Sistemas de vantagem mecânica: Um estudo da eficiência dos equipamentos no contexto do corpo de bombeiros militar do Distrito Federal

Mechanical advantage systems: A study of equipment efficiency in the context of the military fire department of the Federal District

2º Ten. QOBM/Comb. Marcos Paulo Maciel Bezerra Diniz[1]
Ten-Cel. QOBM/Comb. Estevão Lamartine Nogueira Passarinho[2]

RESUMO

Há uma diversidade de equipamentos disponíveis no Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) para uso em operações de salvamento, sobretudo aqueles que envolvem sistemas de vantagem mecânica. Este trabalho visa avaliar a eficiência dos equipamentos de sistemas de vantagem mecânica utilizados nas atividades de salvamento com cordas no CBMDF, tornando possível ordená-los e possibilitando a escolha dos melhores equipamentos para melhor empregá-los pela tropa. De forma exploratória, a pesquisa se iniciou com uma vasta revisão de literatura sobre o tema, permitindo definir materiais, estruturar um protocolo de testes, efetivar um laboratório para aplicar o protocolo e coletar dados. O protocolo foi aplicado utilizando um dinamômetro de forma a mensurar a perda de carga ao aplicar uma força para elevação de uma carga de 100 kg. Os resultados mostraram que dentro do mesmo grupo de equipamentos, a eficiência pode alterar significativamente o esforço necessário em uma operação. Dessa forma, foi conclusivo que essa informação é relevante para a operação, mas deve ser utilizada em conjunto com as informações do fabricante. Em suma, este trabalho serve como uma informação complementar para a tropa durante suas atuações e como um fator de decisão para os gestores no momento da aquisição, devendo sempre ser utilizado em conjunto com as especificações e prescrições do fabricante.

Palavras-chave: eficiência; operações de salvamento; perda de carga; protocolo de teste.

ABSTRACT

There is a diversity of equipment in the Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) available for use in rescue operations, mainly those involving mechanical advantage systems. This work aims to evaluate the efficiency of mechanical advantage system equipment used in rope rescue activities in the CBMDF, making it possible to order them and enabling the choice of the best equipment to better employ them by the troops. In an exploratory manner, the research began with a vast literature review on the topic, making it possible to define materials, structure a testing protocol, set up a laboratory to apply the protocol and collect data. The protocol was applied using a dynamometer to measure the loss of load when applying a force to lift a load of 100 kg. The results demonstrated that within the same group of equipment, efficiency can significantly change the effort required in an operation, so it was conclusive that this information is relevant to the operation but must be used in conjunction with the manufacturer's information. In short, the work is yet another piece of information that must be complementary to troops in operations and a decision factor for the manager at the time of acquisition and must always be used in conjunction with the manufacturer's specifications and prescriptions.

Keywords*: efficiency; rescue operations; cargo loss; test protocol.*

[1] Currículo Lattes: http://lattes.cnpq.br/9338605580997936
[2] Currículo Lattes: https://lattes.cnpq.br/7172199549052467

1 Introdução

O Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal (CBMDF) tem entre suas competências a prestação de serviço de salvamento e a atuação para garantir a preservação da incolumidade das pessoas (Brasil, 1986). As atividades de salvamento se dão em diversos campos, como salvamento em altura, captura de insetos, resgate veicular e salvamento terrestre (CBMGO, 2017).

É comum nas atividades de salvamento a necessidade de realizar força para movimentação de cargas que ultrapassam a capacidade física do bombeiro. Dessa forma, é fundamental o uso de sistemas de vantagem mecânica para realizar a movimentação desejada (CBMGO, 2017).

É fundamental para a atividade de bombeiro o estudo sobre as técnicas de multiplicação de força, uma vez que com o conhecimento dessa área, o CBMDF terá capacidade científica para definir qual o melhor conjunto de equipamentos fornece o melhor aproveitamento da força mecânica dos militares atuantes no salvamento, utilizando Sistema de Vantagem Mecânica (SVM) e, consequentemente, prestar um melhor serviço à sociedade do Distrito Federal.

Dessa maneira, o presente artigo tem como objetivo geral avaliar a eficiência dos equipamentos de sistemas de vantagem mecânica utilizados nas atividades de salvamento com cordas no CBMDF. Partindo-se dessa premissa e analisando-se as convergências adequadas ao estudo, chegou-se aos seguintes objetivos específicos: 1) Examinar a literatura de sistemas de vantagem mecânica aplicados à realidade bombeiro militar; 2) Identificar os equipamentos utilizados para montagem de sistemas de vantagem mecânica pelo CBMDF; 3) Definir o protocolo de teste para mensurar a perda de eficiência; 4) Mensurar a eficiência nos equipamentos de SVM, conforme o protocolo definido; 5) Elaborar um boletim informativo com as informações dos equipamentos de SVM.

Com o estudo da literatura, foi possível entender o conhecimento teórico do SVM aplicado à realidade bombeiro militar, principalmente em operações de salvamento. Conseguiu-se também identificar os equipamentos corporativos utilizados nos SVM, e construir as bases para o protocolo de testes.

2 Revisão de literatura

Apesar do objetivo final do trabalho ser alcançado somente com experimentos científicos, foi necessário ser realizada uma pesquisa da literatura sobre a atuação do bombeiro em operações de salvamento, bem como, sobre todos os aspectos inerentes à operação envolvendo sistemas multiplicadores de força, proporcionando, assim, a base teórica para fundamentar o problema pesquisado.

2.1 Operação de salvamento

Atividades como remoção de pessoas, animais ou bens de variados contextos, a fim de salvaguardá-los, são consideradas operações de salvamento. O serviço de salvamento está ligado ao serviço de primeiros socorros por serem executados, em vários casos, em sequência. Os executantes dessas atividades são chamados de socorristas (Araújo, 2007).

No salvamento em altura, o socorrista atua em um ambiente incomum para o homem, ou seja, distante do solo. Para a atuação nesses cenários é imprescindível o treinamento e a adaptação, pois, a exposição à altura, deve manter o militar sempre atento à segurança de toda a operação (CBMMT, 2021).

