



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

Joana Pereira Dantas Marinho

**AVALIAÇÃO DO ARRASTO PASSIVO DE UMA  
EMBARCAÇÃO KAYAK EM SITUAÇÃO DE SIMULAÇÃO  
DE TREINO RESISTIDO COM UTILIZAÇÃO DE  
DIFERENTES TIPOS DE TRAVÃO**

**Dissertação no âmbito do Mestrado em Biocinética orientada pela  
Professora Doutora Beatriz Branquinho Gomes e apresentada na  
Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da  
Universidade de Coimbra**

Junho de 2023

Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física  
da Universidade de Coimbra

AVALIAÇÃO DO ARRASTO PASSIVO DE UMA EMBARCAÇÃO  
KAYAK EM SITUAÇÃO DE SIMULAÇÃO DE TREINO  
RESISTIDO COM UTILIZAÇÃO DE DIFERENTES TIPOS DE  
TRAVÃO

Joana Pereira Dantas Marinho

Junho de 2023



UNIVERSIDADE D  
COIMBRA

## Agradecimentos

---

A dissertação de mestrado que apresento só foi possível com a colaboração de algumas pessoas, deixo aqui todo o meu agradecimento!

A minha orientadora, Professora Beatriz Branquinho Gomes, por todo o apoio, desde a escolha aos materiais, da escrita ao convívio onde tanto aprendi, o meu maior obrigado com muita admiração. Certamente nos iremos cruzar mais vezes neste meio da canoagem, mas também na investigação da modalidade.

À minha família, à minha avó pela esperança, aos meus tios pelos empurrões e aos meus pais, porque sem eles nada disto faria sentido.

À Ana Vieira, ao Pedro, ao Palma, ao Zé, ao Braza, à Gui, à Gi e ao Mário, um bem-haja parceiros! Sobretudo à Ana, por todas as horas, viagens, ajudas, pela presença na recolha, por me guiares neste percurso atribulado e me apoiares quando precisei.

Sem esquecer os alunos do ISEC, Leonardo e Pedro, ao Professor Vítor e Professor José por tornarem isto possível. À Maria Inês Cruz pelo apoio técnico fora de horas.

Aos trabalhadores do centro de rendimento de Montemor, obrigada pelo vosso apoio, e a todos os treinadores e atletas que contribuíram com ideias ou motivação.

E por último à pessoa que me acompanhou neste final e me impediu de deitar a toalha ao chão, à Beatriz, não só por este fechar de ciclo, mas também por fazeres de mim melhor todos os dias.

E a todos de que me possa estar a esquecer.

A todos um muito obrigado!

## Resumo

---

No treino resistido em canoagem são utilizados diferentes travões como forma de treino de força específico. Muitas das vezes são aplicados sem critério e sem o conhecimento exato da quantidade de resistência efetiva que acrescentam à embarcação, e consequentemente, qual o impacto na intensidade de esforço do atleta. Por indicação dos treinadores, os atletas utilizam materiais do quotidiano para produzir os seus próprios travões, tais como bolas de ténis e mangueiras de diferentes comprimentos e diâmetros, não é quantificada a resistência que oferecem.

Pretendeu-se com a elaboração deste estudo a avaliação do arrasto passivo de uma embarcação standard de canoagem de águas tranquilas (kayak) acrescentando diferentes travões, habitualmente utilizados por atletas em situação de treino resistido.

A recolha de dados foi realizada pelo intermédio de avaliação experimental utilizando um dispositivo que permite quantificar o arrasto passivo de uma embarcação de kayak. Estes dados foram obtidos numa situação de condições atmosféricas favoráveis, água parada e com pouca influência de forças externas. O protocolo da recolha consistiu no reboque do participante, em posição de equilíbrio, a diferentes velocidades de forma a determinar a alteração do arrasto passivo.

Foi possível quantificar e comparar o arrasto passivo do kayak com diferentes tipos e volumes de travão, considerando aqueles habitualmente utilizados por canoístas em treino.

Este estudo não só quantificou o arrasto passivo dos diferentes tipos de travões, já habitualmente utilizados por atletas em situação de treino resistido, como permitiu comparar e, consequentemente, ordenar os tipos de travões de acordo com as resistências que eles oferecem, criando um método de progressão na utilização dos mesmos no treino resistido.

Permitiu, também, aos treinadores uma melhor seleção de um tipo de travão mais adequado para essas mesmas situações de treino entre as velocidades de 8 km/h (2,24 m/s), 10 km/h (2,78 m/s), 12 km/h (3,36 m/s) e 14 km/h (3,82 m/s).

O arrasto passivo dos diferentes travões, tracionado em diferentes velocidades, permitiu projetar retas de tendência para cada situação e retirar equações que posteriormente podem ser utilizadas pelos treinadores no cálculo da resistência.

**Palavras-chave:** canoagem; biomecânica; hidrodinâmica; mecânica de fluídos.

## Abstract

---

In resistance training in canoeing, different brakes are used as a form of specific strength training. However, many times they are applied without assistance and without the exact knowledge of the amount of effective resistance they add to the vessel, and consequently, what is the impact on the intensity of the athlete's effort. As indicated by the coaches, the athletes use everyday materials to produce their own brakes, such as tennis balls and hoses of different lengths and diameters, without quantifying the resistance they offer.

The aim of this study was to evaluate the passive drag of a standard calm water canoeing vessel (kayak) using different brakes, commonly used by athletes in resistance training situations. Data collection was carried out through experimental evaluation using a device that allows measuring the passive drag of a kayak vessel. These data were obtained in a situation of favorable atmospheric conditions, still water and with little influence of external forces. The collection protocol consisted of towing the participant, in a balanced position, at different speeds in order to determine the change in passive drag.

It was possible to quantify and compare the kayak's passive drag using different types and volumes of brake, considering those commonly used by canoeists in training.

This study not only quantified the passive drag of the different types of brakes, already commonly used by athletes in resistance training situations, but also allowed comparing and, consequently, ordering the types of brakes according to the resistance they offer, creating a method of progression in their use in resistance training.

It also allows trainers to better select the type of brake best suited to these same training situations between speeds of 8 km/h (2.24 m/s), 10 km/h (2.78 m/s), 12 km/h (3.36 m/s) and 14 km/h (3.82 m/s).

Passive drag with different brakes, in different situations, allowed designing trend lines for each situation and removing equations that can later be used by coaches in calculating resistance.

**Keywords:** canoeing; biomechanics; hydrodynamics; fluid mechanics.

# Índice

---

Agradecimentos	iii
Resumo	iv
Abstract	v
1.... Lista de figuras	vii
2.... Lista de tabelas	viii
<b>CAPÍTULO I: Introdução</b>	1
1.1 Fundamentos teórico;	1
1.2 Componentes de força de arrasto;	1
1.3. O que é Força?;	2
1.4. Treino de força específico;	3
1.4.1 Treino de força específico na modalidade;	4
1.5 Objetivos.	5
<b>CAPÍTULO II: Metodologia</b>	6
2.1 Participantes	6
2.2 Seleção da embarcação	6
2.3 Seleção dos travões	6
2.4 Sistemas de medição	8
2.5 Anemómetro	9
2.6 LabView	10
2.7 Célula de carga;	11
2.7.1 Calibração da célula de carga	11
2.8. Placa de Aquisição	13
2.9. Estatística	13
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS</b>	14
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSSÃO DOS RESULTADOS</b>	17
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSÕES</b>	19
<b>CAPÍTULO VI: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	21
<b>ANEXOS</b>	23

## Índice de Figuras

---

Figura 1 - Diagrama de vetores componentes da força. ....	3
Figura 2 - Diagrama de vetores componentes da força num kayak. ....	3
Figura 3 - Travões utilizados. ....	7
Figura 4 - Vista Lateral do kayak. ....	7
Figura 5 – Vista frontal do reboque do participante em posição de equilíbrio. ....	8
Figura 6 - Imagem do sistema de medição de arrasto passivo. ....	9
Figura 7- Esquema do sistema de medição de arrasto passivo (Gomes et al.,2015) ....	9
Figura 8 – Imagem ilustrativa do Anemómetro utilizado. ....	9
Figura 9 - Dados retirados durante a sessão pelo Anemómetro ....	10
Figura 10 - Diagrama do Programa Labview. ....	10
Figura 11- Programa LabView. ....	10
Figura 12-- Célula de carga. ....	11
Figura 13 - Calibração da Célula de Carga. ....	12
Figura 14 – Retas de calibração, compilação da carga e da descarga da célula. ....	12
Figura 15- Ligação entre a placa e a célula de carga. ....	13
Figura 16 - Gráfico arrasto- velocidade, na situação sem travão. ....	14
Figura 17- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão mangueira 10 mm. ....	14
Figura 18- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão mangueira 15 mm. ....	15
Figura 19 - Gráfico arrasto-velocidade na situação com uma bola de ténis. ....	15
Figura 20- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão com duas bolas de ténis ....	15

## Índice de tabelas

---

Tabela 1 – Listagem dos travões testados, considerando diâmetro/ raio, volume e comprimentos.

