

PROJETO DE UMA CADEIRA DE RODAS DE ATLETISMO

Thiago José Donegá, Laboratório de Projetos Mecânicos – NH/RESP, thdonega@yahoo.com.br
Deny Freitas, Laboratório de Projetos Mecânicos – NH/RESP, denyfreitas@hotmail.com
Rogério José Maria Borges – NADH/CEMEPE - rjborges8@hotmail.com
Cleudmar Amaral de Araújo, Laboratório de Projetos Mecânicos – NH/RESP, cleudmar@mecanica.ufu.br
Sérgio Nadler – Empresa Alphamix

PROJETO DESENVOLVIDO NO NH/RESP

Resumo. A corrida em cadeira de rodas de atletismo é um esporte que se fez presente nas paralimpíadas desde suas primeiras edições. No início este esporte era praticado utilizando das mesmas cadeiras de rodas de vida diária. Porém, visando obter um melhor desempenho na modalidade, iniciou-se um processo de mudanças nas cadeiras de forma a torná-las apropriadas para competições. Estas mudanças foram e são objetos de pesquisa de muitos estudiosos em todo o mundo. O objetivo deste trabalho é projetar e fabricar uma cadeira de rodas de atletismo otimizada. O projeto inicial foi desenvolvido a partir de um modelo convencional. Utilizando aplicativo Autodesk Inventor, toda a parte estrutural foi projetada e avaliada através de modelos de elementos finitos. As avaliações desenvolvidas, até o momento, mostraram que existem regulagens e dimensões nas cadeiras de rodas de atletismo que podem influenciar na performance final do atleta.

Palavras chave: Esporte Paralímpico, Cadeira de Rodas de atletismo, Pessoas com deficiência, tecnologia assistiva.

1. INTRODUÇÃO

O esporte é uma atividade que pode ajudar pessoas com deficiências graves a ter uma vida mais saudável e mais feliz. Ele pode ajudar a melhorar a autoestima e até mesmo a alcançar certo grau de independência (GOLD e GOLD, 2007).

Motivado pelos benefícios que o esporte pode proporcionar, o neurocirurgião Ludwig Guttmann utilizava o esporte como parte do tratamento de lesados medulares no hospital de Stoke Mandeville, na Inglaterra em meados dos anos 1940. A partir de seu trabalho, Guttman iniciou o que pode ser chamado de “o pontapé inicial” para a criação dos Jogos Paralímpicos. Pois, ele se utilizou do esporte para motivar competições que se iniciaram com os pacientes do hospital de Stoke Mandeville. Em pouco tempo estas competições ganharam proporções internacionais, e desta forma proporcionaram a criação dos Jogos Paralímpicos (MELLO e WINCKLER, 2012).

O atletismo teve sua presença inicial nos jogos de 1960 que também é considerado o ano dos primeiros Jogos Paralímpicos. A modalidade atletismo pode ser disputada por atletas usuários ou não de cadeira de rodas. De forma que, para os usuários existem provas de corridas disputadas utilizando-se de cadeiras de rodas específicas, diferentes das utilizadas no dia-a-dia.

Segundo Mâsse, Lamontagne e O'riain (1992), mudanças feitas no desenho da cadeira de rodas de atletismo, desde o início da sua utilização, ocasionaram ganhos relevantes no tempo de percurso das corridas.

Assim, diante da importância de se obter um melhor desempenho para o esporte, e visto que este é decorrente de ajustes realizados no equipamento, este trabalho teve por objetivo avaliar a evolução deste equipamento e projetar uma cadeira de rodas otimizada. A revisão bibliográfica apresentada neste trabalho foi direcionada para as pesquisas destinadas à análise dos parâmetros que mais influenciam na performance do esporte em cadeiras de rodas de atletismo.

Como resultado dos estudos encontrados, as informações foram organizadas de forma a elucidar as mudanças realizadas e as diferentes configurações utilizadas em cadeiras de rodas de corrida. Estas mudanças e configurações são resultados da constante busca pela melhoria de desempenho no esporte.