No âmbito do salvamento, os termos “segurança” e “proteção” referem-se às ações realizadas para minimizar, isolar, proteger, assegurar, evitar e criar condições que permitam à equipe de socorro atuar, com ou sem risco (Araújo, 2007).

2.2 Equipamentos sintéticos para salvamento

Nas atividades de salvamento, principalmente as que envolvem altura, as cordas têm papel substancial para execução da operação (CBMGO, 2017). Comumente, somente com cordas é possível se chegar a uma vítima, ou até mesmo, é o único equipamento utilizado pelo bombeiro militar como segurança (CBMMT, 2021).

Dentre as diversas cordas disponíveis no mercado, o CBMDF utiliza principalmente as

cordas sintéticas, semiestáticas e kernmantle, certificadas pela EN 1891, tipo 'A', com espessura de 11 mm a 12,5 mm, fabricadas pela empresa COUSIN-TRESTEC. Conforme a espessura da corda é possível determinar sua destinação no âmbito do CBMDF. As cordas de 11 mm são utilizadas para atividades de rapel, segurança e ascensão, enquanto as de 12,5 mm são empregadas em transposições (CBMDF, 2017).

2.3 Equipamentos metálicos para salvamento

São considerados materiais metálicos os que têm sua estrutura constituída por ligas metálicas ou metais. Equipamentos como mosquetões, ascensores, polias e descensores são exemplos de materiais metálicos utilizados nas atividades de salvamento (Silveira, 2015).

2.3.1 Mosquetões

O equipamento metálico mais simples utilizado nas atividades de salvamento é o mosquetão. Tem como objetivo a fixação ou união de materiais, sendo considerado um conector. Os mosquetões podem ser constituídos de aço carbono, alumínio e aço inox (CBMMT, 2021).

O formato do mosquetão define a sua classificação quanto ao tipo, sendo os tipos mais comuns: o "oval" (tipo X), indicado para atuar em salvamento; o "básico" (tipo B, também chamado de tipo D, por conta da sua forma), utilizado para conexão de dois pontos e para conectar equipamentos; o "HMS" (tipo H), que é o de mais fácil conexão, por conta do tamanho de sua abertura; e "klettersteig" (tipo K), que tem resistência para cargas perpendiculares (CBMDF, 2017).

2.3.2 Descensores

Na classe dos equipamentos metálicos, existem os equipamentos descensores ou freios, que possibilitam, por meio do atrito do equipamento com a corda, a realização de atividades no plano vertical (CBMMT, 2021).

O freio "oito", que tem esse nome por conta do seu formato em número oito, é o equipamento mais utilizado para descensão, mas este aparelho desgasta mais a corda de descida que outros equipamentos com a mesma finalidade (CBMGO, 2017).

O "Petzl Stop" é um equipamento autoblocante, isto é, ele bloca de forma automática. Sendo assim, caso o freio deixe de ser apertado, ele blocará a corda, impedindo a descida de quem utiliza o equipamento. É, portanto, classificado como um equipamento autosseguro. Trata-se de um equipamento de rápida utilização, e não produz torções na corda (CBMDF, 2017).

O "Petzl ID" é um descensor competente, possuidor de sistema autoblocante. Além disso, há um mecanismo de contra-segurança que entra em ação caso a corda seja colocada incorretamente no aparelho. Esse dispositivo possui diversas aplicações, incluindo descidas, pequenas ascensões e a montagem de sistemas de vantagem mecânica (Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal, 2017).

O "Petzl Gri-Gri" é um equipamento metálico autoblocante. Pode ser utilizado em cordas semiestáticas e dinâmicas, sendo produzido essencialmente para uso em cordas dinâmicas, para a segurança de quem utiliza o aparelho. Quando utilizado com cordas semiestáticas sua aplicação se relaciona com descidas e sistemas de vantagem mecânica (CBMDF, 2017).

O "Anthron DSD Plus", também conhecido como "Double Stop", possui o "sistema antipânico duplo", sendo bastante seguro para a utilização em rapel. Possui uma limitação de velocidade de 2 m/s e de altura, para até 190 metros (CBMDF, 2017).

O "Anthron Lory" possui dois modelos, o "Lory Safe" e o "Lory Smart", sendo que, este último, permite a liberação gradual de cabo até o bloqueio, fazendo com que seja mais indicado para utilização em segurança, diferente do modelo Safe, que não possui esse mecanismo. Apesar dessa diferença, os dois têm aplicações similares, como, descida técnica, e utilização em sistemas de vantagem mecânica, além de possuírem sistema antipânico (CBMDF, 2017).

2.3.3 Ascensores

São equipamentos metálicos com a função de travarem quando recebem uma carga em determinada direção. São exemplos

de aplicações desse material: 1) Uso em ascensão; 2) Captura de progresso em sistemas de vantagem mecânica (CBMMT, 2021).

O "Basic" é o mais tradicional dos ascensores e seu uso é genérico, sendo utilizado principalmente em resgate de vítimas, sistemas multiplicadores de forças e em captura de progresso (CBMDF, 2017).

2.3.4 Polias

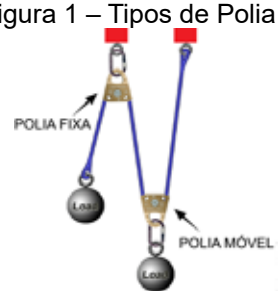
As polias são equipamentos compostos por um eixo que une uma roldana a um ponto de ancoragem, por meio de suportes laterais giratórios, permitindo o encaixe da corda (CBPMESP, 2006). A utilização de uma única polia serve para desviar o sentido da corda. Já quando duas ou mais polias são empregadas em um sistema de vantagem mecânica, elas têm a função de reduzir a força requerida na atividade (CBMDF, 2017).

