

ESTEIRA ERGOMÉTRICA PARA CADEIRANTES

Charles Rech, Universidade La Salle, charles.rech@unilasalle.edu.br

Pericles Nicolau Balafa, Universidade La Salle, periclesbalafas@hotmail.com

Carlos Roberto de Oliveira, Universidade La Salle, carlosolilveira@unilasalle.edu.br

Resumo. Face aos desafios da mobilidade e acessibilidade se faz necessário, cada vez mais, a união das áreas esportiva e tecnológica no intuito de prover a paratletas e demais portadores de deficiência o acesso a equipamentos e tecnologias dimensionados às suas necessidades, proporcionando meios viáveis para seu desenvolvimento. O dispositivo proposto é destinado à medição do desempenho físico de cadeirantes denominado Esteira Ergométrica para Cadeirantes. A partir da instrumentação associada a um computador, o equipamento reproduz condições físico-mecânicas e ambientais para treinos de PcD (Pessoas com Deficiência) e, considerando parâmetros reais do dia a dia, viabiliza aos seus usuários a realização de exercícios físicos no conforto de seus lares ou em centros de reabilitação, promovendo sua reabilitação física. Condições reais de pista também são reproduzidas através de parâmetros pré-definidos para treinos de paratletas cadeirantes de alto desempenho, podendo tais parâmetros serem prescritos e/ou acompanhados pelos profissionais de área como médicos, fisioterapeutas, preparadores físicos, etc.

Palavras chave: Esteira dinamométrica para cadeirantes, desempenho físico de cadeirantes, condicionamento físico de cadeirantes.

1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum que a qualidade de vida de pessoas com qualquer tipo de deficiência depende não apenas de si mesmas, como também, de equipamentos e meios específicos que propiciem condições para sua reabilitação, dimensionadas às suas necessidades. O mesmo aplica-se ao resultado do desempenho de paratletas, quando tais equipamentos e/ou ferramentas específicas para treinamento, influenciam diretamente nas chances de pessoas com grande potencial esportivo assumirem posições significativas em *rankings* de competições nacionais e internacionais. Segundo J. González-Quijano et al., (2005), o acesso de usuários de cadeiras de rodas ao esporte ou reabilitação, requer sistemas ergométricos que sejam capazes de executar testes controlados com medições simultâneas das variáveis fisiológicas e biomecânicas.

A tecnologia proposta nasce para contribuir, científico e tecnologicamente, proporcionando e/ou ampliando inúmeras habilidades funcionais de pessoas com deficiência. Trata-se de uma ferramenta que auxilia para a vida independente e inclusa dos cadeirantes, tendo como base de sua arquitetura mecânica o funcionamento de um dinamômetro de rolo. O dinamômetro é um instrumento que permite medir a intensidade das forças aplicadas e, quando associado a um sistema instrumentado via computador, possibilita o estabelecimento de parâmetros estratégicos de treino e condicionamento físico ou simples reabilitação, visto que possibilita simular as condições de carga, atrito aerodinâmico e velocidade, reproduzindo, assim, as condições de pista e terreno, ou do movimento físico-motor do cotidiano destes PcD, muito próximo do real.

Assim, a Esteira Ergométrica para Cadeirantes possibilita a medição do desempenho e do esforço físico do usuário, atuando como equipamento voltado ao treinamento e condicionamento físico-motor de paratletas de alto nível ou, em casos gerais de cadeirantes, como ferramenta para avaliação física. Ainda mais além, e de forma mais ampla, pode ser aplicado como instrumento para avaliação do funcionamento cardiovascular, durante o esforço físico, promovendo a reabilitação destes PcD, assistida pelos respectivos profissionais das áreas médica, da saúde e do esporte.

Fisioterapeutas tem prescrito à usuários de cadeiras de rodas com disfunções da coluna vertebral a avaliação da sua capacidade de propulsão, em dinamômetros aplicados como tecnologias assistivas, para obtenção de medidas ideais, uma vez que, para isso, seja necessário simular as condições de ambiente e pista considerando obstáculos reais do dia a dia, conforme Gooch et al., 2008.