7

# Capítulo I - Introdução

---

Todas as modalidades passam por um processo evolutivo à procura de uma melhor *performance* e eficácia, tal só é possível com investigação, observação e anos de experiência.

No desporto de alto rendimento os parâmetros diferenciadores da qualidade competitiva e funcional são, muitas vezes, difíceis de determinar. Porém a construção de programas de treino mais eficazes é baseada no conhecimento e evolução dos indicadores determinantes do rendimento (Bishop *et al.*, 2003). Na modalidade de canoagem os estudos são bastante escassos, particularmente na quantificação do esforço e efeitos fisiológicos do treino (Folgar *et al.*, 2015). Foram realizados alguns estudos acerca da contribuição energética durante as provas das três distâncias olímpicas de 200, 500 e 1000 m na vertente de canoagem de pista. (Diafas *et al.*, 2006; Michael *et al.*, 2008; Van Someren & Palmer, 2003).

## 1.1 - Fundamentos teóricos sobre a interação da embarcação e a superfície

A interação entre a embarcação e a água baseia-se em conceitos de hidrodinâmica e na mecânica de fluidos. Algumas das variáveis que influenciam a hidrodinâmica ideal da embarcação são: o seu comprimento e largura, o *design* do casco, o material de construção, a velocidade a que se desloca a embarcação, a temperatura da água, entre outros.

Desde que a canoagem surgiu nos Jogos Olímpicos em 1936 que várias têm sido as alterações no *design* dos kayaks (Michael *et al.*, 2009), nomeadamente a tendência para criar embarcações cada vez mais estreitas. Quanto mais estreita é a embarcação, menor será a superfície molhada e conseqüentemente menor a resistência que oferece ao deslocamento sobre a água. Contudo, é necessário equilibrar esta diminuição da largura do kayak com aspetos de equilíbrio do canoísta e permitir que o atleta se sente dentro da embarcação.

Para que o canoísta se desloque no kayak é necessário que aplique força sobre a pagaia, o finca-pés e no banco, e que esta seja suficiente para vencer o peso da embarcação e do atleta, bem como as resistências à aerodinâmica (atrito) e hidrodinâmica (arrasto).

## 1.2 - Componentes da força de arrasto

O arrasto, resistência ou dissipação de energia através de um fluido pode ter três componentes: arrasto de forma (fricção), arrasto de onda e arrasto de superfície (pressão).

**Arrasto de forma** - depende da área seccional transversal, da forma do corpo e da velocidade relativa.

**Arrasto de onda** - Parte da energia gerada é convertida em energia de onda.

**Arrasto de superfície** - depende do tipo da superfície e da sua área (molhada).

Estudos realizados em natação afirmam que ao nadar, 90% da resistência vem da forma como o nadador se desloca na água e apenas 10% é atribuído ao atrito causado entre a pele, o fato e a água. Estima-se que existe uma contribuição de cerca de 75% da componente de pressão para o arrasto total e de cerca de 25% da componente de fricção, para velocidades entre 1,50 m/s e 2,25 m/s (Bixler et al. 2007). Já para o deslize subaquático com a cabeça alinhada com o corpo, existe uma contribuição de 80% da componente de pressão (Zaidi et al. 2008). Segundo a literatura verificou-se que para a posição de deslize subaquático com os membros superiores em extensão próximos a cabeça, o arrasto de pressão é de 87%, enquanto na posição com os membros superiores em extensão ao longo do corpo esta componente corresponde a 92%. Apesar de em termos absolutos o valor do arrasto de fricção ser praticamente o mesmo nas duas situações (Marinho et al. 2009). Isto indica-nos que na água a maior agravante da resistência será a componente de pressão.

Na canoagem a potência requerida para manter uma velocidade específica depende principalmente da resistência hidrodinâmica causada pelo kayak e a pagaiada do atleta (Tzabiras et al., 2010). O arrasto hidrodinâmico total é a soma do arrasto criado pelo atrito do casco e a água (arrasto de fricção), o arrasto devido à separação da água para permitir a passagem do casco (arrasto de pressão) e o arrasto que resulta da aceleração da água para longe da embarcação (arrasto da onda) (Pendergast *et al.*, 2005). A forma do casco do kayak (design do caiaque) pode afetar significativamente o arrasto (Pendergast, Bushnell, Wilson, & Cerretelly, 1989). O arrasto total (caiaque mais o arrasto criado pelo canoísta) é altamente dependente da área molhada do caiaque (Pendergast *et al.*, 2005) que é parcialmente determinada pelo peso corporal do canoísta e pela força de impulsão resultante do volume do caiaque (Pendergast *et al.*, 1989).

A utilização de travões nas embarcações em situação de treino resistido pretende aumentar o arrasto do barco e aumentar a necessidade de produção de força para mover a embarcação. É por isso chamado de treino de força específico da modalidade de canoagem, por ser realizado em situação real de prática com aumento da resistência.

### 1.3 – Definição de Força

A comunidade científica define força como uma quantidade vetorial com direção, sentido, valor absoluto e ponto de aplicação. Pode ser explicada como a capacidade de um músculo ou grupo muscular gerar movimento ou velocidade (Kraemer *et al.*, 1999). Outra definição para força (Zatsiorsky *et al.*, 1999) é a habilidade de superar uma resistência externa através de esforço físico, muscular. Força é então a capacidade neuromuscular de superar uma resistência externa (atrito) e interna (Bompa, 2000).

Outra definição de força, no contexto desportivo, é a capacidade do músculo de produzir tensão ao ativar-se ou contrair-se (Badillo & Ayestarán, 2001) ou é vista como a capacidade de gerar tensão sob certas condições definidas pela posição do movimento do corpo em que o tipo de ativação (concêntrica, excêntrica, isométrica, pliométrica) e velocidade de movimento é aplicado (Harman, 1993).

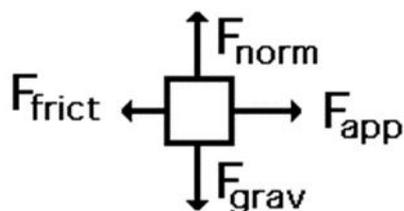


Figura 1 - Diagrama de vetores componentes da força.

No caso da canoagem, e segundo estas definições, a força é demonstrada pela capacidade técnica do atleta, gerando tensão sobre a pagaia, banco e finca-pés, e vencendo a resistência do próprio peso, peso da embarcação e resistências hidrodinâmica e aerodinâmica. Ou seja, o uso de um travão, que aumenta a resistência hidrodinâmica, irá influenciar a força que o atleta tem de aplicar para manter uma velocidade, devido ao aumento da resistência externa (Fig. 1).

A existência de uma resistência ideal para o treino, neste caso, é ainda uma incógnita, porém percebe-se que o uso de um travão excessivamente grande poderá alterar significativamente a técnica do atleta (Fig.2).