2.3.5 Sistemas de vantagem mecânica

A Vantagem Mecânica é a razão entre a força requerida e a força de fato realizada. Sendo assim, sempre que essa razão for igual a 1, não haverá vantagem mecânica e, caso essa razão seja maior que 1, haverá vantagem mecânica, isto é, economia de força realizada (CBMMT, 2021).

Para o entendimento dos Sistemas de Vantagem Mecânica (SVM), é fundamental compreender a influência das polias, que podem ser fixas ou móveis. Conforme Figura 1, as polias fixas visam desviar o sentido da força, já as polias móveis pretendem multiplicar a força aplicada (CBMMT, 2021).

Figura 1 – Tipos de Polia

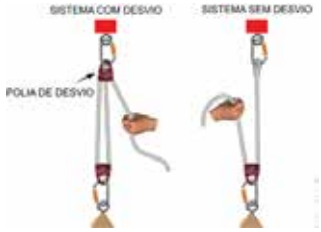


Fonte: O autor.

As polias também têm fundamental importância na multiplicação da força. Quanto mais polias empregadas, maior a multiplicação. Em consequência disso, a movimentação será de forma mais lenta. Por outro lado, com menos polias, a vantagem mecânica é menor, o que resulta em uma elevação mais rápida da carga, mas requer mais esforço físico (CBMGO, 2017).

Após a montagem de um SVM é comum o emprego de uma polia de desvio de força. Essa fica fixa a uma ancoragem e tem como função tornar mais ergonômica a aplicação de força ao operador do sistema, conforme Figura 2 (CBMGO, 2018).

Figura 2 – Demonstração ergonomia com aplicação da polia de desvio



Fonte: O autor.

Complementarmente ao SVM é adicionado um Sistema de Captura de Progresso, que se utiliza de bloqueadores para dar mais segurança ao sistema. Ele garante que o progresso realizado não seja perdido (CBMGO, 2018).

Nas operações de resgate, a necessidade de se aplicar força para deslocar cargas que excedem a capacidade física dos bombeiros é comum. Assim, torna-se essencial a utilização de sistemas de vantagem mecânica para execução do deslocamento necessário (CBMGO, 2017). Seu uso é imprescindível em muitas ações desenvolvidas pelos bombeiros, tais como: retiradas de animais de poços ou buracos, içamento de materiais de grande porte, e resgate de vítimas (Gonzaga Júnior, 2013).

2.5 Eficiência de sistemas

As cordas em movimento estão geralmente suspensas, passando por uma polia, ou em contato com uma superfície curva de algum equipamento. Tais interações influenciam nas forças e modificam a eficiência dos esforços aplicados.

Normalmente, ao se trabalhar com polias, aquelas com diâmetro cerca de 4 (quatro)

vezes maior que a espessura da corda são consideradas de alta eficiência. A Equação de Capstan (Equação 1) permite calcular a relação entre a força aplicada e a tensão resultante em uma corda enrolada em um equipamento utilizado para transmitir força ou movimento. (Delaney, 2022; Lu et al., 2015).

Equação 1 – Equação de Capstan

$$\frac{T2}{T1} = e^{\mu\varphi}$$

T1 representa a tensão que a corda sofre por ação externa. T2 representa a tensão exercida pela carga na corda. A letra "e" representa a constante de Euler. A letra "μ" representa a constante do atrito. Por fim, a letra "φ" representa a soma dos ângulos de curvatura da corda no equipamento.

Com a equação é possível determinar qual é o coeficiente de atrito de um determinado equipamento e realizar o cálculo da eficiência das duas trações, quando as duas forem mensuráveis. Esta eficiência se traduz na perda de carga do equipamento, conforme Equação 2 (Delaney, 2022; Lu et al., 2015).

Equação 2 – Equação de cálculo de eficiência

$$\varepsilon = \frac{T2}{T1}$$

Na fórmula, "ε" representa a eficiência. T2 representa a tensão da força exercida pela carga na corda. Por fim, T1 representa a tensão que a corda sofre por ação externa.

2.6 Protocolo de teste Petzl

Existem diferenças relativas entre a eficiência teórica de um sistema de polias e a eficiência real, tendo em vista a perda de carga, que depende do equipamento utilizado. Assim, a força necessária para elevar uma carga de 100 kg deve ser testada para cada equipamento, possibilitando definir a eficiência para cada um deles.

A eficiência é um valor informativo, em campo ou em operações, e existem inúmeras variáveis a serem consideradas, como diâmetro e construção da corda; velocidade de tração; e posição do sistema, que nem sempre refletem igualmente a eficiência resultante do teste.

Na Figura 3 é demonstrado o Protocolo Petzl de teste de eficiência (Petzl, 2023).

Figura 3 – Protocolo de teste Petzl

Fonte: Petzl (2023).

3 Metodologia

A pesquisa desenvolvida neste projeto estuda a perda de eficiência em equipamentos utilizados na montagem de SVM. Seu problema está enquadrado na realidade do CBMDF, trazendo assim, uma solução para o contexto das operações de salvamento na instituição, por meio da aquisição de conhecimento, tornando-se, dessa forma, uma pesquisa aplicada.

Conforme discutido por Gil (2017), a pesquisa bibliográfica é o primeiro passo para definir a metodologia, sendo esta desenvolvida com base em materiais pré-existentes sobre o assunto a ser pesquisado. Nesta pesquisa, os principais materiais bibliográficos foram manuais dos diversos Corpos de Bombeiros do Brasil, o material do Curso de Especialização de Salvamento em Altura do CBMDF, e documentos com conceitos físicos aplicados à atividade de salvamento com uso de SVM.

No trabalho bibliográfico foram estudados os SVM, os equipamentos que os compõem, suas diferentes formas de montagem, suas classificações e as formas de mensurar a eficiência de tais sistemas.

A revisão de literatura em diferentes fontes serviu como base para a pesquisa bibliográfica aplicada no contexto do CBMDF, para entender em qual contexto e nível de conhecimento a corporação se encontra, no que tange aos SVM.

