



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE - CTJ**

**GABRIEL A. CARVALHO, GABRIELLA A. MARQUES, HEBERT A. KUBIS
JEIEL S. A. OLIVEIRA, JOÃO V. F. GOETZ, JOHANNA C. REY**

PROJETO DE CAME MÁQUINA DE COSTURA

Joinville
2025

SUMÁRIO

1	Introdução	2
2	Requisitos de projeto	2
3	Equacionamento	2
3.1	Posição	3
3.2	Velocidade	4
3.3	Aceleração	6
4	ângulo de pressão	7
5	Modelagem e Simulação do Came	8
6	Conclusão	10

1. INTRODUÇÃO

Este, tem como finalidade desenvolver o projeto de um came responsável pelo movimento vertical da agulha em uma máquina de costura. Esse mecanismo realiza a conversão do movimento rotativo em deslocamento linear periódico, sendo fundamental para garantir a regularidade e a qualidade do ponto produzido. A precisão geométrica e cinemática do came influencia diretamente o desempenho do sistema, de modo que o perfil adotado deve assegurar suavidade, repetibilidade e esforços reduzidos sobre o seguidor.

Com base nos requisitos estabelecidos para o projeto, foi selecionado o perfil polinomial 3-4-5, amplamente empregado em mecanismos de cames devido à continuidade de aceleração que proporciona e à relativa simplicidade de modelagem. A partir desse perfil, foram determinadas as equações analíticas de posição, velocidade e aceleração do seguidor ao longo de todo o intervalo de rotação de 360° . Em seguida, foram elaborados os diagramas EVAP, o gráfico do ângulo de pressão e a análise dos valores máximos de velocidade, aceleração e ângulo de pressão, parâmetros essenciais para a verificação da viabilidade mecânica do mecanismo. O trabalho inclui, ainda, o desenho do came, a animação do conjunto came-seguidor e o modelo para impressão tridimensional.

2. REQUISITOS DE PROJETO

Os requisitos de projeto são os especificados:

- Raio de base: 19mm
- Raio do seguidor (rolete) = 6mm
- Altura máxima de deslocamento da agulha: 12mm
- Subida: 12mm em 50°
- Espera superior: em 10mm por 20°
- Descida: 12mm em 50°
- Repete-se essa sequência até completar 360°
- Velocidade de rotação: $\omega = 150$ rpm

3. EQUACIONAMENTO

Para uma curva polinomial a expressão geral é dada por:

$$s = c_0 + c_1 \cdot \theta + c_2 \cdot \theta^2 + c_3 \cdot \theta^3 + \dots + c_n \cdot \theta^n \quad (1)$$

Onde:

- s = deslocamento do seguidor
- θ = ângulo de rotação do Came
- c_i = constantes ($i = 1, 2, 3, \dots$)
- n - a ordem do polinômio

Como pedido no trabalho, o polinomio a ser utilizado deve ser um 3-4-5, ou seja:

$$s(\theta) = c_0 + c_1 \cdot \theta + c_2 \cdot \theta^2 + c_3 \cdot \theta^3 + c_4 \cdot \theta^4 + c_5 \cdot \theta^5 \quad (2)$$

$$\frac{ds(\theta)}{d\theta} = c_1 + 2 \cdot c_2 \cdot \theta + 3 \cdot c_3 \cdot \theta^2 + 4 \cdot c_4 \cdot \theta^3 + 5 \cdot c_5 \cdot \theta^4 \quad (3)$$

$$\frac{d^2s(\theta)}{d\theta^2} = 2 \cdot c_2 + 6 \cdot c_3 \cdot \theta + 12 \cdot c_4 \cdot \theta^2 + 20 \cdot c_5 \cdot \theta^3 \quad (4)$$

Ou na forma normalizada:

$$s(\theta) = h \cdot [10 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^5] \quad (5)$$

$$\frac{ds(\theta)}{d\theta} = h \cdot 30 \cdot [(\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^2 - 2 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3 + (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^4] \quad (6)$$

$$\frac{d^2s(\theta)}{d\theta^2} = h \cdot 60 \cdot [(\frac{\theta - \theta_i}{\beta}) - 3 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^2 + 2 \cdot (\frac{\theta - \theta_i}{\beta})^3] \quad (7)$$

3.1 Posição

Para calcular encontrar as equações da posição, velocidade e aceleração, deve-se usar o parametro β que é diferente para cada um dos três trechos. O β é definido como:

$$\beta = \theta_f - \theta_i \quad (8)$$

Assim, tem-se:

