

Autores: Natália Akemi Hoshikawa Tsuha (Bolsista), Kátia Lucchesi Cavalca (Orientadora)

## FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

Financiamento do projeto: SAE – Unicamp (agosto/2012 a março/2013) e  
SAE – bolsa empresa ThyssenKrupp Metalúrgica Campo Limpo Ltda (abril/2013 a julho/2013).

Camo-seguidor – Cinemática – Dinâmica

### Introdução

Pares camo-seguidores são extremamente importantes em equipamentos modernos, amplamente utilizados em motores automotivos e máquinas que exigem movimentos complexos com repetibilidade e confiabilidade. Esses podem ser estudados tanto com foco na cinemática quanto na dinâmica. Inicialmente, foi estudada a cinemática – síntese e análise – por meio de comparação entre as curvas clássicas da literatura (cicloidial, harmônica e polinomial de oitavo grau) e os splines de sexta ordem ao deslocamento. Posteriormente, foi introduzida a dinâmica do sistema camo-seguidor, que ganhou importância nos últimos anos devido ao aumento da velocidade das máquinas.

### Metodologia

Spline é um método matemático de interpolação de pontos e devido a sua versatilidade, é aplicado em projeto de camos. Usa-se o spline para traçar a função de posição e a partir dessa, obter as derivadas, velocidade, aceleração, perfil do camo e quaisquer dados que necessitem do deslocamento (Equação 1).

$$A_j h_j^5 + B_j h_j^4 + C_j h_j^3 + D_j h_j^2 + E_j h_j + F_j = F_{j+1} \quad (1)$$

Para o estudo dinâmico, foi utilizada uma aproximação ao sistema massa-mola-amortecedor (Figura 1). Foram aplicados conceitos de associação de múltiplos corpos e calculados os coeficientes de massa e rigidez equivalentes do sistema. Assim, a partir de um dado fator de amortecimento recomendado pela literatura, pode-se estimar um amortecimento equivalente e calcular a força no seguidor.

