

OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE GERAÇÃO DA CURVA DO CAME DE UM DISPOSITIVO DE TREINAMENTO MUSCULAR

Eduardo Ferreira Mamede Silva, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, dudu-mamede@hotmail.com

Thiago Gomes Cardoso, Universidade Federal de Uberlândia, thiagocardosomec@gmail.com

Lidiane Sartini de Oliveira, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, lid.sartini@gmail.com

Márcio Peres de Souza, Universidade Federal de Uberlândia, marcioperes@ufu.br

Lucas Pereira Ferreira de Rezende, lucaspereirafrezende@gmail.com

Resumo. *Esse trabalho baseia-se em um dispositivo que foi criado por pesquisadores da UFU que consiste em um aparelho de treinamento muscular que utiliza um conjunto came/seguidor/mola para produzir a resistência. O diferencial desse dispositivo é a baixa inércia gerada, podendo ser utilizado em altas velocidades e acelerações, e também a capacidade de manter o torque resistente proporcional a um perfil desejado. O objetivo desse trabalho foi a otimização desse dispositivo através da elaboração de um ambiente gráfico amigável para facilitar a manipulação dos dados do programa que gera a curva do came. Para tal, foi feito um fluxograma detalhado da obtenção da curva do came e em seguida foi desenvolvido o ambiente gráfico com base no programa que gera a curva do came. Esse ambiente foi programado em linguagem MATLAB utilizando a opção de interface gráfica GUI. O ambiente gráfico desenvolvido para a otimização do sistema de treinamento muscular é dividido primeiramente em uma área onde o usuário entra com os parâmetros iniciais mais importantes e escolhe o tipo de torque desejado. Definido esses parâmetros, o programa retorna em uma área gráfica a curva do came e a curva dos torques. O ambiente gráfico desenvolvido neste trabalho facilitou a manipulação dos dados para a obtenção da curva do came. A plataforma é simples e intuitiva, o que leva o usuário a uma experiência muito rápida, diferentemente se ele tivesse que entrar no código principal do programa para alterar os dados.*

Palavras chave: Came. Mola. Curvas de Torque. Biomecânica. Musculação.

1. INTRODUÇÃO

A prática de exercícios resistidos tem se tornado muito comum em nossa sociedade pois melhora o desempenho atlético, estético e também fisioterápico. De forma geral, essas atividades são praticadas em mecanismos convencionais que utilizam cabos e pilhas de peso, o que os limita quanto a prática em velocidades e acelerações altas devido aos efeitos da inércia gerados por esses aparelhos. O modelo desenvolvido por Siquieroli (2007) em sua dissertação de mestrado, utiliza um conjunto mola/seguidor/came para produzir a resistência, dispensando o uso de cabos, correias ou correntes. Desta forma, reduz consideravelmente a inércia, podendo ser praticado movimentos balísticos e pré-alongamento dos músculos motores sem essas limitações de velocidade ou aceleração. Outra característica desse sistema desenvolvido, é a capacidade do dispositivo de manter o torque resistente proporcional a um perfil desejado, maximizando o desempenho do atleta.

2. OBJETIVO

O objetivo dessa pesquisa foi a otimização desse dispositivo através da elaboração de um ambiente gráfico amigável para facilitar a manipulação dos dados do programa desenvolvido por Souza (2012) em sua dissertação de mestrado, que gera a curva do came com base no torque disponível do atleta.

O que motiva esse estudo é poder facilitar a geração da curva do came, para que posteriormente o programa seja utilizado por pessoas que não possuem conhecimento aprofundado sobre o dispositivo e assim possam fabricar o came de acordo com os objetivos do atleta.

3. MÁQUINAS DE TREINAMENTO MUSCULAR ATUAIS

No mercado atual, há alguns tipos de máquinas de treinamento resistido que vão desde os mais simples, que possuem apenas pilhas de pessoas e cabos, até os mais sofisticados, utilizando controladores eletrônicos.

Os mais simples encontrados são as máquinas com massas e sem dispositivos de acomodação, onde a carga, seja ela produzida pelo peso de uma pilha de barras ou por anilhas, permanece constante durante toda uma série do exercício, que é composta por um determinado número de repetições de movimentos concêntricos e excêntricos. Estes dispositivos não possuem mecanismos de controle que permitam que a carga aplicada seja proporcional à capacidade do músculo, sujeito às alavancas articulares, de produzir força. Além disso as pilhas de peso geram muita inércia ao dispositivo, impossibilitando a utilização em treinamentos de explosão muscular.

