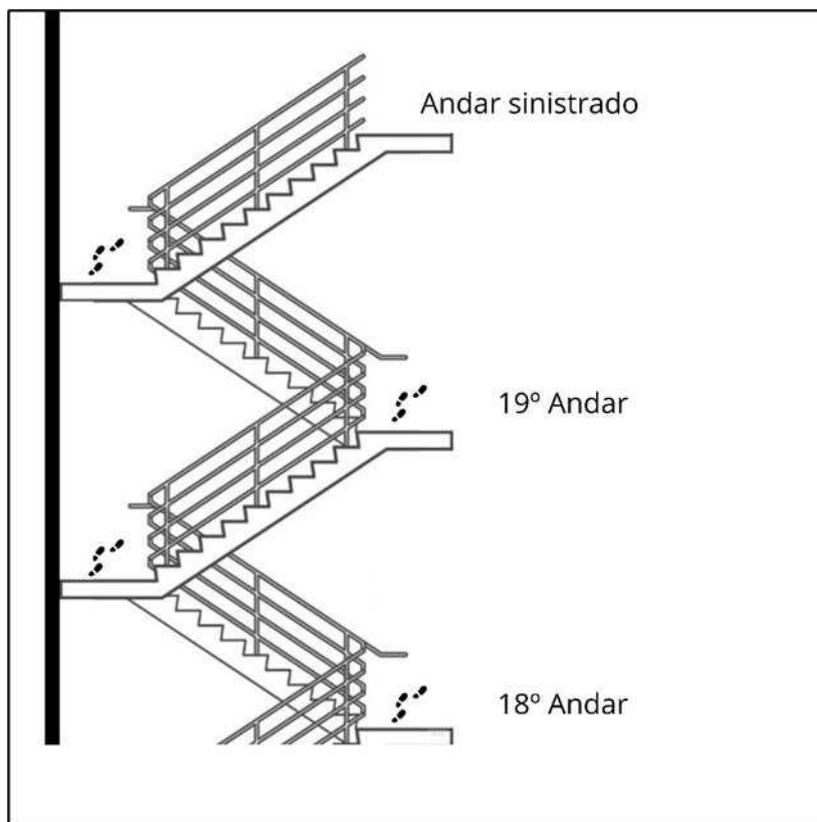
**Fonte: o autor (2023).**

A vítima foi um boneco de 71 kg (Ruth Lee, Denbighshire, País de Gales) que ficou posicionado a 26 metros do final da escada. O bombeiro deveria pegá-lo e arrastá-lo por um percurso que totalizava 23 metros. Ressalta-se que o encorajamento verbal foi fornecido somente durante a tarefa de resgate, porém, nenhuma informação relativa ao tempo decorrido foi fornecida sob o risco de desencorajar o ritmo. Neste momento, o bombeiro novamente sinalizou um valor da escala de percepção subjetiva de esforço e permaneceu sentado por quatro minutos. A duração do tempo de registro

do salvamento da vítima foi registrada a partir do momento que o bombeiro chegou ao andar sinistrado até o final do percurso com a vítima. Também se registrou a duração total da tarefa que foi o somatório do tempo de subida das escadas e do tempo de resgate da vítima. Dado um intervalo mínimo de 72 horas, o bombeiro e avaliador realizaram os mesmos procedimentos, mas na condição não sorteada no primeiro dia. Por exemplo, se o respectivo bombeiro subiu 20 andares no primeiro dia, nesse segundo dia ele subiu 10 andares. Assim terminou a segunda fase.

Com os dados da 2ª fase coletados e analisados, foi iniciado a fase de testes de subida de escada num ritmo de velocidade crítica. O cálculo tradicional da velocidade crítica prevê a média aritmética entre duas distâncias (Papoti *et al.*, 2005), que resultaria em um ritmo de subida inferior ao que cada bombeiro fez nos 10 andares e superior ao que ele fez nos 20 andares. Entretanto, sabendo que para subir 20 andares no ritmo autosselecionado da 2ª fase, os participantes já atingiram  $103,5 \pm 11,4\%$  e  $93,8 \pm 12,7\%$  do  $VO_{2pico}$  e  $FC_{máx}$  dos valores registrados no teste ergoespirométrico máximo, respectivamente (Tabela 6), seria praticamente impossível ajustar uma velocidade crítica solicitando que o participante subisse num ritmo superior ao que ele já executou no ritmo autosselecionado para 20 andares. Outro ponto fundamental, é observar que ao final de um lance de escadas foram necessários pelo menos um passo intermediário para iniciar o próximo lance (Figura 8). Assim, na linha da média geral da tabela 6, observa que os bombeiros subiram os 10 andares (160 degraus + ~ 50,1 passos intermediários) em ~ 110,3 segundos, e subiram 20 andares em ~ 268,1 segundos (320 degraus + ~ 121,2 passos intermediários). Então para criar a fórmula de uma velocidade crítica operacional viável, foram desconsiderados os passos intermediários, e considerado apenas o número fixo de degraus e duração de tempo individual para subir 10 ou 20 andares. Então a fórmula da velocidade crítica operacional foi:  $(160 \text{ degraus} + 320 \text{ degraus}) / (\text{tempo para subir 10 andares} + \text{tempo para subir 20 andares})$ .

**Figura 8 - Representação gráfica dos lances de escada e passos intermediários (↗↘) até o andar sinistrado**



**Fonte: o autor (2023).**

Nesta 3ª fase, os bombeiros vestiram os mesmos equipamentos da figura 4, e colocaram dois fones de ouvido TWS200 com sistema *wireless* (Kimaster, São Paulo – SP, Brasil). Então foram monitorados na posição sentado por dois minutos. Tendo em conta um sorteio randomizado e balanceado, o bombeiro e um avaliador desceram 10 ou 20 andares de elevador no primeiro dia. Então eles se posicionaram no início da escada de emergência do respectivo andar sorteado. Neste momento cada bombeiro recebeu a seguinte instrução operacional: “O Edifício está em chamas, você deve chegar ao terraço e resgatar uma vítima inconsciente de 71 kg, entretanto você deverá realizar cada passo no ritmo do bipe do metrônomo até chegar ao andar sinistrado. Estando no andar sinistrado resgate a vítima o mais rápido possível”. O avaliador acionou o metrônomo instalado no celular e confirmou se o bombeiro estava ouvindo o som dos bipes. Então com a autorização do avaliador, acionamento de cronômetro digital e monitorização constante do k5, o bombeiro iniciou a subida de escada com três critérios: não poderia apoiar no corrimão dos lances de escada,

deveria subir apoiando um pé em cada degrau e deveria manter o ritmo das passadas segundo o bipe transmitido pelos fones. Já o avaliador subiu no mesmo ritmo do bombeiro, mantendo uma distância aproximada de dois metros enquanto segurava o notebook, cronômetro digital e celular com o aplicativo do metrônomo (Figura 7). Esse procedimento garantiu o registro constante das variáveis do K5, registro do tempo e a fiscalização do padrão de execução da técnica de subida das escadas entre os diferentes dias. Ao chegar no pavimento do terraço (andar sinistrado), o bombeiro sinalizou um valor na escala de percepção subjetiva de esforço (Borg, 1982), o bipe do metrônomo foi desligado, a duração do tempo de subida das escadas foi registrada, e o bombeiro se dirigiu até a vítima num ritmo autosselecionado. A vítima foi um boneco de 71 kg (Ruth Lee, Denbighshire, País de Gales) que ficou posicionado a 26 metros do final da escada. O bombeiro deveria pegá-lo e arrastá-lo por um percurso que totalizava 23 metros. Após o resgate, o bombeiro novamente sinalizou um valor da escala de percepção subjetiva de esforço e permaneceu sentado por quatro minutos. A duração do tempo de registro do salvamento da vítima foi registrada a partir do momento que o bombeiro chegou ao andar sinistrado até o final do percurso com a vítima. Também se registrou a duração total da tarefa que foi o somatório do tempo de subida das escadas e do tempo de resgate da vítima. Dado um intervalo mínimo de 72 horas, o bombeiro e avaliador realizaram os mesmos procedimentos, mas na condição não sorteada no primeiro dia. Por exemplo, se o respectivo bombeiro subiu 10 andares no primeiro dia, nesse segundo dia ele subiu 20 andares. Assim terminou a terceira fase.

## 6 VARIÁVEIS DE DESEMPENHO

### 6.1 Medidas antropométricas e Teste ergoespirométrico

Primeiramente, realizou-se a medição da massa do participante e de seus EPIs usando uma balança DE 300K50D (Kern, Balingen, Alemanha) e a estatura por meio de uma fita métrica antropométrica (Sanny, São Paulo, Brasil) fixada e ajustada em uma parede. Então o participante equipou-se com o EPI para combate a incêndio e vestiu um colete de peso de 20,9 kg para simular o EPRA e materiais transportados neste tipo de ocorrência. A seguir foi realizado em uma escada ergométrica ClimbMill (Matrix, Cottage Grove, EUA), utilizando o sistema metabólico portátil K5 (Cosmed, Roma, Itália) para analisar a capacidade cardiorrespiratória denominada como  $VO_{2\text{pico}}$  por meio do protocolo TFESP para bombeiros (Tabela 4). O protocolo TFESP (ainda não validado) consistiu de três fases (aquecimento, exercício e recuperação) e um máximo de oito estágios.

**Tabela 4 - Protocolo TFESP**

Fase	Estágio	Nível	Velocidade (degraus/min.)	Duração (min.)	Total de Degraus Acumulado
Aquecimento	1	5	48	2	~ 96
Exercícios	2	7	60	2	~ 216
	3	8	66	2	~ 348
	4	9	72	2	~ 492
	5	10	78	2	~ 648
	6	11	84	2	~ 816
	7	12	90	2	~ 996
	Recuperação	8	2	26	1

Fonte: o autor (2023).

Como observado na Tabela 4, o aquecimento iniciou em 48 degraus/min. devido as velocidades pré estabelecidas pela escada ergométrica e à velocidade mais próxima de aquecimento utilizada em outros estudos com bombeiros subindo escadas (Huang *et al.*, 2013; Morris *et al.*, 2018). A fase de exercício iniciou em 60 degraus/min. de forma similar ao realizado em outras pesquisas (Huang *et al.*, 2013; Morris *et al.*, 2018; Williams-Bell *et al.*, 2009), e de maneira adicional, considerando a característica incremental do teste ergoespirométrico, a velocidade foi aumentada em 6 degraus/min. a cada estágio, devido a variação de velocidade proporcionada pela escada ergométrica.

Durante o teste, o participante não pôde segurar nos corrimãos, e foi utilizada a análise respiração-a-respiração para realizar medições instantâneas de consumo e produção dos subprodutos do metabolismo aeróbio e anaeróbio durante cada ciclo de respiração. O teste terminou no estágio que o participante desistiu ou por determinação do médico avaliador.

Foram registradas as seguintes variáveis de desempenho:  $VO_{2\text{pico}}$ ,  $FC_{\text{pico}}$ , PSE durante a tarefa a cada dois minutos e após quatro minutos de recuperação, tempo total da tarefa e PAS e PAD em repouso e após quatro minutos de recuperação.

## **6.2 Testes de subida de escada no ritmo autosselecionado e com ritmo fixo na velocidade crítica (VC)**

Durante o repouso antes do exercício e da colocação dos equipamentos, foi verificada a massa corporal e a pressão arterial de cada indivíduo, assim como este preencheu o formulário disponível no *Google Forms* - diagrama de Corlett e Manenica (1980). Após equipar-se, enquanto estava sentado em um banco sem encosto, monitorou-se por dois minutos usando o K5, as seguintes variáveis cardiorrespiratórias:  $V_E$ ,  $VO_2$ , MET,  $VCO_2$ , RER, FC, pulso de oxigênio ( $PuO_2$ ), analisando-se a média dos valores coletados durante o repouso.

No decorrer do teste de subida de escada, o K5 monitorou constantemente a cada respiração as seguintes variáveis cardiorrespiratórias:  $V_E$ ,  $VO_2$ , MET,  $VCO_2$ , RER, FC,  $PuO_2$ , analisando-se os valores máximos coletados durante o esforço e um pesquisador por meio de um cronômetro digital, controlou o tempo de subida. Quando o voluntário chegou ao final da subida indicou a PSE.

Em seguida, enquanto o participante realizou a tarefa de resgate de vítima, o K5 examinou continuamente a cada respiração as subseqüentes variáveis cardiorrespiratórias:  $V_E$ ,  $VO_2$ , MET,  $VCO_2$ , RER, FC,  $PuO_2$ , analisando-se os valores máximos coletados durante o esforço e um pesquisador por meio de um cronômetro digital, apurou o tempo de resgate e conseqüentemente o tempo total da tarefa. Quando o voluntário chegou ao final do resgate apontou a PSE.

No momento da recuperação, o indivíduo permaneceu sentado em um banco sem encosto por quatro minutos, ao mesmo tempo que o K5, mensurou simultaneamente a cada respiração as variáveis cardiorrespiratórias:  $V_E$ ,  $VO_2$ , MET,  $VCO_2$ , RER, FC,  $PuO_2$ , analisando-se os valores mínimos coletados durante a

recuperação. Após, relatou a PSE e depois da remoção dos equipamentos aferiu-se novamente a massa corporal e a pressão arterial de cada participante, assim como este preencheu o formulário disponível no *Google Forms* - diagrama de Corlett e Manenica (1980).

No primeiro e no segundo dia dessa fase, o participante subiu 10 ou 20 andares conforme descrito no quadro 1. O voluntário trajando camiseta meia manga e calção, cinto do monitor de frequência cardíaca, equipou-se com o EPI, colete e K5 (Figura 4). O indivíduo foi instruído a subir em um ritmo no menor tempo possível, sabendo que ao final da distância (10 ou 20 andares) o participante necessitaria cumprir uma tarefa operacional de resgate. A tarefa consistiu num deslocamento de 26 metros até um manequim *Ruth Lee* (71 kg), então o bombeiro se posicionou atrás do manequim, colocou as mãos ao redor do tronco do manequim, levantou-o pegando por de baixo dos ombros e arrastou-o para trás (Michaelides *et al.*, 2011) por uma distância de 23 m (Dennison *et al.*, 2012). Os bombeiros foram autorizados a soltar o manequim e ajustar sua aderência conforme necessário durante a tarefa. O evento foi considerado completo quando os pés do manequim de resgate cruzaram a linha demarcada com fita zebraada.

**Figura 9 - Resgate de vítima**



Fonte: o autor (2023).

Sentou-se por quatro minutos durante a recuperação para aferição dos dados cardiorrespiratórios. Todas as variáveis cardiorrespiratórias, de percepção subjetiva de esforço, de dor e desconforto musculoesquelético foram monitoradas, além do tempo total para chegar ao local sinistrado e para cumprir a tarefa operacional de resgate, computando-se para análise estatística.

### **6.3 Testes de subida de escada**

No primeiro e no segundo dia dessa fase, o participante equipado da mesma forma que no teste de ritmo autosseleccionado, subiu 10 ou 20 andares no ritmo da VC, em uma zona de treinamento de “intensidade pesada” (Quadro 1). A VC foi calculada pela diferença do número de degraus entre 10 e 20 andares dividido pela diferença de tempo que o participante demorou para subir 10 e 20 andares no ritmo autosseleccionado. Fórmula da VC = (número de degraus em 20 andares – número de degraus em 10 andares) / (tempo para subir 20 andares – tempo para subir 10 andares).

Ao chegar ao andar sinistrado, o participante apontou na escala de Borg a sua percepção subjetiva de esforço e deslocou 26 m para realizar a tarefa de resgate de vítima, a qual foi simulada por um boneco de 71 kg, ao final apontou a sua PSE (Dennison *et al.*, 2012; Eglin e Tipton, 2005) e após os quatro minutos de recuperação a PSE foi verificada novamente. Todas as medidas foram realizadas como no teste de ritmo autosseleccionado.

#### **6.3.1 Escala de percepção subjetiva de esforço**

A avaliação da percepção subjetiva de esforço (PSE) (Borg, 1982) é um instrumento de grande utilidade, fácil de executar, requer instrumentação mínima e não interrompe o trabalho (Bugajska *et al.*, 2007). Nesse contexto, a literatura tem utilizado reiteradamente a escala de percepção de esforço de Borg (6-20) em estudos com bombeiros (Dreger e Petersen, 2007; Eglin e Tipton, 2005; Holmér e Gavhed, 2007; Larsen *et al.*, 2015; Taylor *et al.*, 2015).

Utiliza-se os 15 pontos da PSE (Tabela 5) como indicadores do esforço subjetivo, os quais proporcionam um modo quantitativo de monitorar o progresso do indivíduo ao longo de um teste de esforço progressivo ou em uma sessão de exercício (Powers e Howley, 2017, p. 341). Bombeiros com uma massa adicional de 23 kg de

equipamentos, tiveram uma PSE = 15,2 para realizar uma tarefa simulada de subida de quatro andares de escada (64 degraus com altura do espelho = 26 cm) e uma PSE = 17 para realizar uma tarefa simulada de resgate de um bombeiro com massa total de 106,6 kg pela distância de 10,5 m (Taylor *et al.*, 2015).

No presente estudo, utilizou-se a escala de Borg (6-20) devido a sua frequente aplicação em estudos com bombeiros, sendo que os participantes registraram as suas classificações de PSE no primeiro teste a cada dois minutos; após a descida do simulador e depois de quatro minutos de recuperação e, nos demais testes imediatamente após: a subida de escada; do resgate de vítima e da recuperação de quatro minutos.

**Figura 10 - Aplicação da escala de Borg (6-20)**



Fonte: o autor (2023).

### Tabela 5 - Escala de percepção subjetiva de esforço

Os 15 graus para percepção subjetiva de esforço, escala PSE.

---

6	
7	Extremamente leve
8	
9	Muito leve
10	
11	Leve
12	
13	Um pouco difícil
14	
15	Difícil
16	
17	Muito difícil
18	
19	Extremamente difícil
20	

---

Fonte: Borg, (1982)

#### 6.3.2 Medidas de dores e desconforto musculoesquelético

Foram respondidos os questionamentos relacionados às dores musculoesqueléticas, por meio do diagrama de Corlett (Corlett e Manenica, 1980; Grani *et al.*, 2022) antes e depois da realização de cada teste simulado, mediante o formulário disponível no *Google Forms* - diagrama de Corlett e Manenica (1980).