2. O ESPORTE EM CADEIRA DE RODAS DE ATLETISMO

De acordo com Mâsse, Lamontagne e O'riain, (1992) na década de 1980 foram testemunhadas melhorias extraordinárias nos recordes de corridas de cadeira de rodas. As mudanças no desempenho observadas ao longo dos anos, podem ser atribuídas, em parte, ao desenvolvimento de melhores cadeiras de rodas. Segundo os autores, desde a introdução da corrida de cadeira de rodas, ocorreram mudanças drásticas no desenho das cadeiras. Algumas das mudanças ocorridas foram: abaixar o assento, cambagem das rodas traseiras e alteração da posição das rodas traseiras para frente, modificação no diâmetro das rodas traseiras e dos aros de propulsão, e também alterações na estrutura

Segundo Katariina (2008), na época em que tiveram início as corridas em cadeiras de rodas as competições não passavam de 200 metros. Com o passar dos anos as cadeiras sofreram bastante alterações, sendo que melhoraram muito ao longo dos anos, para atender as especificações das corridas. Hoje em dia as cadeiras de rodas de corridas são bastante leves, e são feitas de uma monoestrutura que pode ser de alumínio, aço inox, titânio, etc. Estas cadeiras de rodas tem

pneus tubulares, cubos de precisão, rodas grandes e pequenos aros de propulsão para otimizar a habilidade individual de corrida. Para melhorar o desempenho, as cadeiras de rodas de corridas são construídas de uma maneira mais aerodinâmica que cadeiras do dia-a-dia. A Figura 1, apresenta um comparativo visual entre as primeiras cadeiras de rodas de corrida e as cadeiras atuais.



Figura 1. Comparativo visual entre cadeira de rodas de atletismo: (a) cadeira de rodas de corrida utilizada nos anos 1980, e; (b) modelo utilizado a partir dos anos 1990. Disponível em:
http://www.mandevillelegacy.org.uk/page_id__37_path__0p4p14p22p.aspx

3. O ARO DE PROPULSÃO

Segundo Katariina (2008), o tamanho e o posicionamento do aro de propulsão é um dos vários fatores que influenciam no esforço físico do atleta e, conseqüentemente na qualidade de propulsão da cadeira.

Em seus estudos Bleakney (2004), menciona que o aro utilizado na cadeira de rodas de corrida pode variar de tamanho. Em geral os diâmetros variam entre 10 e 16 polegadas (25,4 cm a 40,64 cm).

Embora a escolha do diâmetro do aro de propulsão é feita seguindo preferências do atleta, o diâmetro apropriado é determinado primeiramente pelo comprimento do braço e do tronco. A seleção do diâmetro deve permitir ao atleta um acesso confortável das mãos à parte inferior dos aros ao sentar-se em uma posição de impulso (Figura 2). A definição do diâmetro deve ir ao encontro do objetivo a ser alcançado, pois o aro de propulsão com diâmetro menor é favorável à maior velocidade, enquanto que o maior diâmetro favorece na aceleração e nas subidas (BLEAKNEY, 2004).



Figura 2. Atleta em posição de impulso. Disponível em:
http://linux.alfamaweb.com.br/sgw/banco_de_imagens/ae/080828104549_Atletismo_Cadeira_peq.jpg

Quando se faz necessário transpor subidas ou se obter um aumento rápido de velocidade, se necessita um maior torque na propulsão. Devido a isto, utilizar-se de diâmetros maiores do aro de propulsão pode ser mais eficaz. No entanto, aros com maior diâmetro fadigam o atleta mais rapidamente e apresentam um gasto metabólico maior. Por outro lado, quando se necessita empregar maiores velocidades à cadeira de rodas os aros menores são mais eficientes e reduzem o estresse cardiorrespiratório. Porém isto não é válido para corridas de longo alcance, onde a extenuação pode ultrapassar o limite anaeróbio, ou seja, o atleta pode não ser capaz de manter a mesma intensidade de esforço durante a corrida. (COSTA, RUBIO, *et al.*, 2009).