Há também máquinas com massas e dispositivos de acomodação. Nesse tipo de dispositivo é gerado um torque resistente variável em torno de um eixo que coincide com o eixo da articulação durante o exercício. Desta forma, ainda que a carga propriamente dita não varie em uma mesma série de movimentos, as variações do dispositivo de acomodação (came) provocam a variação do torque gerado pela máquina. Porém esse tipo de máquina apresenta uma limitação, visto que só podem oferecer uma resistência proporcional à disponibilidade muscular em regimes de velocidade de contração muito lentos.

Por último temos as máquinas isocinéticas que são servo-assistidas e eletronicamente controladas, que por sua vez são usualmente muito caras. Nesses dispositivos só é possível garantir o movimento a uma velocidade constante num determinado setor angular do movimento. Ainda assim, a velocidade de contração do músculo isoladamente não pode ser mantida constante, devido à estrutura da articulação onde o músculo está inserido. A velocidade constante nestas máquinas está relacionada com o movimento do braço de alavanca apenas da própria máquina. Pelas suas características, estas máquinas não são utilizadas para treinamentos de força e potência.

Os resultados desta pesquisa levaram a elaboração de um novo dispositivo de resistência para treinamento muscular que solucione o problema da inércia, mudando a abordagem do sistema de ajuste de torque. A sua construção simples e rebusta, favorece a minimização do atrito e a maximização da segurança.

4. DISPOSITIVO DE GERAÇÃO DE RESISTÊNCIA PROPOSTO

O mecanismo projetado tem como elemento principal um came, dentro outros elementos, para controlar o torque resistente aplicado que por sua vez é determinado pelo raio do came perpendicular à direção da força resistente e pelo próprio valor dessa força. Como a força é determinada pelo tipo de carga selecionado, o controle do torque se dá pela variação do raio do came.

A resistência é fornecida por uma mola e o came é projetado de acordo com o perfil de torque e aceleração desejados para um treinamento específico. A geometria do dispositivo permite que, em qualquer momento do movimento, o torque produzido pela ação da mola seja reduzido a zero, caso necessário. Isto é possível graças à utilização do ângulo de pressão do came como elemento de controle do torque, ao invés do seu raio.

A Figura (1) mostra um desenho esquemático com os principais elementos do dispositivo de resistência proposto.

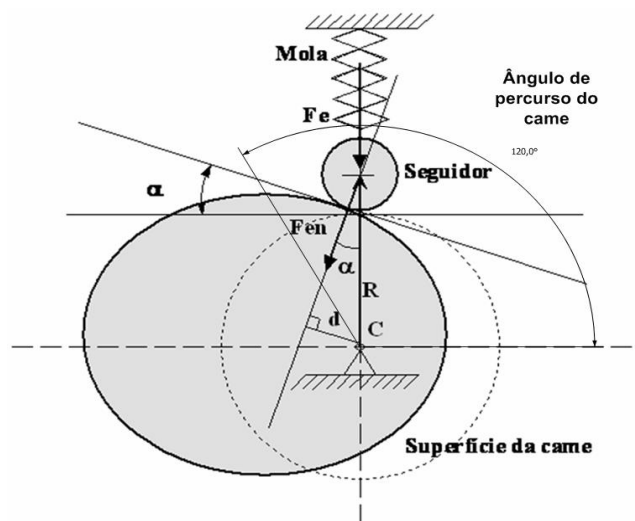


Figura 1. Esquema do mecanismo proposto, Siquieroli (2007).

4.1. Modelagem matemática

O perfil do came utilizado no dispositivo de resistência pode ser obtido através da curva de *Torque Disponível* (T_m), Eq. (1). Ele por sua vez é o torque que a musculatura do corpo pode produzir em cada ângulo de percurso do came (θ). O *Torque Disponível* é função do *Torque Resistente* (T_r) e do *Torque Produzido pelas Acelerações do Sistema* (T_i).

$$Tm(\theta) = Tr(\theta) + Ti(\theta) \quad (1)$$

O vetor *Torque Disponível* ($T_m(\theta)$) e o vetor *Torque Produzido pelas Acelerações do Sistema* ($T_i(\theta)$) são parâmetros de entrada do problema. Desta forma o vetor *Torque Resistente* ($T_r(\theta)$) é a incógnita a ser determinada.