- Trecho 1 (subida): $\beta = 50^\circ - 0^\circ = 50^\circ = 0.873\text{rad}$
- Trecho 2 (espera): $\beta = 70^\circ - 50^\circ = 20^\circ = 0.349\text{rad}$
- Trecho 3 (descida): $\beta = 120^\circ - 70^\circ = 50^\circ = 0.873\text{rad}$

Deste modo, a posição para o trecho 1 é dada por:

$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^5] \quad (9)$$

Para o trecho 2:

$$s(\theta) = 12 \quad (10)$$

E para o trecho 3, que possui uma pequena diferença por ser de descida, sendo que aqui a expressão anterior entra subtraindo de 1:

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot (\frac{\theta - 1.222}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - 1.222}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - 1.222}{0.873})^5)] \quad (11)$$

Com isto, o trecho de 0° a 120° pode ser representado. Ajustando os valores de θ_i também pode-se determinar as equações para o resto da rotação. Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot (\frac{\theta - 2.094}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - 2.094}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - 2.094}{0.873})^5] \quad (12)$$

$$s(\theta) = 12 \quad (13)$$

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot (\frac{\theta - 3.316}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - 3.316}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - 3.316}{0.873})^5)] \quad (14)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

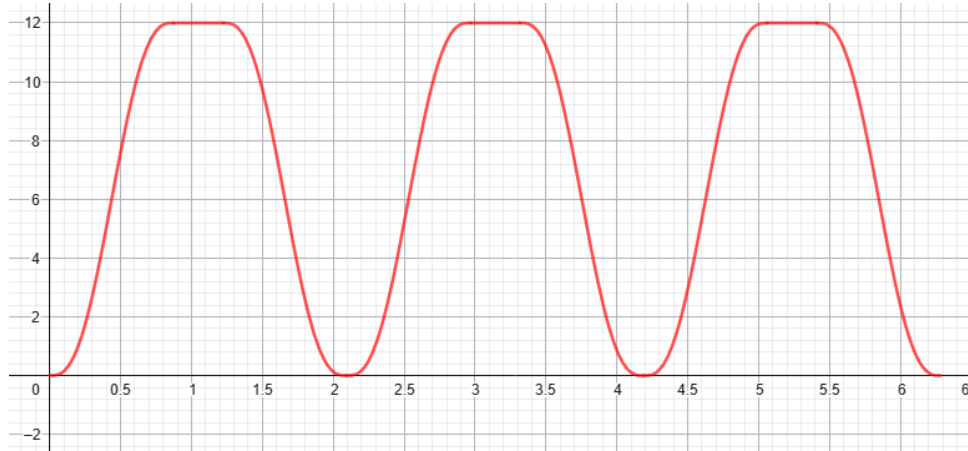
$$s(\theta) = 12 \cdot [10 \cdot (\frac{\theta - 4.189}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - 4.189}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - 4.189}{0.873})^5] \quad (15)$$

$$s(\theta) = 12 \quad (16)$$

$$s(\theta) = 12 \cdot [1 - (10 \cdot (\frac{\theta - 5.411}{0.873})^3 - 15 \cdot (\frac{\theta - 5.411}{0.873})^4 + 6 \cdot (\frac{\theta - 5.411}{0.873})^5)] \quad (17)$$

Assim, plotando o grafico da posição:

Figura 1: Deslocamento do seguidor em função de θ .



Fonte: Dos Autores

3.2 Velocidade

Para a velocidade os valores de β continuam os mesmos. Assim, a equação da velocidade para o trecho 1 é:

$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot [(\frac{\theta}{0.873})^2 - 2 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^3 + (\frac{\theta}{0.873})^4] \quad (18)$$

Para o trecho 2:

$$v(\theta) = 0 \quad (19)$$

Para o trecho 3:

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873} \right)^4 \right] \quad (20)$$

Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot \left[\left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873} \right)^4 \right] \quad (21)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (22)$$

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873} \right)^4 \right] \quad (23)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