O diagrama consiste em uma representação da parte posterior do corpo humano dividido em 27 partes e oportuniza ao avaliado mensurar a dor em uma escala variando de 1 (ausência de dor/desconforto) a 5 (dor/desconforto extrema). Dessa forma, o avaliado pontua de 1 a 5 a sua percepção de dor/desconforto das 27 partes do seu corpo naquela ocasião. Posteriormente foi calculada a soma das respostas para cada um dos 27 segmentos corporais. Por conseguinte, foi construída uma escala, oscilando de 27, para o caso de todas as respostas serem 1, a 135, se todas as respostas forem 5. Em seguida foram identificados e mensurados os segmentos com maior índice de dor, analisando-se suas respectivas respostas.

## 7 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Os dados foram processados e analisados utilizando-se o *software Statistical Package for the Social Sciences* versão 26.0 para Windows (SPSS, Chicago, IL, EUA). Preliminarmente foi realizada uma inspeção visual dos dados a fim de detectar valores atípicos (*outliers*) verificando a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Utilizou-se um delineamento de medidas repetidas ao expor um único grupo de bombeiros militares a diferentes manipulações experimentais em pontos diferentes no tempo (ANOVA *three way*). Isto para avaliar o efeito dos fatores distância (10 vs 20 andares), da estratégia (velocidade autosselecionada vs velocidade crítica) e no decorrer de diferentes pontos no tempo (repouso vs esforço na subida de escadas vs esforço no resgate de vítima vs recuperação) nas quatro condições experimentais (Auto 10 vs VC 10 vs Auto 20 vs VC 20). Quando necessário o post-hoc de Bonferroni foi utilizado para identificar as diferenças entre as médias. Não havendo normalidade dos dados utilizou-se o Teste de Friedman para comparar os desfechos de tempo e de PSE. O nível de significância para todas as análises foi pré-fixado em  $p \leq 0,05$ . Os dados são apresentados em média  $\pm$  desvio-padrão.

## 8 RESULTADOS

A tabela 6 demonstra o comportamento individual das condições de ritmo autosseleccionado para subir 10 e 20 andares. Já a tabela 7 demonstra o comportamento individual das condições de ritmo na velocidade crítica operacional para subir 10 e 20 andares. A figura 11 demonstra o *padding* individual adotado por cada bombeiro para subir 10 e 20 andares no ritmo autosseleccionado. Já a figura 12 revela a tática individual do *padding* de arrasto da vítima após subir 10 andares no ritmo autosseleccionado e no ritmo da velocidade crítica operacional. Por fim, a figura 13 revela a tática do *padding* de arrasto da vítima após subir 20 andares no ritmo autosseleccionado e no ritmo da velocidade crítica operacional.

**Tabela 6 - Características individuais dos bombeiros militares no ritmo autoselecionado**

Voluntário	Ergométrico		10 andares = 160 degraus + passos intermediários (PI)					20 andares = 320 degraus + passos intermediários (PI)					Velocidade crítica operacional (degraus/min)		
	VO <sub>2</sub> pico (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	FC pico (bpm)	%VO <sub>2</sub> pico	% FC pico	MET	PSE (6-20)	Tempo de subida (s)	Total de PI	%VO <sub>2</sub> pico	% FC pico	MET	PSE (6-20)		Tempo de subida (s)	Total de PI
1	59,1	181,0	98,1	95,6	16,6	13	105,3	59	106,6	82,9	18,0	15	223,1	103	88,6
2	69,2	185,0	94,9	89,7	18,8	17	86,0	41	96,5	94,6	19,1	19	220,0	112	99,5
3	59,3	173,0	99,1	89,0	16,8	14	112,5	18	104,3	94,8	17,7	15	256,8	135	80,1
4	40,3	198,0	107,3	74,7	12,3	16	135,1	54	119,8	99,0	13,8	17	361,3	151	62,1
5	64,4	188,0	85,4	93,6	15,7	16	108,9	30	93,8	94,7	17,3	17	247,9	83	82,8
6	81,6	178,0	60,6	97,8	14,1	15	92,6	52	71,8	100,6	16,7	15	223,0	98	94,9
7	51,2	150,0	114,1	114,0	16,7	13	90,6	34	111,8	118,7	16,4	17	222,6	161	96,1
8	46,6	178,0	111,1	91,6	14,8	15	119,0	115	113,6	71,3	15,1	17	249,5	135	78,8
9	43,9	188,0	84,2	79,8	10,6	15	171,5	68	106,9	93,1	13,4	15	427,2	112	50,5
10	50,2	165,0	97,2	97,0	14	15	107,6	22	99,4	100,0	14,3	15	294,0	120	77,3
11	39,5	185,0	98,9	96,8	11,2	17	156,4	54	99,2	99,5	11,2	17	401,0	252	54,6
12	46,6	182,0	104,7	84,1	14	15	107,6	67	114,3	100,0	15,2	15	258,8	74	81,7
13	54,7	188,0	80,4	58,5	12,6	15	130,0	44	95,4	58,5	14,9	13	327,8	110	66,2
14	58,6	198,0	101,6	88,9	17	17	89,6	45	108,1	97,0	18,1	17	215,0	143	98,2
15	57,7	186,0	114,6	97,8	18,9	17	84,0	68	101,8	96,2	16,8	17	233,4	128	98,3
16	74,9	188,0	72,2	92,0	15,5	17	80,0	60	100,9	92,0	21,6	17	200,8	43	107,8
17	51,0	178,0	103,6	98,3	15,1	12	98,0	49	121,6	99,4	17,7	15	227,4	120	91,2
18	62,3	183,0	96,9	92,3	17,2	15	110,4	24	97,9	97,3	17,4	19	235,7	101	84,2
Média	<b>56,2</b>	<b>181,8</b>	<b>95,8</b>	<b>90,6</b>	<b>15,11</b>	<b>15,2</b>	<b>110,3</b>	<b>50,1</b>	<b>103,5</b>	<b>93,9</b>	<b>16,4</b>	<b>16,2</b>	<b>268,1</b>	<b>121,2</b>	<b>82,9</b>
DP	<b>11,5</b>	<b>11,2</b>	<b>14,4</b>	<b>11,6</b>	<b>2,39</b>	<b>1,5</b>	<b>24,8</b>	<b>22,5</b>	<b>11,4</b>	<b>12,7</b>	<b>2,4</b>	<b>1,6</b>	<b>67,1</b>	<b>43,4</b>	<b>16,1</b>

Legenda: VO<sub>2</sub>pico: consumo de oxigênio no pico; FC<sub>pico</sub>: frequência cardíaca no pico; %VO<sub>2</sub>pico: percentual de consumo de oxigênio no pico; % FC<sub>pico</sub>: percentual de frequência cardíaca no pico; MET: equivalente metabólico; PSE (6-20): percepção subjetiva de esforço; fórmula da VCO:  $VCO = N20 - N10 / T20 - T10$ .

Fonte: o autor (2023).

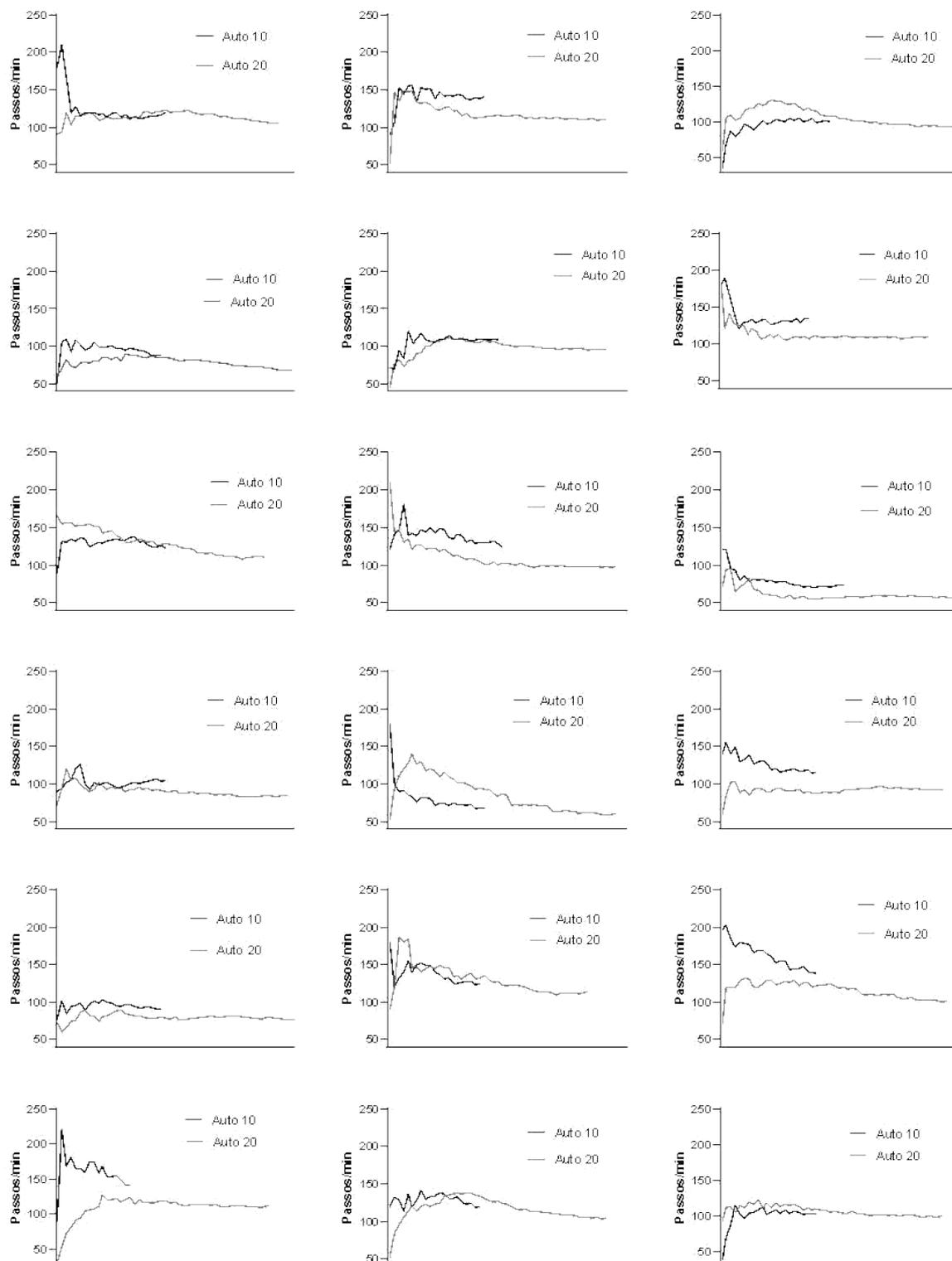
**Tabela 7 - Características individuais dos bombeiros militares no ritmo da velocidade crítica operacional**

Voluntário	Ergométrico							10 andares = 160 degraus + passos intermediários (PI)							20 andares = 320 degraus + passos intermediários (PI)							Velocidade crítica operacional (degraus/min)
	VO <sub>2</sub> pico (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> )	FC pico (bpm)	%VO <sub>2</sub> pico	% FC pico	MET	PSE (6-20)	Tempo de subida (s)	Total de PI	%VO <sub>2</sub> pico	% FC pico	MET	PSE (6-20)	Tempo de subida (s)	Total de PI								
1	59,1	181,0	86,8	89,5	14,7	13	134,8	44	92,5	93,4	15,6	13	249,1	97	88,6							
2	69,2	185,0	83,3	85,4	16,5	15	114,2	49	78,2	90,3	15,5	14	237,6	75	99,5							
3	59,3	173,0	88,6	86,1	15,0	11	146,5	85	92,2	96,5	15,6	13	300,0	88	80,1							
4	40,3	198,0	94,4	75,3	10,9	13	174,2	45	108,4	98,5	12,5	15	384,7	119	62,1							
5	64,4	188,0	80,8	89,9	14,9	12	144,9	17	82,8	94,1	15,2	13	289,3	76	82,8							
6	81,6	178,0	60,8	84,3	14,2	15	126,2	47	61,4	98,9	14,3	15	251,4	55	94,9							
7	51,2	150,0	102,0	112,7	14,9	16	106,8	20	117,2	118,7	17,1	17	244,2	107	96,1							
8	46,6	178,0	113,6	87,6	15,1	13	136,8	29	110,7	93,3	14,7	15	300,6	114	78,8							
9	43,9	188,0	92,1	76,1	11,6	12	245,1	35	90,0	86,7	11,3	13	495,8	135	50,5							
10	50,2	165,0	88,7	90,9	12,7	13	155,9	35	96,2	101,2	13,8	17	311,5	78	77,3							
11	39,5	185,0	95,2	94,1	10,7	17	206,9	54	102,2	81,1	11,5	19	431,3	113	54,6							
12	46,6	182,0	99,8	91,8	13,3	15	138,6	45	102,7	96,7	13,7	15	288,3	96	81,7							
13	54,7	188,0	79,6	90,4	12,4	13	163,2	29	82,9	79,8	12,9	13	345,1	121	66,2							
14	58,6	198,0	88,6	81,8	14,8	12	121,9	44	90,8	88,9	15,2	17	245,5	56	98,2							
15	57,7	186,0	97,7	95,2	16,1	14	99,5	61	94,0	95,2	15,5	17	249,9	85	98,3							
16	74,9	188,0	80,1	84,0	17,1	15	108,8	32	100,8	92,0	21,6	15	230,1	68	107,8							
17	51,0	178,0	95,1	97,2	13,8	12	132,0	39	97,3	84,3	14,2	14	264,0	92	91,2							
18	62,3	183,0	131,4	78,7	23,4	17	139,0	39	88,6	94,0	15,8	19	283,3	63	84,2							
<b>Média</b>	<b>56,2</b>	<b>181,8</b>	<b>92,1</b>	<b>88,4</b>	<b>14,6</b>	<b>13,8</b>	<b>144,2</b>	<b>41,5</b>	<b>93,8</b>	<b>93,5</b>	<b>14,8</b>	<b>15,2</b>	<b>300,1</b>	<b>91,1</b>	<b>82,9</b>							
<b>DP</b>	<b>11,5</b>	<b>11,2</b>	<b>14,9</b>	<b>8,7</b>	<b>2,9</b>	<b>1,8</b>	<b>36,2</b>	<b>15,6</b>	<b>12,9</b>	<b>8,7</b>	<b>2,3</b>	<b>2,0</b>	<b>72,4</b>	<b>23,7</b>	<b>16,1</b>							

Legenda: VO<sub>2pico</sub>: consumo de oxigênio no pico; FC<sub>pico</sub>: frequência cardíaca no pico; %VO<sub>2pico</sub>: percentual de consumo de oxigênio no pico; % FC<sub>pico</sub>: percentual de frequência cardíaca no pico; MET: equivalente metabólico; PSE (6-20): percepção subjetiva de esforço; fórmula da VCO:  $VCO = N_{20} - N_{10} / t_{20} - t_{10}$ .

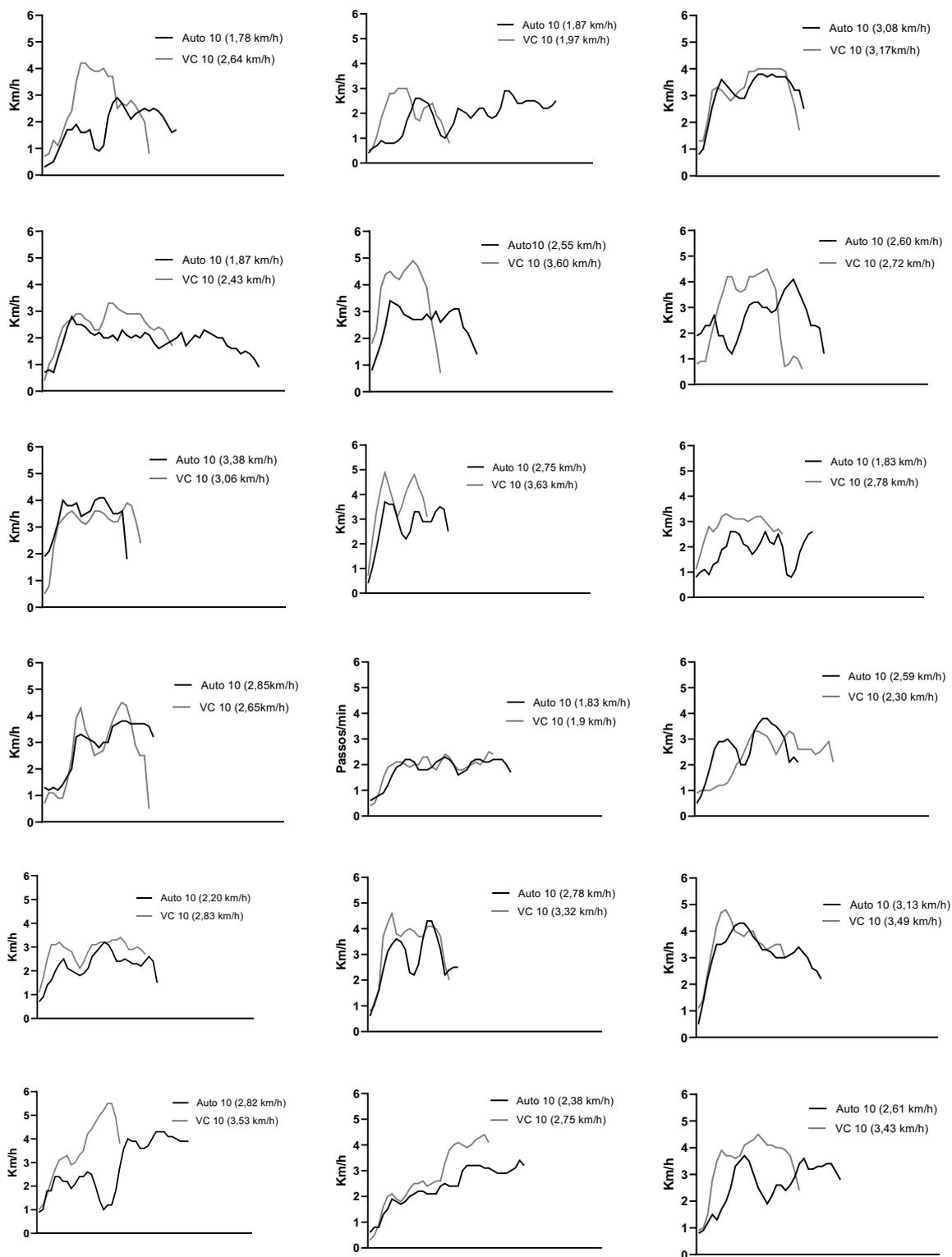
Fonte: o autor (2023).