Para determinar o valor *Torque Resistente* (Tr), é necessário saber o valor da *Força de Contato* (Fen), que por sua vez é uma componente da *Força Elástica da Mola* (Fe), assim como o *Ângulo de Pressão* (α), que é o ângulo de contato entre o seguidor e o came.

Assim, o *Torque Resistente* pode ser calculado como descrito pela Eq. (2).

$$Tr(\theta) = Fen \cdot d = (Fe \cdot \cos(\alpha)) \cdot (Fe \cdot \sin(\alpha)) \quad (2)$$

A *Força Elástica da Mola* (Fe), Eq. (3) é composta por duas forças, a *Pré-carga Inicial da Mola* (Fei) e o produto entre a *constante elástica da mola* (k) e *deslocamento da mola* para cada deslocamento angular do came (dy).

$$Fe = Fei + k \cdot dy \quad (3)$$

Pelo fato da Fe passar pelo centro do came, a variação do deslocamento da mola, Eq. (4), é a variação da distância do centro do seguidor ao centro do came.

$$dy = dR \quad (4)$$

O valor de k , Fe e R fazem parte das condições iniciais do problema. Logo a manipulação dos valores de α pode determinar os valores de $Tr(\theta)$.

Das seguintes relações dadas a partir das Eq. (5) e (6), podemos reescrever a equação do *Torque Resistente*, Eq. (7).

$$tg(\alpha) = (dR / (R \cdot d\theta)) \quad (5)$$

$$\Delta R = (R \cdot tg(\alpha)) \cdot \Delta \theta \quad (6)$$

$$Tr(\theta) = (Fei \cdot R) \sin(\alpha) \cos(\alpha) + k(\sin(\alpha) \cos(\alpha) R^2 tg(\alpha)) \Delta \theta \quad (7)$$

Voltando para a equação do *Torque Disponível*, temos que a Eq. (1) pode ser reescrita em uma forma mais completa, da Eq. (8).

$$Tm(\theta) = (Fei \cdot R) \sin(\alpha) \cos(\alpha) + k(\sin(\alpha) \cos(\alpha) R^2 tg(\alpha)) \Delta \theta + Ti(\theta) \quad (8)$$

Desta forma podemos perceber que o *Torque Disponível* é função do ângulo θ , do R e do ângulo α . Portanto a solução desta equação não é direta, ou seja, é transcendental.

Para tornar verdadeira a equação que rege o perfil do came (Eq. (8)), é preciso encontrar o valor do ângulo de pressão. Portanto, para cada incremento no ângulo do percurso do came (θ) é feita uma busca no valor do ângulo de pressão, aumentando ou diminuindo o valor inicial estipulado (ângulo de pressão inicial). Isso é feito até que a diferença entre a soma dos torques (*Tork*), Eq. (9), e o *Torque Resistente* seja menor que a tolerância estipulada, Eq. (10).

$$Tork = Tm - Ti \quad (9)$$

$$Tr - Tork < Tol \quad (10)$$

Enquanto essa diferença for maior que a tolerância, o valor do ângulo de pressão é ajustado. Deste modo, o valor do torque é recalculado e começa novamente o *looping*.

Encontrado o valor correto de α para aquela determinada posição θ , o valor do raio do came (R) é calculado. Então, tendo em mãos o valor de R para cada ângulo de curso do came (θ), o perfil do came é obtido e pode ser traçado em coordenadas polares e cartesianas.

5. OTIMIZAÇÃO

Para o desenvolvimento do ambiente gráfico, primeiramente foi feito um fluxograma bem detalhado da obtenção da curva do came contendo os dados de entrada, os processos iterativos do programa e as respectivas saídas. No final do fluxograma ainda foi feito um resumo de símbolos e um explicativo para posteriormente ser anexado em um botão *help* para auxiliar os futuros usuários do programa. Em seguida foi desenvolvido o ambiente gráfico com base no programa que gera a curva do came. Esse ambiente foi programado em linguagem MATLAB utilizando a opção de interface gráfica GUI (*graphical user interface*).

5.1. Fluxograma

Para a total compreensão do processo de obtenção da curva do came, tanto da modelagem matemática quanto do programa, foi desenvolvido um fluxograma, Fig (2), esquematizando a ordem e a dependência das principais variáveis para tal geração.