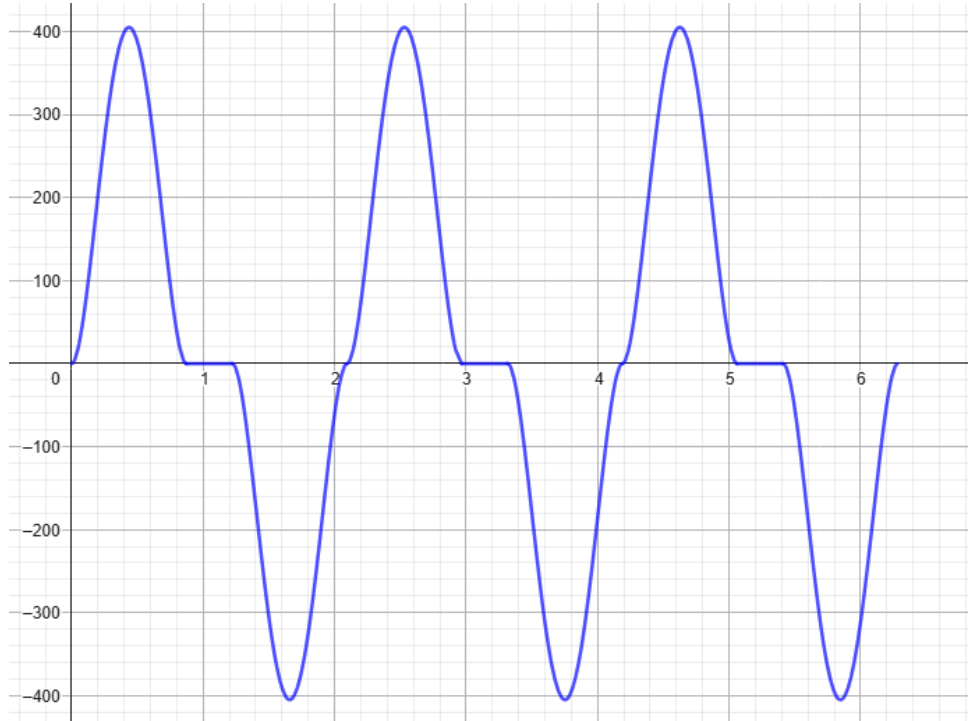
$$v(\theta) = 360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \cdot \left[\left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873} \right)^4 \right] \quad (24)$$

$$v(\theta) = 0 \quad (25)$$

$$v(\theta) = -360 \cdot \frac{15.708}{0.873} \left[\left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^2 - 2 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^3 + \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873} \right)^4 \right] \quad (26)$$

Assim, o gráfico da velocidade é:

Figura 2: Velocidade do seguidor em função de θ .



Fonte: Dos Autores

Do gráfico da velocidade, fazendo os cálculos pelo geogebra, obtém-se que a velocidade máxima ocorre em $\theta = 0.44rad$ e tem valor de:

$$v(0.44) = 404.79mm/s = 0.4047m/s \quad (27)$$

3.3 Aceleração

Para a aceleração no trecho 1 tem-se:

$$a(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta}{0.873}\right)^3\right] \quad (28)$$

Para o trecho 2:

$$a(\theta) = 0 \quad (29)$$

Para o trecho 3:

$$a(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 1.222}{0.873}\right)^3\right] \quad (30)$$

Para $120^\circ < \theta < 240^\circ$:

$$a(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 2.094}{0.873}\right)^3\right] \quad (31)$$

$$a(\theta) = 0 \quad (32)$$

$$a(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 3.316}{0.873}\right)^3\right] \quad (33)$$

Para $240^\circ < \theta < 360^\circ$:

$$a(\theta) = 720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 4.189}{0.873}\right)^3\right] \quad (34)$$

$$a(\theta) = 0 \quad (35)$$

$$a(\theta) = -720 \cdot \left(\frac{15.708}{0.873}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right) - 3 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^2 + 2 \cdot \left(\frac{\theta - 5.411}{0.873}\right)^3\right] \quad (36)$$

Assim, o gráfico da velocidade é:

Figura 3: Aceleração do seguidor em função de θ .