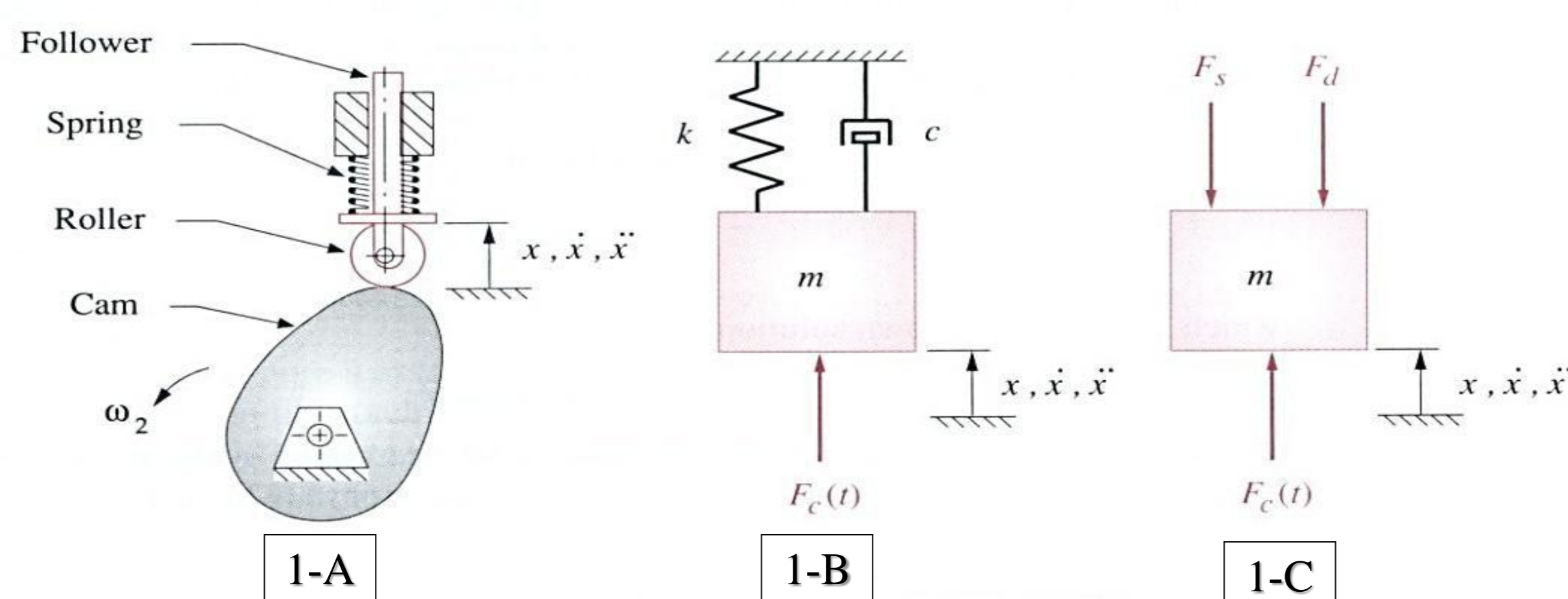


Figura 1: Modelo dinâmico utilizado para sistema camo-seguidor. (NORTON, 2009)  
(A) Sistema físico. (B) Modelo discreto. (C) Diagrama de corpo livre.

### Resultados

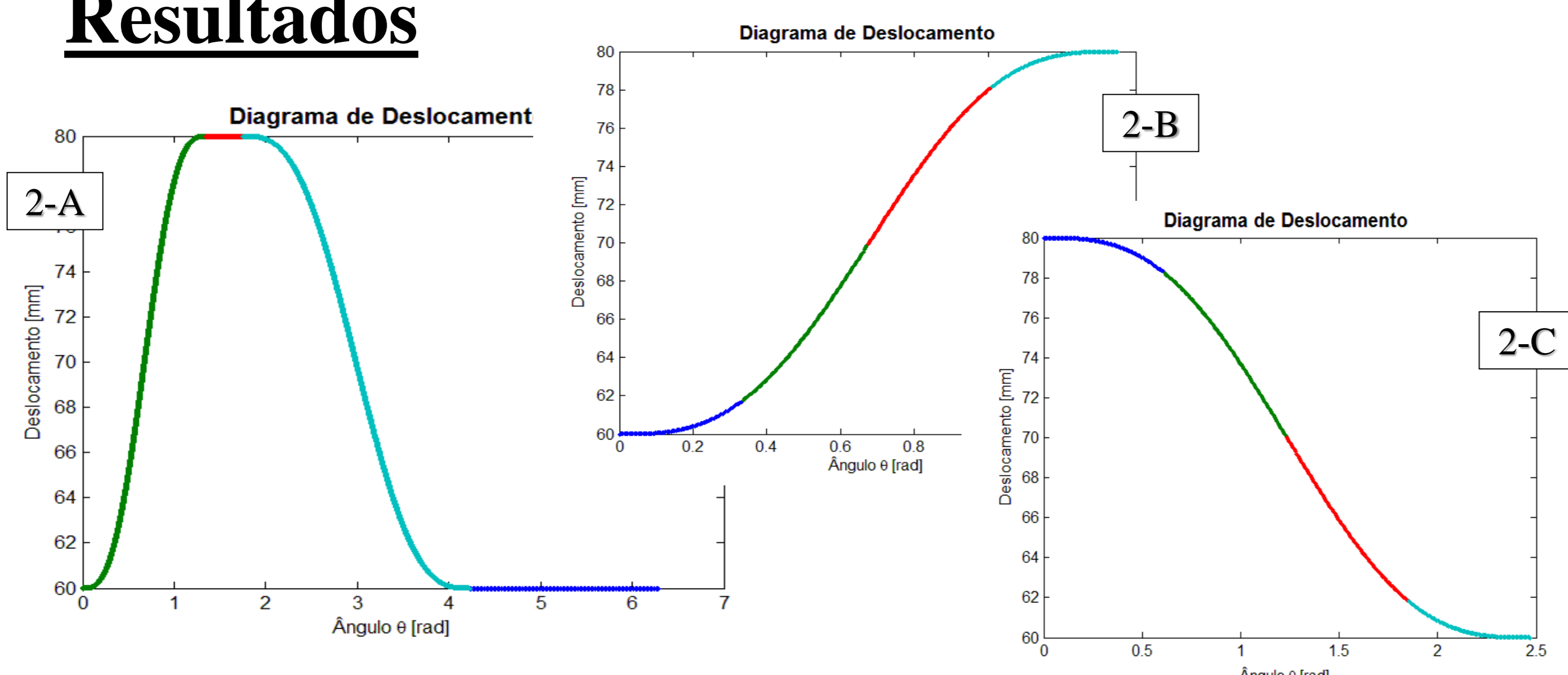


Figura 2: A) Função de deslocamento a partir de curvas cicloidais.  
B) Curva de ascensão feita por splines. C) Curva de retorno feita por splines.

