



XXIV CREAM
Congresso Nacional de Estudantes
de Engenharia Mecânica



Universidade Federal
do Rio Grande



INSTITUTO FEDERAL
RIO GRANDE DO SUL
Campus Rio Grande

XXIV Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 11 a 15/09/2017 – Rio Grande - RS

ESTEIRA ERGOMÉTRICA PARA CADEIRANTES

Pericles Nicolau Balafa, Charles Rech, Carlos Roberto de Oliveira

Universidade La Salle, Departamento de Engenharia Mecânica
Avenida Victor Barreto, 2288 – Canoas/RS
periclesbalafas@hotmail.com

RESUMO

Notadamente, face aos desafios da mobilidade e acessibilidade, bem como a escassez de recursos direcionados ao paratletismo, se faz necessário, cada vez mais, a união das áreas esportiva e tecnológica no intuito de prover aos atletas portadores de deficiência o acesso a equipamentos, recursos e tecnologias dimensionados às suas necessidades, proporcionando assim meios viáveis para seu desenvolvimento. Este trabalho trata do projeto e desenvolvimento de uma ferramenta para medição do desempenho físico de cadeirantes (PcDs), denominada Esteira Ergométrica para Cadeirantes, a qual possui 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, com base na proporcionalidade entre a força aplicada e a deformação produzida. Convertendo tais forças medidas em energia (Calorias ou Joules) e potência (Watts), a partir da instrumentação associada a um computador, a Esteira Ergométrica para Cadeirantes reproduz condições físicas, mecânicas e ambientais para treinos, os quais podem ser acompanhados e/ou prescritos pelos respectivos profissionais de área (médicos, fisioterapeutas, técnicos, preparadores físicos, etc.), considerando os parâmetros reais do dia a dia e, inclusive, condições reais de pista, em casos de treinamento físico de paratletas cadeirantes de alto desempenho.

Palavras-Chave: dinamômetro, paratletas, cadeirantes

ABSTRACT

Notably, it is observed several mobility and accessibility challenges for wheelchair users. This issue is somehow related to the scarcity of available financial resources, which causes a limitation in the development and mobility of people with special needs or even para-athletes in Brazil. Based on this historical problem, it is increasingly necessary to unite the sports and technology areas in order to provide wheelchair users access to equipment, resources, technologies and professional accompaniment adapted to their needs, providing then what is required to allow their development and increased social inclusion. The dynamometer allows the measurement of resistance resulted from applied forces, and its operation is based on the relationship between the applied force and the resulting deformation. From the para-athlete's applied power and performance it is possible to establish strategic parameters of training and physical conditioning as the dynamometer can simulate the conditions of load, aerodynamic friction and speed in the racing track. The same also is applied to ordinary wheelchair users, where the use of the dynamometer results in data on the patient's physical condition to allow then a better clinical evaluation.

Keywords: dynamometer, parathletes, wheelchair users

INTRODUÇÃO

É de conhecimento comum que a qualidade de vida de pessoas com qualquer tipo de deficiência depende não apenas de si mesmos, como também, de equipamentos e meios específicos que proporcionem 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 na chance de pessoas com grande potencial esportivo assumirem posições significativas em *rankings* de competições nacionais e internacionais.

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. Tais forças, quando convertidas em energia (Calorias ou Joules) e potência (Watts), a partir da instrumentação associada a um computador possibilitam estabelecer parâmetros estratégicos de treino e condicionamento físico ou simples

reabilitação para cadeirantes. Isto se faz possível tendo em vista que, no dinamômetro, pode-se simular as condições de carga, atrito aerodinâmico e velocidade, reproduzindo assim condições de pista e terreno ou do movimento físico-motor do cotidiano destes PcDs.

Assim, a Esteira Ergométrica para Cadeirantes possibilita a medição do desempenho e do esforço físico de cadeirantes, 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 e fisioterapia. Além disso, e de forma mais ampla, pode ser aplicada como instrumento para avaliação do funcionamento cardiovascular durante o esforço físico, promovendo a reabilitação física destes PcDs, assistidos pelos respectivos profissionais das áreas médica, da saúde e do esporte.