O equipamento permite ensaios dinâmicos de medição de força e energia, gastas em relação ao tempo, tanto para avaliação do desempenho das cadeiras de rodas quanto para avaliação do desempenho do usuário.

2. MATERIAIS E MÉTODO

2.1 Componentes do dinamômetro

O dinamômetro aplicado na medição de desempenho de cadeirantes está destinado a medir a potência deliberada por sistemas de propulsão, tendo como base os princípios mecânicos e funcionais de um dinamômetro de rolo, fundamentalmente constituído de:

a) Cilindro girante, denominado rolo, onde é posicionada a cadeira de rodas, podendo ser construído em aço, alumínio ou mesmo polímeros como PVC (policloreto de vinila), desde que avaliadas as propriedades mecânicas de cada material, em conformidade com a sua função Fig. 1.

- b) Freio elétrico, mecânico ou hidráulico para impor carga ao sistema
- c) Motor elétrico para calibrar e tracionar o sistema sem o usuário

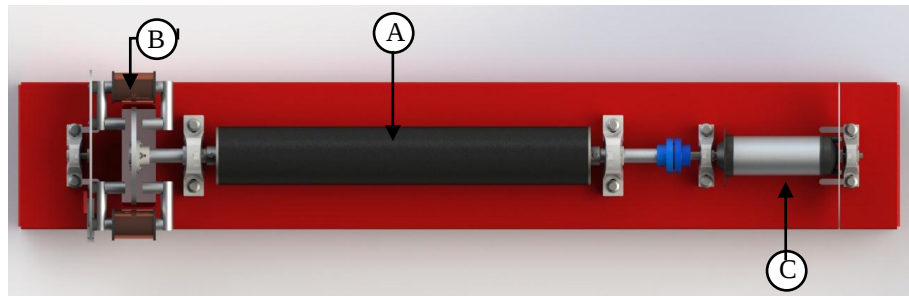


Figura 1. Vista geral da esteira (autores)

2.2 Instrumentação

A instrumentação do conjunto torna possível obter os resultados do desempenho do usuário, via computador, considerando as condições impostas na pista ou em seu dia-a-dia. São utilizados sistemas de medição, monitoramento e atuadores como célula de carga e sensor óptico de rotação.

Nesta fase do processo, pode-se associar as medições mecânicas às medições de condicionamento físico do atleta, visando sua avaliação médica para o restabelecimento de suas condições físicas ou para a prática de esportes a nível profissional, com foco em competições e condicionamento físico. Amplia-se também a possibilidade para que cadeirantes, através do uso do equipamento proposto, sejam acompanhados por profissionais da educação física, visando a avaliação comportamental para o efeito inclusão social, visto que o atletismo e a inclusão social encontram-se comumente conectados.

2.3 Aquisição de dados

Os dados são adquiridos a partir de um software e de uma placa conversora A/D, convertidos em parâmetros de potência e torque, e medidos dinamicamente em relação ao ângulo de aplicação de força do usuário. Os valores de tensão elétrica são coletados e processados com a utilização de programação e da curva de calibração dos sensores Fig. 2.