Figura 2 - Diagrama de vetores componentes da força num kayak.

#### 1.4 - Treino de força específica

No atletismo os efeitos do treino de força na performance em *sprint* mostraram que existem melhorias na força muscular sem melhorar a performance aos 100 m (Costil, 1999; Delecluse, 1997). Já no treino de velocidade observa-se efetivamente uma melhoria da performance, contudo não existem melhorias na força muscular (Sébastien *et al.*, 2006). Os resultados deste estudo indicam que, na natação, o treino de força em *sprint* é mais eficaz do que o treino resistido de *sprint*. Este método de treino deve ser utilizado em períodos de grande volume com o propósito de desenvolver força em resistência.

Em período competitivo, os *sprints* com resistência devem ser utilizados para aumentar a força e a resistência muscular, porém em séries curtas com máxima intensidade e longos períodos de descanso.

#### 1.4.1 - O treino de força específico na canoagem

A carga, intensidade, frequência e volume são fatores de planeamento do treino a ter em conta para maximizar adaptações fisiológicas e evitar processos de *overreaching* não funcional e consequentemente *overtraining*.

Na maioria dos desportos cíclicos (que requerem movimentos unilaterais alternados repetidos e contínuos, tais como: remo, corrida, natação e a canoagem) tanto a força muscular como a capacidade aeróbia necessitam de estar bem desenvolvidas para uma otimização do rendimento do atleta, tornado assim importante o controlo destas variáveis. Três treinos de força semanais podem ser ideais para atingir mudanças positivas na força e potência muscular (García-Pallarés & Izquierdo, 2011). O treino de força é também importante no rendimento dos atletas destas modalidades, visto que a força tem sido compreendida como a capacidade do músculo para realizar exercícios com a máxima resistência (Knuttgen & Kraemer, 1987).

O treino de força na canoagem divide-se em três categorias: Geral, especial e específica (Lourenço, 2020):

**Geral:** treino de musculação comum, possível de ser realizado toda a época desportiva, atinge todos os grupos musculares, permite cargas extremas, mas tem pouca transferência para a pagaçada;

**Especial:** treino com utilização de ergómetros e simuladores, utiliza a musculatura envolvida na pagaçada, e é um movimento muito similar à situação real de prática. Porém se mal-executado pode ter repercussões na técnica de pagaçada;

**Específica:** Treino com uso de carga externa e travões na embarcação, é a forma mais específica de treinar força, pode ser utilizado em simulação competitiva. O uso de travões exageradamente resistivos pode traduzir-se em alterações na técnica de pagaçada.

O treino de força não específico conduz a adaptações neurais e aumento da capacidade de produção de força, porém para existir transferência para o desempenho, o treino deve ser tão específico quanto possível (referência).

A maior capacidade de produção de força surge ligada à otimização do treino, sendo que quanto maior a especificidade dos exercícios escolhidos maior será transferência de força para a pagaçada. Correlacionaram parâmetros de força e chegaram à conclusão de que os atletas com maior sucesso em provas de curta duração apresentavam valores mais elevados de força e potência absolutas (Van Someren et al., 2000). Outro fator referido pelos autores foi o grau de desenvolvimento muscular do tronco como resposta ao treino, sendo um fator determinante da performance nesta modalidade. Por estas razões o interesse foca-se em aumentar a capacidade de força muscular e mudanças estruturais a longo prazo ("*Strength and power in Sport*", IOC, 2003).

De um ponto de vista preventivo de lesões, a utilização de cargas elevadas não é recomendada para o desenvolvimento de grupos musculares mais pequenos responsáveis pelo equilíbrio. Ainda não existem estudos que explorem e adaptam possibilidades de treinar estes músculos com resistência de forma não lesiva. A maior aproximação ao treino resistivo nesta situação seria o uso de resistências externas no treino de água, como pesos adicionais ou uso de travões.

O treino específico de força, no kayak, com acrescento de resistência externa (pesos ou travões) aumenta o impulso mecânico na lâmina da pagaia em aproximadamente 20% (Kuzmin, 1987). Este tipo de treino está limitado em intensidade por propriedades hidrodinâmicas da lâmina da pagaia, visto que isto pode transmitir a sensação de “pagaia em faca”, o que faz perder a tração e equilíbrio.

O treino específico não substitui o treino de força tradicional em ginásio, porém, não obstante, o objetivo deste tipo de treino é melhorar a sinergia entre os músculos mais utilizados na impulsão do kayak, e que, é a forma mais eficaz de transformar o trabalho de ginásio em trabalho específico e desenvolver força de resistência específica (Nikonorov, 2015).

A forma mais eficaz e mais utilizada de dividir o ano começa por utilizar o ginásio e exercícios para grupos maiores, numa segunda fase utilizar ergómetros e treino de força especial para a canoagem e, por fim, acabar na água com exercícios de treino de força específicos (Lourenço, 2020).

### 1.5 - Objetivos do estudo:

O presente estudo teve como objetivo quantificação do arrasto passivo com o uso de diferentes travões, numa embarcação kayak de competição de canoagem, tracionada por um sistema eletromecânico. A embarcação foi tracionada pelo sistema em velocidades previamente discutidas, tendo em conta velocidades comuns em treino e em situação de competição.

Pretende-se quantificar o valor do arrasto passivo da embarcação, com o uso de diferentes travões, com o propósito de auxiliar treinadores a gerir as sessões e o volume de treino.

## Capítulo II - Metodologia

---

### 2.1 - Participantes

Uma praticante federada, do sexo feminino (24 anos de idade, 1,73 m de estatura e 64,1 kg de massa corporal) foi rebocada numa embarcação kayak de competição com o peso regulamentar (12 kg).

A amostra foi reduzida por ser uma situação tão incomum e não existir muitos meios e tempo para testes a mais sujeitos.

### 2.2 - Seleção da embarcação

A importância da seleção adequada da embarcação pode ser comparada com a da seleção da pagaia (design, comprimento, largura da pá, entre outros) ou do planeamento do treino. À medida que a tecnologia evolui, as melhorias na área da engenharia e tecnologia do desporto tornaram-se tão importantes para o desempenho final quanto a preparação física e/ou psicológica (Robinson *et al.*, 2002).

O desempenho hidrodinâmico dos caiaques depende maioritariamente da forma geométrica do casco (Mantha *et al.*, 2013), bem como do seu tipo de superfície e peso do canoísta na embarcação. Esses fatores afetam a água deslocada e alteram a área de superfície do casco em contacto com a água. A área de superfície molhada é, parcialmente, determinada pela profundidade do caiaque, que depende do peso corporal do atleta, para além do próprio design (Pendergast *et al.*, 1989).

Os kayaks da marca Nelo (M.A.R. Kayaks Lda., Portugal) são atualmente os mais utilizados nas provas de velocidade e maratona de elite, sendo a marca com maior número de medalhas em participações internacionais. No presente estudo foi utilizado um kayak de competição em água tranquilas, modelo *Quattro* tamanho ML, construção SCS da marca NELO, sendo sempre testado o mesmo sujeito, para não existir variação de massa corporal nem alteração da área frontal de resistência aerodinâmica. A massa da embarcação era de 12 kg (oficial para kayak monolugar em competições de velocidade), mais a massa corporal da participante, esperando-se, aproximadamente com base em cálculos de estudos anteriores, 15244,5 cm<sup>2</sup> de área total molhada e 253,4 cm<sup>2</sup> de área frontal submersa (Gomes *et al.* 2015).

### 2.3 - Seleção dos travões

Os travões mais comuns são feitos com mangueira, bolas de piscina e bolas de ténis presas à embarcação por um cabo, cada um oferecendo uma resistência diferente. O propósito do estudo foi quantificar o arrasto passivo provocado por diferentes travões, de forma a auxiliar

treinadores e atletas a selecionar o travão a utilizar de acordo com as capacidades do atleta e objetivo do treino.