METODOLOGIA

1 Material e Métodos

A Esteira Ergométrica para Cadeirantes é um instrumento 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:

- Cilindro girante, denominado rolo do dinamômetro, onde a cadeira de rodas é posicionada, construído em aço, podendo também ser 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)
- Mancais Fig. (1)
- Acoplamento de eixo flexível Fig. (1)
- Eixo Fig. (1)
- Chassis/plataforma dos componentes Fig. (1)
- Motor elétrico para calibragem do sistema a partir da rolagem do conjunto sem carga Fig. (2)
- Freio elétrico, mecânico ou hidráulico – previsto para imposição de carga ao sistema Fig. (3)
- Sensor de medição de rotação fotoelétrico, indutivo ou por efeito hall Fig. (2)
- Sistema de medição de força por célula de carga elétrica ou mecânica Fig. (3)
- Sistema de aquisição, processamento e monitoramento de dados via computador a partir de software especialmente dimensionado Fig. (4)

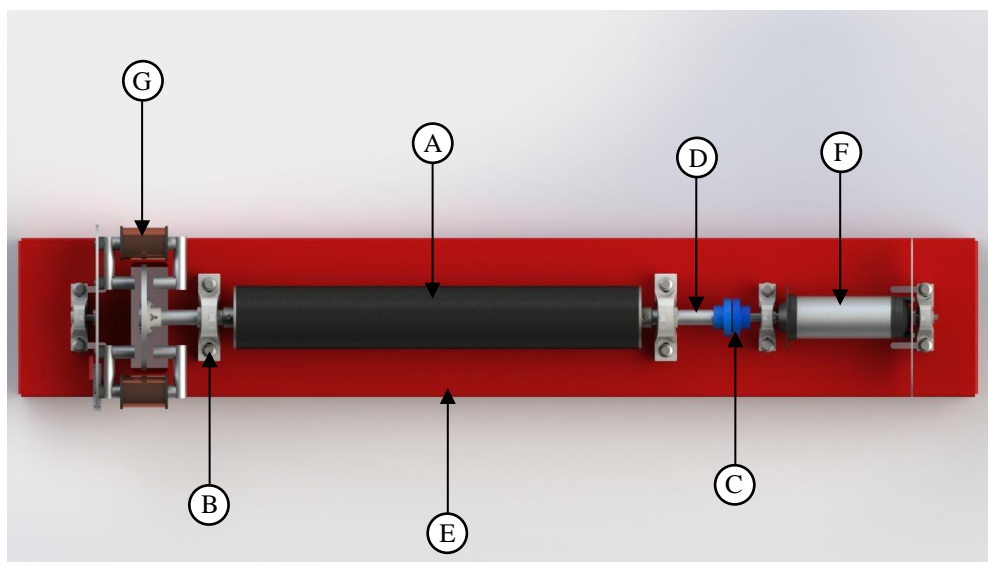


Figura 1. Vista geral da esteira

1.1 Projeto e Construção

Além do cilindro onde a cadeira de rodas é posicionada, encontra-se acoplado à extremidade esquerda do eixo, um motor elétrico Fig. (2), o qual tem como função tracionar o conjunto e simular a energia fornecida pelo cadeirante. Na extremidade oposta está previsto, para uma próxima etapa, o acoplamento de um sistema de freio (nas imagens, um

freio de Foucault) Fig. (3) utilizado para a imposição da carga real, considerando inclinações de terreno, condições de pista, atrito aerodinâmico, entre outros, tal qual o usuário estará sujeito.

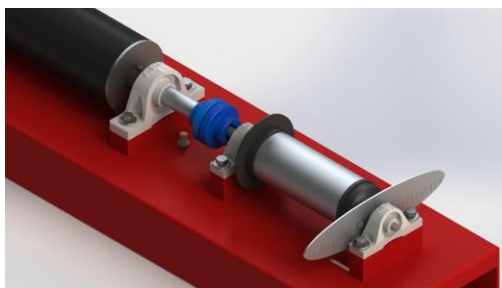


Figura 2. Detalhe do motor elétrico e sensor óptico de rotação



Figura 3. Detalhe da célula de carga e do sistema de freio

1.2 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, sensor óptico de rotação (podendo também ser por efeito hall ou indutivo) e um sistema de freio (previsto para próxima etapa do projeto).

Nesta fase do processo, pode-se associar as medições mecânicas às medições de condicionamento físico do atleta. Ou seja, trata-se de oportunidade para uma parceria com a área da saúde, visando a avaliação médica do usuário. Tem-se, portanto, a etapa mais importante do projeto, uma vez que se faça possível avaliar se o usuário terá condições físicas para a prática de esportes a nível profissional, com foco em competições, ou para simples condicionamento físico e saúde do corpo. Ampliamos 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 Procedimento experimental

A Esteira Ergométrica para Cadeirantes 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/paratleta. Os dados adquiridos são convertidos em parâmetros de potência e torque, e medidos dinamicamente em relação ao ângulo de aplicação de força do usuário.