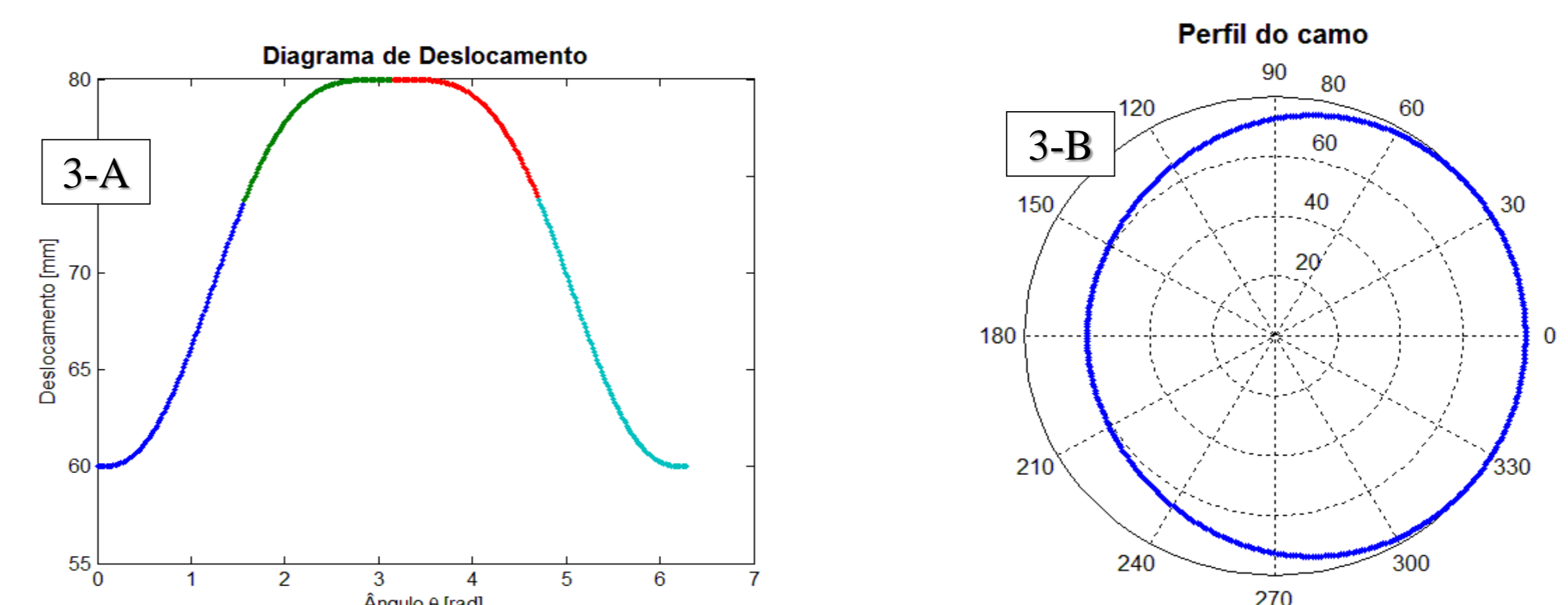


Figura 3: Camo-seguidor de face-plana com movimento descrito por splines.