Com as pesquisas bibliográficas e documentais finalizadas, e com o entendimento das

melhores práticas aplicadas aos SVM, foi possível definir qual seria o contexto do experimento a ser realizado e quais seriam os materiais empregados, consoante à realidade do CBMDF.

Posteriormente o interesse voltou-se ao desenvolvimento dos experimentos. Por meio do protocolo de testes produzido, foi possível testar os diversos equipamentos utilizados no CBMDF, a fim de mensurar a perda de eficiência em cada um deles.

3.1 Procedimentos metodológicos

A pesquisa bibliográfica foi a base inicial para a pesquisa do presente estudo, visando identificar, na literatura, o conhecimento técnico existente sobre SVM, aplicado ao contexto de operações de salvamento. Ainda utilizando a pesquisa bibliográfica como metodologia, foi possível identificar, no contexto do CBMDF, quais equipamentos são utilizados nos sistemas de vantagem mecânica.

Levantadas as informações das pesquisas bibliográficas, os esforços foram direcionados para a montagem de um protocolo de testes, a fim de possibilitar a realização dos experimentos e mensurar a perda de eficiência dos equipamentos utilizados nos SVM. O protocolo de teste desenvolvido seguiu o modelo apresentado na revisão de literatura por Petzl (2023), adaptando-o à realidade do CBMDF.

Para possibilitar a precisão na mensuração da perda de eficiência dos materiais foi utilizado o dinamômetro modelo “Enforcer LC1”, da fabricante “Rock Exótica”, apresentado pela Figura 4.

O equipamento foi configurado no modo “Fast”, que possibilita fazer mais leituras por segundo, trazendo maior precisão à medição. O modo “Max”, que salva a força máxima atingida durante a medição, também foi ativado. Por fim, o aparelho foi configurado para mensurar a força na unidade kgf (quilograma força). Para os testes, foi estipulada uma carga de 100 kg, composta por 5 (cinco) anilhas de 20 kg.

Figura 4 – Dinamômetro utilizado

Fonte: O autor.

Utilizando-se dos materiais apresentados, foi possível montar um sistema de vantagem mecânica 1:1. Tal sistema foi adotado para permitir a realização dos testes de forma isolada, e com as mesmas variáveis, em todos os experimentos. O equipamento a ser testado era inserido entre a carga e o dinamômetro e, posteriormente, era realizada a mensuração da perda de eficiência de forma personalizada, em cada um dos objetos.

Figura 5 – Sistema 1:1 isolado para mensurar a perda de eficiência

Fonte: O autor.

Na Figura 6, pode-se observar que, após o dinamômetro, outra corda foi utilizada para isolar a primeira corda, conectando-a através do nó “Lais de Guia”, seguido por um desvio e um sistema 10:1 para multiplicação de força na elevação da carga.

Figura 6 – Sistema 10:1 para elevação da carga

Fonte: O autor.

Com o protocolo de testes desenvolvido, foi possível aplicar uma força de forma contínua e sem solavancos para a elevação da carga, possibilitando a replicação do teste no mesmo cenário para todos os equipamentos e isolando as variáveis externas significativas.

Na Figura 7, pode-se visualizar a montagem do protocolo.

Figura 7 – Protocolo de teste

Fonte: O autor.

3.2 Universo e amostra

Como o presente estudo foi aplicado ao contexto do CBMDF, o universo restou limitado aos equipamentos que esta corporação possui. Sendo assim, a investigação dos materiais disponíveis na corporação possibilitou definir o universo dos objetos que foram utilizados na pesquisa desenvolvida.

Considerando que o objetivo de estudo deste trabalho são os equipamentos, as demais variáveis, como cordas e sistemas para aplicar força, foram isoladas.

A corda utilizada para conexão à carga foi a mesma em todos os testes, assim como a corda empregada no SVM (Sistema de Vantagem Mecânica), para aplicar a força. O SVM montado, mesmo que isolado, foi o mesmo em todos os testes. Com as demais variáveis dos testes isoladas, foi possível, no ambiente controlado, testar somente a perda de eficiência nos equipamentos disponíveis na corporação.

Os equipamentos poderiam se comportar de forma diferente em virtude de condições de armazenamento, desgaste decorrente do uso e danos. A amostra estudada foi formada pelos equipamentos pertencentes ao Centro de Treinamento Operacional, selecionando os que apresentavam melhores condições de conservação, sendo novos ou com pouquíssimo uso. É válido ressaltar que estes equipamentos foram adquiridos pelo CBMDF e estão disponíveis em todos os grupamentos multiemprego da corporação para fins de utilização em socorro e instruções.

A amostra pode ser visualizada na Figura 8, abaixo:

Figura 8 – Amostra de equipamentos

Fonte: O autor.

Tendo em vista que os equipamentos possuem características similares ou mesmo destinação, foi possível separar a amostra em quatro grupos distintos, conforme o tipo. O primeiro é composto pelos mosquetões, utilizados na ausência de polias, como meio de fortuna, isto é, improvisação. No segundo estão justamente as polias. Já no terceiro grupo estão os aparelhos descensores e blocantes.

Por fim, no quarto grupo, os materiais utilizados de forma combinada, como o Polifreno, o qual é a interação de polias e blocante, com a utilização do cordelete como antirretorno, conforme a Tabela 1.

Em virtude da grande quantidade de equipamentos testados, foi atribuído um código para cada um deles, composto por 6 dígitos, sendo os três primeiros referentes ao grupo do equipamento (mosquetões – MOS; polias – POL; descensores – DES; e combinados – COM), os três últimos dígitos são uma abreviação para facilitar a identificação do equipamento, por exemplo, o equipamento Lory Safe, por ser um descensor recebeu o código DES-LSF.