Fonte: Dos Autores

Do mesmo modo que para a velocidade, pelo geogebra, obtém-se que a aceleração máxima ocorre em $\theta = 0.18rad$ tendo como valor máximo:

$$a(0.18) = 11209.76mm/2^2 = 11.2098m/s^2 \quad (37)$$

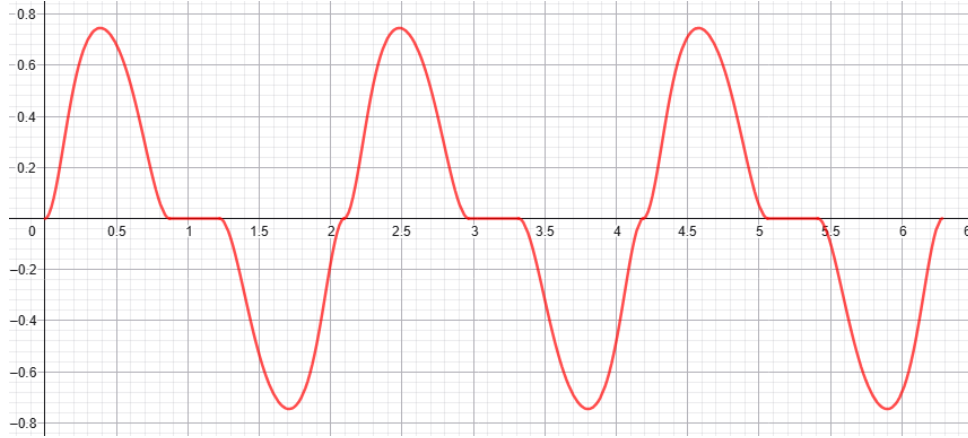
4. ÂNGULO DE PRESSÃO

Para calcular o gráfico do ângulo de pressão, é necessário levar em conta o raio de base do came $R_b = 19mm$, a posição $S(\theta)$ do came e a velocidade $\frac{ds(\theta)}{d\theta}$. Com estes dados, o ângulo de pressão é dado por:

$$\phi(\theta) = \arctan \frac{\frac{ds(\theta)}{d\theta}}{R_b + s(\theta)} \quad (38)$$

Aplicando esta fórmula para cada trecho do deslocamento do came tem-se o seguinte gráfico do ângulo de pressão:

Figura 4: Angulo de pressão em função de θ .



Fonte: Dos Autores

Sendo que no gráfico o ângulo está dado em radianos. Com o grafico plotado e usando a função intercect no geogebra é possível encontrar que o primeiro valor máximo de ângulo de pressão ocorre em $\theta = 0.39rad = 22.35^\circ$ e que o valor deste ângulo de pressão é:

$$\phi(0.39) = 0.75rad = 42.73^\circ \quad (39)$$

Com este valor pode-se verificar que é um valor ruim para utilização, pois as forças laterais no seguidor serão muito grandes causando desgaste excessivo nas peças, portanto para que o projeto fosse viável seria necessário aumentar o raio de base para um valor que tornasse ϕ_{max} menor que 30° .

Analizando o primeiro trecho para um polinomio 4-5-6-7, tem-se que o a posição e a velocidade são dados por:

$$s(\theta) = 12 \cdot [15 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^4 - 24 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^5 + 10 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^6] \quad (40)$$

$$v(\theta) = 720 \cdot [(\frac{\theta}{0.873})^3 - 2 \cdot (\frac{\theta}{0.873})^4 + (\frac{\theta}{0.873})^5] \quad (41)$$

Calculando o ângulo de pressão a partir desse trecho, derivando e igualando a 0 pode-se determinar que o ângulo de pressão aumentou para $\approx 45^\circ$. Logo, apesar de melhorar a questão dos solavancos no seguidor nas extremidades, o problema do ângulo de pressão alto não se corrige somente aumentando o grau do polinomio, deve-se também mexer nas dimensões do came.

5. MODELAGEM E SIMULAÇÃO DO CAME

A partir das equações paramétricas obtidas para o perfil polinomial 3-4-5, procedeu-se à modelagem tridimensional do came utilizando o software Autodesk Fusion 360, com o objetivo de validar a geometria resultante e verificar a compatibilidade cinemática entre o came e o seguidor rolante. A modelagem iniciou-se pela geração de um conjunto de pontos discretizados do contorno, obtidos diretamente das funções de elevação $s(\theta)$, considerando o raio de base $R_b = 19mm$ e o deslocamento radial total do seguidor. Esses pontos foram importados como coordenadas polares e convertidos para coordenadas cartesianas para construção da spline que define o perfil final.

Após a reconstrução do contorno, realizou-se a extrusão do perfil para obtenção do sólido tridimensional do came. O rolete seguidor, modelado com raio $r_f = 6mm$, foi incorporado ao conjunto para permitir a análise de contato. O acoplamento entre came e seguidor foi configurado por meio de restrições rígidas e da definição de um joint rotacional no eixo do came, impondo a rotação contínua de $\omega = 150rpm$.