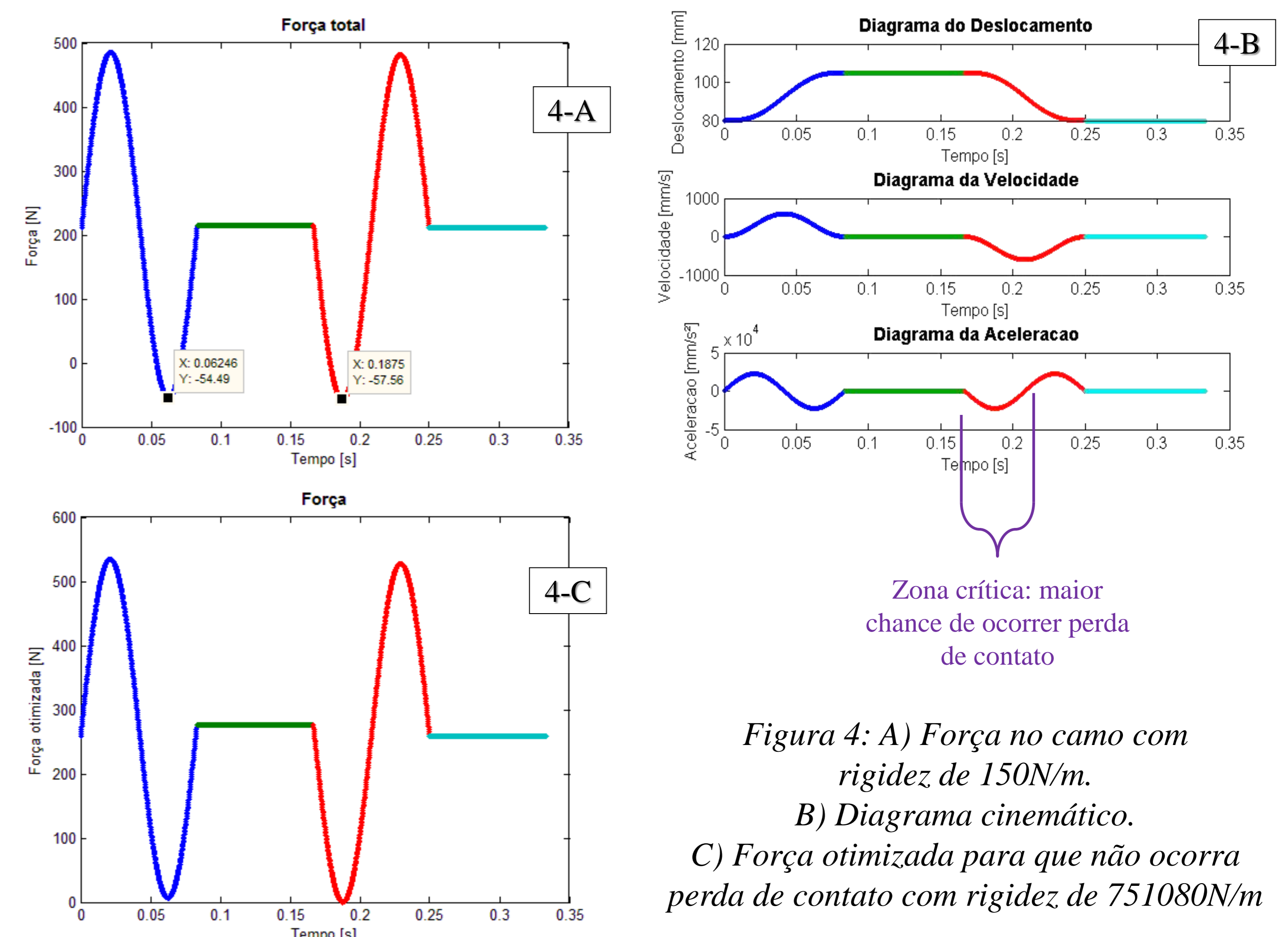


Figura 4: A) Força no camo com rigidez de 150N/m.  
B) Diagrama cinemático.  
C) Força otimizada para que não ocorra perda de contato com rigidez de 751080N/m

### Conclusões

O uso de splines permite selecionar a velocidade e aceleração em certo ponto para traçar a curva, o que pode ser interessante para casos em que um dado instante tem a importância mais exaustiva em um projeto. Em contrapartida, o seu comportamento fora dos nós não é previsível, o que pode causar dificuldades no projeto.

O estudo dinâmico é essencial para evitar impactos e vibrações, pois a força no camo deve ser positiva para que não ocorra perda de contato. Assim pode-se estimar o valor da rigidez necessário para tornar o sistema passível de operação.

### Referências Bibliográficas

- Mabie H.H.; Reinholtz C.F. *Mechanics and dynamics of Machinery*, John Wiley & Sons, USA, 1986, 644p.  
Norton, R. L. *Cam Design and Manufacturing Handbook*. 2ª ed., Industrial Press, USA, 2009, 591p.  
Doughty, S. *Mechanics of Machines*, John Wiley & Sons, USA, 1988, 467p.