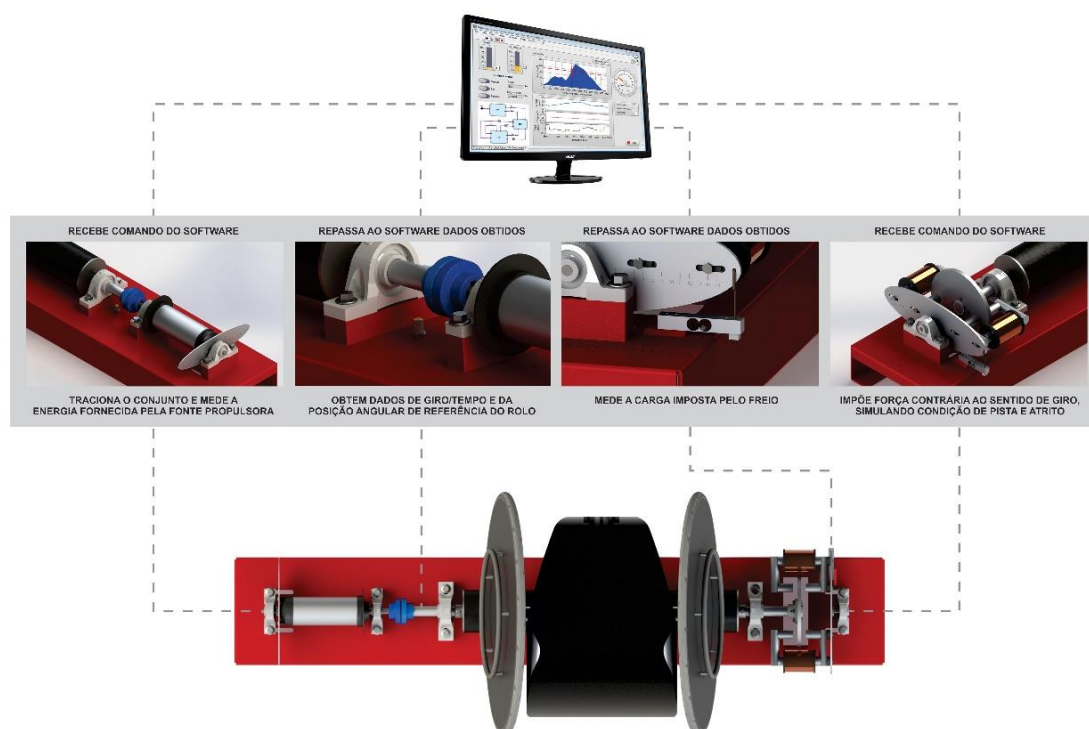


Figura 4. Esquema de aquisição de dados

2.1 Aquisição de Dados

Os dados são adquiridos a partir de um software e de uma placa conversora A/D. Os valores de tensão elétrica são coletados e processados com a utilização de programação e da curva de calibração dos sensores. Fig. (4).

2.2 Posição angular do rolo

A rotação do rolo é medida por um sensor óptico da marca Autonics Fig. (5), 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 entregue ao sistema.



Figura 5. Sensor óptico Autonics

2.3 Medição do torque

Para medição do torque é empregado um braço de alavanca, o qual se encontra em balanço, e pode ser acoplado ao eixo do motor elétrico ou do rolo. 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. (6), instalada em uma das extremidades do braço de alavanca (eixo do motor elétrico ou eixo do rolo – célula de carga). 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 6. Célula de carga Keyes

2.4 Incerteza da medição dos sensores

A incerteza da medição, assim como os respectivos tempos de resposta dos sensores utilizados, pode ser encontrada em Rech (2010) e Soriano (2012).