Foram testados dois travões com mangueira de diferentes diâmetros e mesmo comprimento, e dois travões com uma ou duas bolas de ténis. Foram calculados os volumes de cada travão (Tab.1 e Fig. 3).

Tabela 1 – Listagem dos travões testados, considerando diâmetro/ raio, volume e comprimentos.

Travão	Diâmetro	Raio	Volume	Comprimento
Mangueira 10mm	10 mm		15,71 cm <sup>3</sup>	20 cm
Mangueira 15mm	15 mm		35,34 cm <sup>3</sup>	20 cm
Uma bola de ténis		3,35 cm	157,48 cm <sup>3</sup>	
Duas bolas de ténis		2 x 3,35 cm	314,96 cm <sup>3</sup>	

O cabo utilizado para suportar os travões apresentava 4 mm de espessura, irrelevante para o volume total. Os travões foram colocados em frente ao quebra-mar (Fig. 4), uma das posições mais utilizadas pelos atletas. Ao colocar o travão, é necessário garantir que o cabo tem o comprimento necessário para criar tensão de forma que o travão não oscile ou mude de posição.

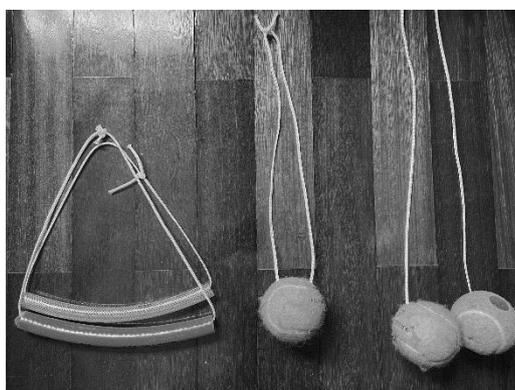


Figura 3 - Travões utilizados.

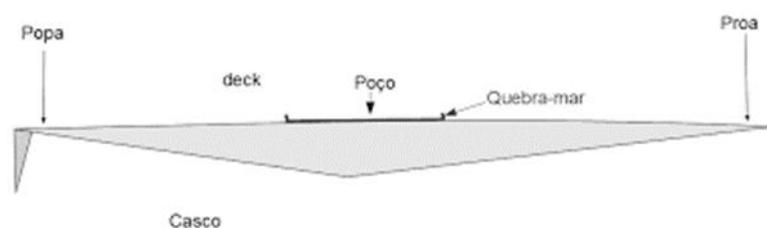


Figura 4 - Vista Lateral do kayak.

## 2.4 - Sistema de Medição

O arrasto foi determinado rebocando o kayak com um canoísta numa pista de *sprint*, sendo que no momento de medição o atleta se encontrava imóvel, sem pagaiar, ficando apenas em posição de equilíbrio (Fig.5).



Figura 5 – Vista frontal do reboque do participante em posição de equilíbrio.

O sistema de medição de arrasto foi otimizado, partindo do sistema produzido e apresentado em estudo anterior (Gomes *et al.*, 2015), permitia:

- Medição do arrasto passivo da embarcação;
- Medição a diferentes velocidades;
- Permitir rebocar o kayak em linha reta, pelo menos durante 200 metros para garantir que a velocidade pretendida era atingida e que a medição do arrasto era realizada durante um período enquanto o cabo guia de reboque se encontrava totalmente fora de água.

O sistema de medição de arrasto era constituído por uma roda motorizada (Figuras 5) que, por sua vez, controlava a velocidade a que a embarcação era rebocada, por meio de um cabo de pesca (diâmetro 0,2 mm).

A embarcação foi tracionada pelo sistema de medição de arrasto passivo a diferentes velocidades, medidas por um velocímetro (*Bwin 100*), nomeadamente a: 8 km/h, 10 km/h, 12 km/h e 14 km/h, para determinar o arrasto criado pelos diferentes travões comparativamente à condição sem travão.

O sistema de medição de arrasto passivo inclui uma plataforma que desliza entre quilhas de baixo atrito, para permitir a movimentação da roda, e um motor de tração. A roda com diâmetro de 559 mm é acelerada por um motor elétrico de 750 W (*Direct Drive*, Madrid, Espanha), alimentado por uma fonte variável controlável por um acelerador manual o que nos permite fazer variar a velocidade (Fig. 6 e 7).

Para reduzir o impacto de forças externas nos resultados de medição do arrasto passivo as medições foram realizadas em situações de com pouca influencia do vento, para além dos valores de arrasto só serem considerados no período em que o cabo de reboque se encontrava fora de água.



Figura 6 - Imagem do sistema de medição de arrasto passivo.

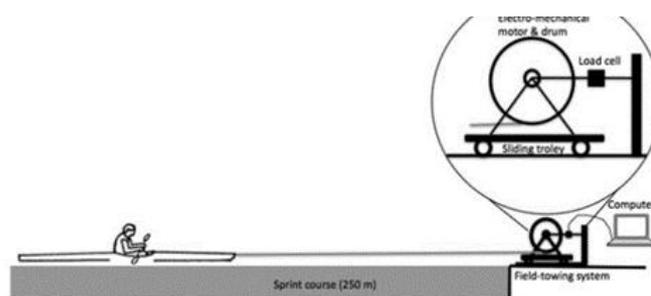


Figura 7- Esquema do sistema de medição de arrasto passivo (Gomes et al.,2015)

## 2.5 Anemómetro

Para medições da intensidade e direção do vento foi utilizado de um anemómetro. O equipamento utilizado tem as seguintes especificações: Modelo *Kestrel 5400CL* (Figura 8). Este equipamento tem um software para IOS e Android, conexão por Bluetooth o que nos permite cruzar os dados da sessão. O dia de recolha de dados foi 18 julho entre as 9h30 e as 13h. Durante a sessão a média de temperatura ambiente foi de 24,9 °C, velocidade média do vento 10,8 km/h, velocidade média do vento cruzado 10,4 km/h e velocidade do vento de cabeça 1,7 km/h (Figura 9).



Figura 8 – Imagem ilustrativa do Anemómetro utilizado.

### Session Statistics

	Units	Avg	Min	Max	Standard Deviation
Temperature	°C	24.9	23.5	26.9	0.51
Heat Index	°C	25.0	23.5	27.5	0.66
Relative Humidity	%	60.3	55.8	65.0	1.54
Wind Speed	km/h	10.8	0.0	34.5	1.17
Station Pressure	mb	1017.5	1017.2	1017.7	0.12
Dew Point	°C	16.7	15.3	18.6	0.56
Altitude	m	-37	-39	-34	1.15
Density Altitude	m	382	326	454	20.16
Barometric Pressure	mb	1017.4	1017.2	1017.7	0.13
Compass Magnetic Direction	Deg	276	13	333	24.77
Compass True Direction	Deg	276	13	333	24.77
Crosswind	km/h	10.4	0.0	33.7	1.16
Headwind	km/h	1.7	-6.2	11.0	0.69
Wind Chill	°C	24.9	23.4	26.8	0.51
Wet Bulb Temp	°C	19.4	18.4	21.0	0.46
NWB Temp	°C	21.6	19.7	23.2	0.65
Globe Temperature	°C	34.6	28.8	39.2	1.97
Wet Bulb Globe Temperature	°C	24.5	21.9	26.6	0.86

Figura 9 - Dados retirados durante a sessão pelo Anemómetro

### 2.6 -Software LabView

Para aquisição de dados de força de arrasto o sistema de medição do arrasto passivo tem integrada uma célula de carga e uma placa de aquisição compatíveis com o software LABView (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) que permite a aquisição de dados, controlo de instrumentos e automatização da *National Instruments*. O programa utilizado para aquisição do sinal foi desenvolvido em colaboração com dois estudantes do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), sob supervisão do Professor Doutor Luís Roseiro e Mestre Vítor Maranhã, tendo em conta as necessidades do estudo e adaptado à realidade dos testes realizados (Figura 10 e 11).