4. CENTRO DE GRAVIDADE E POSIÇÃO DO ASSENTO

De acordo com Katariina (2008), quando se deseja planejar e construir uma cadeira de rodas, devem ser observados alguns pontos que são essenciais ao desempenho do atleta. Assim, outro fator que interfere nos resultados do atleta é a posição do eixo das rodas em relação ao ombro dos sujeitos.

De acordo com Sagawa Júnior, *et al.* (2012) *apud* Boninger *et al.* (2000), quanto mais à frente e mais próximo em relação ao ombro dos indivíduos o eixo estiver posicionado, menor será o esforço executado, menor será a frequência de toque e maior será o tempo em contato com o aro de propulsão. Nessa postura, a resistência das rodas diminui e o aro de propulsão fica mais próximo dos indivíduos. Essas modificações estariam associadas com o aumento da qualidade da propulsão, bem como o decréscimo da taxa de crescimento da curva de força.

A relação entre o centro de gravidade e a posição de aderência das rodas afeta as características de uma boa rodagem. Quando a cadeira de rodas tem mais massa atrás é mais fácil de tocar, porém é mais fácil tombar para trás.

Nestas cadeiras de rodas os encostos de braço são curtos, de modo que a posição do atleta para impulsionar a cadeira, é mais para frente. Assim, as deficiências nos membros e a diferença no peso destes atletas devem ser consideradas quando se projeta uma cadeira de rodas de corrida (KATARIINA, 2008).

A distância entre eixos e a largura, ambos influenciam a condução e performance. Especificamente uma grande distância entre eixos traz mais estabilidade, porém menos controle. Geralmente as cadeiras de rodas são bastante controláveis e manobráveis, e conseqüentemente pouco estáveis. Isto é porque os usuários preferem controle à estabilidade sobre a cadeira (COOPER, 1991).

De acordo com Cooper (1991), existem várias dimensões cruciais de assento a serem consideradas no projeto de cadeiras de rodas de esportes, como altura do assento, ângulo, profundidade, largura, altura do encosto, e ângulo do encosto. Geralmente as cadeiras de rodas esportivas devem ser o mais estreitas possível.

Conforme Katariina (2008), a posição do assento influencia na efetividade do impulso. E de acordo com Mâsse, Lamontagne e O'riain (1992), diferentes posições de assento alteram o padrão de propulsão dos atletas e conseqüentemente afetam o seu desempenho. Um dos problemas voltados para o atleta é definir a posição de assento necessária para alcançar uma técnica de propulsão ótima. Portanto, pesquisas no desenho da cadeira de rodas podem permitir aos atletas melhorar seu desempenho através de uma melhor técnica de propulsão.

Katariina (2008) *apud* Masse e Lamontagne (1992), observaram em seus estudos que o assento na posição meio-baixo e atrás-baixo é mais eficaz para o impulso que nas posições frontal-baixo, frontal-alto, meio-alto, ou atrás-alto.

5. CAMBAGEM

Outra característica importante a ser considerada em relação ao desempenho do atleta é a cambagem. A cambagem é o ângulo de inclinação da roda em relação ao plano horizontal do solo a partir de 90° (Figura 3). A cambagem nas rodas permite ao atleta se ajustar ao assento sem comprometer o acesso ao aro de propulsão além de estabilizar a cadeira de rodas em movimento. A faixa do ângulo de cambagem geralmente está entre 7° e 15°, de forma que a maioria dos valores utilizados está entre 11° e 13° (BLEAKNEY, 2004).

Um estudo nas características das cadeiras de rodas durante as Paralimpíadas de 1980 apresentou uma tendência de aumento do sucesso dos atletas com a aplicação da cambagem (VEEGER, *et al.* 1989).

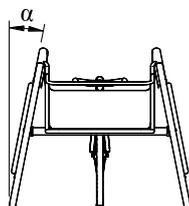


Figura 3. α : ângulo de cambagem na roda traseira (cadeira de rodas vista por trás).

O trabalho de Veeger, *et al.* (1989), determinou se o aumento da cambagem leva a um nível mais eficiente da propulsão em cadeiras de rodas, em termos de parâmetros fisiológicos e padrão de movimentos.