**Figura 11 - Pacing autosseleccionado para subir 10 e 20 andares (essa figura tem os degraus e passos intermediários)**



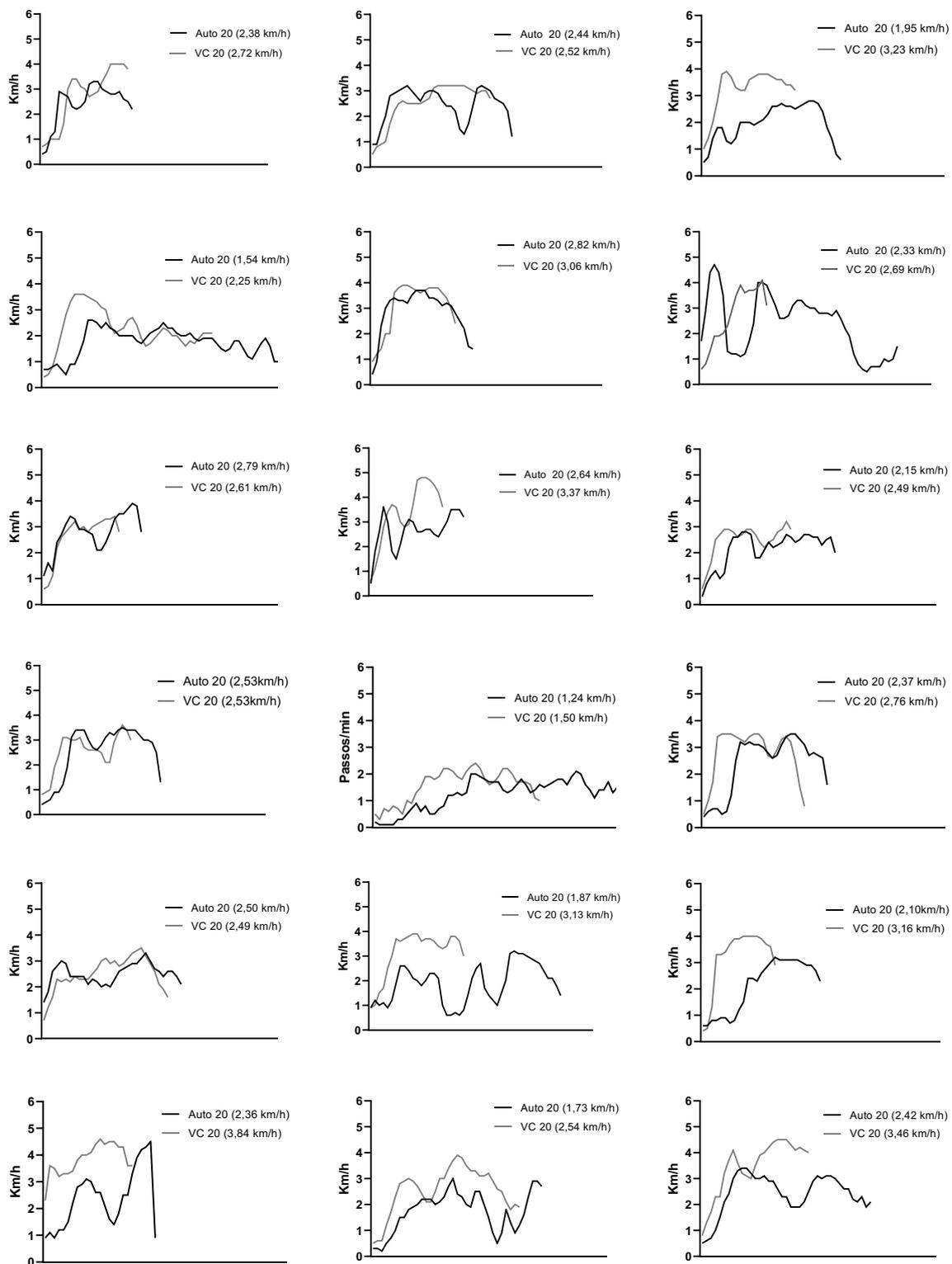
Fonte: o autor (2023).

**Figura 12 - Pacing individual de arrasto da vítima após subir 10 andares no ritmo autoselecionado e no ritmo da velocidade crítica operacional**



Fonte: o autor (2023).

**Figura 13 - Pacing individual de arrasto da vítima após subir 20 andares no ritmo autoselecionado e no ritmo da velocidade crítica operacional**



Fonte: o autor (2023).

## 8.1 Variáveis cardiorrespiratórias

A tabela 8 resume todos os resultados das variáveis cardiorrespiratórias. Nos resultados da  $V_E$  houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na recuperação de quatro minutos ( $F = 24,078$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,996). Esse resultado demonstra que os valores de  $V_E$  durante a recuperação, ficaram mais próximos dos valores basais na distância de 20 andares.

Houve outra interação significativa entre a distância e a estratégia da velocidade crítica na subida de escada ( $F = 18,028$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,979) e no resgate de vítima ( $F = 12,943$ ,  $p = 0,002$ ; Poder Estatístico = 0,923). A  $V_E$  durante a subida de escada foi menor que a  $V_E$  no resgate de vítima somente na estratégia VC. Isso pode ser devido a reserva de energia proporcionada pela subida cadenciada, proporcionando um desempenho melhor no andar sinistrado.

Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares na subida de escada ( $F = 58,599$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e no resgate de vítima ( $F = 15,972$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,964). Houve um acréscimo da  $V_E$  na transição da subida de escada para tarefa de resgate, demonstrando que na distância de 10 andares possivelmente o participante aumentou a frequência respiratória (Lopes, Brito e Parreira, 2005), podendo ter relação com a fadiga dos músculos inspiratórios e/ou alteração da mecânica respiratória (Syabbalo *et al.*, 1994).

Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 187,439$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 192,756$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 154,380$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 161,205$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Consequentemente, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados de METS houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na subida de escada ( $F = 9,815$ ,  $p = 0,006$ ; Poder Estatístico = 0,839) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 7,372$ ,  $p = 0,015$ ; Poder Estatístico = 0,726). Tanto na subida de escada quanto na tarefa de resgate os valores de equivalente metabólico ficaram na zona de alta intensidade (Jetté, Sidney e Blümchen, 1990).

Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na

estratégia autosselecionada ( $F = 206,433$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 136,404$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 211,905$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 223,680$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Em decorrência disso, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados do  $\text{VO}_2$  ( $\text{ml. kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na subida de escada ( $F = 9,843$ ,  $p = 0,006$ ; Poder Estatístico = 0,840), significando que o teste Auto 20 foi mais exigente que o Auto 10. Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 200,814$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 136,174$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 213,340$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 293,280$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Por conseguinte, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados do  $\text{VCO}_2$  ( $\text{ml. min}^{-1}$ ) houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada no resgate de vítima ( $F = 20,415$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,989) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 17,247$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,974). Houve interação significativa entre a distância e a estratégia da velocidade crítica na recuperação de quatro minutos ( $F = 4,893$ ,  $p = 0,041$ ; Poder Estatístico = 0,550). Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares no resgate de vítima ( $F = 9,240$ ,  $p = 0,007$ ; Poder Estatístico = 0,817).

Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 391,346$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 133,092$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 370,287$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 395,463$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). À vista disso, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados de RER houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na subida de escada ( $F = 14,348$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,946), resgate de vítima ( $F = 33,952$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico =

1,000) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 26,813$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,998). Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares no repouso de dois minutos ( $F = 47,732$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000), na subida de escada ( $F = 14,787$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,952), no resgate de vítima ( $F = 27,774$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,999) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 55,719$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000).

Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 133,323$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 40,775$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 85,184$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 139,113$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Desse modo, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados de FC (bpm) houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na subida de escada ( $F = 10,295$ ,  $p = 0,015$ ; Poder Estatístico = 0,785), resgate de vítima ( $F = 9,670$ ,  $p = 0,017$ ; Poder Estatístico = 0,760) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 6,044$ ,  $p = 0,044$ ; Poder Estatístico = 0,562). Houve interação significativa entre a distância e a estratégia da VC na subida de escada ( $F = 32,728$ ,  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,998) e no resgate de vítima ( $F = 9,234$ ,  $p = 0,019$ ; Poder Estatístico = 0,741).

Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares na recuperação de quatro minutos ( $F = 9,928$ ,  $p = 0,016$ ; Poder Estatístico = 0,771). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 102,510$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 340,789$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 112,185$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 293,094$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Nossos resultados corroboram com os achados sugeridos por outro estudo, de que os bombeiros trabalharam com frequências cardíacas próximas do máximo na subida de escada (Nazari *et al.*, 2018).

Nos resultados de  $PuO_2$  houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada no resgate de vítima ( $F = 10,671$ ,  $p = 0,011$ ; Poder Estatístico = 0,815) e na recuperação de quatro minutos ( $F = 6,016$ ,  $p = 0,040$ ; Poder

Estatístico = 0,577). Os resultados de  $\text{PuO}_2$  no repouso e na recuperação de quatro minutos ficaram próximos aos valores normais para repouso os quais variam de 4 a 6 ml. batimento<sup>-1</sup>, contudo, os valores observados na subida de escada e no resgate de vítima foram bastante superiores aos 10 a 20 ml. batimento<sup>-1</sup> para esforço máximo relatados na literatura (Myers, 1996, p. 176 apud Tebexreni et al., 2009).

Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 201,575$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 100,344$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 141,857$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000) e na estratégia da VC ( $F = 259,198$ ,  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Assim, parece que a estratégia adotada na tarefa depende da distância.

Nos resultados de PAS (mmHg) houve interação significativa entre a distância e a estratégia da VC no repouso de dois minutos ( $F = 5,987$ ,  $p = 0,026$ ; Poder Estatístico = 0,636). Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares no repouso de dois minutos ( $F = 8,498$ ,  $p = 0,010$ ; Poder Estatístico = 0,784). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 8,615$ ,  $p = 0,009$ ; Poder Estatístico = 0,790).

Nos resultados de PAD (mmHg) houve interação significativa entre a distância e a estratégia autosselecionada na recuperação de quatro minutos ( $F = 6,443$ ,  $p = 0,021$ ; Poder Estatístico = 0,668). Houve interação significativa entre a estratégia e a distância de dez andares no repouso de dois minutos ( $F = 9,592$ ,  $p = 0,007$ ; Poder Estatístico = 0,831). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de dez andares na estratégia autosselecionada ( $F = 8,843$ ,  $p = 0,009$ ; Poder Estatístico = 0,800). Houve interação significativa entre o tempo e a distância de vinte andares na estratégia autosselecionada ( $F = 6,702$ ,  $p = 0,019$ ; Poder Estatístico = 0,685).

**Tabela 8 - Média e desvio padrão das variáveis cardiorrespiratórias**

	Auto 10	VC 10	Auto 20	VC 20
$V_E$ (l. min <sup>-1</sup> ) Repouso (2 min.)	16,72 ± 3,55	15,46 ± 2,72	16,86 ± 3,08	15,01 ± 3,55
$V_E$ (l. min <sup>-1</sup> ) Subida de escada	141,17 ± 23,91 #	121,71 ± 19,84 @	143,53 ± 25,31 #	135,32 ± 25,84 & @
$V_E$ (l. min <sup>-1</sup> ) Resgate	147,02 ± 22,15 #	135,77 ± 20,31	142,46 ± 22,88 #	149,93 ± 25,27 &
$V_E$ (l. min <sup>-1</sup> ) Recuperação (4 min.)	28,45 ± 4,29 * π	25,29 ± 10,48 π	23,21 ± 6,78 π	22,45 ± 6,06 π
$VO_2$ (ml. kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> ) Repouso (2 min.)	6,51 ± 1,66	5,99 ± 1,17	6,48 ± 1,11 #	5,56 ± 0,94
$VO_2$ (ml. kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> ) Subida de escada	52,83 ± 8,41	50,98 ± 10,01	57,29 ± 8,38 * #	51,28 ± 6,74
$VO_2$ (ml. kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> ) Resgate	52,88 ± 8,54	54,51 ± 11,01	54,00 ± 8,38	54,83 ± 9,09
$VO_2$ (ml. kg <sup>-1</sup> . min <sup>-1</sup> ) Recuperação (4 min.)	7,07 ± 1,59	6,62 ± 2,39	6,65 ± 1,87	5,94 ± 1,53
MET Repouso (2 min.)	1,86 ± 0,48	1,71 ± 0,34	1,84 ± 0,33	1,66 ± 0,42
MET Subida de escada	15,11 ± 2,39	14,56 ± 2,86	16,37 ± 2,40 * #	14,78 ± 2,30
MET Resgate	15,12 ± 2,45	15,57 ± 3,14	15,43 ± 2,40	15,66 ± 2,59
MET Recuperação (4 min.)	2,11 ± 0,56 *	1,90 ± 0,68	1,91 ± 0,53	1,69 ± 0,43
$VCO_2$ (ml. min <sup>-1</sup> ) Repouso (2 min.)	406,41 ± 93,63	417,72 ± 78,58	367,05 ± 71,94	388,48 ± 103,60
$VCO_2$ (ml. min <sup>-1</sup> ) Subida de escada	4000,63 ± 615,83	4300,47 ± 799,02	3863,13 ± 488,82 #	4426,94 ± 940,42
$VCO_2$ (ml. min <sup>-1</sup> ) Resgate	4087,66 ± 620,64 * #	4807,28 ± 1121,09 @	3610,29 ± 512,09 #	4710,75 ± 1024,20
$VCO_2$ (ml. min <sup>-1</sup> ) Recuperação (4 min.)	618,35 ± 146,44 * π	700,48 ± 295,20 & π	508,11 ± 140,25 π	567,86 ± 130,06 π
(RER = $VCO_2/VO_2$ ) Repouso (2 min.)	0,72 ± 0,08 #	0,85 ± 0,09	0,69 ± 0,08 #	0,81 ± 0,10
(RER = $VCO_2/VO_2$ ) Subida de escada	0,96 ± 0,12 * #	1,06 ± 0,13	0,88 ± 0,07 #	1,07 ± 0,13
(RER = $VCO_2/VO_2$ ) Resgate	0,98 ± 0,06 * #	1,15 ± 0,14 @	0,87 ± 0,07 #	1,12 ± 0,05
(RER = $VCO_2/VO_2$ ) Recuperação (4 min.)	0,87 ± 0,07 * # π	1,08 ± 0,12 π	0,78 ± 0,03 # π	1,05 ± 0,05 π
FC (bpm) Repouso (2 min.)	82,56 ± 11,34	80,85 ± 17,02	86,30 ± 18,08	76,79 ± 13,89
FC (bpm) Subida de escada	169,67 ± 7,92 #	165,78 ± 7,02	179,11 ± 7,81 * #	172,22 ± 4,54 &
FC (bpm) Resgate	171,94 ± 8,29	172,11 ± 7,15 @	182,28 ± 8,17 * #	177,22 ± 5,43 & @
FC (bpm) Recuperação (4 min.)	101,22 ± 13,43 π	102,06 ± 20,43 π	115,28 ± 15,38 * π	107,39 ± 17,45 π
( $PuO_2 = VO_2/FC$ ) (ml. batimento <sup>-1</sup> ) Repouso (2 min.)	6,45 ± 1,40	6,27 ± 1,03	6,38 ± 1,21	6,21 ± 1,15
( $PuO_2 = VO_2/FC$ ) (ml. batimento <sup>-1</sup> ) Subida de escada	27,95 ± 4,90	27,76 ± 5,93	30,20 ± 7,37 # @	26,42 ± 3,29
( $PuO_2 = VO_2/FC$ ) (ml. batimento <sup>-1</sup> ) Resgate	27,69 ± 5,00	29,62 ± 6,45	26,06 ± 4,46	27,42 ± 4,16
( $PuO_2 = VO_2/FC$ ) (ml. batimento <sup>-1</sup> ) Recuperação (4 min.)	5,67 ± 1,35	5,62 ± 1,89	4,89 ± 1,33 * π	4,68 ± 1,47 π
PAS (mmHg) Repouso (2 min.)	142,28 ± 15,32 #	153,22 ± 10,30 &	149,89 ± 17,27 #	159,61 ± 6,44
PAS (mmHg) Recuperação (4 min.)	148,83 ± 15,09 π	159,83 ± 15,92	147,33 ± 14,84	153,94 ± 11,12
PAD (mmHg) Repouso (2 min.)	88,00 ± 8,72 #	98,72 ± 12,63	91,44 ± 12,64 π	95,11 ± 10,74
PAD (mmHg) Recuperação (4 min.)	93,78 ± 11,77 * π	99,17 ± 11,90	84,39 ± 10,15 #	93,50 ± 12,03

\* Auto 10 diferente do Auto 20; & VC 10 diferente VC 20; # Auto diferente do VC na mesma distância; @ subida de escada diferente da tarefa de resgate na mesma condição; π repouso diferente da recuperação na mesma condição.

**Fonte: o autor (2023).**

## 8.2 Variáveis de tempo

Com relação a variável tempo o teste de Friedman mostrou que os tempos de subida de escada diferem entre as estratégias e as distâncias [ $X^2(1) = 54,000$ ;  $p < 0,001$ ]; assim como os tempos de resgate de vítima [ $X^2(1) = 34,200$ ;  $p < 0,001$ ]; e os tempos totais, ou seja, a soma dos tempos de subida e de resgate de vítima [ $X^2(1) = 51,867$ ;  $p < 0,001$ ].

Os testes de comparações múltiplas mostraram que os tempos de subida de escada; tempos de resgate de vítima e tempos totais do teste VC 20 diferem dos testes Auto 10, Auto 20 e VC 10.

**Tabela 9 - Média, mínimo e máximo das variáveis de tempo**

	<b>Auto 10</b>	<b>VC 10</b>	<b>Auto 20</b>	<b>VC 20</b>
Tempo de subida (s)	110,28 (80,00 - 171,54) * #	144,18 (99,45 - 245,08) &	268,06 (200,84 - 427,15) #	300,09 (230,05 - 495,80)
Tempo de resgate (s)	58,91 (44,94 - 86,12) #	50,65 (35,00 - 91,83) &	70,28 (46,72 - 134,00) #	56,00 (39,90 - 100,94)
Tempo total (s)	169,19 (133,00 - 242,50) * #	194,82 (137,95 - 309,45) &	338,34 (247,56 - 535,00)	356,09 (270,65 - 557,73)

\* Auto 10 diferente do Auto 20; & VC 10 diferente VC 20; # Auto diferente do VC na mesma distância.

**Fonte: o autor (2023).**

Os resultados demonstraram que houve diferença significativa do tempo (s) de subida de escada quando adotada a estratégia autosselecionada em relação a VC, independentemente da distância. O tempo de resgate de vítima foi menor quando adotada a VC em relação a estratégia autosselecionada, independentemente da distância.

Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa do tempo total (s) para cumprir a tarefa de subida de escada seguida do resgate de vítima na distância de 20 andares, independentemente da estratégia adotada, porém, essa diferença ocorreu na distância de 10 andares. Os resultados demonstraram ainda, que não houve diferença significativa do tempo para cumprir a tarefa de resgate de vítima entre os testes Auto 10 e VC 20. Nos testes, nenhuma pessoa desceu, fato que poderia ter acrescentado tempo devido a influência das pessoas, desse modo, podemos considerar o tempo observado como o mais próximo do tempo de subida ideal, em vez do tempo mais realista, assim como observado em outro estudo (Tómasson *et al.*, 2008).

### 8.3 Variáveis de percepção subjetiva de esforço

Com relação a variável PSE o teste de Friedman mostrou que a PSE imediatamente após a subida de escada difere entre as estratégias e as distâncias [ $X^2(1) = 22,841$ ;  $p < 0,001$ ]; assim como a PSE imediatamente após o resgate de vítima [ $X^2(1) = 26,762$ ;  $p < 0,001$ ]; e a PSE após a recuperação de 4 minutos [ $X^2(1) = 12,054$ ;  $p = 0,007$ ].

Os testes de comparações múltiplas mostraram que a PSE imediatamente após a subida de escada, imediatamente após o resgate de vítima e após a recuperação de 4 minutos do teste VC 20 diferem dos testes Auto 10, Auto 20 e VC 10.

**Tabela 10 - Média, mínimo e máximo das variáveis de PSE**

	<b>Auto 10</b>	<b>VC 10</b>	<b>Auto 20</b>	<b>VC 20</b>
Final da subida	15,2 (12 - 17) #	13,8 (11 - 17) &	16,2 (13 - 19)	15,2 (13 - 19)
Após o resgate	16,7 (13 - 19) #	15,0 (12 - 18) &	17,7 (13 - 19)	16,6 (13 - 20)
Após a recuperação de 4 min.	11,1 (7 - 15)	10,1 (7 - 13)	11,6 (7 - 15)	10,9 (6 - 15)

\* Auto 10 diferente do Auto 20; & VC 10 diferente VC 20; # Auto diferente do VC na mesma distância.  
**Fonte: o autor (2023).**

Os resultados demonstraram que houve diferença significativa da PSE no final da subida de escada e após o resgate de vítima quando adotada a estratégia da VC em relação a autosselecionada, na distância de 10 andares.

Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa da PSE no final da subida de escada; após o resgate de vítima e após a recuperação de 4 minutos na distância de 20 andares, independentemente da estratégia adotada.

Os resultados demonstraram que não houve diferença significativa da PSE no final da subida de escada; após o resgate de vítima e após a recuperação de 4 minutos quando empregada a estratégia autosselecionada, independentemente da distância percorrida.

### 8.4 Variáveis de dor e desconforto musculoesquelético

A análise dos resultados do Diagrama de Dor e Desconforto Musculoesquelético, demonstrou que para a região do tronco, houve efeito principal para a condição do tempo ( $F = 50,073$ ;  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000). Não

houve diferenças significativas para o fator distância ( $F = 1,847$ ;  $p = 0,232$ ; Poder Estatístico = 0,199) e estratégia ( $F = 0,163$ ;  $p = 0,703$ ; Poder Estatístico = 0,063).

Com relação aos MMSS houve efeito principal para as condições distância ( $F = 60,050$ ;  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000); estratégia ( $F = 6,757$ ;  $p = 0,025$ ; Poder Estatístico = 0,659) e tempo ( $F = 122,439$ ;  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000).

Referente aos MMII houve efeito principal para as condições estratégia ( $F = 10,000$ ;  $p = 0,012$ ; Poder Estatístico = 0,803) e tempo ( $F = 17,124$ ;  $p = 0,003$ ; Poder Estatístico = 0,956), contudo, não houve diferença significativa para o fator distância ( $F = 1,374$ ;  $p = 0,271$ ; Poder Estatístico = 0,183).

Atinente a todos os segmentos corporais analisados houve efeito principal para as as condições distância ( $F = 23,091$ ;  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,996); estratégia ( $F = 14,074$ ;  $p = 0,001$ ; Poder Estatístico = 0,951) e tempo ( $F = 64,574$ ;  $p < 0,001$ ; Poder Estatístico = 1,000).

Tabela 11 - Resultado da dor e desconforto musculoesquelético segmentado e total

	Auto 10		VC 10		Auto 20		VC 20	
	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós	Pré	Pós
Pescoço	1,27 ± 0,46	1,36 ± 0,48	1,17 ± 0,35	1,38 ± 0,47 <sup>π</sup>	1,31 ± 0,44	1,45 ± 0,58	1,38 ± 0,47	1,50 ± 0,60
Região cervical	1,27 ± 0,46	1,43 ± 0,49	1,08 ± 0,26	1,31 ± 0,44 <sup>π</sup>	1,08 ± 0,26	1,27 ± 0,55 <sup>&amp; π</sup>	1,31 ± 0,44 <sup>#</sup>	1,50 ± 0,60
Costas superior	1,13 ± 0,35	1,29 ± 0,59	1,08 ± 0,26	1,15 ± 0,35	1,15 ± 0,35	1,18 ± 0,34	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Costas média	1,13 ± 0,35	1,36 ± 0,61 <sup>*</sup>	1,08 ± 0,26	1,38 ± 0,81	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,42 ± 0,59 <sup># π</sup>
Costas inferior	1,40 ± 0,91	1,64 ± 0,89 <sup>* π</sup>	1,17 ± 0,51	1,31 ± 0,79	1,31 ± 0,44	1,36 ± 0,43	1,38 ± 0,60	1,58 ± 0,88
Quadril	1,07 ± 0,26	1,21 ± 0,41	1,08 ± 0,26	1,15 ± 0,35	1,15 ± 0,35	1,18 ± 0,34	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Σ TRONCO	7,27 ± 0,12 <sup>#</sup>	8,29 ± 0,15 <sup>π</sup>	6,67 ± 0,04	7,69 ± 0,11 <sup>π</sup>	7,08 ± 0,11	7,54 ± 0,13	7,54 ± 0,12 <sup>&amp;</sup>	8,50 ± 0,14 <sup>&amp; # π</sup>
Ombro Direito	1,20 ± 0,56	1,21 ± 0,56	1,00 ± 0,00	1,23 ± 0,55	1,23 ± 0,55	1,36 ± 0,57	1,23 ± 0,55	1,33 ± 0,69
Ombro Esquerdo	1,27 ± 0,59	1,29 ± 0,59	1,00 ± 0,00	1,15 ± 0,51	1,15 ± 0,35	1,45 ± 0,58	1,31 ± 0,58	1,33 ± 0,69
Braço Direito	1,07 ± 0,26	1,14 ± 0,35	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Braço Esquerdo	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Cotovelo Direito	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,23 ± 0,41 <sup>&amp;</sup>	1,33 ± 0,58
Cotovelo Esquerdo	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,23 ± 0,41 <sup>&amp;</sup>	1,33 ± 0,58
Antebraço Direito	1,13 ± 0,52	1,14 ± 0,52	1,00 ± 0,00	1,15 ± 0,51	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Antebraço Esquerdo	1,13 ± 0,52	1,14 ± 0,52	1,00 ± 0,00	1,15 ± 0,51	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Punho Direito	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Punho Esquerdo	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Mão Direita	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Mão Esquerda	1,07 ± 0,26	1,07 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,08 ± 0,26	1,00 ± 0,00	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Σ MMSS	13,20 ± 0,07 <sup>* #</sup>	13,36 ± 0,07 <sup>π</sup>	12,00 ± 0,00	13,23 ± 0,05 <sup>π</sup>	12,54 ± 0,08	13,72 ± 0,13 <sup>π</sup>	14,23 ± 0,05 <sup>&amp; #</sup>	15,33 ± 0,04 <sup>&amp; # π</sup>
Perna Direita	1,20 ± 0,56	1,57 ± 0,82 <sup>π</sup>	1,17 ± 0,35	1,54 ± 0,81	1,15 ± 0,51	1,64 ± 0,68 <sup>π</sup>	1,38 ± 0,71	1,58 ± 0,88
Perna Esquerda	1,20 ± 0,56	1,57 ± 0,82 <sup>π</sup>	1,17 ± 0,35	1,54 ± 0,81	1,23 ± 0,55	1,55 ± 0,69 <sup>π</sup>	1,38 ± 0,71	1,58 ± 0,88
Joelho Direito	1,33 ± 0,72	1,43 ± 0,90	1,17 ± 0,51	1,38 ± 0,89	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,31 ± 0,70	1,50 ± 0,89
Joelho Esquerdo	1,13 ± 0,52	1,14 ± 0,52	1,08 ± 0,26	1,31 ± 0,70	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,31 ± 0,70	1,50 ± 0,89
Panturrilha Direita	1,27 ± 0,59	1,43 ± 0,73	1,17 ± 0,35	1,23 ± 0,55	1,08 ± 0,26	1,18 ± 0,34	1,38 ± 0,81	1,50 ± 1,10
Panturrilha Esquerda	1,20 ± 0,56	1,36 ± 0,72	1,17 ± 0,35	1,31 ± 0,58	1,08 ± 0,26	1,18 ± 0,34	1,38 ± 0,81	1,50 ± 1,10
Tornozelo Direito	1,20 ± 0,56	1,21 ± 0,56	1,00 ± 0,00	1,23 ± 0,41 <sup>π</sup>	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,25 ± 0,55
Tornozelo Esquerdo	1,20 ± 0,56	1,21 ± 0,56	1,08 ± 0,26	1,15 ± 0,35	1,15 ± 0,35	1,18 ± 0,34	1,23 ± 0,41	1,25 ± 0,55
Pé Direito	1,13 ± 0,52	1,14 ± 0,52	1,00 ± 0,00	1,23 ± 0,41 <sup>π</sup>	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,17 ± 0,35
Pé Esquerdo	1,13 ± 0,52	1,14 ± 0,52	1,00 ± 0,00	1,23 ± 0,41 <sup>π</sup>	1,08 ± 0,26	1,09 ± 0,25	1,15 ± 0,35	1,17 ± 0,35
Σ MMII	12,00 ± 0,06 <sup>* #</sup>	13,21 ± 0,17 <sup>* π</sup>	11,00 ± 0,08	13,15 ± 0,13 <sup>π</sup>	11,08 ± 0,05	12,18 ± 0,20	12,84 ± 0,10 <sup>&amp; #</sup>	14,00 ± 0,17 <sup>&amp; # π</sup>
TOTAL	32,47 ± 0,09 <sup>#</sup>	34,86 ± 0,17 <sup>* π</sup>	29,67 ± 0,07	34,08 ± 0,14 <sup>* π</sup>	30,69 ± 0,09	33,45 ± 0,16 <sup>&amp; π</sup>	34,61 ± 0,10 <sup>#</sup>	37,83 ± 0,13 <sup>&amp; # π</sup>

\* Auto 10 diferente do Auto 20; & VC 10 diferente VC 20; # Auto diferente do VC na mesma distância; π repouso diferente da recuperação na mesma condição. TRONCO: soma dos valores dos campos 0 a 5 do diagrama de dor e desconforto musculoesquelético; MMSS: soma dos valores relativos aos membros superiores; MMII: soma dos valores relativos aos membros inferiores; TOTAL: soma de todos os valores em cada condição de tempo.

Fonte: o autor (2023).

## 9 DISCUSSÃO

O presente estudo objetivou analisar a influência do ritmo de subida de escada no desempenho metabólico do bombeiro ao realizar o resgate de vítima em edifício. Os principais resultados deste estudo foram, em primeiro lugar, a estratégia autosselecionada interferiu mais do que a VC nas respostas das variáveis cardiorrespiratórias; em segundo lugar o tempo de subida de escada e o tempo total foram menores na estratégia autosselecionada, em terceiro lugar a velocidade de resgate foi maior na VC e em quarto lugar a tarefa de subida de escada em 10 e 20 andares seguida do resgate de uma vítima foi fisicamente muito exigente.

Observa-se que subir vinte andares na estratégia autosselecionada exige um maior consumo de oxigênio quando comparado à VC. Nos testes Auto 10, Auto 20, VC 10 e VC 20 o  $VO_2$  foi de  $52,8 \pm 8,4$ ;  $57,3 \pm 8,4$ ;  $51,0 \pm 10,0$  e  $51,7 \pm 8,0$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$  (95,8%; 103,5%; 92,1% e 93,8% do  $VO_{2pico}$ ) respectivamente. Estes valores corroboram com o entendimento de Heimburg, Rasmussen e Medbø, (2006), os quais relatam que um padrão mínimo de  $VO_{2máx.}$  para um bombeiro não deve ser inferior a 50 ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$ . Nossos resultados são superiores aos encontrados em estudos com bombeiros noruegueses  $VO_2 = 44,6$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$  (84% do  $VO_{2máx.}$ ) (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) e com bombeiros canadenses  $VO_2 = 38,3 \pm 5,2$  ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$  (75  $\pm$  8% do  $VO_{2máx.}$ ) (Williams-Bell *et al.*, 2010a) exercendo tarefas ocupacionais de subida de escada seguida do resgate de vítima. Esses dados sugerem que para obtenção de um desempenho metabólico similar ao presente estudo, os bombeiros precisam possuir um padrão mínimo de  $VO_{2máx.}$  superior a 56 ml.  $kg^{-1}$ .  $min^{-1}$ .

O presente estudo demonstra que os participantes foram capazes de sustentar uma velocidade inicial de subida intensa e autosselecionada por somente um curto período, necessitando reduzir a velocidade para manutenção da tarefa durante o processo de fadiga, concordando com os resultados encontrados por outros autores (Halder, Gao, *et al.*, 2018; Tómasson *et al.*, 2008; Williams-Bell *et al.*, 2010a). Para subir vinte andares foi necessário um maior  $VO_2$  do que para subir dez andares independente da estratégia adotada. Houve um maior  $VO_2$  para subir vinte andares na estratégia autosselecionada do que para realizar o resgate logo em seguida, interferindo assim no desempenho da tarefa de resgate.

A  $V_E$  em todas as condições ficou acima dos valores típicos médios para

ventilação pulmonar na zona de exercício máximo (Kraemer, Fleck e Deschenes, 2016, p. 189), ficando acima dos valores encontrados por Heimburg, Rasmussen e Medbø, (2006) e Williams-Bell et al., (2010a). Ao usar a estratégia da VC o bombeiro conseguiu ventilar mais no andar sinistrado, o que indicou uma reserva para fazer a tarefa de resgate em um menor tempo. Inclusive no teste VC 10 produziu um maior  $VCO_2$  durante o resgate (Tabela 8). Nossos resultados acentuados de  $VCO_2$  foram muito similares aos encontrados por Williams-Bell et al., (2010a), confirmando que tarefas de combate a incêndio em edifício, fornecem por meio da razão de troca respiratória dados sobre a relevância da produção de ácido láctico e a cooperação do metabolismo anaeróbio para o fornecimento de energia. Os resultados de  $PuO_2$ , calculados a partir da divisão do consumo de oxigênio ( $ml \cdot min^{-1}$ ) pela frequência cardíaca (Tebexreni et al., 2009), demonstraram o volume de oxigênio ejetado dos ventrículos a cada contração cardíaca, sendo possível detectar uma diminuição do desempenho de  $V_E$  no teste Auto 20 em relação ao VC 20 com a observação do pulso de  $O_2$ , que no teste Auto 20 foi diferente entre a subida de escada e o resgate de vítima ( $p = 0,005$ ) (Yazbek Jr et al., 1998). O  $PuO_2$  aferido durante os nossos testes foi superior ao encontrado em outro estudo com bombeiros realizando resgate de vítima (Davis, Dotson e Santa Maria, 1982).

Na subida de escada na VC o valor de RER acima de 1,0 pode refletir um exercício intenso (Herdy et al., 2016), no qual os carboidratos tornam-se a principal fonte energética para o organismo (Tebexreni et al., 2009), indicando uma maior contribuição anaeróbia para realizar a tarefa (Diefenthaler et al., 2008) e no resgate de vítima realizado logo em seguida, os valores de RER ficaram acima de 1,10, o qual representa um valor amplamente aceito como excelente esforço, sendo um parâmetro de exaustão ou quase-exaustão (Guazzi et al., 2012; Herdy et al., 2016; Williams-Bell et al., 2010b). Considerando que os testes realizados nas fases 2 e 3, não foram testes máximos, concordamos com outros estudos os quais especularam que a incorporação de tarefas anaeróbias e de levantamento podem ser responsáveis pela manutenção dos altos valores de RER, refletindo uma diferença relevante entre a tarefa ocupacional do bombeiro e os exercícios tipicamente aeróbios (Bycura, 2019; Williams-Bell et al., 2010a).

Nossos resultados confirmam o entendimento de que tarefas específicas de combate a incêndios, como o resgate de vítima, podem exigir contrações de alta intensidade que restringem o fluxo sanguíneo, exigindo um aumento obrigatório do

metabolismo anaeróbio (Williams-Bell *et al.*, 2010b). Assim como outros, também presumimos que altos níveis de tensão muscular necessários para elevar não apenas a massa corporal, mas o peso do equipamento de proteção individual e o colete de 20,9 kg prejudicaram o fluxo sanguíneo muscular e o fornecimento de oxigênio, provocando maior dependência do metabolismo anaeróbio (Lee *et al.*, 2013; Marcel-Millet *et al.*, 2023; Williams-Bell *et al.*, 2010a).

Em operações de incêndio e resgate em edifícios de vários andares, o tempo que os bombeiros levam para subir escadas usando EPI e EPRA, carregando equipamentos pode ser um fator fundamental (Claridge e Spearpoint, 2010b). Os nossos resultados apoiam outros estudos ao constatar que subir menos andares em um edifício na estratégia autosselecionada no menor tempo possível pode ser mais adequado do que subir em um ritmo constante da velocidade crítica operacional que visa evitar a exaustão (Claridge e Spearpoint, 2010b; Latosinski *et al.*, 2024). Independente da distância, os resultados do tempo de subida de escada nesta pesquisa são similares aos observados em estudos anteriores, sendo inclusive menor do que vários deles, conforme observado na tabela 12.