Figura 10 - Diagrama do Programa Labview.

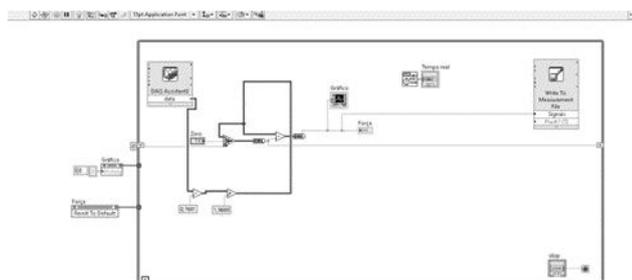


Figura 11- Programa LabView.

## 2.7 – Célula de Carga:

Para a obtenção da força do arrasto passivo exercido pelo kayak no dispositivo em questão, utilizada usada uma célula de carga à tração.

As células de carga são dispositivos que medem carga, podem ser encontradas no nosso cotidiano, por exemplo em balanças. Estas são constituídas por uma estrutura de aço ou alumínio, logo são bastante resistentes, possuindo uma elasticidade mínima.

As deformações são medidas através de extensômetros, que se encontram no interior da célula, sendo estes muito sensíveis, considerados assim dispositivos precisos. Os extensômetros podem ser definidos por uma resistência elétrica fixa num filme, no interior da célula, estas resistências, sofrem micro deformações, podendo aumentar ou diminuir conforme o tipo de carga que é aplicada à célula, aumentando quando ocorre tração e diminuindo quando ocorre compressão.

Existem vários tipos de células de carga, e cada uma tem uma aplicação específica, podendo ser:

- Células de carga *single point*: uma célula de carga é posicionada sob uma plataforma que é carregada com um peso na sua parte superior;
- Células de carga tipo *beam*: diversas células de carga são posicionadas sob uma estrutura de aço (plataforma) e são carregadas com um peso na parte superior;
- Células de carga para forças de compressão: diversas células de carga de alta capacidade são posicionadas sob uma estrutura de aço e são carregadas com um peso na parte superior;
- Células de carga para forças de tração: um peso é suspenso a partir de uma ou mais células de carga.

Para este projeto foi utilizada uma célula de carga para forças de tração.

A célula de carga utilizada no ensaio foi uma célula do fabricante *Dini Argeo*, mais concretamente o modelo SL 50, com capacidade para 50 kg. Estes tipos de células possuem 4 extensômetros no seu interior, formando um circuito ou ponte completa *Wheatstone* (Figura 12).



Figura 12-- Célula de carga.

### 2.7.1 - Calibração da célula de carga

Para a correta utilização da célula de carga foi necessário realizar a sua calibração para que os dados de força posteriormente medidos fossem precisos. Para este fim, a célula foi

calibrada para ensaios à tração com o recurso a massas calibradas e um suporte existentes no Laboratório de Mecânica do ISEC (Figura 12).

A utilização de cargas conhecidas permitiu chegar a uma reta de calibração da célula de carga que foi posteriormente inserida no *LabView*.

Foi produzida uma equação de reta de calibração para a carga e outra para a descarga. Tal permite confirmar valores e evitar erros de leitura (Figura 13 e 14). As equações, lineares, da célula de carga foram as seguintes:

$$\text{Carga: } y(\text{deformação}) = 0,2035x(\text{carga}) + 0,0299$$

$$\text{Descarga: } y(\text{deformação}) = 0,2035x(\text{carga}) + 0,0304$$

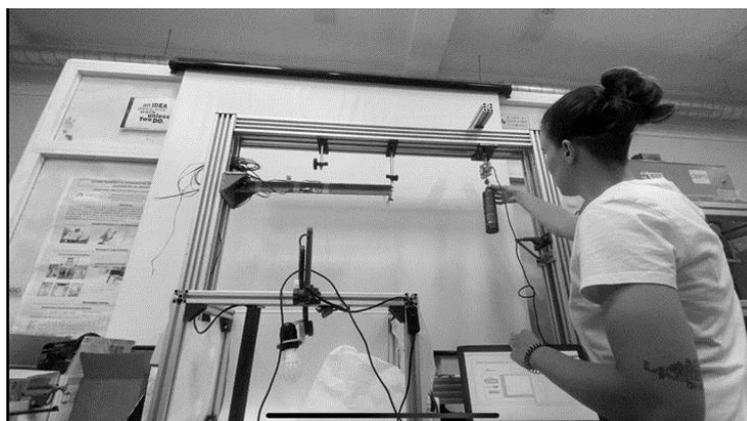


Figura 13 - Calibração da Célula de Carga.

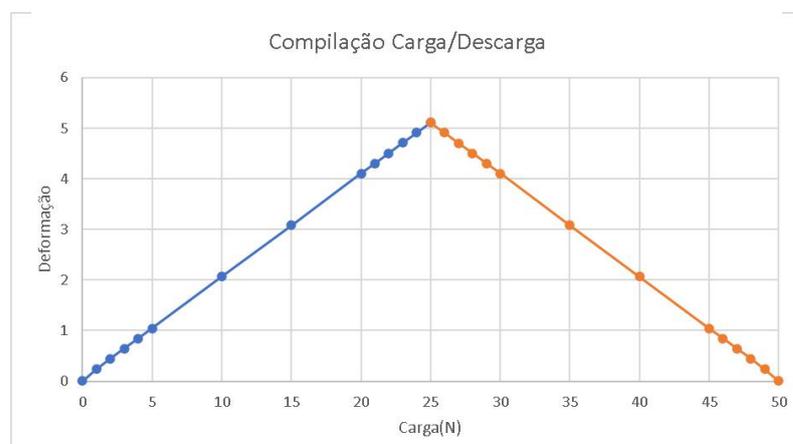


Figura 14 – Retas de calibração, compilação da carga e da descarga da célula.

Foi utilizada a reta de calibração a carga, apesar de as duas equações serem muito próximas (Fig. 14) e também, por se utilizar a célula nesta situação.

## 2.8 - Placa de aquisição:

Para proceder à ligação da célula de carga ao *Labview*, foi utilizado o método de ligação *full bridge* - ponte completa de *Wheatstone*, através da placa NI 9219 (Figura 15).

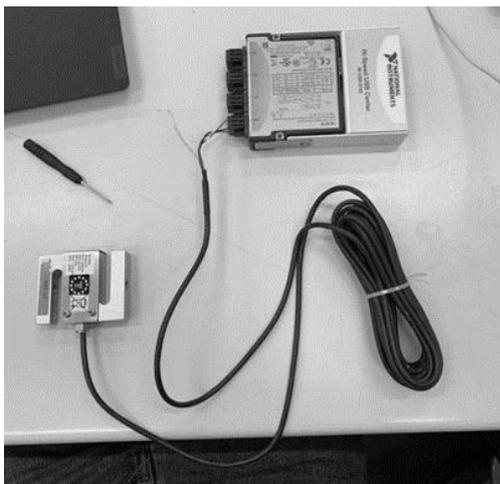


Figura 15- Ligação entre a placa e a célula de carga.

## 2.9. Estatística

Para análise e tratamento de dados foi utilizado o *software* Microsoft Office Excel, visto que na calibração e na análise do valor de arrasto foram calculadas médias para uma melhor percepção dos resultados.

Não foi usado nenhum teste estatístico para análise ou validação dos resultados por se tratar de uma extração de dados de tratamento simples onde apenas foi utilizado um sujeito.

## Capítulo III - Resultados

A primeira condição analisada foi a embarcação kayak sem qualquer tipo de resistência, sendo que os valores de arrasto passivo a diferentes velocidades se encontram expressos na Figura 5, bem como a respectiva linha de tendência. As Figuras 16 a 20 apresentam os resultados do arrasto passivo, para as diferentes velocidades, com as diferentes resistências testadas (travão mangueira 10mm, mangueira 15mm, uma bola de tênis e duas bolas de tênis).