3 Equações governantes

3.1 Dimensionamento do dinamômetro

Em um dinamômetro inercial é possível medir o desempenho de fontes propulsoras, considerando sua geometria, as propriedades do material e o tempo de aceleração de sua massa giratória, neste caso, o cilindro girante simplesmente denominado de rolo. A partir dessas medidas pode-se determinar o torque e a potência produzidos, tomando intervalos pequenos de tempo. De acordo com a Segunda lei de Newton, um corpo sob a ação de uma força sofre uma aceleração que tem a mesma direção e sentido da força aplicada, e um módulo diretamente proporcional à força, em Halliday (1996):

$$F = m \cdot a \quad (1)$$

em que F representa a força aplicada, m a massa e a é a aceleração. Analogamente, é possível determinar a equação que governa o movimento de rotação:

$$\tau = I \cdot \alpha \quad (2)$$

onde τ representa o torque, I o momento de inércia de massa e α é a aceleração angular. O momento de inércia de massa teórico para um cilindro pode ser calculado conforme a equação:

$$I = \frac{m \cdot r^2}{2} \quad (3)$$

em que r representa o raio do cilindro. Considerando um cilindro em formato tubular, o momento de inércia de massa consiste na diferença entre o momento de inércia (considerando o raio externo) com o momento de inércia (considerando o raio interno) do cilindro. Já o momento de inércia total será a soma de todos os momentos de inércia das massas giratórias do sistema, ou seja, dos cilindros, flanges, eixos, volantes, etc.

A massa m de cada parte cilíndrica do sistema pode ser calculada a partir das propriedades do material, tal como a densidade, ou seja:

$$m = \rho \pi (r_e^2 - r_i^2) L \quad (4)$$

em que ρ representa a densidade do material utilizado, L o comprimento do cilindro, e os sub índices e e i significam raio externo e interno respectivamente.

A aceleração angular consiste na variação da velocidade angular em relação a um intervalo de tempo:

$$\alpha = \frac{\Delta\omega}{\Delta t} \quad (5)$$

em que ω representa a velocidade angular e t é o intervalo de tempo.

A partir das equações de Eq. (1) a Eq. (5), é possível dimensionar um dinamômetro inercial para medição do desempenho de fontes propulsoras, na presente proposta, PcDs usuários de cadeiras de rodas, conforme Tab. 1.

Tabela 1. Dimensionamento de dinamômetro para cadeira de rodas considerando dois materiais alumínio e aço carbono

Dinamômetro (material)	Unidade	Nomenclatura	Alumínio	Aço
Diâmetro da rodada cadeira	[m]	Dr	0,700	0,700
Potência imposta pelo atleta	[W]	Pm	100	100
Velocidade final linear na cadeira	[km/h]	Vf	20	20
Rotação na cadeira	[rpm]	Nc	152	152
Rotação no rolo	[rpm]	Nr	707	884
Velocidade final angular no rolo	[rad/s]	ω_f	74,1	92,6
Diâmetro externo do tubo	[m]	De	0,150	0,120
Diâmetro interno do tubo	[m]	Di	0,137	0,110
Diâmetro externo eixo	[m]	Deixo	0,025	0,030
Comprimento do tubo	[m]	Lt	0,760	0,760
Comprimento do flange	[m]	Lf	0,010	0,010
Comprimento do eixo	[m]	Leixo	1,000	1,000
Número de flanges_Nf	[un]	Nf	1	2
Densidade	[kg/m ³]	ρ	2690	7890
Momento de inércia do tubo	[kg.m ²]	Jt	0,0303	0,0359
Momento de inércia do flange	[kg.m ²]	Jf	0,0009	0,0011
Momento de inércia do volante	[kg.m ²]	Jv	0,0000	0,0000
Momento de inércia do eixo	[kg.m ²]	Je	0,0001	0,0001
Massa do tubo	[kg]	mt	5,858	10,832
Massa do flange	[kg]	mf	0,398	0,750
Massa do eixo	[kg]	me	1,320	5,577
Tempo	[s]	t	1,72	3,28
Momento de inércia total	[kg.m ²]	J	0,0313	0,0383
Aceleração do rolo	[rad/s]	α	43,1	28,2

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente, para calibração do sistema, foi realizado um primeiro ensaio sem a participação do cadeirante, onde a energia que seria aplicada no tempo, pelo usuário, foi medida na esteira (rolo) utilizando diferentes massas de 20 kg, 40 kg, 60 kg, 80 kg e 100 kg, para simular a carga (massa do cadeirante) sobre a cadeira de rodas, e o motor elétrico para tracionar o sistema. A Fig. (7) representa a potência em relação à velocidade, considerando cinco diferentes ensaios de medição, com variação da carga aplicada ao sistema. 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, visto que o sistema está parado e não há, portanto, atrito aerodinâmico.