Os resultados apresentados por Veeger, *et al.* (1989), mostraram que a mudança na cambagem, de zero para nove graus, resultou em uma menor resistência de rodagem. Ou seja, a resistência de rodagem diminuiu com o aumento do ângulo de cambagem. No entanto, os resultados dos dados cinemáticos não confirmam a expectativa de que o aumento do ângulo de cambagem facilita o movimento dos braços.

Segundo Cooper (1991), quando é adicionado um ângulo de cambagem na roda traseira da cadeira de rodas a rigidez efetiva entre a superfície de rodagem e a estrutura é reduzida. Como vantagens adicionais, o aumento da área de contato entre o pneu e o chão aumenta a estabilidade lateral de rodagem, acelera o giro (curva) e produz um impulso biomecânico de braço mais natural.

Por outro lado, Tsai, *et al.* (2007), verificaram que quando é utilizado um ângulo de cambagem grande (15°) nas rodas traseiras da cadeira de rodas há a necessidade de o cadeirante aplicar mais força no aro de propulsão para impulsionar a cadeira. Isto se dá devido ao atrito entre o pneu e o chão que se tornam maiores quando a cambagem aumenta, devido ao aumento da área de contato entre o pneu e o solo.

6. USO DO DISPOSITIVO DE DIREÇÃO PARA FAZER CURVAS

O compensador (dispositivo de direção), é uma peça de formato triangular de aço que se situa acima ou abaixo do tubo principal da estrutura (Figura 4). É usado em corridas de pista para fazer curvas. Os componentes essenciais do compensador são o cilindro, o qual é vinculado à roda frontal, e dois limitadores, geralmente parafusos, rosqueados em ambos os lados do compensador. O ajuste da posição dos limitadores da roda frontal é necessário. O limitador do lado esquerdo deve ser ajustado para fazer a curva, e o do lado direito para manter a reta (BLEAKNEY, 2004).

Durante a competição, quando se inicia a curva o atleta dá um empurrão no limitador esquerdo para posicionar a roda frontal apropriadamente de forma a se fazer a curva enquanto o atleta prossegue propulsionando a cadeira. E ao término da curva, o atleta dá um empurrão do lado direito para a cadeira se manter em linha reta (BLEAKNEY, 2004).



Figura 4. Cadeira de rodas de corrida vista frontal e superior (BLEAKNEY, 2004)

7. PROJETO DA CADEIRA DE RODAS DE ATLETISMO

Inicialmente foi projetada uma cadeira de rodas de atletismo baseada em equipamentos existentes no mercado. A estrutura desta cadeira baseou-se em informações obtidas a partir de equipamentos convencionais de alta performance existentes no mercado. A Figura 5 mostra a parte frontal da estrutura com alguns dispositivos e acessórios que fazem parte deste tipo de equipamento.

Em seguida pretende-se avaliar os ajustes necessários à melhor performance dos atletas. A partir das informações, desta avaliação, será projetada e redesenhada uma nova estrutura com novas configurações visando atender aos ajustes verificados. O novo projeto será elaborado em softwares de modelagem Solidworks e Inventor. A validação do modelo será feita através de simulações sendo dimensionado por meio de modelos tridimensionais de elementos finitos.

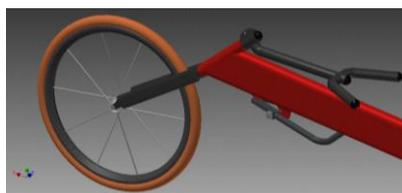


Figura 5. Visão da parte frontal da estrutura da cadeira de rodas de atletismo.

Modelos tridimensionais por elementos finitos foram desenvolvidos em software ANSYS. Os resultados desta avaliação apresentaram uma relação igual a 1,75 entre a tensão de escoamento e a tensão máxima na estrutura. Assim, mediante este resultado verificou-se que é possível executar alterações na estrutura para torná-la mais rígida e mais leve. A Figura 6 mostra as tensões equivalentes de von Mises para o primeiro modelo de elementos finitos avaliado.