Figura 5: Modelagem do mecanismo no software Autodesk Fusion 360

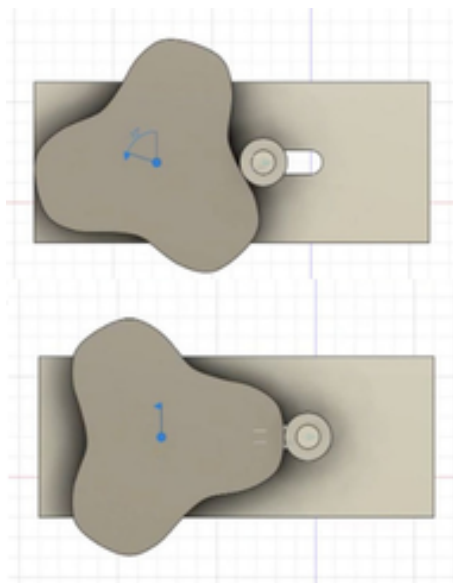


Fonte: Dos Autores

Com o conjunto montado, foi executada a simulação cinemática direta, permitindo observar o comportamento do seguidor para todo o ciclo de 360° . A análise evidenciou:

- Conformidade geométrica entre o perfil teórico e o movimento obtido pelo contato real com o rolete;
- Coerência entre a elevação simulada e a curva analítica $s(\theta)$, confirmando a exatidão do perfil importado;
- Identificação visual das regiões críticas onde a curvatura reduzida aumenta o risco de perda de contato ou impacto;
- Correspondência entre a variação de velocidade aparente e os picos de velocidade obtidos analiticamente, reforçando a consistência do modelo.

Figura 6: Simulação do mecanismo no software Autodesk Fusion 360



Fonte: Dos Autores

Além disso, a simulação permitiu avaliar o comportamento do ângulo de pressão de forma qualitativa, evidenciando o aumento do componente lateral da força transmitida ao seguidor nas regiões anteriormente identificadas como críticas pela análise analítica. Tais observações reforçam a conclusão de que, apesar da suavidade cinemática proporcionada pelo polinômio 3-4-5, o raio de base adotado é insuficiente para limitar o ângulo de pressão a valores aceitáveis para operação contínua.

Por fim, a modelagem permitiu a geração de um protótipo digital fiel, utilizado posteriormente para a produção do modelo físico via impressão 3D, garantindo que o componente fabricado reproduz com precisão o comportamento previsto pelas equações e pela simulação.

6. CONCLUSÃO

O desenvolvimento do came proposto permitiu obter um modelo completo a partir dos requisitos fornecidos e do perfil polinomial 3-4-5. As equações de posição, velocidade e aceleração foram determinadas de forma consistente e permitiram a construção dos diagramas EVAP, possibilitando uma análise detalhada do comportamento cinemático do seguidor. A avaliação do ângulo de pressão revelou valores superiores a 40° , indicando esforços laterais elevados e sugerindo que ajustes geométricos, como o aumento do raio de base, seriam necessários para aplicação prática.

A análise também evidenciou que o aumento do grau do polinômio reduz os solavancos do movimento, embora não seja suficiente para resolver o problema do ângulo de pressão isoladamente. O desenho técnico, a animação do mecanismo e o modelo para impressão 3D complementaram o estudo, permitindo visualizar e validar o funcionamento do came projetado. Assim, o trabalho atingiu os objetivos propostos, fornecendo uma avaliação completa do perfil de came e destacando os fatores relevantes para seu emprego em sistemas reais.

REFERÊNCIAS

- [1] MARIA, José; BARBOSA, José M.. *Curvas de elevação*. Universidade Federal de Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://mecanismos.net.br/cames-introducao/> Acesso em: 09 de novembro de 2025.
- [2] MARIA, José; BARBOSA, José M.. *Ângulo de pressão*. Universidade Federal de Pernambuco, 2022. Disponível em: <https://mecanismos.net.br/angulo-de-pressao/> Acesso em: 09 de novembro de 2025.
- [3] ERDMAN, Arthur G.. *Mechanism design: analysis and synthesis*. 4th ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2001. v. ISBN 0130408727.
- [4] BUDYMAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. *Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica*. 8^a ed. Porto Alegre, RS: AMGH, 2011. 1084 p. ISBN 9788563308207.
- [5] *Perfil de came e funcionamento de máquina de costura*. Youtube, 2017. Disponível em: https://www.youtube.com/watch?v=fZQDXpr_NTc. Acesso em: 19 de novembro de 2025.