Tabela 1 – Dados dos elementos da amostra

Grupo	Código	Tipo	Marca	Modelo	Observação
1	MSQ-HMS	Mosquetão	CT	HMS	-
	MSQ-OV1	Mosquetão	CT	Oval – Pillar SG	-
	MSQ-OV2	Mosquetão	CT	Oval – Pillar SG	Utilizado 2 mosquetões
	MSQ-OV3	Mosquetão	CT	Oval – Pillar SG	Utilizado 3 mosquetões
2	POL-SPL	Polia	Anthron	Simples Oscilante AS05	-
	POL-SPG	Polia	Anthron	Simples Oscilante AR35	-
	POL-DUP	Polia	Anthron	Dupla Oscilante AR37	-
3	DES-LSF	Descensor	Anthron	Lory Safe	-
	DES-LSM	Descensor	Anthron	Lory Smart	-
	DES-DSP	Descensor	Anthron	DSD Plus (Double Stop)	-
	DES-STP	Descensor	Petzl	Stop	-
	DES-GRI	Descensor	Petzl	Gri-Gri	-
	DES-IDP	Descensor	Petzl	ID	-
4	COM-PF1	Combinado	Anthron Petzl	Simples Oscilante AS05 Basic	Realizado a combinação dos dois aparelhos
	COM-PF2	Combinado	Anthron Petzl	Simples Oscilante AR35 Basic	Realizado a combinação dos dois aparelhos
	COM-RC1	Combinado	Anthron ---	Simples Oscilante AS05 Cordelete 6 mm	Confeccionado o nó prussik com 4 voltas utilizando o cordelete
	COM-RC2	Combinado	Anthron ---	Simples Oscilante AR35 Cordelete 6 mm	Confeccionado o nó prussik com 4 voltas utilizando o cordelete
	COM-F8R	Combinado	CT ---	Freio 8 de resgate Cordelete 6 mm	Confeccionado o nó prussik com 4 voltas utilizando o cordelete

Fonte: O autor.

4 Resultados e discussão

Por meio da revisão de literatura foi possível atingir os objetivos específicos nº 1 (Examinar a literatura de sistemas de vantagem mecânica aplicados à realidade bombeiro militar) e nº 2 (Identificar os equipamentos utilizados para montagem de sistemas de vantagem mecânica pelo CBMDF).

Na fase de definição metodológica, foi realizada a confecção do protocolo de testes, culminando na materialização do terceiro objetivo específico do trabalho.

Para alcance do quarto objetivo específico foram executados os testes com os equipamentos listados na Tabela 1. Isso possibilitou a coleta dos dados para cada um dos equipamentos testados, lembrando que os experimentos foram realizados conforme estabelecido no protocolo definido no tópico 3.1.

Para todos os equipamentos foram realizadas cinco repetições do protocolo descrito. Sendo assim, para os 18 elementos, a presente pesquisa executou um total de 90 testes.

Após a execução do protocolo de testes, foi realizada uma análise estatística com base na média ($\underline{x}$), Equação 3, no desvio padrão (σ), e Equação 4, em que, após o cálculo do desvio padrão, foi possível avaliar se todos os dados coletados estavam entre o intervalo [$\underline{x}$) – σ; x + σ]. Se dentro do intervalo, o valor foi considerado no somatório para determinar a força média de cada elemento. Caso contrário, ele foi descartado por razão do grande desvio padrão em relação à média, indicando um possível fator externo interferindo na execução do teste, ou mesmo, erro de execução do protocolo, com o objetivo de blindar o resultado final desta interferência de precisão.

Equação 3 – Equação da média aritmética

$$\underline{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5}$$

Em que x representa a média e x_i representa o valor de força teste, com i, variando de 1 a 5, segundo o número do teste realizado.

Equação 4 – Equação de desvio padrão

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} \left(x_i - \underline{x}\right)^2}{n-1}}$$

Em que σ representa o desvio padrão, n indica o tamanho da amostra, x_i são os valores individuais da amostra, com i variando de 1 a n, representando cada valor dentro da amostra, e $\underline{x}$ é equivalente a média aritmética dos valores da amostra.

Com esta análise conseguiu-se determinar um valor final para cada elemento, possibilitando realizar a mensuração e a comparação entre os objetos, de modo a determinar a eficiência de cada um dos materiais e quais grupos de equipamentos são mais eficientes, ordenando-os de acordo com seu desempenho.

Abaixo, apresenta-se a Tabela 2, que descreve os cinco valores de força coletados em cada um dos testes para cada um dos elementos testados. As informações detalhadas sobre os objetos podem ser encontradas na Tabela 1.

Tabela 2 – Forças obtidas para elevação da carga para os elementos

Código	1º teste (kgf)	2º teste (kgf)	3º teste (kgf)	4º teste (kgf)	5º teste (kgf)
MSQ-HMS	184	178	178	178	184
MSQ-OV1	182	192	192	184	184
MSQ-OV2	206	204	207	204	204
MSQ-OV3	232	232	230	231	230
POL-SPL	142	144	142	142	144
POL-SPG	118	114	114	114	114
POL-DUP	116	114	116	114	116
DES-LSF	272	268	260	262	260
DES-LSM	268	266	262	262	262
DES-DSP	660	660	668	660	658
DES-STP	372	360	370	370	374
DES-GRI	264	258	266	254	260
DES-IDP	306	296	296	290	294
COM-PF1	146	144	142	144	144
COM-PF2	114	114	114	115	114
COM-RC1	142	144	144	143	145
COM-RC2	115	114	114	113	113
COM-F8R	424	428	420	420	432

Fonte: O autor.

É válido destacar que na tabela acima foram inseridos somente os resultados de testes considerados válidos e sem vício de execução.

Considerando os resultados dos testes foi possível realizar a análise dos dados de cada elemento, com base estatística, utilizando-se a média e o desvio padrão de cada objeto, determinando o intervalo de valores válidos, e descartando os valores dos testes que não estavam neste intervalo, o que viabilizou a construção da Tabela 3.

Dessa forma, foi possível chegar ao

resultado por meio do valor médio dos elementos válidos, após a análise estatística.