**Tabela 12 - Resultados deste estudo comparados com dados de estudos anteriores**

Conjunto de dados	Tempo para chegar a 10 andares
Auto 10 (Estudo atual)	1,84 ± 0,41 (1,33 – 2,86) min ou 110 ± 25 (80 – 172) s
VC 10 (Estudo atual)	2,40 ± 0,60 (1,66 – 4,08) min ou 144 ± 36 (99 – 245) s
Canadá (Claridge e Spearpoint, 2010b)	3,21 min ou 193 s
Reino Unido (Office of the Deputy Prime Minister, 2004)	4,89 min ou 293 s
Conjunto de dados	Tempo para chegar a 20 andares
Auto 20 (Estudo atual)	4,47 ± 1,12 (3,35 – 7,12) min ou 268 ± 67 s (201 – 427) s
VC 20 (Estudo atual)	5,00 ± 1,21 (3,83 – 8,26) min ou 300 ± 72 s (230 – 496) s
Nova Zelândia (Claridge e Spearpoint, 2010a)	4,5 – 12,8 min ou 270 – 768 s
Canadá (Claridge e Spearpoint, 2010b)	7,22 min ou 433 s
Islândia (Tómasson <i>et al.</i> , 2008)	6 - 8 min ou 360 – 480 s
Reino Unido (Office of the Deputy Prime Minister, 2004)	10,5 – 14,6 min ou 630 – 876 s

**Fonte: o autor (2023).**

Como carregar uma massa extra equivalente a 30% da massa corporal resulta numa diminuição de 24,8% na velocidade de subida de escada, sendo considerada um fator influente na velocidade de subida de escadas (Latosinski *et al.*, 2024). Pode-se inferir que a diferença dos tempos observados na tabela 12 esteja relacionada com

a massa adicional transportada pelos bombeiros. No presente estudo, os bombeiros transportaram  $31,40 \pm 0,90$ kg de equipamentos, equivalente a  $38,20 \pm 4,50\%$  da massa corporal. Na pesquisa canadense os bombeiros subiram as escadas com uma massa extra de 20kg a 39kg (Claridge e Spearpoint, 2010b); no estudo britânico os bombeiros transportaram  $32,2 \pm 0,5$ kg, proporcional a  $39 \pm 6\%$  da massa corporal, além de outros equipamentos que variaram de 11,5 e 13,5 kg (Office of the Deputy Prime Minister, 2004); no trabalho islandês os bombeiros carregaram entre 21 e 34kg (Tómasson *et al.*, 2008) e na pesquisa neozelandesa os bombeiros transportaram entre 20 e 39kg (Claridge e Spearpoint, 2010a).

A fim de poder comparar os resultados de velocidade de subida de escada em m/s com estudos anteriores, aplicou-se a equação sugerida por Tómasson *et al.*, (2008), para encontrar a distância percorrida na escada, e em seguida o valor foi dividido pelo tempo de subida (s) relatado nas tabelas 6 e 7. No presente estudo nos testes Auto 10, Auto 20, VC 10 e VC 20 a velocidade média de subida de escada foi de  $0,67 \pm 0,13$ ;  $0,55 \pm 0,11$ ;  $0,51 \pm 0,11$  e  $0,49 \pm 0,09$  m/s, respectivamente.

No estudo com bombeiros da Islândia, foi aferida a velocidade de subida de escada em um edifício de 20 andares, e constatou-se que para os primeiros nove andares, a velocidade média ficou entre 0,38 m/s e 0,55 m/s e a velocidade dos últimos cinco andares ficou entre 0,35 m/s e 0,45 m/s, sendo que a velocidade média ficou entre 0,37 m/s e 0,46 m/s (Tómasson *et al.*, 2008). Semelhantemente, em um estudo canadense com bombeiros subindo 23 andares, esses iniciaram a subida em  $0,31 \pm 0,05$  m/s, desaceleraram no quinto andar para  $0,20 \pm 0,05$  m/s e no 15º andar para  $0,16 \pm 0,05$  m/s. Num estudo norueguês observou-se a velocidade média de 0,23 m/s em seis andares (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006), e em uma pesquisa norte-americana a velocidade de 0,35 m/s em 34 andares (Kuligowski e Bukowski, 2004). A vista disso, nossos resultados demonstram alguma similaridade com os estudos anteriores, porém, percebe-se que os bombeiros no presente estudo subiram as escadas em velocidades maiores. Também cabe ressaltar que a maioria dos estudos anteriores, reportaram a configuração da escada, relatando que a velocidade foi medida sobre a distância real na escada e não a distância vertical entre os andares (Claridge e Spearpoint, 2010a; Kuligowski e Bukowski, 2004; Latosinski *et al.*, 2024; Tómasson *et al.*, 2008). Alguns estudos podem ter desconsiderado os passos intermediários entre os lances (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Office of the Deputy Prime Minister, 2004).

Independente da condição, os nossos resultados de ritmo operacional foram superiores aos recomendados pelo *Fire Brigade Intervention Model* (FBIM) (FBIM Reference Document, 2020) usado há décadas na Austrália e aceito pelo Serviço de Bombeiros da Nova Zelândia como uma metodologia adequada para demonstrar os requisitos de desempenho relacionados a operações de combate a incêndio, assim como para respaldar os tempos necessários para as operações (Claridge e Spearpoint, 2010a). A tabela 13 demonstra a comparação do ritmo de subida de escadas no atual estudo com os dados fornecidos pela FBIM.

**Tabela 13 - Comparação do ritmo de subida de escadas (degraus/minuto) entre o estudo atual e o Fire Brigade Intervention Model (FBIM)**

	Tamanho da amostra	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
<b>Estudo atual</b>					
Auto 10	18	119	26	80	165
Auto 20	18	103	19	61	130
VC 10	18	88	20	48	133
VC 20	18	85	14	55	105
<b>FBIM (FBIM Reference Document, 2020)</b>					
Subida de escadas com EPI, EPRA e equipamentos	73	56	27	15	126
Subida de escadas com mangueira de alta pressão	33	29	17	5	73
Subida de escadas com mangueira de incêndio de 38 mm	33	46	16	24	84
Subida de escadas com mangueira de incêndio de 65 mm	34	43	19	9	84

**Fonte: o autor (2023).**

Em relação ao resgate, subir as escadas numa velocidade crítica operacional, o bombeiro terá um melhor desempenho no andar sinistrado, visto que o tempo de resgate em segundos foi de  $50,65 \pm 14,01$  e  $56,00 \pm 14,24$  para VC 10 e VC 20 vs  $58,91 \pm 11,86$  e  $70,28 \pm 19,27$  para Auto 10 e Auto 20. Além disso, no geral a diferença da velocidade média do arrasto entre 10 e 20 andares subindo na velocidade autosselecionada foi de 7,7 %, enquanto na velocidade crítica operacional a redução foi de 3%. A hipótese  $H_1$  foi rejeitada e a hipótese  $H_2$  foi confirmada, pois para resgatar uma vítima no 10º e no 20º andar, a melhor estratégia de ritmo de subida de escada para bombeiros equipados é o ritmo da velocidade crítica operacional. Apesar de o bombeiro chegar mais rápido ao andar sinistrado quando adotada a estratégia

autosseleccionada, as respostas metabólicas demonstraram um elevado risco para esses profissionais durante a tarefa de resgate de vítima realizada em seguida.

**Tabela 14 - Comparação da velocidade de resgate de vítima (m/s) entre o estudo atual e outros estudos**

	Tamanho da amostra	Média	Desvio Padrão	Valor Mínimo	Valor Máximo
<b>Estudo atual</b>					
Auto 10	18	0,69	0,14	0,49	0,94
Auto 20	18	0,62	0,12	0,34	0,78
VC 10	18	0,81	0,15	0,53	1,01
VC 20	18	0,78	0,15	0,42	1,07
<b>Estudos anteriores</b>					
FBIM (FBIM Reference Document, 2020)					
Resgate de vítima (Dennison <i>et al.</i> , 2012)	27	0,05	0,03	0,01	0,13
Resgate de vítima <sup>(a)</sup>	12	0,41			
Resgate de vítima <sup>(b)</sup>	12	0,33			
(Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) <sup>(c)</sup>	14	0,54			
(Williams-Bell <i>et al.</i> , 2010b) <sup>(d)</sup>	36	0,32			

Legenda: o bombeiro equipado com 22,4kg, realizou o resgate de uma vítima (75kg) (a) na condição basal sem fadiga e (b) com fadiga; (c) o bombeiro realizou o resgate de seis vítimas (80kg cada) após subir seis andares equipado com 37kg; (d) o bombeiro equipado com 17,6kg, realizou o resgate de uma vítima (75kg).

**Fonte: o autor (2023).**

Nos testes Auto 10, Auto 20, VC 10 e VC 20 o  $VO_{2\text{pico}}$  foi de  $52,8 \pm 8,4$ ;  $57,3 \pm 8,4$ ;  $51,0 \pm 10,0$  e  $51,7 \pm 8,0$  ml.  $\text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  (95,8%; 103,5%; 92,1% e 93,8% do  $VO_{2\text{pico}}$ ) respectivamente e a  $FC_{\text{pico}}$  foi de  $164,0 \pm 17,0$ ;  $170,1 \pm 21,5$ ;  $160,0 \pm 10,8$  e  $169,4 \pm 11,4$  bpm (90,6%; 93,9%; 88,4% e 93,5% da  $FC_{\text{pico}}$ ) respectivamente. Esses resultados se situam entre as intensidades vigorosa (muito forte) e máxima (ACSM, 2014), concordando com os dados de outros estudos os quais também relataram que tarefas de combate a incêndio foram fisicamente extremamente extenuantes (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006; Williams-Bell *et al.*, 2010a).

Complementarmente, na distância de 10 andares, a média dos bombeiros relatou ao final da subida de escada uma PSE difícil (leve a muito difícil) e um pouco difícil (leve a muito difícil) quando adotadas as estratégias autosseleccionada e VC, respectivamente. Já na distância de 20 andares, a média dos bombeiros relatou ao

final da subida de escada uma PSE difícil (um pouco difícil a extremamente difícil) e difícil (um pouco difícil a extremamente difícil) quando adotadas as estratégias autosselecionada e VC, respectivamente. Na distância de 10 andares, a média dos bombeiros relatou após o resgate, uma PSE difícil (um pouco difícil a extremamente difícil) e difícil (leve a muito difícil) quando adotadas na subida de escada as estratégias autosselecionada e VC, respectivamente. Já na distância de 20 andares, a média dos bombeiros relatou após o resgate, uma PSE muito difícil (um pouco difícil a extremamente difícil) e difícil (um pouco difícil a extremamente difícil) quando adotadas na subida de escada as estratégias autosselecionada e VC, respectivamente. Outros autores também encontraram ao final dos testes de subida de escada e de resgate de vítima, percepções subjetivas de esforço difíceis (Eglin e Tipton, 2005); extremamente difíceis (Heimburg, Rasmussen e Medbø, 2006) e um pouco difíceis a difíceis (Dreger e Petersen, 2007).

Nesse estudo, foi solicitado aos voluntários que eles subissem escadas numa velocidade autosselecionada no menor tempo possível, sabendo que ao chegar ao andar sinistrado seria necessário resgatar uma vítima inconsciente, arrastando-a por 23 metros no menor tempo possível. Imagine duas condições: A e B. Na condição A, o bombeiro demora um minuto para subir as escadas e dois minutos para resgatar a vítima até um lugar seguro. Por sua vez, na condição B, o bombeiro demora dois minutos para subir as escadas e um minuto para resgatar a vítima até um lugar seguro. Analisando as duas condições, não houve diferença para a vítima, pois o tempo total para o salvamento seria de 3 minutos, todavia, a condição B seria mais segura para o bombeiro, pois ele estaria menos tempo exposto às condições de imprevisibilidade e de risco no andar sinistrado.

Nesse sentido, considerando o conceito básico do cálculo da velocidade crítica e algumas particularidades estratégicas desse tipo de atividade operacional para o bombeiro, construiu-se uma equação de regressão linear para determinação da VC (coeficiente angular) mediante a equação  $VC = [(N_{20} - N_{10}) / (t_{20} - t_{10})]$ , utilizando-se as distâncias de dez e vinte andares de maneira arbitrária num edifício residencial. Neste edifício em particular, para chegar ao andar sinistrado havia um total de 160 degraus (10 andares) e 320 degraus (20 andares). No entanto, entre cada pavimento o bombeiro executava mais de dois passos para mudar de direção e chegar ao novo lance de escada. Assim cada bombeiro executou ao menos 36 passos além dos 160 degraus para completar os 10 andares e 72 passos além dos 320 degraus

para completar os 20 andares.

Detalhando essa particularidade tática de um dos voluntários, ele completou o tempo de subida em 1'59" (10 andares) e 4'09" (20 andares). Contudo, devido a dados precisos do equipamento K5, foi possível calcular o número de passos atingidos em cada respiração do bombeiro em função do tempo decorrido. Deste modo, a velocidade média real desse voluntário foi de 138,7 passos . min.<sup>-1</sup> (10 andares) e 109,4 passos . min.<sup>-1</sup> (20 andares) para as condições autosseleccionadas. Se fosse calculada a média aritmética dessas duas velocidades para determinar uma velocidade crítica, o voluntário deveria executar a subida dos vinte andares num ritmo mais acelerado que a velocidade autosseleccionada (124,0 vs 109,5 passos/min), a qual seria inviável para esse tipo de atividade. De fato, subindo os vinte andares a 109,4 passos . min.<sup>-1</sup>, esse voluntário ultrapassou em 1,33% o VO<sub>2pico</sub> atingido no teste ergoespirométrico máximo. Os demais voluntários variaram entre 95% à 120% do VO<sub>2pico</sub> atingido no teste ergoespirométrico máximo para subir os vinte andares. Então, por questões estratégicas, o cálculo da velocidade crítica de subida de escada não levou em consideração os passos intermediários entre os pavimentos, mas apenas o número fixo de degraus e o tempo total de subida. Com isso a velocidade média adotada para o cálculo da velocidade crítica operacional desse voluntário foi a média de 80,7 degraus/min (160 degraus / 1'59") e 76,9 degraus/min (320 degraus/ 4'09"), que resultou em 78,8 passos/min. Portanto, para execução das condições de velocidade crítica operacional, esse voluntário precisava manter 78,8 passos/min tanto durante as subidas das escadas, quanto entre os passos intermediários. Mas devido aos dados precisos do equipamento K5, esse voluntário manteve o ritmo real de 82,9 passos . min.<sup>-1</sup> para subir os 10 andares e 86,5 passos . min.<sup>-1</sup> para subir os 20 andares.

A figura 6, descreve o  *pacing*  individual da velocidade de subida na escada em cada distância. Não foi possível identificar um padrão adotado entre os participantes, todavia, as características mais observadas no Auto 10 foram daqueles que: iniciavam lento, aceleravam gradativamente até determinado ponto e mantinham uma velocidade constante até o final; ou que começavam rápido, desaceleravam abruptamente logo em seguida e mantinham uma velocidade constante até o final; ou que mantinham uma velocidade constante durante todo o teste. Já no Auto 20, observou-se que foram mais recorrentes os que começavam lento, aceleravam gradativamente, desaceleravam logo em seguida e mantinham uma velocidade

constante até o final. Ao término da 3ª fase, foi perguntado aos bombeiros militares participantes do projeto, qual a estratégia preferida por eles para ser empregada em uma ocorrência real, sendo informado por 66% e 83% que a velocidade crítica operacional seria adotada para subir 10 e 20 andares, respectivamente. Revelando que a VCO parece ser uma alternativa adequada de ritmo de subida de escada.

Ao chegar ao andar sinistrado, o bombeiro participante deveria se deslocar por 26 metros até a vítima (boneco Ruth Lee de 71 kg) e arrastá-lo por 23 metros. As figuras 7 e 8 descrevem o *pacing* de arrasto da vítima após subir 10 e 20 andares, respectivamente. Esse mesmo voluntário em específico apresentou uma velocidade média de arrasto de 2,75 km/h, 3,63 km/h, 2,64 km/h e 3,37 km/h para as condições auto 10, VC 10, auto 20 e VC 20, respectivamente. Este voluntário foi 30% (10 andares) e 27% (20 andares) mais rápido para arrastar a vítima nas condições que ele subiu na velocidade crítica operacional. Esses resultados corroboram com os achados inferenciais e confirmaram as hipótese H<sub>2</sub>: “subir numa velocidade crítica operacional, o bombeiro terá um melhor desempenho no andar sinistrado”. Além disso, no geral a diferença da velocidade média do arrasto entre 10 e 20 andares subindo na velocidade autosselecionada foi de 7,7%, enquanto que na velocidade crítica operacional a redução foi de 3%.

Em relação aos resultados de dor e desconforto musculoesquelético observou-se diferenças significativas na região do tronco, MMSS e MMII no VC 20 em relação ao Auto 20. O desconforto musculoesquelético foi maior após o teste Auto 10 em relação ao Auto 20 nas regiões das costas média ( $p = 0,040$ ) e costas inferior ( $p = 0,022$ ). No teste VC 10 houve diferença significativa na dor e desconforto musculoesquelético no tornozelo direito ( $p = 0,045$ ), pé direito ( $p = 0,045$ ) e pé esquerdo ( $p = 0,045$ ) após a recuperação de quatro minutos em relação ao repouso de dois minutos pré exercício. Isso pode ser explicado pelo fato de que a maior parte da força para levantar o corpo de um degrau para o próximo vem dos pés, além da impossibilidade de, neste estudo, os participantes usarem as mãos para reduzir as forças verticais (Armstrong *et al.*, 2009; Bloswick e Chaffin, 1990).

Uma limitação do estudo foi a proibição de que os participantes segurassem no corrimão, conforme já realizado em outros estudos com bombeiros (Ben-Ezra e Verstraete, 1991; Calavalle *et al.*, 2013; Kleinberg *et al.*, 2016; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010). Espera-se que em uma ocorrência real o bombeiro adote estratégias que permitam sua chegada ao local sinistrado com o mínimo gasto de energia. Subir

escadas segurando firmemente no corrimão proporciona um menor gasto energético (Butts, Dodge e McAlpine, 1993; Howley, Colacino e Swensen, 1992). Segurar nos corrimãos pode aumentar consideravelmente o consumo de oxigênio em 22,4%, por isso, é importante se ater a permissão ou não dessa estratégia ao comparar diferentes estudos (Oliveira, de *et al.*, 2020). Segundo outra pesquisa, deve-se minimizar o uso do corrimão ao realizar um teste em uma esteira, visto que os suportes laterais e dianteiros podem diminuir a carga corporal e por conseguinte o esforço físico (Fletcher *et al.*, 2013). Em um estudo recente, os bombeiros que utilizaram o corrimão tiveram uma velocidade de subida de escada maior do que os que não usaram (Latosinski *et al.*, 2024).