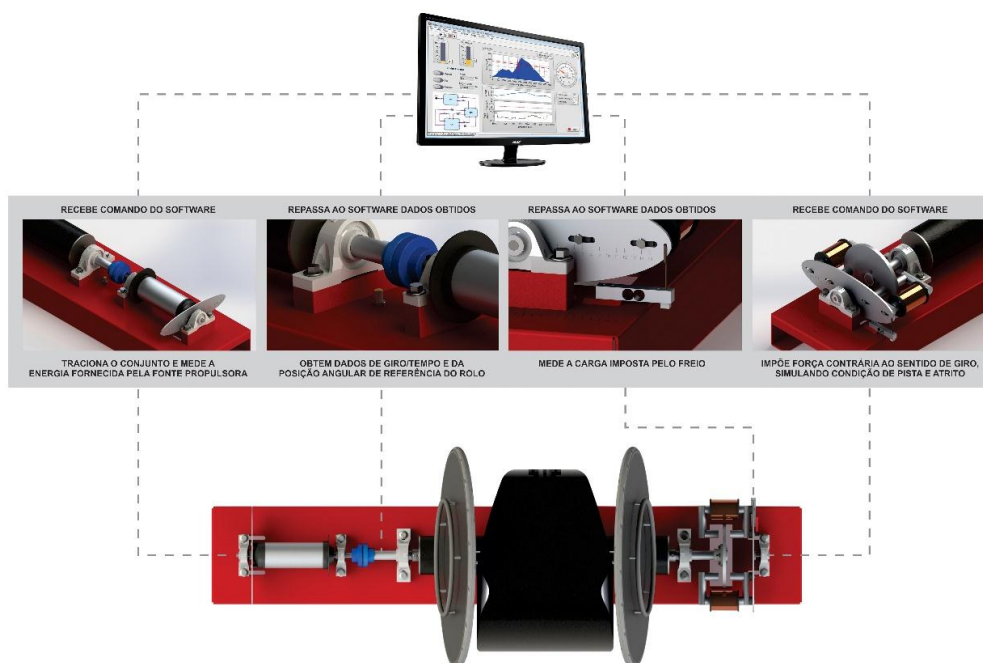


Figura 2. Esquema de aquisição de dados (autores)

2.4 Medição da Rotação

A rotação do rolo é medida por um sensor óptico da marca Autonics Fig. 3, instalado no dinamômetro e posicionado para gerar os pulsos elétricos, que são lidos na forma de frequência e convertidos em rotação (Zancanaro, 2014). Foram dispostas 20 janelas de leitura, obtendo-se resolução de 18° (dezoito graus) por volta. O programa desenvolvido recebe a informação e coleta o sinal de todos os sensores naquele instante. Com tal procedimento, a medição é realizada com base na posição angular, e não no tempo, o que diminui a incerteza da medição, considerando que dentro do ciclo de propulsão há variação de rotação em grande escala, devido à intensidade do torque pulsante entregue ao sistema.



Figura 3. Sensor óptico Autonics (autonics 2017)

2.5 Medição do torque

Na medição do torque é empregado um braço de alavanca, o qual encontra-se em balanço e acoplado ao sistema que impõe a carga. A força de reação é medida através de uma célula de carga com capacidade máxima de 1 kg e incerteza de medição relativa de 0,2% F.S., da marca Keyes Fig. 4, instalada em uma das extremidades do braço de alavanca. A célula é condicionada a uma *ponte de Wheatstone*, necessária para a medição de resistências de ordem muito baixa, com conexão a quatro fios, sendo um para cada resistência da ponte.



Figura 4. Célula de carga Keyes (autores)

2.6 Incerteza da medição dos sensores

Para incerteza de medição utiliza-se a técnica de propagação de erros proposta por Kleine McKlintock (1953). Detalhes da incerteza da medição, assim como os respectivos tempos de resposta dos sensores utilizados, podem ser encontrados em (Rech, 2010), (Soriano, 2012) e (Beckwith et al. 1993).

2.7 Dimensionamento do dinamômetro (cilindro)

Em um dinamômetro inercial é possível medir o desempenho de fontes propulsoras, considerando sua geometria, as propriedades do material e a aceleração de sua massa giratória, neste caso o cilindro girante simplesmente denominado de rolo. Na Tabela 1 são apresentados os valores utilizados no dimensionamento do dinamômetro para 100 W construído em aço carbono.