Tabela 3 – Estatísticas dos testes

Código	Média (kgf)	Desvio Padrão	Intervalo (kgf)	Teste descartado	Valor final (kgf)
MSQ-HMS	180,4	3,3	[177,1; 183,7]	1º e 5º	178
MSQ-OV1	186,8	4,8	[182,0; 191,6]	2º e 3º	183
MSQ-OV2	205,0	1,4	[203,6; 206,4]	3º	204
MSQ-OV3	231,0	1,0	[230,0; 232,0]	-	231
POL-SPL	142,8	1,1	[141,7; 143,9]	2º e 5º	142
POL-SPG	114,8	1,8	[113,0; 116,6]	1º	114
POL-DUP	115,2	1,1	[114,1; 116,3]	2º e 4º	116
DES-LSF	264,6	5,4	[259,0; 269,8]	1º	262
DES-LSM	264,0	2,8	[261,2; 266,8]	1º	263
DES-DSP	661,2	3,9	[657,3; 665,1]	3º	660
DES-STP	369,2	5,4	[363,8; 374,6]	2º	372
DES-GRI	260,4	4,8	[255,6; 265,2]	4º	262
DES-IDP	296,4	5,9	[290,5; 302,3]	1º e 4º	295
COM-PF1	144,0	1,4	[142,6; 145,4]	1º e 3º	144
COM-PF2	114,2	0,4	[113,8; 114,6]	4º	114
COM-RC1	143,6	1,1	[142,5; 144,7]	1º e 5º	144
COM-RC2	113,8	0,8	[113,0; 114,6]	1º	114
COM-F8R	424,8	5,2	[419,6; 430,0]	5º	423

Fonte: O autor.

Conforme verificado na revisão de literatura, para o cálculo da eficiência utilizou-se a Equação de Capstan. No sistema 1:1 ela permite relacionar as forças de tração nos dois lados do cabo, determinando a eficiência do mesmo (Delaney, 2022). Assim, a eficiência de um equipamento é expressa pela razão entre as duas forças quando ambas são mensuráveis. Dessa forma, pode-se verificar o quão bem um equipamento converte a força de entrada na força necessária para tracionar a carga, minimizando perdas.

Obtendo a razão entre o valor da carga que estava na outra ponta do sistema e o valor final calculado, foi possível construir a tabela abaixo (Tabela 4) com as informações de eficiência de cada sistema. É válido ressaltar que, conforme a metodologia e protocolo de testes já descrito, foi adicionado no outro lado do sistema uma carga de 100 kg, referente a T2, composto por 5 anilhas de 20kg cada, bastando substituir T1 pelo valor da força na Equação 5, chegando-se, por esta equação, ao valor da eficiência.

Equação 5 – Equação de cálculo de eficiência com carga de 100 kg

$$\varepsilon = \frac{100}{T1}$$

Tabela 4 – Cálculo da eficiência dos equipamentos

Código	Valor final – T1 (kgf)	Eficiência (T2/T1)
MSQ-HMS	178	56%
MSQ-OV1	183	55%
MSQ-OV2	204	49%
MSQ-OV3	231	43%
POL-SPL	142	70%
POL-SPG	114	88%
POL-DUP	116	86%
DES-LSF	262	38%
DES-LSM	263	38%
DES-DSP	660	15%
DES-STP	372	27%
DES-GRI	262	38%
DES-IDP	295	34%
COM-PF1	144	69%
COM-PF2	114	88%
COM-RC1	144	69%
COM-RC2	114	88%
COM-F8R	423	24%

Fonte: O autor.

Na Tabela 5 é possível verificar os valores de eficiência para cada um dos equipamentos testados do Grupo 1 (Mosquetões). Analisando os resultados, foi possível verificar que o MSQ-HMS é mais eficiente que qualquer combinação de mosquetão oval, contudo, a diferença é pequena ao considerar o emprego de MSQ-OV1. Além disso, a perda de eficiência dos equipamentos é praticamente irrelevante, não sendo um fator decisivo na escolha entre os elementos.

Quando observadas as variações com mais de um mosquetão, foi viável concluir que a adição de mais equipamentos interfere negativamente, aumentando o valor da força que deve ser empregada. Sendo assim, o emprego de mais de um mosquetão só é recomendado quando a técnica desenvolvida necessita de mais de um equipamento.

Tabela 5 – Ordem de eficiência dos elementos do Grupo 1

Ordem de eficiência	Código	Equipamento	Eficiência (T2/T1)
1	MSQ-HMS	Mosquetão HMS	56%
2	MSQ-OV1	Mosquetão Oval (1 unidade)	55%
3	MSQ-OV2	Mosquetão Oval (2 unidades)	49%
4	MSQ-OV3	Mosquetão Oval (3 unidades)	43%

Fonte: O autor.

No Grupo 2, no qual os elementos testados

foram as polias, foi possível verificar diferenças entre os elementos do grupo, sendo a POL-SPG a mais eficiente, com 88% de eficiência, e 18% a mais em relação ao POL-SPL. Sendo assim, sua utilização traz muito mais eficiência para a operação, devendo ser prioridade de escolha, quando disponível. Já a opção entre POL-SPG e POL-DUP deve levar em consideração a necessidade do equipamento, já que a diferença de eficiência dos equipamentos é de 1%. Ordenando os elementos deste grupo, foi possível desenvolver a Tabela 6, abaixo.

Tabela 6 – Ordem de eficiência dos elementos do Grupo 2

Ordem de eficiência	Código	Equipamento	Eficiência (T2/T1)
1	POL-SPG	Polia Simples Oscilante AR35	88%
2	POL-DUP	Polia Dupla Oscilante AR37	87%
3	POL-SPL	Polia Simples Oscilante AS05	70%

Fonte: O autor.

Nas operações de salvamento a utilização de elementos do grupo “mosquetões” deve ser evitada, dando-se preferência às polias, que possuem mais eficiência e são mais adequadas. Esses objetos trazem menos danos às cordas por possuir gorne que permite um menor atrito do cabo. Os mosquetões só devem ser empregados quando estritamente necessários à operação, seja por falta de materiais, ou quando a tração a ser aplicada ultrapassa a capacidade das polias e está dentro da capacidade de carga dos mosquetões.