A segunda limitação foi que subissem um degrau de cada vez, conforme observado em outras pesquisas com bombeiros (Calavalle *et al.*, 2013; Kleinberg *et al.*, 2016; Plat, Frings-Dresen e Sluiter, 2010). A estratégia de subir escadas um degrau por vez provoca respostas fisiológicas significativamente maiores em comparação a subir dois degraus por vez, contudo, a diferença foi inferior a 10%, sugerindo pouca relevância (Aziz e Teh, 2005). Embora estes autores, relatem que os indivíduos podem escolher qualquer uma das estratégias, considerando as pequenas diferenças no gasto calórico entre subir um ou dois degraus de cada vez (Aziz e Teh, 2005), em comparação ao nosso estudo, nossos degraus eram 4 cm mais altos, nossos participantes transportavam  $38,20 \pm 4,50\%$  (29,57 – 45,40%) além da massa corporal e o EPI restringiu a mobilidade da subida dos degraus.

A terceira limitação, similar ao observado por Halder, Kuklane, et al., (2018) no teste ergoespirométrico máximo os participantes não tinham controle sobre suas subidas, deste modo, eram impossíveis reduções de velocidade ou micropausas durante a tarefa. Um estudo anterior realizado com bombeiros subindo degraus em um cicloergômetro sugeriu que ajustes cardiovasculares podem não ter sido totalmente atingidos para permitir o alcance do  $VO_{2máx}$  (Ben-Ezra e Verstraete, 1991). Isto posto, apesar da fadiga muscular localizada não ter sido medida no presente estudo, amparado nos relatos dos participantes, foi possível concordar com as conclusões de outros estudos de que os efeitos combinados da fadiga muscular localizada nos membros inferiores e da alta demanda cardiorrespiratória limitaram a tolerância dos participantes no teste ergoespirométrico máximo, conseqüentemente, os forçando a interromper o teste (Cheng e Rice, 2013; Halder, Kuklane, *et al.*, 2018).

## 10 CONCLUSÃO

Observou-se a dinâmica da resposta metabólica e desempenho de bombeiros militares durante tarefa simulada de resgate de vítima em ocorrência de incêndio em edifício, com subidas de escada em ritmo autosselecionado e velocidade crítica operacional em 10 e 20 andares, e demonstramos a influência do ritmo de subida de escada no desempenho metabólico do bombeiro e no tempo de realização da tarefa de resgate de vítima. Foi constatado que o ritmo de subida de escada para resgatar uma vítima, interfere nas respostas das variáveis cardiorrespiratórias do bombeiro; que o tempo de subida de escada e o tempo total foram menores na estratégia autosselecionada; que a velocidade de resgate foi maior quando adotada a VC e que a tarefa de subida de escada em 10 e 20 andares seguida do resgate de uma vítima foi fisicamente muito exigente.

Concluiu-se que subir vinte andares na estratégia autosselecionada exige um maior consumo de oxigênio quando comparado à VC. Esses dados sugerem que para obtenção de um desempenho metabólico similar ao presente estudo, os bombeiros precisam possuir um padrão mínimo de  $VO_{2m\acute{a}x} \geq 56 \text{ ml. kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ . Os participantes foram capazes de sustentar uma velocidade inicial de subida intensa e autosselecionada por somente um curto período, necessitando reduzir a velocidade para manutenção da tarefa durante o processo de fadiga. Os gráficos de subida de escada no ritmo autosselecionado demonstraram não haver uma estratégia padronizada pelos bombeiros em relação ao ritmo de execução da tarefa ocupacional.

Parece que altos níveis de tensão muscular necessários para elevar não apenas a massa corporal, mas o peso do equipamento de proteção individual e o colete de 20,9 kg prejudicaram o fluxo sanguíneo muscular e o fornecimento de oxigênio, provocando maior dependência do metabolismo anaeróbio.

Revelou-se que a velocidade crítica operacional pode ser uma alternativa adequada de ritmo de subida de escada. Como propostas e sugestões em razão dos dados coletados e discutidos, corporações de bombeiros poderão identificar a velocidade crítica operacional do seu efetivo visando treiná-los para obter a maior eficiência na subida de escada e economia de energia para o desenvolvimento das demais tarefas ocupacionais no andar sinistrado.

## REFERÊNCIAS

- ACSM. **Diretrizes do ACSM para os testes de esforço e sua prescrição**. 9ª ed. Rio de Janeiro: [s.n.].
- ADAMS, J.; ROBERTS, J.; SIMMS, K.; CHENG, D.; HARTMAN, J.; BARTLETT, C. Measurement of Functional Capacity Requirements to Aid in Development of an Occupation-Specific Rehabilitation Training Program to Help Firefighters With Cardiac Disease Safely Return to Work. **American Journal of Cardiology**, v. 103, n. 6, p. 762–765, 15 mar. 2009.
- ADAMS, P. S.; KEYSERLING, W. M. Three methods for measuring range of motion while wearing protective clothing: A comparative study. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 12, n. 3, p. 177–191, out. 1993.
- ADAMS, P. S.; KEYSERLING, W. M. The effect of size and fabric weight of protective coveralls on range of gross body motions. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 56, n. 4, p. 333–340, 1 abr. 1995.
- ALEXANDER, R. M. N. Energetics and optimization of human walking and running: The 2000 Raymond Pearl Memorial Lecture. **American Journal of Human Biology**, v. 14, n. 5, p. 641–648, set. 2002.
- ALVES, A. B. C. G. **A Questão Do Escape Em Edifícios Altos: A influência da fumaça de incêndio na proteção da vida**. Brasília: Universidade de Brasília, 2010.
- ARMSTRONG, T. J.; YOUNG, J.; WOOLLEY, C.; ASHTON-MILLER, J.; KIM, H. **Biomechanical aspects of fixed ladder climbing: Style, ladder tilt and carrying** Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society. **Anais...Human Factors and Ergonomics Society Inc.**, 2009
- AZIZ, A. R.; TEH, K. C. Physiological responses to single versus double stepping pattern of ascending the stairs. **Journal of Physiological Anthropology and Applied Human Science**, v. 24, n. 4, p. 253–257, jul. 2005.
- BEN-EZRA, V.; VERSTRAETE, R. Stair climbing: an alternative exercise modality for firefighters. **J Occup Med**, v. 30, n. 2, p. 103–105, 1988.
- \_\_\_\_\_. Step ergometry: is it task-specific training? **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 63, n. 3–4, p. 261–264, 1991.
- BERGSTROM, H. C.; HOUSH, T. J.; ZUNIGA, J. M.; TRAYLOR, D. A.; CAMIC, C. L.; LEWIS, R. W.; SCHMIDT, R. J.; JOHNSON, G. O. The relationships among critical power determined from a 3-min all-out test, respiratory compensation point, gas exchange threshold, and ventilatory threshold. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 84, n. 2, p. 232–238, 2013.
- BERTUZZI, R. (COMP. ); BRUM, P. C. (COMP. ); ALVES, C. R. R. (COMP. ); LIMA-SILVA, A. E. (COMP. ). **Aptidão aeróbia: Desempenho esportivo, saúde e nutrição**. 1ª ed. [s.l.] Manole, 2017.

- BLACK, M. I. *et al.* Muscle metabolic and neuromuscular determinants of fatigue during cycling in different exercise intensity domains. **J Appl Physiol**, v. 122, p. 446–459, 2017.
- BLOSWICK, D. S.; CHAFFIN, D. B. An ergonomic analysis of the ladder climbing activity. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 6, p. 17–27, 1990.
- BORG, G. A. V. Psychophysical bases of perceived exertion. **Medicine And Science In Sports And Exercise**, v. 5, p. 377–381, 1982.
- BRITO, J. M. B. “**Até onde o corpo aguenta somos humanos, depois disso somos bombeiros**”: análise dos riscos psicossociais relacionados à organização e às condições do trabalho bombeiro militar. Belém: UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 2020.
- BROWN, P. I.; MCCONNELL, A. K. Respiratory-related limitations in physically demanding occupations. **Aviation Space and Environmental Medicine**, v. 83, n. 4, p. 424–430, 2012.
- BROXTERMAN, R. M.; ADE, C. J.; CRAIG, J. C.; WILCOX, S. L.; SCHLUP, S. J.; BARSTOW, T. J. The relationship between critical speed and the respiratory compensation point: Coincidence or equivalence. **European Journal of Sport Science**, v. 15, n. 7, p. 631–639, 3 out. 2015.
- BROXTERMAN, R. M.; ADE, C. J.; POOLE, D. C.; HARMS, C. A.; BARSTOW, T. J. A single test for the determination of parameters of the speed-time relationship for running. **Respiratory Physiology and Neurobiology**, v. 185, n. 2, p. 380–385, 5 jan. 2013.
- BUCHHEIT, M.; LAURSEN, P. B.; MILLET, G. P.; PACTAT, F.; AHMAIDI, S. Predicting intermittent running performance: Critical velocity versus endurance index. **International Journal of Sports Medicine**, v. 29, n. 4, p. 307–315, abr. 2008.
- BUGAJSKA, J.; ZUŻEWICZ, K.; SZMAUZ-DYBKO, M.; KONARSKA, M. Cardiovascular stress, energy expenditure and subjective perceived ratings of fire fighters during typical fire suppression and rescue tasks. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 13, n. 3, p. 323–331, 2007.
- BUTTS, N. K. ; DODGE, C. ;; MCALPINE, M. Effect of stepping rate on energy costs during StairMaster exercise. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 25, n. 3, p. 378–382, mar. 1993.
- BYCURA, D. K. Training Implications for Firefighters through objective Measurement of the Physiological Demands of Firefighter Job Tasks. **American Journal of Biomedical Science & Research**, v. 3, n. 5, p. 447–452, 8 jul. 2019.
- CALAVALLE, A. R.; SISTI, D.; MENNELLI, G.; ANDOLINA, G.; SAL, M. DEL; ROCCHI, M. B. L.; BENELLI, P.; STOCCHI, V. A simple method to analyze overall individual physical fitness in firefighters. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 27, n. 3, p. 769–775, mar. 2013.

CARLI, J. V. M. DE. **Análise da marcha de idosos com diferentes níveis de Funcionalidade na transição entre o terreno plano e a Escada**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 27 mar. 2013.

CAVANAGH, P. R.; WILLIAMS, K. R. The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. **Med Sci Sports Exerc** ., v. 14, n. 1, p. 30–35, 1982.

CBMAL. **Corpo de Bombeiros Militar de Alagoas [E-mail]. Destinatário: Guilherme Augusto Picolotto. Curitiba, 16 nov. 2022. Processo nº E:01203.0000008770/2022, 2022.**

CBMERJ. **Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro [E-mail]. Destinatário: Guilherme Augusto Picolotto. Curitiba, 8 nov. 2022. SEI-270001/002006/2022**Rio de Janeiro, 3 nov. 2022. Disponível em: <<http://www.defesacivil.rj.gov.br/>>

CBMGO. **FUNDAMENTOS DE COMBATE A INCÊNDIO**Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, 2016.

\_\_\_\_. **Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás [E-mail]. Destinatário: Guilherme Augusto Picolotto. Curitiba, 22 set. 2022. SEI 202200011030747, 2022.**

CBMPE. **Corpo de Bombeiros Militar de Pernambuco [E-mail]. Destinatário: Guilherme Augusto Picolotto. Curitiba, 12 jan. 2023. SEI nº 3900000088.002893/2022-19, 2023.**

CBMPR. **Corpo de Bombeiros Militar do Paraná E-Protocolo 19.437.803-3**Curitiba, 23 set. 2022. Disponível em: <<https://www.eprotocolo.pr.gov.br/spiweb/validarDocumento>>

CHENG, A. J.; RICE, C. L. Factors contributing to the fatigue-related reduction in active dorsiflexion joint range of motion. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 38, n. 5, p. 490–497, maio 2013.

CLARIDGE, E.; SPEARPOINT, M. **Assessment and Validation of the Fire Brigade Intervention Model for use within New Zealand and Performance-Based Fire Engineering**. Christchurch, New Zealand: University of Canterbury, 2010a.

\_\_\_\_. **Fire fighter stair climbing speeds in high rise buildings**Proc. 8th Asia-Oceania Symposium on Fire Science and Technology (AOSFST). **Anais...**Melbourne, Australia: 9 dez. 2010bDisponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/256661547>>

CLARK, I. E. *et al.* Dynamics of the power-duration relationship during prolonged endurance exercise and influence of carbohydrate ingestion. **J Appl Physiol**, v. 127, p. 726–736, 2019.

CLINGELEFFER, A.; MC NAUGHTON, L. R.; DAVOREN, B. The use of critical power as a determinant for establishing the onset of blood lactate accumulation. **European Applied Journal of Physiology and Occupational Physiology**, v. 68, p. 182–187, 1994.

- COCA, A.; WILLIAMS, W. J.; ROBERGE, R. J.; POWELL, J. B. Effects of fire fighter protective ensembles on mobility and performance. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 4, p. 636–641, 2010.
- CORLETT, E. N.; MANENICA, I. The effects and measurement of working postures. **Appl Ergon**, v. 11, n. 1, p. 7–16, mar. 1980.
- D. J. HOUSH; T. J. HOUSH; BAUGE, S. M. A methodological consideration for the determination of critical power and anaerobic work capacity. **Research Quarterly for Exercise and Sport**, v. 61, n. 4, p. 406–409, 1990.
- DALAMITROS, A. A.; FERNANDES, R. J.; TOUBEKIS, A. G.; MANOU, V.; LOUPOS, D.; KELLIS, S. Is speed reserve related to critical speed and anaerobic distance capacity in swimming? **J Strength Cond Res**, v. 29, n. 7, p. 1830–1836, 2015.
- DAVIS, P. O.; DOTSON, C. O.; SANTA MARIA, D. L. Relationship between simulated fire fighting tasks and physical performance measures. **Med Sci Sports Exerc**, v. 14, n. 1, p. 65–71, 1982.
- DEKERLE, J.; BRICKLEY, G.; HAMMOND, A. J. P.; PRINGLE, J. S. M.; CARTER, H. Validity of the two-parameter model in estimating the anaerobic work capacity. **European Journal of Applied Physiology**, v. 96, n. 3, p. 257–264, fev. 2006.
- DEKERLE, J.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M. Determination of critical power from a single test. **Science and Sports**, v. 23, n. 5, p. 231–238, out. 2008.
- DENNISON, K. J.; MULLINEAUX, D. R.; YATES, J. W.; ABEL, M. G. The effect of fatigue and training status on firefighter performance. **J Strength Cond Res**, v. 26, n. 4, p. 1101–1109, abr. 2012.
- DEWAR, M. E. Body movements in climbing a ladder. **Ergonomics**, v. 20, n. 1, p. 67–86, 1977.
- DICKS, N. D.; PETTITT, R. W. Optimization of the critical speed concept for tactical professionals: A brief review. **Sports**, v. 9, n. 8, p. 1–10, 2021.
- DIEFENTHAELER, F.; BINI, R. R.; NABINGER, E.; LAITANO, O.; CARPES, F. P.; MOTA, C. B.; CARLOS, A.; GUIMARÃES, S. **Proposta Metodológica para a Avaliação da Técnica da Pedalada de Ciclistas: Estudo de Caso** **Methodological Proposal for Evaluation of the Pedaling Technique of Cyclists: a Case Study** **Rev Bras Med Esporte**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <[www.ufrgs.br/lmm](http://www.ufrgs.br/lmm)>.
- DONELAN, J. M.; KRAM, R.; KUO, A. D. Mechanical and metabolic determinants of the preferred step width in human walking. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 268, n. 1480, p. 1985–1992, 7 out. 2001.
- DONOVAN, R.; NELSON, T.; PEEL, J.; LIPSEY, T.; VOYLES, W.; ISRAEL, R. G. Cardiorespiratory fitness and the metabolic syndrome in firefighters. **Occupational Medicine**, v. 59, n. 7, p. 487–492, 2009.
- DOOLITTLE, T. L. **Metabolic cost of stair climbing**. Seattle: University of Washington, 1986.

- DREGER, R. W.; PETERSEN, S. R. Oxygen cost of the CF-DND fire fit test in males and females. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 32, n. 3, p. 454–462, jun. 2007.
- DREW-NORD, D. C.; MYERS, J.; NORD, S. R.; OKA, R. K.; HONG, O.; FROELICHER, E. S. Accuracy of peak VO<sub>2</sub> assessments in career firefighters. **Journal of Occupational Medicine and Toxicology**, v. 6, n. 1, 2011.
- DUARTE, R.; ONO, R.; BENTO, S. **Problemática de Incêndio em Edifícios Altos**. São Paulo - SP: [s.n.]. v. 1
- DURAND, G.; TSISMENAKIS, A. J.; JAHNKE, S. A.; BAUR, D. M.; CHRISTOPHI, C. A.; KALES, S. N. Firefighters' Physical Activity. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 43, n. 9, p. 1752–1759, set. 2011.
- EGLIN, C. M.; TIPTON, M. J. Can firefighter instructors perform a simulated rescue after a live fire training exercise? **European Journal of Applied Physiology**, v. 95, n. 4, p. 327–334, out. 2005.
- EKKEKAKIS, P. Let Them Roam Free? Physiological and Psychological Evidence for the Potential of Self-Selected Exercise Intensity in Public Health. **Sports Med**, v. 39, n. 10, p. 857–888, 2009.
- ELSNER, K. L.; KOLKHORST, F. W. Metabolic demands of simulated firefighting tasks. **Ergonomics**, v. 51, n. 9, p. 1418–1425, 2008.
- ELSTAD, K.; MALONE, C.; LUEDKE, J.; JAIME, S. J.; DOBBS, W. C.; ALMONROEDER, T.; KERKSICK, C. M.; MARKERT, A.; JAGIM, A. R. The Effects of Protein and Carbohydrate Supplementation, with and without Creatine, on Occupational Performance in Firefighters. **Nutrients**, v. 15, n. 24, p. 5134, 18 dez. 2023.
- FARACO, H. C. **Determinação Da Velocidade Crítica Através De Um Teste Único De 3 Minutos De Corrida**. Florianópolis: Universidade Do Estado De Santa Catarina –UDESC, 2011.
- FBIM REFERENCE DOCUMENT. **Fire Brigade Intervention Model Dataset**. Disponível em: <[https://www.afac.com.au/...](https://www.afac.com.au/)>.
- FLETCHER, G. F. *et al.* Exercise standards for testing and training: A scientific statement from the American heart association. **Circulation**, v. 128, n. 8, p. 873–934, 20 ago. 2013.
- FOGLEMAN, M.; BHOJANI, F. A. Refinery firefighters: Assessing fitness for duty. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 11, n. 2, p. 161–170, 2005.
- FRANCO-ALVARENGA, P. E.; BRIETZKE, C.; LIMA, F. DE R. DE; PINHEIRO, F. A.; SANTOS, T. M.; ASANO, R. Y.; PIRES, F. O. Determinants factors of pacing strategy on endurance sports. **Revista Brasileira de Ciências do Esporte**, v. 41, n. 1, p. 59–65, 1 jan. 2019.