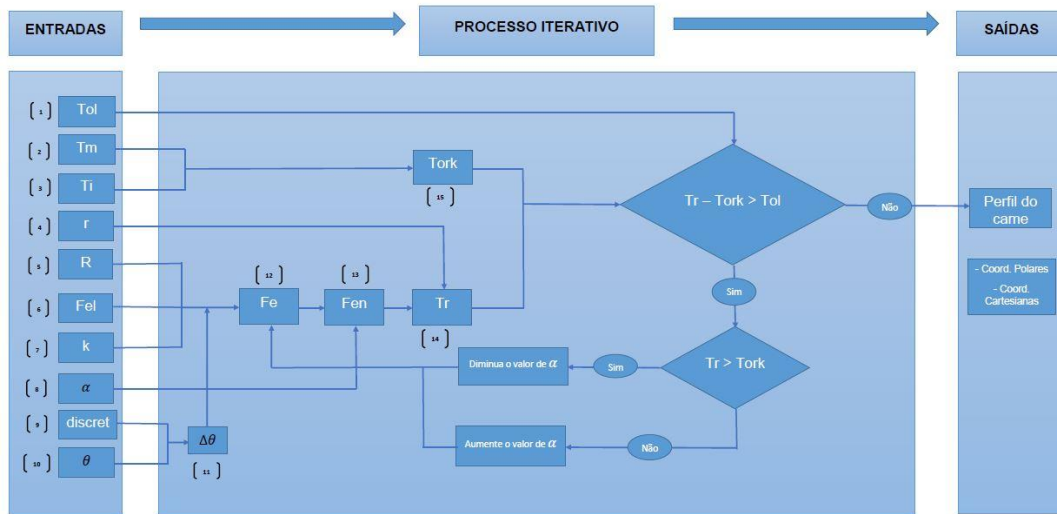


Figura 2. Fluxograma para obtenção da curva do came, Autor (2016).

Alguns parâmetros são dados de entrada, como por exemplo o *Torque Disponível* (T_m) e o *Torque Devido as Acelerações do Sistema* (T_i). O T_m , que por sua vez é uma característica individual de cada pessoa, é o valor de torque que a musculatura do corpo pode produzir em cada posição angular do movimento. Ele pode ser obtido realizando-se testes em um dinamômetro ou através da interpolação dos valores de torque isométrico ao longo de toda a extensão angular do movimento. Já o T_i pode ser calculado através da aceleração e dos momentos de inércia do dispositivo. Ele é, portanto, determinado pelas características físicas do dispositivo e pela cinemática do movimento projetado pelo estudo biomecânico do exercício.

Esses dois dados de entrada são muito importantes pois a diferença entre eles será comparada com o *Torque Resistente* (T_r) e assim chegar a uma tolerância desejável, que por sua vez também é um dado de entrada. Mas para determinar o valor de T_r é necessário entrar com o valor da F_{en} , que por sua vez depende de F_e e α , que depende de R , F_{el} , k e $\Delta\theta$, como pode ser visto nas indicações do Fluxograma.

Para determinar o raio do came, para cada ângulo do arco de movimento, é necessário ajustar o *ângulo de pressão*. No Fluxograma é indicado como uma pergunta, onde, caso o T_r for maior que a diferença entre o T_r e o T_i (T_{ork}), é necessário que se aumente o valor de α , e caso for menor, é necessário que se diminua o valor de α .

Assim que se atente à uma tolerância mínima estipulada, é possível determinar o valor do raio do came para aquele determinado ângulo, e a partir do processo iterativo, determinar todos os raios. Por fim gera-se o perfil do came tanto em coordenadas cartesianas quanto polares.

5.2. Interface gráfica

O ambiente gráfico desenvolvido para a otimização do sistema de treinamento muscular, que pode ser visto na Fig. (3), é dividido primeiramente em uma área onde o usuário entra com os parâmetros iniciais mais importantes, como por exemplo, a pré-carga, o ângulo de pressão, a constante elástica da mola e etc.

Na caixa logo abaixo, o usuário pode escolher a opção de utilizar um torque disponível padrão ou um torque disponível ajustado. Como já foi dito, o Torque Disponível é específico para cada indivíduo, porém é possível utilizar um Torque Padrão que cerca uma média comum entre os indivíduos. Caso seja escolhido a opção de Torque Ajustado, é liberado lacunas onde o usuário terá de colocar o valor do coeficiente do polinômio (3º grau) que ajusta a curva de torque disponível que foi obtida através do dinamômetro, como foi dito anteriormente. Esse tipo de ajuste é utilizado para um treinamento mais específico do atleta.