Para uma operação segura de SVM é necessária a utilização de sistemas de captura de progresso. Normalmente, aparelhos descensores são empregados para esta função (Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, 2018).

Conforme visto na Tabela 4, em geral, os equipamentos do Grupo 3 (descensores) são os que apresentam mais perda de carga ao serem empregados. Contudo, estes não podem ser dispensados, pois são fundamentais à segurança da operação. É necessário empregar na operação aparelhos debreáveis e dotados de função antiretorno, que somente os equipamentos deste grupo proporcionam.

Os equipamentos DES-LSF, DES-LSM e DES-GRI possuem eficiência de 38%, cabendo à guarnição de salvamento escolher o equipamento que mais lhe entrega confiança e familiaridade de uso, a fim de garantir uma boa operação. Estes ocuparam a primeira posição da categoria, conforme Tabela 7.

O próximo equipamento de maior eficiência é o aparelho DES-IDP, com 34%. Contudo, este aparelho possui diversas formas de operação, sendo assim, seu emprego só deve ser considerado se a guarnição tiver conhecimento sobre como utilizá-lo. Sem este conhecimento é recomendada a escolha dos aparelhos que ocuparam a primeira posição da categoria.

Tabela 7 – Ordem de eficiência dos equipamentos do Grupo 3

Ordem de eficiência	Código	Equipamento	Eficiência (T2/T1)
1	DES-LSF	Descensor Lory Safe	38%
	DES-LSM	Descensor Lory Smart	38%
	DES-GRI	Descensor Gri-Gri	38%
2	DES-IDP	Descensor ID Petzl	34%
3	DES-STP	Descensor Stop	27%
4	DES-DSP	Descensor Double Stop	15%

Fonte: O autor.

Já para os equipamentos DES-STP e DES-DSP foram mensuradas as eficiências de 27% e 15%, respectivamente. Considerando que estes equipamentos apresentam menores níveis de eficiências, eles devem ser empregados na operação em último caso. É importante, portanto, que a guarnição considere a alta perda de eficiência que isso acarretará nas atividades. Se for desejável, tais materiais são boas opções para melhor controle do sistema.

Na Tabela 8 é possível encontrar os resultados de eficiência dos equipamentos combinados. Os equipamentos de melhor eficiência nestes testes foram os COM-PF2 e COM-RC2, alcançando 88%. Uma característica comum entre esses equipamentos é que ambos utilizavam a polia AR35 em sua composição, que é o equipamento POL-SPG, o qual também possui eficiência de 88%. É conclusivo, portanto, que a adição de materiais de captura de progresso nestes objetos não gerou interferência na eficiência do equipamento. Sendo assim, o equipamento POL-SPG tem caráter prioritário de emprego em SVM.

Seguindo os resultados, na segunda posição estão os equipamentos COM-PF1 e

COM-RC1, com 69%, ambos equipados com a polia AS05, possuindo praticamente a mesma eficiência que o emprego único desta polia.

Na última posição deste grupo está o equipamento COM-F8R com 24%. Logo, seu emprego deve ser considerado em último caso, já que os demais equipamentos, inclusive descensores do Grupo 3, possuem valores de eficiência mais relevantes, justificando a escolha destes.

Tabela 8 – Ordem de eficiência dos equipamentos do Grupo 4

Ordem de eficiência	Código	Equipamento	Eficiência (T2/T1)
1	COM-PF2	Polia Simples Oscilante (AR35) combinada com Blocante Basic	88%
	COM-RC2	Polia Simples Oscilante (AR35) combinada com cordelete com nó prussik de 4 voltas	88%
2	COM-PF1	Polia Simples Oscilante (AS05) combinada com Blocante Basic	69%
	COM-RC1	Polia Simples Oscilante (AS05) combinada com cordelete com nó prussik de 4 voltas	69%
3	COM-F8R	Freio 8 de resgate combinado com cordelete com nó prussik de 4 voltas	24%

Fonte: O autor.

De forma geral, no presente estudo, foi verificado que os mosquetões, Grupo 1, possuem eficiência praticamente igual quando empregados em mesmo número de equipamentos. Assim, a escolha entre os elementos deve se dar com base na disponibilidade do material. Já quando ocorre a adição de equipamentos, como nos testes MOS-OV2 e MOS-OV3, que são com 2 e 3 mosquetões, respectivamente, foi observado que não há melhora de eficiência, mas sim, o efeito contrário, de diminuição da eficiência.

Quando analisado o Grupo 2, das polias, a escolha do equipamento fará uma grande diferença para a eficiência da operação. Caso o equipamento de melhor eficiência esteja disponível, a Polia AR35, deve-se selecionar este material. Entretanto, sempre deve ser levada em consideração a capacidade máxima de trabalho, aspirando uma operação mais segura, sendo ainda priorizada a escolha de qualquer polia no lugar de mosquetões, se a carga que a polia estiver submetida for aceitável pela sua especificação.

Em relação aos aparelhos descensores, Grupo 3, foi observado que os equipamentos que possuem melhor eficiência têm a semelhança de ter a passagem em “C” (Lory Safe, Lory Smart, Gri-Gri e ID). Já nos equipamentos com passagem em “S” (Stop e Double Stop) foi observada menor eficiência, por apresentarem grande resistência. Logo, seu uso não é eficiente, como o Double Stop, com a eficiência de apenas 15%. Ainda assim, o maior fator de escolha é a facilidade de manuseio que a guarnição tem sobre o equipamento, ainda que de menor desempenho.

No caso dos equipamentos combinados, Grupo 4, foi observado que a combinação de equipamentos com qualquer polia não influencia na eficiência do equipamento, mantendo a perda de carga sem alterações. Sendo assim a adição destes equipamentos para captura de progresso é relevante para a operação, já que sua adição traz mais segurança para a operação. Caso seja necessário um sistema de debreagem durante a operação, devem ser considerados os equipamentos do Grupo 3.

