

## Projeto e desenvolvimento de uma cadeira isométrica para aferição da força do grupo muscular posterior e inferior da coxa.

Silva S. P., Zorkot M., Rocha C.C., Carvalho D. O. e Lima Neto A. C.

Universidade Federal de Lavras (UFLA), Lavras, Brasil.

E-mail: sandro.silva@deg.ufla.br

**Resumo:** A realização de atividades físicas de alta performance requer condicionamento corporal compatível com a exigência muscular requerida. A busca pelo melhor desempenho em atividades físicas tem sido objeto de muitas pesquisas nos centros de excelências por diversos pesquisadores, tanto para o treino pessoal em academias, como para os esportes. Para os atletas, tal condicionamento se torna ainda mais necessário, visto que surge uma característica competitiva em obter o melhor desempenho sem causar lesões decorrentes do próprio processo de treinamento desenvolvido. Assim, com o propósito de auxiliar na reabilitação de indivíduos que apresentam comprometimento motor, de evitar lesões e de obter um aprimoramento no desempenho de atletas, a proposta deste trabalho foi desenvolver um equipamento de medição preciso, a baixo custo, que monitore o desempenho de determinado conjunto muscular responsável pela elevação e retração da musculatura posterior e inferior da coxa de indivíduos. Esse sistema de medição consiste no controle do esforço muscular isométrico máximo, visando a análise do treino realizado pelo atleta ou praticante de atividades físicas de alto desempenho, a prevenção de lesões e a melhoria do desempenho do indivíduo ao executar tais atividades. A metodologia aplicada consistiu na aplicação matriz do desdobramento da função qualidade (QFD), para o desenvolvimento do projeto e produto. O resultado deste trabalho consistiu no projeto e construção de uma cadeira isométrica para aferição dos esforços resistivos do grupo muscular posterior e inferior da coxa em indivíduos.

**Palavras-chave:** Cadeira Isométrica, Matriz QFD, TopSolid®.

**Abstract:** *Performing high performance physical activities requires body conditioning compatible with the required muscle requirement. The search for the best performance in physical activities has been the object of much research in the centers of excellence by several researchers, both for personal training in gyms and for sports. For athletes, such conditioning becomes even more necessary, since a competitive feature emerges in order to obtain the best performance without causing injuries resulting from the training process itself. Thus, with the purpose of assisting in the rehabilitation of individuals with motor impairment, of avoiding injuries and of obtaining an improvement in the performance of athletes, the purpose of this work was to develop a low-cost accurate measurement equipment that monitors the performance of determined muscular set responsible for*

*the elevation and retraction of the posterior and lower musculature of the thigh of individuals. This measurement system consists of the control of maximum isometric muscular effort, aiming at the analysis of the training performed by the athlete or practitioner of high performance physical activities, the prevention of injuries and the improvement of the performance of the individual in performing such activities. The applied methodology consisted of the application matrix of the function split quality (QFD), for the development of the project and product. The result of this work consisted of the design and construction of an isometric chair to measure the resistive efforts of the posterior and lower thigh muscle groups in individuals.*

**Keywords:** Isometric chair, QFD Matrix, TopSolid®.

### Introdução

Desde a antiguidade o ser humano apresenta constante necessidade de obtenção de informações e padrões como resposta ao desempenho humano em atividades físicas. De acordo com Escobar (1990), as avaliações musculares eram realizadas por meio de resistências manuais e observações de marcha e postura. No início do século XX, com a maior ocorrência de casos de poliomielite, a qual afetava crianças e adultos, viu-se necessário a padronização dos métodos de avaliação muscular, conhecidos como métodos manuais. A partir disso, é possível dizer que estes métodos de medição podem ser diretamente associados a medições de tensão, força, deformação e torque, sendo as células de torque e dinamômetros analógicos, considerados os dispositivos mais viáveis para tais medições. Segundo Dvir (2002), esses dispositivos são aplicados, na sua maioria, em contrações isométricas máximas, priorizando a avaliação do momento máximo da força ou torque. Além disso, são instrumentos que, além de proporcionarem avaliações precisas, são acessíveis a ambientes clínicos devido ao baixo custo e prático manuseio.

Diversas lesões são causadas em decorrência do não monitoramento da fadiga e desequilíbrio muscular, contribuindo para a limitação funcional de indivíduos. Neste contexto, percebe-se a necessidade de um sistema de medição, em prol da reabilitação humana e redução de lesões, que tem por característica a avaliação e medição muscular. Sendo assim, este trabalho teve por objetivo e motivação o desenvolvimento de uma cadeira de força isométrica máxima, de baixo custo, que permite calcular o equilíbrio de força entre os músculos inferiores, possibilitando a prevenção de lesões e verificação do nível de treinamento suportado por indivíduos praticantes

de esportes de alta performance e indivíduos portadores de distúrbios cinéticos.