Os ensaios seguiram-se por ordem crescente de volume de travão.

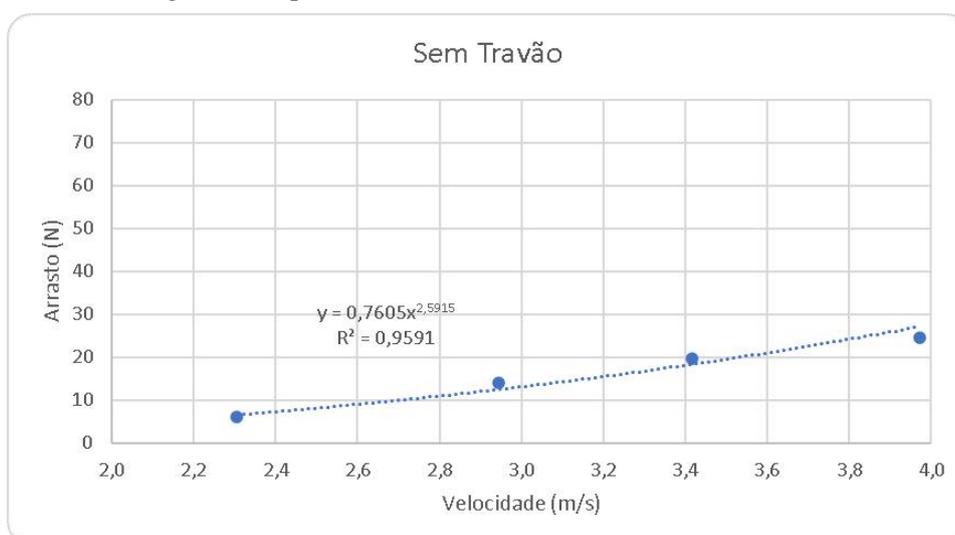


Figura 16 - Gráfico arrasto- velocidade, na situação sem travão.

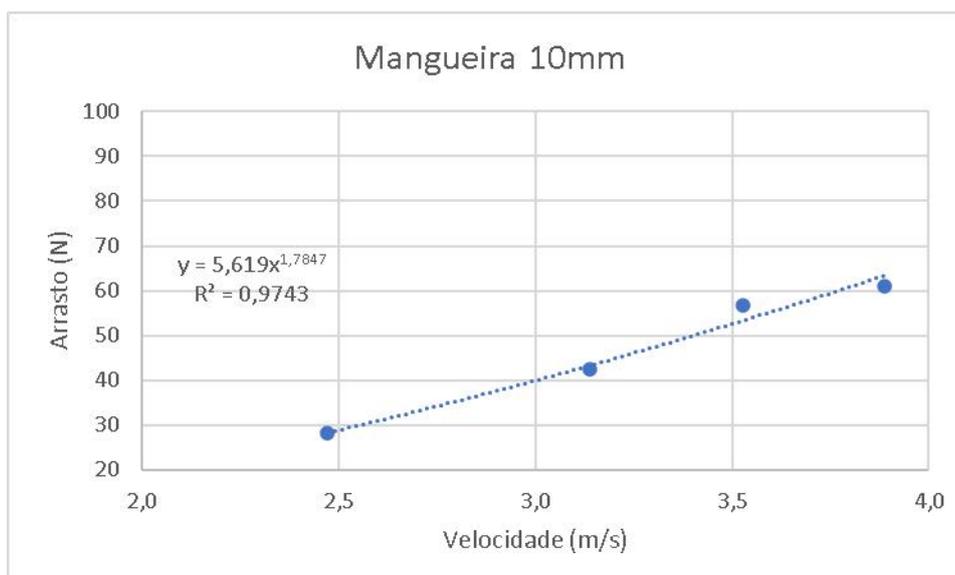


Figura 17- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão mangueira 10 mm.

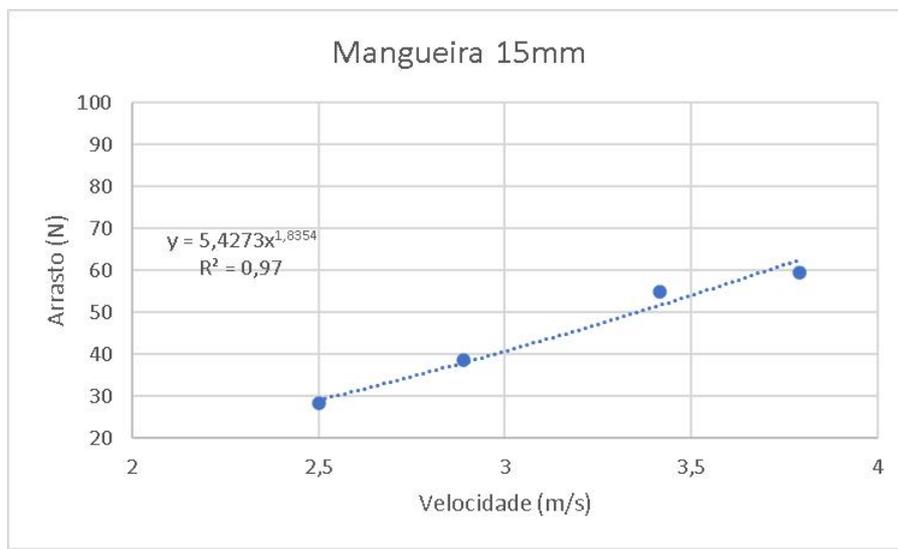


Figura 18- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão mangueira 15 mm.

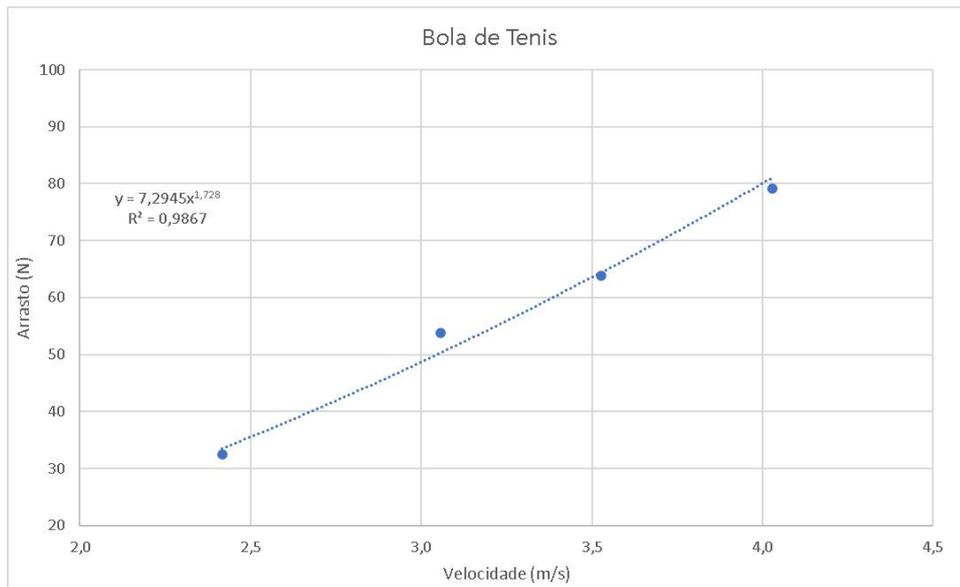


Figura 19 - Gráfico arrasto-velocidade na situação com uma bola de tênis.