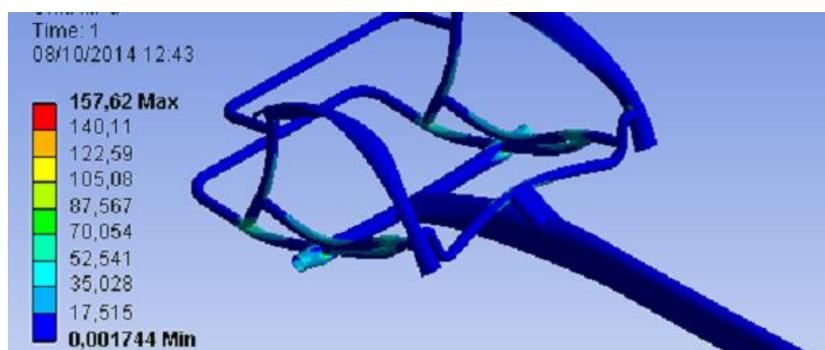


Figura 6. Tensões de von Mises na estrutura da cadeira de rodas de corrida.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O projeto desenvolvido até o momento indica que a performance relacionada ao projeto da cadeira de rodas de atletismo pode ser influenciada por diversos parâmetros, como por exemplo, o aro de propulsão mais apropriado para corridas de curta ou de longa distância. Os estudos demonstram também que não se pode estabelecer um padrão ótimo

de cadeira de rodas que se enquadre para todos os atletas, devido às características específicas dos indivíduos. Adicionalmente, se observou que é possível aperfeiçoar a estrutura das cadeiras de rodas atuais de forma que se tornem mais rígidas e mais leves para as corridas.

9. REFERÊNCIAS

- Bleakney, A. Track and Field Manual. St Decatur: US DisabledAthletes Fund Inc., 2004.
- Cooper, R. A. High-Tech Wheelchairs Gain the Competitive Edge. IEEE Engineering in Medicine and Biology, Califórnia, p. 49-55, December 1991.
- Costa, G. B. et al. Case Study: Effect of Handrim Diameter on Performance in a Paralympic Wheelchair Athlete. Human Kinetics, Valencia, Spain, p. 352-363, 2009.
- Gold, J. R.; Gold, M. M. Access for all: the rise of the Paralympic Games. The Journal of the Royal Society for the Promotion of Health, v. 127, n. 3, p. 133-141, April 2007.
- Huang, Y. C. et al. Effect of Wheel Camber on Mechanical Energy and Power Flow Analysis of the Upper Extremity in Wheelchair Propulsion. Journal of Biomechanics, July 2007.
- Katariina, J. Kinematic Differences between Three Wheelchair Racers (T54) in Sprint Start, Jyväskylä, p. 54, 2008.
- Mâsse, L. C.; Lamontagne, M.; O'Riain, M. D. Biomechanical analysis of wheelchair propulsion for various seating positions. Journal of Rehabilitation Research, v. 29, p. 12-28, 1992.
- Mello, M. T. D.; Winckler, C. (Eds.). Esporte Paralímpico. São Paulo: Atheneu, 2012.
- Sagawa Júnior, Y. et al. Análise da propulsão em cadeira de rodas manual: revisão de literatura. Fisioter. Mov., Curitiba, v. 25, Jan./Mar. 2012.
- Tsai, C.-Y. et al. Effects of Camber on Pushrim Force During Wheelchair Propulsion. Journal of Biomechanics, July 2007.
- Veeger, D. H. E. J.; Van der Woode, L. H. V.; Rozendal, R. H. The Effect of Rear Wheel Camber in Manual Wheelchair Propulsion. Journal of Rehabilitation Research and Development, Spring, v. 26, n. 2, p. 37-46, 1989.

10. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CAPES, FAPEMIG, CNPQ, Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica da UFU, empresa Alphamix, Laboratório de Projetos Mecânicos e Núcleo de Habilitação/Reabilitação em Esportes Paralímpicos (NH/RESP) pelo auxílio na execução do projeto e pela participação no evento.

11. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.