Tabela 1. Dimensionamento do dinamômetro para cadeira de rodas para 100 W

	Unidade	Nomenclatura	Aço
diâmetro das rodas da cadeira	[m]	Dr	0,700
potência imposta pelo atleta	[W]	Pm	100
velocidade final linear na cadeira	[km/h]	Vf	20
rotação na cadeira	[rpm]	Nc	152
rotação no rolo	[rpm]	Nr	884
velocidade final angular no rolo	[rad/s]	ω_f	92,6
diâmetro externo do tubo	[m]	De	0,120
diâmetro interno do tubo	[m]	Di	0,110
diâmetro externo eixo	[m]	Deixo	0,030
comprimento do tubo	[m]	Lt	0,760
comprimento do flange	[m]	Lf	0,010
comprimento do eixo	[m]	Leixo	1,000
número de flanges_Nf	[un]	Nf	2
densidade	[kg/m ³]	ρ	7890
momento de inércia do tubo	[kg.m ²]	Jt	0,0359
momento de inércia do flange	[kg.m ²]	Jf	0,0011
momento de inércia do eixo	[kg.m ²]	Je	0,0001
massa do tubo	[kg]	mt	10,832
massa do flange	[kg]	mf	0,750
massa do eixo	[kg]	me	5,577
tempo	[s]	t	3,28
momento de inércia total	[kg.m ²]	J	0,0383
aceleração do rolo	[rad/s]	α	28,2

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Ensaio de calibração sem o cadeirante

Inicialmente, para calibração do sistema, foi realizado um primeiro ensaio sem a participação do cadeirante para medir a energia que seria aplicada pelo usuário em relação ao seu peso. Foram aplicados à esteira valores de 20 kg, 40 kg, 60 kg, 80 kg e 100 kg, sobre a cadeira de rodas, montada no dinamômetro, e medido o torque imposto pelo motor elétrico para tracionar o sistema em diversas rotações. A Figura 5 representa a potência em relação à velocidade, considerando cinco diferentes ensaios de medição, com variação da carga aplicada ao sistema em função da massa. Para cada ponto foram realizadas cinco medições e aplicada a média aritmética. Observa-se que há linearidade entre a potência com o aumento da velocidade. Isto se dá devido ao fato que estão sendo medidas somente as forças de atrito de rolagem, e o atrito aerodinâmico é desprezível.

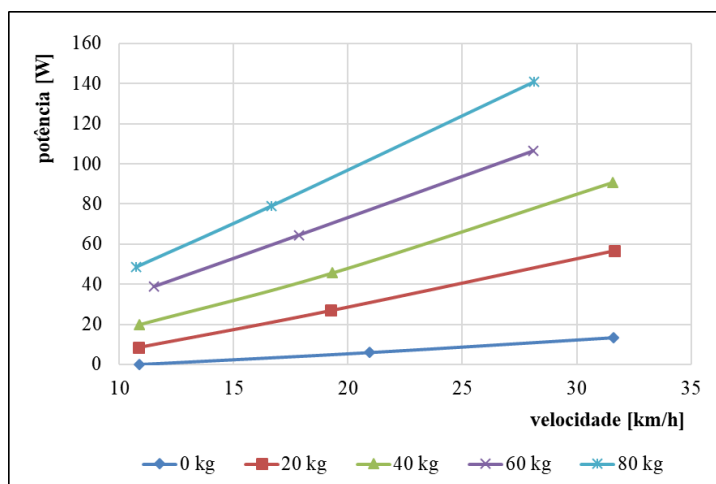


Figura 5. Gráfico da potência pela velocidade, com variação da carga

3.2 Ensaio de medição com o cadeirante

Posteriormente, já com a participação do cadeirante para a aplicação de carga no sistema, foram obtidas as curvas características referentes ao desempenho físico do paratleta maratonista de cadeira de rodas Carlos de Oliveira (2017) Fig. 6, com o objetivo de analisar seu desempenho em diferentes regimes de esforço físico e definir parâmetros de referência para treinos futuros. A Figura 6 representa a potência obtida versus tempo, em dois ensaios distintos. Verifica-se que a cada impulso aplicado há um aumento na potência, conforme esperado, em que é feita uma soma da potência devido às forças de atrito de rolagem e de inércia.