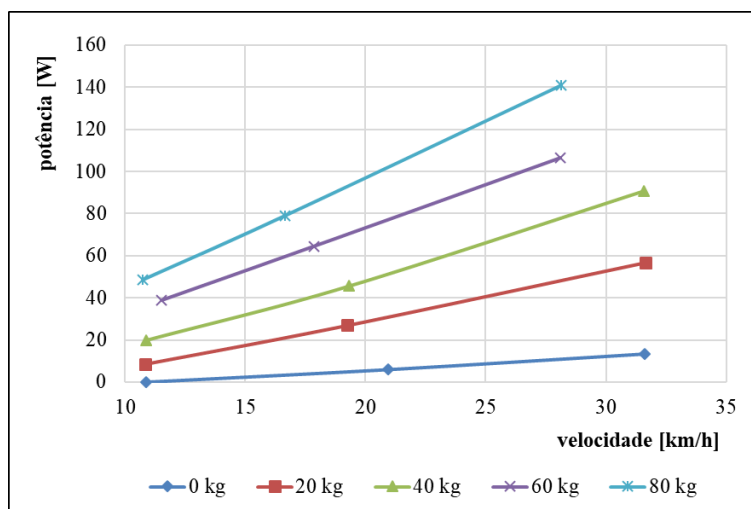


Figura 7. Gráfico da potência pela velocidade, com variação da carga

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. (9), com o objetivo de analisar seu desempenho em diferentes regimes de esforço físico e definir parâmetros de referência para treinos futuros. A Fig. (8) 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.

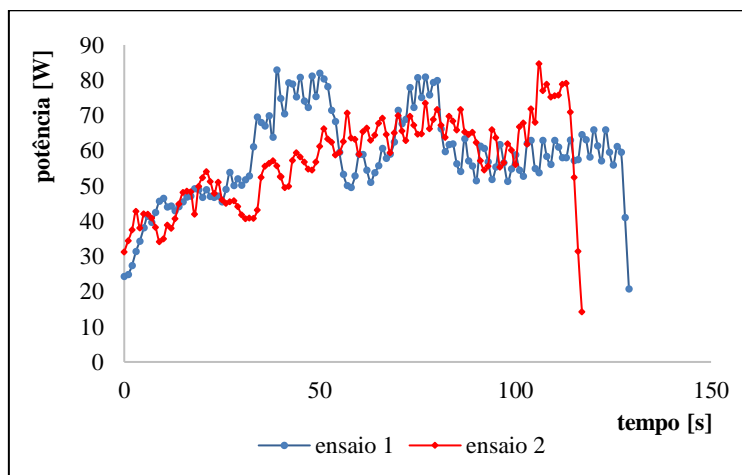


Figura 8. Potência versus tempo, de dois ensaios distintos



Figura 9. Maratonista de cadeira de rodas Carlos Oliveira (Carlão), durante medição Fonte: autores

CONCLUSÃO

Conforme os ensaios de medição realizados, a Esteira Ergométrica para Cadeirantes mostrou-se capaz de 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. (7), a existência de linearidade nos resultados obtidos, o que evidencia a boa qualidade das medições, considerando que fora medida somente a potência devido as forças de atrito de rolagem. Os parâmetros resultantes dos ensaios foram devidamente armazenados em computador e possibilitarão, em breve, definir estratégias de treino baseadas na performance de um paratleta de alto desempenho, as quais poderão ser utilizadas para o treino de novos paratletas, ainda que sem a presença de um treinador. A validação da metodologia experimental empregada se dará, por fim, através do confronto de seus resultados medidos na Esteira Ergométrica para Cadeirantes, com os resultados que ainda serão medidos em pista, os quais irão contemplar a potência, devido ao atrito aerodinâmico, bem como a condição de trabalho que contempla o atrito de rolagem. A reprodução das condições reais de pista, voltada a treinos específicos de paratletas, se dará a partir da adição de um sistema de freio ao conjunto, já previsto como um recurso futuro, para imposição de carga ao sistema.

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.

REFERÊNCIAS

- CHAPMAN, J. S., Electric Machinery Fundamentals. 4ª Edição, Editora Mc Graw-Hill, New York, NY. 2005.
- 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-gaucho-bate-recorde-de-corrida-indoor-e-entra-para-o-guinness.html> >Acesso em 21 jul. 2017.
- HALLIDAY, Robert David, et al. Fundamentos da Física LTC volume 1, 4 edição. 1996
- OLIVEIRA, CARLOS 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, 2012, 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.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.