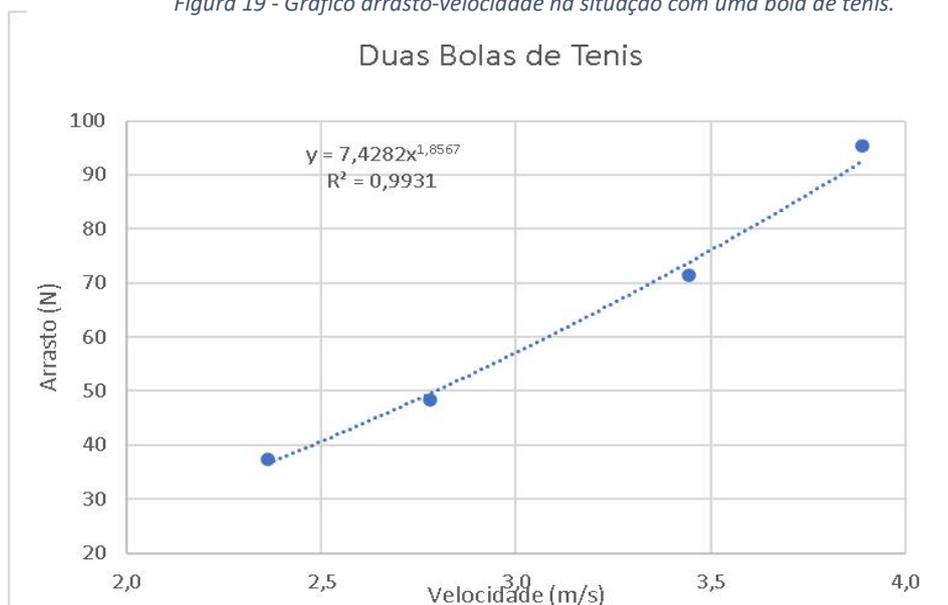


Figura 20- Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão com duas bolas de tênis

Como seria expectável as forças de arrasto passivo aumentaram com a velocidade, sendo que esta relação foi não-linear com melhor ajuste à função potência ( $D=kvn$ ), com o valor de  $R^2$  muito próximo de 1, o que garante a fiabilidade na previsão e uso das mesmas. Sendo estas as seguintes equações para cada condição:

Kayak sem resistência adicional (Fig.16)  $y(\text{arrasto}) = 0,7605x(\text{velocidade})^{2,5915}$

Mangueira 10mm (Fig.17):  $y = 5,619x^{1,7847}$

Mangueira 15mm (Fig.18):  $y = 5,4273x^{1,8354}$

Uma bola de ténis (Fig.19):  $y = 7,2945x^{1,728}$

Duas bolas de ténis (Fig20):  $y = 7,4282x^{1,8567}$

Quando compilados os valores de força de arrasto e as respetivas linhas de tendência, para as diferentes condições, foi elaborado o gráfico presente na Figura 21. Como expectável o travão com maior volume é o que se traduz num maior arrasto passivo, e independentemente da condição com o aumento da velocidade maior é o arrasto passivo.

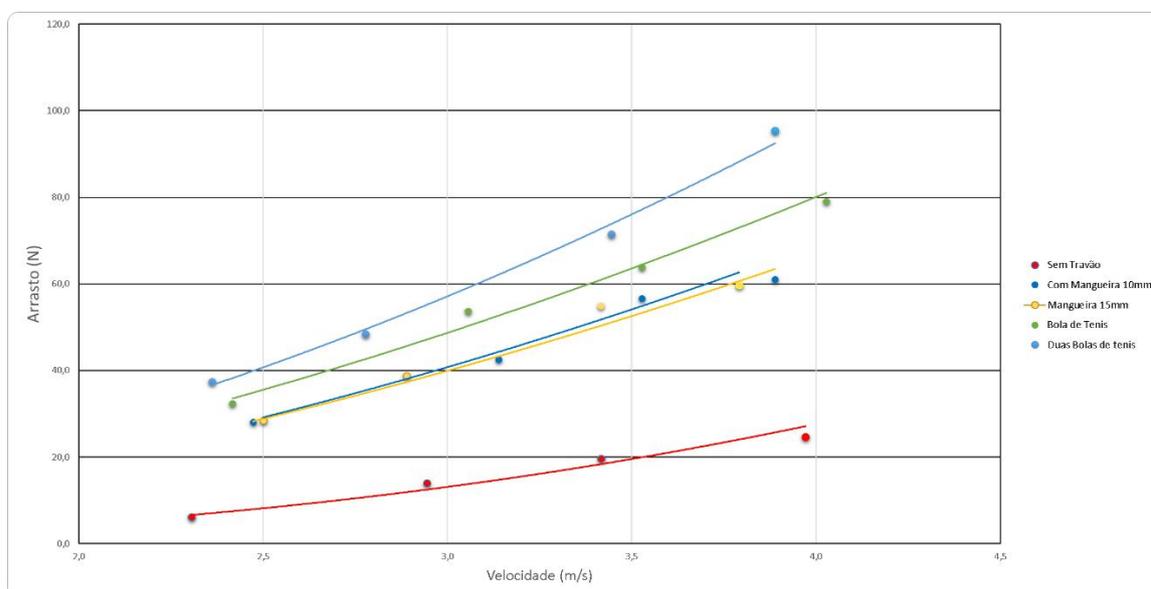


Figura 21 - Gráfico arrasto- velocidade, na situação travão com duas bolas de ténis

## Capítulo IV - Discussão

---

Com a otimização do sistema foram determinados os valores de arrasto passivo nas condições de resistência adicional e com diferentes tipos de resistência. Determinar as alterações decorrentes da introdução de resistências adicionais no arrasto passivo permitirá aos treinadores definir a resistência adicional a utilizar de acordo com os objetivos do treino para além de melhor ajustar à individualidade de cada atleta, de acordo com a sua capacidade de produção de força entre outros. O treino com resistência adicional permite uma maior transferência de força para a pagaiada, visto que é sobrecarregada a situação de competição (Lourenço, 2020).

Na análise dos dados podemos afirmar que existem progressões de carga nos travões, quanto maior o volume do travão maior o valor de arrasto passivo, como obtido nas equações das retas de tendência.

O gráfico (Figura 20) permite uma comparação visual entre as diferentes medições, comparando as 4 velocidades retiradas com cada travão e projetando a reta de tendência, a relação entre o arrasto passivo e a velocidade é não linear, sendo a reta de tendência uma função de potência função potência, por ser a função que melhor se ajusta.

Durante a análise dos dados e observando as retas de tendência é possível afirmar que cada travão incutiu diferentes resistências a embarcação, sendo que quanto maior o volume do travão maior a resistência registada. Ou seja, a situação com mangueira 10mm incluiu menos resistência do que situação mangueira 15mm, que por sua vez foi menos que a situação com uma bola de ténis, e esta, menor que a situação com duas bolas de ténis. Podendo concluir que maior volume, maior o arrasto passivo espectável. Outro fator a influenciar os resultados foi a velocidade a que foi tracionada a embarcação, maiores velocidades, dentro de cada situação resistida, conferiram maiores valores de resistência.

Comparando as duas situações com mangueiras de diferentes diâmetros seria expectável diferenças maiores, pelo volume alterar, mas tal não se verificou. Isto pode estar associado a deformação das mangueiras dentro de água sob tração e seria relevante averiguar em laboratório e também com diferentes comprimentos de mangueira. Entre o travão com uma bola de ténis e o travão com duas bolas de ténis, mesmo dobrando o volume não dobrou o arrasto passivo, porém o incremento foi notório.

No dia de recolha a alteração das condições meteorológicas, nomeadamente a variação da velocidade do vento e a temperatura da água, foram insignificantes quanto a temperatura, porém,

a velocidade do vento obteve um pico máximo nos últimos ensaios o que pode ter influenciado os resultados.

Os dados obtidos podem ter sido influenciados não só pelas condições meteorológicas, mas também pelas oscilações do sujeito na embarcação, sendo que a ação para repor o equilíbrio pode passar por um toque com a pagaia na água ou por oscilação lateral da embarcação que altera a superfície em contacto com o meio.

Próximos estudos seriam necessários para perceber se diferentes comprimentos de mangueira variam a resistência e de que forma. Seria também interessante testar os mesmos travões atrás do poço e avaliar as resistências.