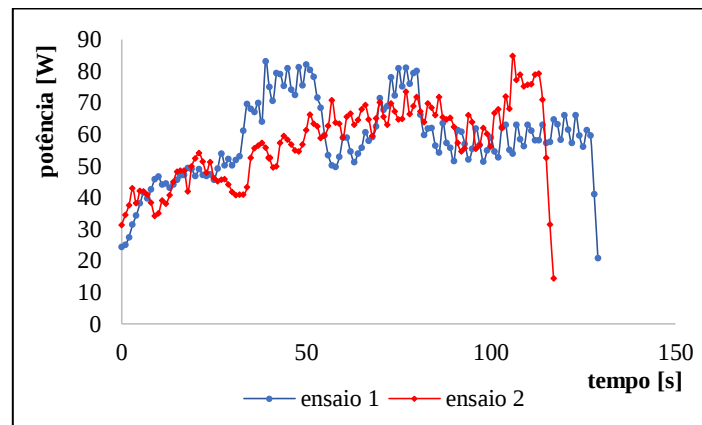


Figure 6. Potência *versus* tempo, de dois ensaios distintos



Figura 7. Maratonista de cadeira de rodas Carlos Oliveira (Carlão), durante medição Fonte: autores

4. CONCLUSÃO

Conforme os ensaios de medição realizados, o dinamômetro mostrou-se eficaz em fornecer dados de rotação, torque, potência, velocidade, aceleração, entre outros, resultantes de diferentes aplicações de carga. Pode-se observar, conforme o gráfico representado na Fig. 5, a existência de linearidade nos resultados obtidos, o que evidencia a boa qualidade das medições, considerando que fora medida somente a potência devido às forças de atrito de rolagem. A medição de potência (Fig. 6) é oriunda da soma da potência relativa ao atrito de rolagem mais a potência inercial devido a aceleração em cada instante.

Os resultados indicam que maiores velocidades de propulsão resultam em maior potência necessária do usuário da cadeira de rodas. O equipamento permite que os exercícios físicos sejam completos e quantificados. Contudo, a utilização do dinamômetro em treinamentos que visam melhorar a aptidão física e/ou cardiovascular, requerem assistência de profissionais das áreas da saúde e/ou do esporte.

5. AGRADECIMENTOS

Agradecimento especial ao paratleta gaúcho Carlos Roberto de Oliveira, o Carlão, detentor do recorde mundial na categoria Corrida Indoor pelo Guinness Book of Records, como o primeiro paratleta do mundo a alcançar a marca de 186 quilômetros percorridos em 24 horas de prova - Globo Esporte (2013), pela especial atenção e dedicação destinada a este projeto, bem como à Projelmec Ventilação industrial, pelo apoio na fabricação do dinamômetro.

6. REFERÊNCIAS

- AUTONICAS , Sensor de Proximidade (http://br.autonics.com/products/products_detail.php?catecode=01/01/04&db_uid=939), 2017
- BECKWITH T. G, MARANGONI R. D., J. H., Leinhard, Mechanical Measurements, 5ª edição. 1993
- C. RECH., Projeto de um Dinamômetro Inercial de Baixo Custo para Veículos Protótipos., Technical paper Series SAE 2005-01-087E
- GLOBO ESPORTE, Paratleta gaúcho bate recorde de corrida indoor e entra para o Guinness. Disponível em: <<http://globoesporte.globo.com/rs/noticia/2013/09/paratleta-gaucha-bate-recorde-de-corrida-indoor-e-entra-para-o-guinness.html>> Acesso em 21 jul. 2017.
- GONZÁLEZ-QUIJANO J., SÁNCHEZ J., RAYA P., MORENO J.C., PONS J.L. AND GIL A.,. Design of a Controllable Wheelchair Ergometer for Simulation of Real Life Conditions. 2005.
- GOOCH S.D., WOODFIELD T., HOLLINGSWORTH L., ROTHWELL A.G., MEDLAND A. J. AND YAO F On The Design Of Manual Wheelchairs For People With Spinal Cord Injuries. International Design Conference, 2008.
- KLEINE S. J,F. MCCLINTOCK . A., Describing uncertainties in single-sample experiments. Mech. Engr. 75:3-8, 1953.
- OLIVEIRA, C. R., Disponível em: <<http://www.carlaoliveira.com/>> Acesso em 01 ago. 2017.
- SORIANO, B. S., RECH, C., Steady discharge coefficient in Internal combustion engine In: 14th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, Rio de Janeiro - RJ. Proceedings of ENCIT 2012. Rio de Janeiro: ABCM, 2012.
- ZANCANARO, F.V., Análise numérica e experimental da combustão de metano em motores de combustão interna alternativos. Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2014.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.