5 Considerações finais

A utilização dos sistemas de vantagem mecânica nas atividades de salvamento em altura e salvamento terrestre é uma constante nas operações realizadas por bombeiros, e requerem a utilização de diversos equipamentos apropriados, disponíveis no mercado.

A diversidade de equipamentos faz com que a versatilidade do bombeiro possa ser amplamente explorada. Cada situação oferta-lhe diversas alternativas de emprego dos objetos disponíveis, a depender dos objetivos que precisem ser alcançados. Nesse sentido, é louvável que o bombeiro militar angarie informações importantes que lhe oportunizem fazer a melhor escolha no momento de utilizar estes equipamentos, especialmente quando se tratam de operações de salvamento.

Nesta pesquisa, preliminarmente, se fez necessário investigar os equipamentos e materiais utilizados, sendo esta etapa realizada por meio de uma pesquisa bibliográfica aplicada ao contexto do CBMDF. Com o levantamento bibliográfico em mãos, foi possível estudar e definir a forma de mensurar a eficiência dos equipamentos identificados, conseguindo assim estruturar um protocolo de

testes para mensurar a eficiência de cada um dos materiais.

O protocolo de testes criado foi, em suma, um laboratório experimental, que trouxe informações importantes, que vão além das especificações dos equipamentos. Tais dados são fundamentais para as decisões de aquisição de equipamentos pelo CBMDF e de emprego pela tropa.

Ao analisar os resultados dos testes, foi possível estruturar quatro ordenamentos dos equipamentos dentro das suas categorias (Mosquetões, Polias, Descensores e Combinados), permitindo a comparação entre elementos com mesma finalidade, solucionando o problema de pesquisa apresentado e concluindo o objetivo geral da pesquisa.

Para efeitos práticos, a síntese da pesquisa é que: a adição de mosquetões ocasiona a perda de eficiência; as polias com rolamentos são mais eficientes que as buchadas; dentre os descensores, os que possuem vestimenta em “S” precisam de cerca de 40% a mais de força que os que possuem vestimenta em “C”; e, ao combinar equipamentos com polias, não há ganhos significativos de eficiência.

Ressalta-se que pode ser necessário o emprego de equipamentos com mais perda de carga quando for preciso mais controle da operação, e que se deve levar sempre em consideração as especificações do fabricante, no tocante a carga máxima e funcionalidade dos objetos a serem utilizados.

Para pesquisas futuras é recomendada a adaptação do protocolo utilizado, com a construção de sistema 2:1, a fim de analisar se a eficiência se mantém proporcional neste outro cenário. Outra possível análise seria o comportamento da eficiência quanto ao ângulo formado pela corda, tanto na entrada, como na saída do equipamento. É válido ressaltar também a importância da criação de uma literatura por parte do CBMDF a respeito das classificações de sistemas de vantagem mecânica, por meio de um Boletim de Informação Técnico-Profissional (BITP).

Derradeiramente, os valores de eficiência são fundamentais para a escolha adequada e o uso eficaz dos equipamentos, contudo, não devem ser o único fator decisivo. É essencial conhecer as especificações técnicas e as recomendações do fabricante, além de considerar a familiaridade e o conhecimento sobre o manuseio do equipamento. Contam ainda, a disponibilidade dos objetos no momento da ação e se é possível esperar ou não pela obtenção do equipamento mais apropriado.

Defende-se que o amplo conhecimento dos níveis de eficiência dos equipamentos seja capaz de subsidiar positivamente as decisões dos gestores nos momentos da aquisição, e que contribuam favoravelmente no desenvolvimento das ações de salvamento executadas pela tropa.

6 REFERÊNCIAS

ARAÚJO, FRANCISCO BENTO DE. Manual de Instruções Técnico-Profissional: Salvamento. Brasília: [S. n.], 2007.

BRASIL. Lei n.º 7.479, de 2 de junho de 1986. Aprova o Estatuto dos Bombeiros-Militares do Corpo de Bombeiros do Distrito Federal, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República, 1991. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8255.htm. Acesso em: 6 jun. 2022.

CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Manual de Salvamento Terrestre. 2. ed. São Paulo: CBPMESP, 2006.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO DISTRITO FEDERAL. Salvamento em Altura: equipamentos. 1. ed. Brasília: CBMDF, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. Manual Operacional de Bombeiros: Salvamento em Altura. 1. ed. Goiânia: CBMGO, 2017.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE GOIÁS. Manual Operacional de Bombeiros: Salvamento Terrestre. 1. ed. Goiânia: CBMGO, 2018.

CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DE MATO GROSSO. Manual de Salvamento em Altura. 1. ed. Cuiabá: CBMMT, 2021.

DELANEY, RICHARD. Physics for Roping Technicians. Sydney: RopeLab, 2022.

GIL, ANTÔNIO CARLOS. Como elaborar Projetos de Pesquisa. 6. ed. São Paulo: Ed. Atlas, 2017.

GONZAGA JÚNIOR, HÉLIO LOYOLA. O uso de sistemas multiplicadores de força nas ocorrências

de salvamento do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás no âmbito do 1º BBM. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Aperfeiçoamento de Oficiais) - Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás, Goiânia, 2013. Disponível em: https://encurtador.com.br/dsBL9. Acesso em: 12 jun. 2022.

LU, Y. et al. Transmission capability of precise cable drive including bending rigidity. Mechanism and Machine Theory, v. 94, p. 132-140, 2015.

PETZL. Pulley system efficiency tests with MAESTRO, I'D S, PRO TRAXION, ROLLCLIP, SPIN L1, SPIN L1D. [2023]. Disponível em: https://encurtador.com.br/iJT05. Acesso em: 3 out. 2023.

SILVEIRA, BRUNO FILIPE RODRIGUES DA. Manobras em corda: uma abordagem preventiva. 2015. Relatório de Estágio (Mestrado em Ensino da Educação Física nos Ensinos Básico e Secundário) - Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real, 2015. Disponível em: https://encurtador.com.br/vBL67. Acesso em: 15 jun. 2022.