## Materiais e métodos

O modelo foi projetado apoiado sobre uma ferramenta conhecida como método do “Quality Function Deployment” (QFD) ou Desdobramento da Função Qualidade – Matriz QFD (AKAO e MAZUR, 2003), que possui a função de definir os pontos críticos do projeto visando a qualidade total e satisfação do cliente através de um modelo que associa as necessidades do mesmo e as potencialidades técnicas. Tais necessidades e potencialidades são denominadas, respectivamente, de requisitos do cliente (RC) e características de qualidade (CQ) e relacionadas na matriz QFD também conhecida como “casa de qualidade”.

Os requisitos do cliente foram levantados e organizados em sete grupos que serviram como direcionador das prioridades do projeto. São eles: Aparência, Confiabilidade, Dinamicidade, Mobilidade, Resistência, Acessibilidade Financeira e Durabilidade.

Os requisitos do produto, ou características de qualidade, abrangem as propriedades técnicas da cadeira. Tais características são mensuráveis podendo ser analisadas quantitativamente.

Para realizar a correlação entre os RC e CQ, o método

padrão de códigos numéricos em que o número 1 representa uma relação fraca; 3 uma relação moderada e 9, forte. Assim, avaliando cada correlação é possível obter um panorama geral da relevância de cada característica. O outro critério preenche o telhado da casa de qualidade com outro padrão, relacionando as CQ umas com as outras. Esse padrão é definido utilizando os símbolos (++) para correlações muito fortes, (+) para correlações fortes, (-) para as fracas e (--) para as muito fracas.

Também foram realizadas pesquisas de mercado e analisadas as CQ em um critério de 1 a 5, representando baixo e alto impacto, respectivamente. O mesmo critério foi usado em um questionário aplicado aos profissionais da saúde sobre a relevância dos RC no produto final.

O método conta com cálculos que quantificam o grau de importância de determinado CQ, já que essa característica é mensurável. Os valores encontrados no final da matriz, após todos os cálculos, bem como as correlações no corpo e no telhado da casa de qualidade estão apresentados na Figura 1.

Os materiais utilizados na construção da cadeia foram: b arrra cilíndrica de aço SAE1020 trefilado, perfil de alum ínio 6063, célula de carga utilizada suporta 500Kgf, pino de corpo cilíndrico de aço 1040 com diâmetro de 6cm e 30cm de comprimento e barra de Nylon 6.0 com módulo de elasticidade de 1800MPa. O projeto foi desenvolvido no software de desenho paramétrico TopSolid®.

		Tamanho																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		</
--	--	---------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	----

Figura 1: Matriz QFD

possui dois critérios de correspondência, com os quais é possível quantificar o grau de relação entre essas características. Um desses critérios, que preenche o corpo da matriz, relaciona cada RC com cada CQ com um

## Resultados

Pela matriz QFD, após analisar os resultados obtidos, é possível verificar na seção do Benchmarking técnico do produto visto na Figura 1, um comparativo entre a cadeira projetada e os concorrentes. Percebe-se ganhos, no modelo desenvolvido, nos quesitos de durabilidade, ergonomia e custo benefício. Entretanto, o modelo apresenta um conforto menor do que os modelos dos concorrentes. Esses resultados foram obtidos através de um pesquisa de mercado e levantamento de dados técnicos, apresentando dados confiáveis.

Após a definição da Matriz QFD, deu-se início ao desenvolvimento do protótipo, como ilustrado na Figura 2.



Figura 2: protótipo virtual da cadeira isométrica no TopSolid®

Através das análises de resistência dos materiais, os pontos críticos foram definidos, como demonstrado em destaque, na cor vermelha, na Figura 3, e os cálculos estruturais foram elaborados através do software TopSolid® e Ftool®.



Figura 3: Pontos Críticos, destacados em vermelho, da Cadeira isométrica no TopSolid®

Para a movimentação do banco, duas guias foram desenvolvidas para suportar o peso da estrutura, do banco

e encosto, e o peso médio de uma pessoa assentada a cadeira de medição da força isométrica. O peso total foi definido em 3000N. Fazendo o uso de duas guias, e definindo dois pontos de aplicação da força, a força total foi dividida com o propósito de igualar a força aplicada em cada ponto.

Após esta etapa, os resultados de cisalhamentos foram definidos e, assim, elaborado o diagrama de momento fletor. Analisando este e obtendo as forças de reações dos apoios, é possível elaborar o cálculo para a verificação da resistência do material ao esforço solicitado.