GALBRAITH, A.; HOPKER, J.; JOBSON, S.; PASSFIELD, L. A Novel Field Test to Determine Critical Speed. **Journal of Sports Medicine & Doping Studies**, v. 01, n. 01, p. 1–4, 2011.

GARNER, J. C.; WADE, C.; GARTEN, R.; CHANDER, H.; ACEVEDO, E. The influence of firefighter boot type on balance. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 43, n. 1, p. 77–81, jan. 2013.

GLASS, S. C.; CHVALA, A. M. **Preferred Exertion Across Three Common Modes of Exercise Training** National Strength & Conditioning Association **J. Strength Cond. Res.** [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://journals.lww.com/nsca-jscr>>.

GLEDHILL, N.; JAMNIK, V. K. Characterization of the physical demands of firefighting. **Can J Sport Sci.**, v. 17, n. 3, p. 207–213, 1992.

GOTTSCHALL, J. S.; AGHAZARIAN, G. S.; ROHRBACH, E. A. The metabolic and muscular differences between two stair-climbing strategies of young adults. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 9, p. 2558–2563, set. 2010.

GRANI, G.; RODACKI, C. DE L. N.; LUBAS, H.; RESENDE, E. F.; HOINATSKI, R.; SENTONE, R. G.; ORR, R.; PAULO, A. C. Can training trunk musculature influence musculoskeletal pain and physical performance in Military Police Officers? **Ergonomics**, v. 65, n. 2, p. 265–275, fev. 2022.

GRECO, C. C.; PELARIGO, J. G.; FIGUEIRA, T. R.; DENADAI, B. S. Effects of gender on stroke rates, critical speed and velocity of a 30-min swim in young swimmers. **Journal of Sports Science and Medicine**, v. 6, p. 441–447, 2007.

GRECO, C.; PELARIGO, J.; PERANDINI, L.; FIGUEIRA, T.; DENADAI, B. Stroke rates corresponding to critical speed and the maximal speed of 30 min in swimmers of different training status. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 6, n. 2, p. 134–137, 2006.

GREINERT, I. G. **Operações de Combate a Incêndio** Manual de Combate a Incêndio. Curitiba. Corpo de Bombeiros Militar do Paraná, , 2008.

GRIMWOOD, P. **EURO FIREFIGHTER**. West Yorkshire: [s.n.].

GROELLER, H.; FULLAGAR, H. H. K.; SAMPSON, J. A.; MOTT, B. J.; TAYLOR, N. A. S. Employment standards for Australian Urban firefighters part 3: The transition from criterion task to test. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 57, n. 10, p. 1083–1091, 2015.

GUAZZI, M. *et al.* Clinical recommendations for cardiopulmonary exercise testing data assessment in specific patient populations. **Circulation**, v. 126, n. 18, p. 2261–2274, 30 out. 2012.

HAGAN, R. D. W. S. E. ; R. P. B. Effect of pedal rate on cardiorespiratory responses during continuous exercise. **Medicine & Science in sports & Exercise**, v. 24, n. 10, p. 1088–1095, out. 1992.

HALDER, A.; GAO, C.; MILLER, M.; KUKLANE, K. Oxygen uptake and muscle activity limitations during stepping on a stair machine at three different climbing speeds. **Ergonomics**, v. 61, n. 10, p. 1382–1394, 3 out. 2018.

HALDER, A.; KUKLANE, K.; GAO, C.; MILLER, M.; DELIN, M.; NORÉN, J.; FRIDOLF, K. Limitations of oxygen uptake and leg muscle activity during ascending evacuation in stairways. **Applied Ergonomics**, v. 66, p. 52–63, 1 jan. 2018.

HALSEY, L. G.; WATKINS, D. A. R.; DUGGAN, B. M. The Energy Expenditure of Stair Climbing One Step and Two Steps at a Time: Estimations from Measures of Heart Rate. **PLoS ONE**, v. 7, n. 12, 12 dez. 2012.

HANSEN, D.; JACOBS, N.; BEX, S.; D'HAENE, G.; DENDALE, P.; CLAES, N. Are fixed-rate step tests medically safe for assessing physical fitness? **European Journal of Applied Physiology**, v. 111, n. 10, p. 2593–2599, out. 2011.

HARVEY, D. G.; KRAEMER, J. L.; SHARRATT, M. T.; HUGHSON, R. L. Respiratory gas exchange and physiological demands during a fire fighter evaluation circuit in men and women. **European Journal of Applied Physiology**, v. 103, n. 1, p. 89–98, 2008.

HEIMBURG, E. D. VON; RASMUSSEN, A. K. R.; MEDBØ, J. I. Physiological responses of firefighters and performance predictors during a simulated rescue of hospital patients. **Ergonomics**, v. 49, n. 2, p. 111–126, 2006.

HEIMBURG, E. VON; MEDBØ, J. I. Energy cost of the trondheim firefighter test for experienced firefighters. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 19, n. 2, p. 211–225, 2013.

HERDY, A. H.; CAIXETA, A. Brazilian cardiorespiratory fitness classification based on maximum oxygen consumption. **Arquivos Brasileiros de Cardiologia**, v. 106, n. 5, p. 389–395, 1 maio 2016.

HERDY, A. H.; RITT, L. E. F.; STEIN, R.; ARAÚJO, C. G. S. DE; MILANI, M.; MENEGHELO, R. S.; FERRAZ, A. S.; HOSSRI, C.; ALMEIDA, A. E. M. DE; SILVA, M. M. F. DA; SERRA, S. M. **Cardiopulmonary exercise test: Background, applicability and interpretation** *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*, , 1 nov. 2016.

HOLMÉR, I.; GAVHED, D. Classification of metabolic and respiratory demands in fire fighting activity with extreme workloads. **Applied Ergonomics**, v. 38, n. 1, p. 45–52, 2007.

HOWLEY, E. T.; COLACINO, D. L.; SWENSEN, T. C. Factors affecting the oxygen cost of stepping on an electronic stepping ergometer. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 24, n. 9, p. 1055–1058, set. 1992.

HUANG, C. J.; ACEVEDO, E. O.; GARTEN, R. S.; WADE, C.; WEBB, H. E. Physiological responses to simulated stair climbing in professional firefighters wearing rubber and leather boots. **European Journal of Applied Physiology**, v. 107, n. 2, p. 163–168, 2013.

HUGHSON, R. L.; OROK, C. J.; STAUDT, L. E. A High Velocity Treadmill Running Test to Assess Endurance Running Potential. **J. Sports Med**, v. 5, n. 1, p. 23–25, 1984.

HUNTER, I.; SMITH, G. A. Preferred and optimal stride frequency, stiffness and economy: Changes with fatigue during a 1-h high-intensity run. **European Journal of Applied Physiology**, v. 100, n. 6, p. 653–661, ago. 2007.

ISHOLA, A. A.; VALLES, D. Enhancing Safety and Efficiency in Firefighting Operations via Deep Learning and Temperature Forecasting Modeling in Autonomous Unit. **Sensors**, v. 23, n. 10, 1 maio 2023.

JAGIM, A. R.; LUEDKE, J. A.; DOBBS, W. C.; ALMONROEDER, T.; MARKERT, A.; ZAPP, A.; ASKOW, A. T.; KESLER, R. M.; FIELDS, J. B.; JONES, M. T.; ERICKSON, J. L. Physiological Demands of a Self-Paced Firefighter Air-Management Course and Determination of Work Efficiency. **Journal of Functional Morphology and Kinesiology**, v. 8, n. 1, 1 mar. 2023.

JETTÉ, M.; SIDNEY, K.; BLÜMCHEN, G. Metabolic Equivalents (METS) in Exercise Testing, Exercise Prescription, and Evaluation of Functional Capacity Introduction Metabolic Equivalents of Activities. **Clin. Cardiol**, v. 13, n. 8, p. 555–565, 1990.

JONES, A. M.; BURNLEY, M. **Oxygen Uptake Kinetics: An Underappreciated Determinant of Exercise Performance** *International Journal of Sports Physiology and Performance*. [s.l: s.n.].

JONES, A. M.; BURNLEY, M.; BLACK, M. I.; POOLE, D. C.; VANHATALO, A. The maximal metabolic steady state: redefining the ‘gold standard’. **Physiological Reports**, v. 7, n. 10, 1 maio 2019.

JONES, A. M.; KIRBY, B. S.; CLARK, I. E.; RICE, H. M.; FULKERSON, E.; WYLIE, L. J.; WILKERSON, D. P.; VANHATALO, A.; WILKINS, B. W. Physiological demands of running at 2-hour marathon race pace. **Journal of Applied Physiology**, v. 130, n. 2, p. 369–379, 1 fev. 2021.

JONES, A. M.; VANHATALO, A. The ‘Critical Power’ Concept: Applications to Sports Performance with a Focus on Intermittent High-Intensity Exercise. **Sports Medicine**, v. 47, p. 65–78, 1 mar. 2017.

JONES, A. M.; VANHATALO, A.; BURNLEY, M.; MORTON, R. H.; POOLE, D. C. Critical power: Implications for determination of VO<sub>2</sub>max and exercise tolerance. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 42, n. 10, p. 1876–1890, out. 2010.

JONES, ANDREW M; WILKERSON, D. P.; DIMENNA, F.; FULFORD, J.; POOLE, D. C.; JONES, A. M. Muscle metabolic responses to exercise above and below the “critical power” assessed using <sup>31</sup>P-MRS. **Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol**, v. 294, p. 585–593, 2008.

KAMON, E.; RAMANATHAN, N. L. Estimation of Maximal Aerobic Power Using Stairclimbing—A Simple Method Suitable for Industry. **American Industrial Hygiene Association Journal**, v. 35, n. 4, p. 181–188, 1 abr. 1974.

KIRBY, B. S.; BRADLEY, E. M.; WILKINS, B. W. Critical Velocity during Intermittent Running with Changes of Direction. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 51, n. 2, p. 308–314, 1 fev. 2019.

KIRBY, B. S.; CLARK, D. A.; BRADLEY, E. M.; WILKINS, B. W. The balance of muscle oxygen supply and demand reveals critical metabolic rate and predicts time to exhaustion. **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 130, n. 6, p. 1915–1927, 1 jun. 2021.

KIRBY, B. S.; WINN, B. J.; WILKINS, B. W.; JONES, A. M. Interaction of exercise bioenergetics with pacing behavior predicts track distance running performance. **Journal of Applied Physiology**, v. 131, n. 5, p. 1532–1542, 1 nov. 2021.

KISS, P.; MEESTER, M. DE; MAES, C.; VRIESE, S. DE; KRUSE, A.; BRAECKMAN, L. Cardiorespiratory fitness in a representative sample of Belgian firefighters. **Occupational Medicine**, v. 64, n. 8, p. 589–594, 1 dez. 2014.

KLEINBERG, C. R.; RYAN, E. D.; TWEDELL, A. J.; BARNETTE, T. J.; WAGONER, C. W. Influence of Lower Extremity Muscle Size and Quality on Stair-Climb Performance in Career Firefighters. **J Strength Cond Res**, v. 30, n. 6, p. 1613–1618, jun. 2016.

KRAEMER, W. J.; FLECK, S. J.; DESCHENES, M. R. **Fisiologia do exercício: teoria e prática**. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 2

KRAMER, M.; RANDT, R. DU; WATSON, M.; PETTITT, R. W. Bi-exponential modeling derives novel parameters for the critical speed concept. **Physiological Reports**, v. 7, n. 4, 1 fev. 2019a.

\_\_\_\_\_. Energetics of male field-sport athletes during the 3-min all-out test for linear and shuttle-based running. **European Journal of Applied Physiology**, v. 119, n. 2, p. 477–486, 6 fev. 2019b.

KRANENBURG, K. J.; SMITH, D. J. Comparison of critical speed determined from track running and treadmill tests in elite runners. **Medicine & Science in Sports & Exercise**, v. 28, n. 5, p. 614–618, maio 1996.

KULIGOWSKI, E. D.; BUKOWSKI, R. W. **Design of Occupant Egress Systems for Tall Buildings** CIB World Building Congress. **Anais...** Toronto: 2 jul. 2004 Disponível em: <<https://www.researchgate.net/publication/266884126>>

KUO, A. D. A simple model of bipedal walking predicts the preferred speed-step length relationship. **Journal of Biomechanical Engineering**, v. 123, n. 3, p. 264–269, 2001.

LARSEN, B.; SNOW, R.; WILLIAMS-BELL, M.; AISBETT, B. Simulated firefighting task performance and physiology under very hot conditions. **Frontiers in Physiology**, v. 6, n. NOV, 2015.

LATOSINSKI, F.; CUESTA, A.; ALVEAR, D.; FERNÁNDEZ, D. Determinants of stair climbing speeds in volunteer firefighters. **Safety Science**, v. 171, p. 106398, mar. 2024.

- LEE, J. Y.; BAKRI, I.; KIM, J. H.; SON, S. Y.; TOCHIHARA, Y. The impact of firefighter personal protective equipment and treadmill protocol on maximal oxygen uptake. **Journal of Occupational and Environmental Hygiene**, v. 10, n. 7, p. 397–407, 2013.
- LINDBERG, A. **Firefighters' physical work capacity**. Umeå: [s.n.].
- LOPES, R. B.; BRITO, R. R.; PARREIRA, V. Breathing Pattern during exercise - literature review. **Revista Brasileira de Ciência e Movimento**, v. 13, n. 2, p. 153–160, 2005.
- LOUHEVAARA, V. A. Physiological effects associated with the use of respiratory protective devices. A review. **Scandinavian Journal of Work, Environment and Health**, v. 10, n. 5, p. 275–281, 1984.
- LOVE, R.; JOHNSTONE, J.; CRAWFORD, J.; TESH, K.; GRAVELING, R.; RITCHIE, P.; HUTCHISON, P.; WETHERILL, G. Study of the physiological effects of wearing breathing apparatus. 1994.
- LUEDKE, L. E.; HEIDERSCHEIT, B. C.; WILLIAMS, D. S. B.; RAUH, M. J. Factors Associated With Self-Selected Step Rate in High School Cross Country Runners. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 35, n. 4, p. 1141–1148, abr. 2021.
- LYONS, J.; ALLSOPP, A.; BILZON, J. Influences of body composition upon the relative metabolic and cardiovascular demands of load-carriage. **Occupational Medicine**, v. 55, n. 5, p. 380–384, ago. 2005.
- MACPHERSON, A. C.; COLLINS, D.; OBHI, S. S. The importance of temporal structure and rhythm for the optimum performance of motor skills: A new focus for practitioners of sport psychology. **Journal of Applied Sport Psychology**, v. 21, n. SUPPL.1, p. 48–61, 2009.
- MAMEN, A.; HEIMBURG, E. D. VON; OSELAND, H.; MEDBØ, J. I. Examination of a new functional firefighter fitness test. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 27, n. 2, p. 460–471, 2021.
- MANGINE, G. T.; SEAY, T. R. Quantifying CrossFit®: Potential solutions for monitoring multimodal workloads and identifying training targets. **Front Sports Act Living**, v. 14, n. 4, 2022.
- MARCEL-MILLET, P.; CASSIRAME, J.; EON, P.; WILLIAMS-BELL, F. M.; GIMENEZ, P.; GROSPRÊTRE, S. Physiological demands and physical performance determinants of a new firefighting simulation test. **Ergonomics**, 2023.
- MARCEL-MILLET, P.; GROSLAMBERT, A.; GIMENEZ, P.; GROSPRÊTRE, S.; RAVIER, G. Psychophysiological responses of firefighters to day and night rescue interventions. **Applied Ergonomics**, v. 95, 1 set. 2021.
- MARCEL-MILLET, P.; RAVIER, G.; ESCO, M. R.; GROSLAMBERT, A. Does firefighters' physical fitness influence their cardiac parasympathetic reactivation? Analysis with post-exercise heart rate variability and ultra-short-term measures.

**International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 28, n. 1, p. 153–161, 2020.

MARINHO, D. A.; SILVA, A. J.; REIS, V. M.; COSTA, A. M.; BRITO, J. P.; FERRAZ, R.; MARQUES, M. C. Changes in critical velocity and critical stroke rate during a 12 week swimming training period: A case study. **Journal of Human Sport and Exercise**, v. 4, n. 1, p. 48–56, 2009.

MASSINI, D. A.; FILHO, D. M. P.; CARITÁ, R. A. C.; DENADAI, B. S. Resposta fisiológica e perceptual na velocidade crítica e ponto de compensação respiratória. **Revista Brasileira de Medicina do Esporte**, v. 22, n. 6, p. 439–444, 2016.

MAUGER, A. R.; JONES, A. M.; WILLIAMS, C. A. Influence of feedback and prior experience on pacing during a 4-km cycle time trial. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 2, p. 451–458, fev. 2009.

MCARDLE, W. D.; KATCH, F. L.; KATCH, V. L. **Fisiologia do exercício. Energia, nutrição e desempenho humano**. Guanabara Koogan ed. Rio de Janeiro: [s.n.]. v. 8

MCKINNEY, Z. J. *et al.* Cardiorespiratory Fitness of Firefighters Initial Results of a Multi-Phased Study. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 63, n. 1, p. 57–63, 1 jan. 2021.

MEDBØ, J. I.; MAMEN, A.; OSELAND, H.; HEIMBURG, E. D. VON. The steady-state load of five firefighting tasks. **International Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 26, n. 1, p. 173–180, 2020.

MICHAELIDES, M. A.; PARPA, K. M.; HENRY, L. J.; THOMPSON, G. B.; BROWN, B. S. Assessment of physical fitness aspects and their relationship to firefighters' job abilities. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 25, n. 4, p. 956–965, abr. 2011.

MICKLEWRIGHT, D.; PAPADOPOULOU, E.; SWART, J.; NOAKES, T. Previous experience influences pacing during 20 km time trial cycling. **British Journal of Sports Medicine**, v. 44, n. 13, p. 952–960, out. 2010.

MONOD, H.; SCHERRER, J. The work capacity of a synergic muscular group. **Ergonomics**, v. 8, n. 3, p. 329–338, 1965.

MORITANI, T.; ATA, A. N.; DEVRIES, H. A.; MURO, M. Critical power as a measure of physical work capacity and anaerobic threshold. **Ergonomics**, v. 24, n. 5, p. 339–350, 1981.

MORRIS, C. E.; CHANDER, H. The impact of firefighter physical fitness on job performance: A review of the factors that influence fire suppression safety and success. **Safety**, v. 4, n. 4, 2018.

MORRIS, C. E.; WINCHESTER, L. J.; JACKSON, A. J.; TOMES, A. S.; NEAL, W. A.; WILCOXEN, D. M.; CHANDER, H.; ARNETT, S. W. Effect of a simulated tactical occupation task on physiological strain index, stress and inflammation. **International**

**Journal of Occupational Safety and Ergonomics**, v. 26, n. 1, p. 204–209, 2 jan. 2018.

MORTON, R. H.; VERONIQUE BILLAT, L. The critical power model for intermittent exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 91, n. 2–3, p. 303–307, mar. 2004.

