

## MODELO CONCEPTUAL DE UM BANCO DE TESTES PARA VALIDAÇÃO DE SENSORES BIOMECÂNICOS EM REMO E CANOAGEM

**Maria I. Cruz**<sup>1,2</sup>, **Ana M. Amaro**<sup>2</sup>, **Beatriz B. Gomes**<sup>1,2</sup> e **Luis Roseiro**<sup>2,3,4</sup>

*1 Universidade de Coimbra, CIDAF, Faculdade de Ciências do Desporto e Educação Física, 3040-248 Coimbra, Portugal;*

*2 Universidade de Coimbra, CEMMPRE-ARISE, Departamento de Engenharia Mecânica, 3030-788 Coimbra, Portugal;*

*3 Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Instituto Politécnico de Coimbra, Rua Pedro Nunes-Quinta da Nora, 3030-199 Coimbra, Portugal*

*4 Centro de Investigação em Recursos Naturais, Ambiente e Sociedade (CERNAS), Instituto Politécnico de Coimbra, Bencanta, 3045-601 Coimbra, Portugal*

*ines.p.cruz.98@gmail.com; ana.amaro@dem.uc.pt; ; beatrizgomes@fcddef.uc.pt ; lroseiro@isec.pt*

**PALAVRAS-CHAVE:** Biomecânica, Calibração, Validação Experimental, Redes Neurais

### 1 INTRODUÇÃO

As tecnologias de registo de variáveis cinéticas para avaliação do desempenho de atletas em canoagem e remo tem crescido significativamente. Estas incluem sensores baseados em extensómetros elétricos por resistência para estimar as forças aplicadas no ciclo de remada/pagaiada, tanto em condições estáticas quanto dinâmicas [1,2]. Trabalhos como os de Rosdahl *et al.* [1] e Ungricht *et al.* [2] focam-se no desenvolvimento de dispositivos de calibração e validação para sensores de força, incorporados em pagaia [1] e em remos [2], oferecendo ambientes controlados para a avaliação precisa das forças em eixos específicos. Estes estudos destacam a importância de calibrações rigorosas e simulações de forças reais para garantir a precisão dos dados. No entanto, estimam as forças em apenas um ou dois eixos, o que limita a capacidade de análise em cenários mais dinâmicos e complexos [1,2]. Além disso, a sua maioria opera, apenas, em condições laboratoriais, sem replicar adequadamente condições em contexto real, como a resistência variável da água. Consideram tipicamente uma força única de reação na pá, podendo resultar em dados que não refletem com precisão o comportamento dos sensores em cenários de treino ou competição.

Este estudo apresenta um banco de testes instrumentado para calibração de sensores a incorporar num remo ou pagaia, de modo a quantificar as forças de reação da pá em três eixos ortogonais (x, y e z). O banco de testes pretende simular de forma realista as condições encontradas durante a prática da canoagem e do remo, oferecendo uma solução inovadora para a calibração e validação de sensores, com ênfase na medição precisa em múltiplos planos de força.

### 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O banco incorpora uma base com uma superfície de contacto com a pá, que se aproxima da interface pá – água, instrumentada para obter a força nos três eixos. O modelo correlaciona a força aplicada na zona da pega e o seu posicionamento angular com as três reações na pá. O banco integra quatro elementos principais, tal como se ilustra na figura 1. A estrutura de suporte, modelada com o software Solidworks®, recorre a elementos estruturais em perfil de alumínio da marca Minitec (40x40 mm) garantindo-se a resistência e rigidez adequadas, com a fácil reconfiguração e transporte do banco de testes. O design modular é semelhante ao sistema de Rosdahl *et al.* [1]. A sua configuração permite a integração e montagem simples de outros

elementos, onde se incluem os pontos de apoio para a pagaia ou remo, de posicionamento ajustável, e que simulam as zonas onde os atletas seguram o remo/pagaia ou onde o remo é apoiado ao barco.

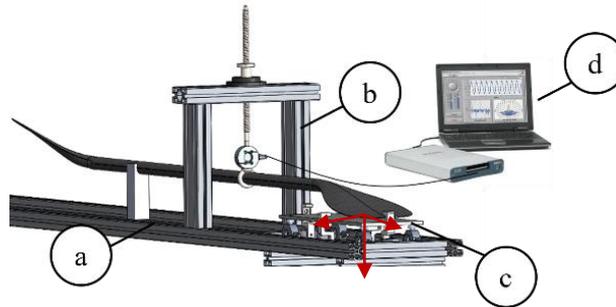


Figura 1 – Representação esquemática do banco de testes: a) Estrutura de suporte e apoio à pá/remo; b) Sistema de Forças; c) Base de suporte à pá; d) Unidade de controlo.

O sistema de aplicação da força é baseado numa unidade estrutural com afinação longitudinal, e um conjunto de avanço baseado num parafuso/porca de movimento com uma célula de carga na sua extremidade (TSTM 500 N) que está acoplada ao tubo da pagaia ou do remo através de um anel. Este ajuste permite aplicar forças estáticas de forma precisa, replicando de forma gradual e de modo discreto as forças que os atletas exercem durante a prática da canoagem e remo.

A base de suporte à pá tem uma configuração com uma placa de alumínio sendo suportada em quatro células de carga (TSTM 500 N) para quantificação da força vertical e ancorada lateralmente em quatro células de carga (TSTM 200 N). Este conjunto garante a aquisição das forças de reação na pá nos três eixos ortogonais. A interface da base com a pá tem um vaso de expansão em material flexível, com pressão interna ajustável, aproximando a resistência oferecida pela água em situação real. A zona central da pagaia/remo está instrumentada com quatro extensómetros unidireccionais de 350 Ohms, posicionados a 0°/90°/180°/270°.

A unidade de controlo do banco de testes recorre a um módulo de aquisição de dados (NI 9219, *National Instruments*). O sistema permite a aquisição de dados em tempo real provenientes de todos os sensores, com visualização numa interface gráfica e registo em ficheiro. O *software* desenvolvido (em Labview®) para o sistema de aquisição de dados possibilita o controlo simultâneo das medições, bem como a análise e registo dos dados. O banco de testes integra um modelo inverso de identificação baseado em redes neuronais artificiais. Os dados para treino, validação cruzada e teste da rede são obtidos a partir de variações discretas de força/ângulo da pá vs forças na pá nos três eixos ortogonais e deformações nos extensómetros. Deste modo a rede neuronal tem como entrada os dados provenientes dos extensómetros (*input layer*) fornecendo como saída a estimativa das forças na pá, assim como o seu posicionamento relativo.

#### AGRADECIMENTOS

Fundos nacionais patrocinaram este trabalho através da FCT- Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito da bolsa de doutoramento UI/BD/153693/2022 e também nos projetos UIDB/00285/2020, UID/DTP/042143/2020, LA/P/0112/2020 e UIDB/00681/2020.

#### REFERÊNCIAS

- [1] H. Rosdahl, D. Aitken, M. Osborne, J. Willén, and J. Nilsson, “A New Versatile Jig for the Calibration and Validation of Force Metrics with Instrumented Paddles in Sprint Kayaking,” *Sensors*, vol. 24, no. 15, pp. 4870–4870, Jul. 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/s24154870>.
- [2] Christoph Ungricht, C. Graf, Georges Mandanis, Timon Wernas, M. J. Schmid, and P. Wolf, “Validation of a novel instrumentation (FlexOmega system) measuring oar bending moments on-water in rowing,” *Current Issues in Sport Science (CISS)*, vol. 8, no. 1, pp. 009–009, Jul. 2023, doi: <https://doi.org/10.36950/2023.1cis>