## Capítulo V - Conclusões

---

O uso do sistema de reboque permitiu averiguar o arrasto passivo em diferentes velocidades e com diferentes travões selecionados: mangueira 10 mm, mangueira 15 mm, bola de ténis e duas bolas de ténis; porém comparando os valores de arrasto com estudos anteriores, existe uma discrepância grande nos valores absolutos. Nesse estudo de 2015, com a mesma embarcação e 3 situações de peso no barco os valores de arrasto recolhidos pela célula foram superiores aos recolhidos neste estudo com resistência externa, indica uma possível calibração distinta da célula.

Maior velocidade é igual a maior arrasto e um volume maior de travão significa sempre maior arrasto. Os valores e equações podem ser utilizados por treinadores na escolha do travão ou na progressão, conforme a especificidade do atleta e dentro da sua fase competitiva. Evitando assim situações de défice ou excesso de carga, que podem levar à perda de rendimento ou situações de sobrecarga que potenciam lesões.

Na canoagem, a evolução aponta para a quantificação, especialização e controle de treino, sendo este tipo de treino específico uma das estratégias mais comuns em atletas mais potentes e explosivos, como a especialidade dos 200 metros. Serve este estudo como um primeiro passo para a quantificação ajudando assim treinadores e atletas na gestão do esforço dentro da sessão de treino e da época desportiva.

Na gestão da época, e sendo o objetivo maximizar as adaptações fisiológicas positivas, o treinador consegue assim gerir a carga, intensidade e o volume de uma forma mais precisa e quantificável, visto que consegue ter uma noção mais fiável da carga a que expõe o atleta com cada travão em cada velocidade. O treinador passa a conseguir prever o arrasto passivo tendo em conta a velocidade prevista e o travão escolhido.

Na construção do equipamento existem alguns pontos que foram melhorados em relação a estudos anteriores com o mesmo equipamento, sendo ainda necessárias futuras melhorias na roda, velocímetro e na peça utilizada para manter a tensão no fio de pesca.

Assim sendo, o presente estudo é útil para a escolha de travões, mas futuros estudos são necessários para averiguar se os valores de arrasto alteram quando o canoísta está efetivamente a remar.

Apesar da diferença de volumes entre as duas situações com mangueira os valores de arrasto não diferenciaram na mesma proporção.

## Capítulo VI - Bibliografia

---

Badillo J, Ayestarán E, Dornelles M, & Pinto R (2001). Fundamentos do treinamento de força. Porto Alegre: Artmed. ISBN: 9788573077940 2ª edição

Bixler B, Pease D, & Fairhurst F (2007) The accuracy of computational fluid dynamics analysis of the passive drag of a male swimmer, *Sports Biomechanics*, 6(1), 81-98.

Bishop D (2003). Warm up II: performance changes following active warm up and how to structure the warm up. *Sports Medicine*, 33(7):483-98. doi: 10.2165/00007256-200333070-00002.

Bompa T, & Buzzichelli C. (2016). Periodización del entrenamiento deportivo (4a. ed.). Barcelona: Editorial Paidotribo México. ISBN: 9788499106120.

Marinho DA, Reis VM, Alves FB, Vilas-Boas JP, Machado L, Silva AJ, & Rouboa AI . (2009) Hydrodynamic drag during gliding in swimming.

Diafas V., Kaloupsis, S., Bachev, V., Dimakopoulou, E., & Diamanti, V. (2021). Weather conditions during athens olympic rowing and flatwater canoe-kayak regatta at the olympic rowing center in schinias.

Delecluse C (1997). Influence of strength training on sprint running performance. Current findings and implications for training. *Sports Med*:147-56. doi: 10.2165/00007256-199724030-00001. PMID: 9327528.

Folgar M, Cárceles F, Mangas J, & Quintas N.(2015) Training sprint canoeing.

Girold S, Calmels P, Maurin D, Milhau N, Chatard JC (2006). Assisted and resisted sprint training in swimming. *J Strength Cond Res*.

García-Pallarés J, Izquierdo M (2011) Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Med*, doi: 10.2165/11539690-000000000-00000. PMID: 21425890

Gomes B. B., Conceição F. A Pendergast, DR Sanders, RH Vaz, Vilas-Boas, JP (2015). Is passive drag dependent on the interaction of kayak design and paddler weight in flat-water kayaking? *Sports Biomechanics*,14, 394–403

Harman (1993), Everett Ph.D. C.S.C.S. Exercise physiology, National Strength and Conditioning Association Journal.

Zaïdi H, Taiar R, Fohanno S, Polidori G (2008), Analysis of the effect of swimmer's head position on swimming performance using computational fluid dynamics,*Journal of Biomechanics*.

Mantha VR, Silva AJ, Marinho DA, & Rouboa AI (2013). Numerical simulation of two-phase flow around flatwater competition kayak design-evolution models. *Journal of Applied Biomechanics*,29, 270–278

- Michael JS, Rooney KB, Smith R (2008) The metabolic demands of kayaking: a review. *J Sports Sci Med.*;7(1):1-7. PMID: 24150127; PMCID: PMC3763332.
- van Someren KA, Palmer GS (2003) Prediction of 200-m sprint kayaking performance. *Can J Appl Physiol.*505-17. doi: 10.1139/h03-039. PMID: 12904631.
- Nikonorov A (2015). Power development in sprint canoeing. In: *Training sprint in canoeing*. Spain. ISBN: 978-84-943815-7-7.
- Knuttgen H, Kraemer W (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1. 1-10. 10.1519/00124278-198702000-00001.
- Lyttle A , Elliott B, Blanksby B & Lloyd, David. (1999). An instrument for quantifying the hydrodynamic drag of swimmers - A technical note. *Journal of Human Movement Studies*. 37. 261-270.
- Knuttgen H, Kraemer W (1987). Terminology and Measurement in Exercise Performance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 1. 1-10. 10.1519/00124278-198702000-00001.
- Komi P (2005). *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell Science.
- Wilmore JH, Costill DL (1999) *Physiology of Sports and Exercise*. 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, 490–507
- Robinson MG, Holt LE, & Pelham TW. (2002). The technology of sprint racing canoe and kayak hull and paddle designs. *International Sports Journal*,6, 68–85
- Zatsiorsky VM, Duarte M (1999). Instant equilibrium point and its migration in standing tasks: rambling and trembling components of the stabilogram. *Motor Control*doi: 10.1123/mcj.3.1.28. PMID: 9924099.
- .

# Anexos

- Marinho J, Maranha V, Roseiro L, Gomes BB (2023). Avaliação do arrasto passivo de uma embarcação kayak em situação de simulação de treino resistido. Trabalho apresentado oralmente no X Congresso Nacional de Biomecânica. Figueira da Foz: 5 e 6 de maio de 2023.
- Marinho J, Maranha V, Roseiro L, Gomes BB (2023). Avaliação do arrasto passivo de uma embarcação kayak em situação de simulação de treino resistido. Em Amaro A et al. Livro de Resumos do X Congresso da Sociedade Portuguesa de Biomecânica. Figueira da Foz: 5 e 6 de maio de 2023. ISBN:978-989-33-4641-9
- Participação no Fórum de treinadores de Canoagem, Montemor-o-Velho, 15 de abril 2023. Comunicação oral intitulada: “Avaliação do arrasto passivo de uma embarcação kayak em situação de simulação de treino resistido”.



## Fórum Treinadores Canoagem 2023

### Certificado

Pelo presente comprova-se que

**Joana Marinho**

Apresentou um *output* de trabalho académico no Fórum de Treinadores de Canoagem 2023 intitulado "Avaliação do arrasto passivo de uma embarcação kayak em situação de simulação de treino resistido". O evento realizou-se no dia 15 de abril de 2023, com organização da Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física da Universidade de Coimbra e da Federação Portuguesa de Canoagem.

O Diretor da F.C.D.E.F. – U.C.

O Presidente da F.P.C.

*Assinatura do Diretor da F.C.D.E.F. – U.C.*

*Assinatura do Presidente da F.P.C.*