MURGATROYD, S. R.; FERGUSON, C.; WARD, S. A.; WHIPP, B. J.; ROSSITER, H. B. Pulmonary O<sub>2</sub> uptake kinetics as a determinant of high-intensity exercise tolerance in humans. **Journal of Applied Physiology**, v. 110, n. 6, p. 1598–1606, jun. 2011.

NAZARI, G.; MACDERMID, J. C.; SINDEN, K. E.; OVEREND, T. J. The Relationship between Physical Fitness and Simulated Firefighting Task Performance. **Rehabilitation Research and Practice**, v. 2018, n. 2007, p. 1–7, 2018.

NAZARI, G.; OSIFESO, T. A.; MACDERMID, J. C. Distribution of Number, Location of Pain and Comorbidities, and Determinants of Work Limitations among Firefighters. **Rehabilitation Research and Practice**, v. 2020, 2020.

NFPA 1582. **Standard on Comprehensive Occupational Medical Program for Fire Departments**. Disponível em:

<[https://docinfofiles.nfpa.org/files/AboutTheCodes/1582/TIA\\_1582\\_22\\_1.pdf](https://docinfofiles.nfpa.org/files/AboutTheCodes/1582/TIA_1582_22_1.pdf)>.

Acesso em: 11 fev. 2024.

NOH, K. *et al.* Physical fitness levels of South Korean national male and female firefighters. **Journal of Exercise Science and Fitness**, v. 18, n. 3, p. 109–114, 1 set. 2020.

NUNES, R. DE A. M.; PONTES, G. F. R.; DANTAS, P. M. S.; FILHO, J. F. Tabela referencial de condicionamento cardiorrespiratório. **Fitness & Performance Journal**, v. 4, n. 1, p. 27–33, 1 jan. 2005.

OATIS, C. A. **Cinesiologia: A Mecânica e a Patomecânica do Movimento Humano**. 2. ed. [s.l.] Manole, 2014.

O'CONNELL, E. R.; THOMAS, P. C.; CADY, L. D.; KARWASKY, R. J. Energy costs of simulated stair climbing as a job-related task in fire fighting. **J. Occ. Med**, v. 28, p. 282–284, 1986.

OFFICE OF THE DEPUTY PRIME MINISTER. **Physiological assessment of firefighting, search and rescue in the built environment**. [s.l.] Office of the Deputy Prime Minister, 2004.

OKUNO, N. M. **Modelo de potência e velocidade crítica**. In: BERTUZZI, R.; BRUM, P. C.; ALVES, C. R. R.; LIMA-SILVA, A. E. (Orgs.). **Aptidão aeróbia: desempenho esportivo, saúde e nutrição**. Barueri - SP: [s.n.].

OLIVEIRA, G. L. DE; MARQUES, A. H.; FONSECA, V. F. DA; POZZOLO, B. A.; PANACIONI, F.; SANTOS, T. C.; GUEDES, A. A.; MOCELIN, A. G.; BERTIN, R. L.; ULBRICH, A. Z. Handrail support interference in cardiac autonomic modulation

adjustments in young adults during maximal exercise testing. **Scientific Reports**, v. 10, n. 1, 1 dez. 2020.

PAPOTI, M.; ZAGATTO, A. M.; MENDES, O. C.; GOBATTO, C. A. Utilização de métodos invasivo e não invasivo na predição das performances aeróbia e anaeróbia em nadadores de nível nacional. **Revista Portuguesa de Ciências do Desporto**, v. 2005, n. 1, p. 7–14, 2005.

PARK, K.; HUR, P.; ROSENGREN, K. S.; HORN, G. P.; HSIAO-WECKSLER, E. T. Effect of load carriage on gait due to firefighting air bottle configuration. **Ergonomics**, v. 53, n. 7, p. 882–891, jul. 2010.

PARK, K.; ROSENGREN, K. S.; HORN, G. P.; SMITH, D. L.; HSIAO-WECKSLER, E. T. Assessing gait changes in firefighters due to fatigue and protective clothing. **Safety Science**, v. 49, n. 5, p. 719–726, jun. 2011.

PAULO, A. C. **INTEGRAÇÃO SENSÓRIO-NEUROMUSCULAR: dicas de exercícios físicos para reabilitação de doenças e lesões neuromusculares**. 1. ed. Curitiba: Editora CRV Ltda., 2019.

PEATE, W. F.; LUNDERGAN, L.; JOHNSON, J. J. Fitness self-perception and Vo2max in firefighters. **J Occup Environ Med**, v. 44, n. 6, p. 546–550, jun. 2002.

PELARIGO, J. G.; FIGUEIRA, T. R.; AUGUSTO, L.; PERANDINI, B.; DENADAI, S.; GRECO, C. C. Índices técnicos correspondentes à velocidade crítica e à máxima velocidade de 30 minutos em nadadores com diferentes níveis de performance aeróbia \*. **Rev Bras Med Esporte**, v. 13, p. 3, 2007.

PERRONI, F.; TESSITORE, A.; CORTIS, C.; LUPO, C.; D'ARTIBALE, E.; CIGNITTI, L.; CAPRANICA, L. Energy cost and energy sources during a simulated firefighting activity. **J Strength Cond Res**, v. 24, n. 12, p. 3457–3463, 2010.

PERRY, J. **Análise de marcha**. Barueri - SP: Manole, 2005. v. 1

PETTITT, R. W.; JAMNICK, N.; CLARK, I. E. 3-Min all-out exercise test for running. **International Journal of Sports Medicine**, v. 33, n. 6, p. 426–431, 2012.

PHILLIPS, D. B.; STICKLAND, M. K.; LESSER, I. A.; PETERSEN, S. R. The effects of heavy load carriage on physiological responses to graded exercise. **European Journal of Applied Physiology**, v. 116, n. 2, p. 275–280, 1 fev. 2016.

PINTAR, J. A.; ROBERTSON, R. J.; KRISKA, A. M.; NAGLE, E.; GOSS, F. L. The influence of fitness and body weight on preferred exercise intensity. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 38, n. 5, p. 981–988, maio 2006.

PLAT, M. C. J.; FRINGS-DRESEN, M. H. W.; SLUITER, J. K. Reproducibility and validity of the stair-climb test for fire fighters. **International Archives of Occupational and Environmental Health**, v. 83, n. 7, p. 725–731, out. 2010.

POOLE, D. C.; BURNLEY, M.; VANHATALO, A.; ROSSITER, H. B.; JONES, A. M. Critical power: An important fatigue threshold in exercise physiology. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 48, n. 11, p. 2320–2334, 1 nov. 2016.

POWERS, S. K.; HOWLEY, E. T. **Fisiologia do exercício: teoria e aplicação ao condicionamento e ao desempenho**. 9. ed. Barueri - SP: Manole, 2017.

RAS, J.; SOTERIADES, E. S.; SMITH, D. L.; KENGNE, A. P.; LEACH, L. Evaluation of the relationship between occupational-specific task performance and measures of physical fitness, cardiovascular and musculoskeletal health in firefighters. **BMC Public Health**, v. 24, n. 1, 1 dez. 2024.

RODRIGUEZ, F.; MORENO, D.; KESKINEN, K. **Validity of a Two-Distance Simplified Testing Method for Determining Critical Swimming Velocity** (J.-C. Chatard, Ed.) *Biomechanics and Medicine in Swimming IX*, University press, St. Etienne. **Anais...**2003

ROMET, T. T.; FRIM, J. Physiological responses to fire fighting activities. **European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology**, v. 56, p. 633–638, 1987.

SANTOS, V.; MASSUÇA, L. M.; MONTEIRO, L.; ANGARTEN, V.; ABEL, M. G.; FERNHALL, B.; SANTA-CLARA, H. Comparison of Acute Arterial Responses Following a Rescue Simulation and Maximal Exercise in Professional Firefighters. **Healthcare (Switzerland)**, v. 11, n. 7, 1 abr. 2023.

SHEAFF, A. K.; BENNETT, A.; HANSON, E. D.; KIM, Y.; HSU, J.; SHIM, J. K.; EDWARDS, S. T.; HURLEY, B. F. Physiological determinants of the candidate physical ability test in firefighters. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 11, p. 3112–3122, 2010.

SIMEONOV, P.; HSIAO, H.; ARMSTRONG, T.; FU, Q.; WOOLLEY, C.; KAU, T. Y. Effects of aerial ladder rung spacing on firefighter climbing biomechanics. **Applied Ergonomics**, v. 82, 1 jan. 2020.

SMITH, C. G. M.; JONES, A. M. The relationship between critical velocity, maximal lactate steady-state velocity and lactate turnpoint velocity in runners. **European Journal of Applied Physiology**, v. 85, n. 1–2, p. 19–26, 2001.

SMITH, D. L.; PETRUZZELLO, S. J.; KRAMER, J. M.; MISNER, J. E. The effects of different thermal environments on the physiological and psychological responses of firefighters to a training drill. **Ergonomics**, v. 40, n. 4, p. 500–510, 1 abr. 1997.

SMYTH, B.; MUNIZ-PUMARES, D. Calculation of Critical Speed from Raw Training Data in Recreational Marathon Runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 52, n. 12, p. 2637–2645, 2020.

SOARES-CALDEIRA, L. F. **Fisiologia do exercício**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A, 2018. v. 1

SOARES-CALDEIRA, L. F.; OKUNO, N. M.; SALES, M. M.; CAMPBELL, C. S. G.; SIMÕES, H. G.; NAKAMURA, F. Y. Similarity in physiological and perceived exertion responses to exercise at continuous and intermittent critical power. **European Journal of Applied Physiology**, v. 112, n. 5, p. 1637–1644, maio 2012.

SOLOMONSON, A. A.; DICKS, N. D.; KERR, W. J.; PETTITT, R. W. Influence of Load Carriage on High-Intensity Running Performance Estimation. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 5, p. 1391–1396, maio 2016.

SOTHMANN, M. S. *et al.* Advancing Age and the Cardiorespiratory Stress of Fire Suppression: Determining a Minimum Standard for Aerobic Fitness. **Human Performance**, v. 3, n. 4, p. 217–236, 1 dez. 1990.

SOTHMANN, M. S.; SAUPE, K.; JASENOF, D.; BLANEY, J. Heart Rate Response of Firefighters to Actual Emergencies. **J Occup Med**, v. 34, n. 8, p. 797–800, 1992.

SOUZA, I. **Corpo de Bombeiros atua de modo diversificado em virtude de situações com pessoas, animais e bens**. Disponível em: <<https://www.agenciapara.com.br/noticia/43397/corpo-de-bombeiros-a...>>.

STORER, T. W.; DOLEZAL, B. A.; ABRAZADO, M. L.; SMITH, D. L.; BATALIN, M. A.; TSENG, C.-H.; COOPER, C. B.; PHASER, T.; GROUP, S. FIREFIGHTER HEALTH AND FITNESS ASSESSMENT: A CALL TO ACTION. **J Strength Cond Res**, v. 28, n. 3, p. 661–671, 2014.

STRAUSS, M.; FOSHAG, P.; JEHN, U.; BRZEK, A.; LITTWITZ, H.; LEISCHIK, R. Higher cardiorespiratory fitness is strongly associated with lower cardiovascular risk factors in firefighters: a cross-sectional study in a German fire brigade. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, 1 dez. 2021.

SYABBALO, N. C.; KRISHNAN, B.; ZINTEL, T.; GALLAGHER, C. G. Differential ventilatory control during constant work rate and incremental exercise. **Respiration Physiology**, v. 97, p. 175–187, 1994.

SYKES, K.; ROBERTS, A. The Chester step test—a simple yet effective tool for the prediction of aerobic capacity. **Physiotherapy**, v. 90, n. 4, p. 183–188, dez. 2004.

TAYLOR, N. A. S.; FULLAGAR, H. H. K.; SAMPSON, J. A.; NOTLEY, S. R.; DURLEY, S. D.; LEE, D. S.; GROELLER, H. Employment standards for Australian Urban firefighters: Part 2: The physiological demands and the criterion tasks. **Journal of Occupational and Environmental Medicine**, v. 57, n. 10, p. 1072–1082, 2015.

TAYLOR, N. A. S.; PEOPLES, G. E.; PETERSEN, S. R. Load carriage, human performance, and employment standards 1. v. 147, n. June, p. 131–147, 2016.

TEBEXRENI, A. S.; ALVES, A. N. F.; FUCHS, Â.; HOSSRI, C. A. C. Conceitos fisiológicos de importância para a compreensão das variáveis envolvidas no teste ergométrico e no teste cardiopulmonar. **Rev Soc Cardiol Estado de São Paulo**, v. 19, n. 3, p. 378–396, 2009.

TEH, K. C.; AZIZ, A. R. Heart rate, oxygen uptake, and energy cost of ascending and descending the stairs. **Med Sci Sports Exerc**, p. 695–699, 2002.

THEUNISSEN, K.; HOOREN, B. VAN; PLASQUI, G.; MEIJER, K. Self-paced and fixed speed treadmill walking yield similar energetics and biomechanics across different speeds. **Gait and Posture**, v. 92, p. 2–7, 1 fev. 2022.

TIERNEY, M. T.; LENAR, D.; STANFORTH, P. R.; CRAIG, J. N.; FARRAR, R. P. Prediction of Aerobic Capacity in Firefighters Using Submaximal Treadmill and Stairmill Protocols. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 24, n. 3, p. 757–764, 2010.

TÓMASSON, B.; BENGTSSON, J.; THORSTEINSSON, D.; KARLSSON, B. **A probabilistic risk analysis methodology for high-rise buildings taking into account fire department intervention time** Fire Safety Science. **Anais...**2008

TUCKER, R. The anticipatory regulation of performance: The physiological basis for pacing strategies and the development of a perception-based model for exercise performance. **British Journal of Sports Medicine**, v. 43, n. 6, p. 392–400, jun. 2009.

WAKAYOSHI, K.; KOMEI, I.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. Determination and validity of critical velocity as an index of swimming performance in the competitive swimmer. **Eur J Appl Physio**, v. 64, p. 153–157, 1992.

WAKAYOSHI, K.; YOSHIDA, T.; UDO, M.; HARADA, T.; MORITANI, T.; MUTOH, Y.; MIYASHITA, M. **Does critical swimming velocity represent exercise intensity at maximal lactate steady state?** **Applied Physiology and Occupational Physiology**. [s.l.] Springer-Verlag, 1993.

WAKAYOSHI, K. ; YOSHIDA, T. ; UDO, M. ; KASAI, T. ; MORITANI, T. ; MUTOH, Y. ; MIYASHITA, M. A Simple Method for Determining Critical Speed as Swimming Fatigue Threshold in Competitive Swimming. **Int J Sports Med**, v. 13, n. 5, p. 367–371, 1992.

WALKER, R. E.; SWAIN, D. P.; RINGLEB, S. I.; COLBERG, S. R. Effect of added mass on treadmill performance and pulmonary function. **J Strength Cond Res.**, v. 29, n. 4, p. 882–888, abr. 2015.

WEBB, C. **Estimating VO<sub>2</sub>max Using a Personalized Step Test**. Provo: Brigham Young University, jun. 2012.

WEINECK, J. **Treinamento Ideal**. Manole ed. São Paulo: [s.n.].

WIENS, C.; DENTON, W.; SCHIEBER, M. N.; HARTLEY, R.; MARMELAT, V.; MYERS, S. A.; YENTES, J. M. Walking speed and spatiotemporal step mean measures are reliable during feedback-controlled treadmill walking; however, spatiotemporal step variability is not reliable. **Journal of Biomechanics**, v. 83, p. 221–226, 23 jan. 2019.

WILLIAMS-BELL, F. M.; BOISSEAU, G.; MCGILL, J.; KOSTIUK, A.; HUGHSON, R. L. Air management and physiological responses during simulated firefighting tasks in a high-rise structure. **Applied Ergonomics**, v. 41, n. 2, p. 251–259, 2010a.

\_\_\_\_\_. Physiological responses and air consumption during simulated firefighting tasks in a subway system. **Applied Physiology, Nutrition and Metabolism**, v. 35, n. 5, p. 671–678, 2010b.

- WILLIAMS-BELL, F. M.; VILLAR, R.; SHARRATT, M. T.; HUGHSON, R. L. Physiological demands of the firefighter candidate physical ability test. **Medicine and Science in Sports and Exercise**, v. 41, n. 3, p. 653–662, 2009.
- WINDISCH, S.; SEIBERL, W.; HAHN, D.; SCHWIRTZ, A. Physiological responses to firefighting in extreme temperatures do not compare to firefighting in temperate conditions. **Frontiers in Physiology**, v. 8, n. AUG, 23 ago. 2017.
- WINDISCH, S.; SEIBERL, W.; SCHWIRTZ, A.; HAHN, D. Relationships between strength and endurance parameters and air depletion rates in professional firefighters. **Scientific Reports**, v. 7, 17 mar. 2017.
- WINKELMANN, Z. K.; ROGERS, S. M.; EBERMAN, L. E.; GAMES, K. E. The effect of structural firefighter protective clothing systems on single-legged functional hop test scores. **Work**, v. 62, n. 3, p. 497–505, 2019.
- XU, D.; SONG, Y.; MENG, Y.; ISTVÁN, B.; GU, Y. Relationship between firefighter physical fitness and special ability performance: predictive research based on machine learning algorithms. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 17, n. 20, p. 1–10, 2 out. 2020.
- YAZBEK JR, P.; CARVALHO, R. T. DE; SABBAG, L. M. DOS S.; BATTISTELLA, L. R. Ergoespirometria. Teste de Esforço Cardiopulmonar, Metodologia e Interpretação. **Arq. Bras. Cardiol.**, v. 75, n. 5, nov. 1998.
- ZACCA, R.; JORGE FERNANDES, R. P.; PYNE, D. B.; ANTONIO ANTONIO S CASTRO, V. DE. Swimming training assessment: the critical velocity and the 400-m test for age-group swimmers. **Journal of Strength and Conditioning Research**, v. 30, n. 5, p. 1365–1372, 2016.
- ZARRUGH, M. Y.; RADCLIFFE, C. W. Predicting Metabolic Cost of Level Walking. **European Journal of Applied-Physiology and Occupational Physiology**, v. 38, p. 215–223, 1978.
- ZARRUGH, M. Y.; TODD, F. N.; RALSTON, I. J. Optimization of Energy Expenditure during Level Walking. **Europ. J. appl. Physiol**, v. 33, n. t974, p. 293–306, 1974.