A respeito da estrutura, deu-se início à análise de resistência do material utilizado, o perfil de alumínio. Para isso, através do software Ftool®, foi gerada a malha do material e aplicada a força de 500kgf no centro da barra, simulando a carga máxima da célula de carga. Para a estrutura, também foram obtidos as reações de apoio e analisados os diagramas de momento, cortante e fletor, exercido na barra. Com os resultados, foi possível calcular o esforço solicitante e verificar a força máxima que a barra suporta.

Os mesmos cálculos e resultados foram realizados para a análise do pino que trava o conjunto em que a célula de carga está acoplada e as barras de nylon 6.0, utilizadas para transferência de energia entre o indivíduo usuário da cadeira isométrica e a célula de carga. Os resultados entre o esforço suportado máximo e o esforço solicitado máximo, para cada material, estão listados na Tabela 1.

Tabela 1: Resultados dos esforços máximos

Material	Esforço suportado máximo (kgf/cm <sup>2</sup> )	Esforço solicitado máximo (kgf/cm <sup>2</sup> )
Barra cilíndrica de aço SAE1020	195,38	32,07
Barra de Alumínio	1300,68	437,3
Pino de aço de corpo cilíndrico	2039,43	1820,9
1ª Barras de Nylon 6.0	917,74	641,02
2ª Barras de Nylon 6.0	159,23	125,81

Após a construção da cadeira, a mesma foi testada por diversos profissionais da saúde com seus respectivos voluntários e apresentou um desempenho que atendesse, com alta precisão, as demandas de monitoramento na reabilitação e no treinamento físico. A Figura 4 representa o protótipo da cadeira de medição da força isométrica

## Discussão

O desenvolvimento da Matriz QFD foi essencial para o detalhamento de informações e auxílio nas decisões para o desenvolvimento do projeto, de acordo com as necessidades do cliente. Essa ferramenta possibilitou atender os requisitos solicitados por profissionais da saúde, que se mostraram satisfeitos com o resultado final

após a realização de testes da funcionalidade e usabilidade do equipamento.

Além disso, através da Matriz QFD e das simulações realizadas nos softwares de desenho e simulação numérica, foi possível reduzir consideravelmente o custo da cadeira, em decorrência da redução de erros do protótipo e a aplicação de materiais esbeltos na construção.

Analisando à Tabela 1, resultados positivos também podem ser percebidos pelos cálculos de esforço para o pino, em que este resiste a uma tensão de ruptura de 20.000N, concluindo que o dimensionamento do pino está de acordo com a carga máxima a ser aplicada. O mesmo é válido para as barras de nylon, à barra cilíndrica de aço SAE1020 e a barra de alumínio que apresentaram resultados satisfatórios, em relação a resistência do material à força de cisalhamento.

### Conclusão

Através da matriz QFD foi possível desenvolver, projetar e construir uma cadeira isométrica, para aferição de força nos membros inferiores, que atendesse às demandas de usuários e de profissionais da saúde que necessitam direcionar o treinamento de indivíduos decorrentes de distúrbios cinético-funcionais. A matriz QFD atende os requisitos de cliente como a mobilidade, aparência e seleção da melhor escolha para o projeto.

Com o protótipo construído, auxiliado pela matriz QFD, foi possível perceber os componentes críticos que deveriam ser analisados através do método dos elementos finitos, assistido pelo software TopSolid® e Ftool®. Após a análise das tensões admissíveis, foi concluído que o material projetado suporta a solicitação de força máxima, proporcionando estabilidade e segurança ao equipamento. Além disso, com todas as ferramentas utilizadas, foi possível desenvolver o equipamento que, além de satisfazer as necessidades do público alvo, apresenta um melhor custo benefício, em relação aos concorrentes.



Figura 4: Cadeira isométrica

### Agradecimentos

Agradecemos às empresas parceiras pelo material fornecido, à Universidade Federal de Lavras pelo apoio na pesquisa e aos colaboradores do Núcleo de Estudos em Bioengenharia-BERH.

### Referências

- [1] Dvir, Z. Isocinética: avaliações musculares, interpretações e aplicações clínicas. São Paulo: Manole, 2002.
- [2] Escobar, M.; Núñez, I.; Véliz, C. Evolución histórica de los métodos de evaluación muscular y sus implicancias kinésicas. X Congresso Nacional de Kinesiologia, Viña del Mar, Chile, p.112-122, 1990
- [3] AKAO, Y; MAZUR, G. H. – The leading edge in QFD: past, presente and future. International Journal of Quality e Reliability Management, 2003.
- [4] FERRARI, Gustavo. Homero, Palestra sobre cadeira de força isométrica máxima. São Paulo: informação verbal, 2015.
- [5] CHENG, L.C.; MELO FILHO, L. D. R. QFD: Desdobramento da Função Qualidade na Gestão de Desenvolvimento de Produtos. São Paulo: Blucher, 2007.