Definido esses parâmetros, é necessário que se clique no botão “Confirmar” para então o programa gerar a parte gráfica. Esses gráficos são do perfil do came em coordenadas cartesianas e polares, e também a curva de torque disponível, seja ela do torque padrão ou então do ajustado.

O ambiente gráfico também conta com um botão *help* para auxiliar o usuário em caso de dúvida ao preencher algum campo. Nesse caso abre-se uma nova janela contendo o fluxograma e um explicativo de cada variável.

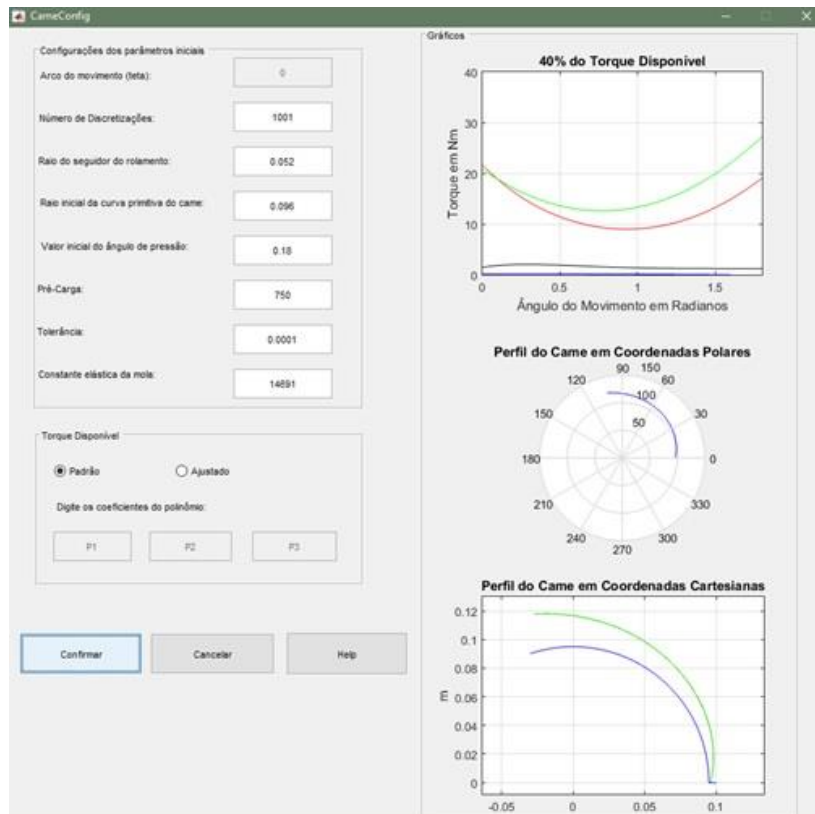


Figura 3. Ambiente gráfico para obtenção da curva do came, Autor (2016).

6. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi proposta a otimização de um sistema de treinamento muscular composto basicamente por um came, um seguidor e uma mola helicoidal de compressão, onde seu diferencial é o projeto do perfil do came que controla o nível de resistência pela manipulação do ângulo de pressão. Este sistema se mostrou bastante interessante, pois pode ser utilizado para treinamentos que exigem altas velocidades e acelerações, diferente dos dispositivos convencionais de treinamento muscular resistente.

O ambiente gráfico desenvolvido facilitou a manipulação de dados para obtenção da curva do came. A plataforma implementada é simples e intuitiva, o que leva ao usuário uma experiência muito rápida, diferentemente se ele tivesse que entrar na raiz do programa base para alterar esses dados, atrasando a análise e o desenvolvimento de novos perfis de came.

Porém, essa é apenas uma primeira versão do programa. Futuramente, devem ser introduzidas outras funções no programa, como a opção de exportar os dados do perfil do came para uma outra plataforma de projetos em 3D, para que então o came possa ser melhor visualizado e posteriormente passar para um processo de fabricação automatizado.

7. REFERÊNCIAS

- SOUZA, Márcio Peres de. **Dispositivo de Resistência com Vibrações Mecânicas para Treinamento Muscular**. Uberlândia: UFU, 2012. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2012.
- SIQUIEROLI, Warner Artur. **Desenvolvimento de um Sistema de Geração de Resistência para Aparelhos de Musculação e Fisioterapia**. Uberlândia: UFU, 2007. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2007.

8. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O autor é o único responsável pelas informações incluídas neste trabalho.