Princípios do

Controle de interação de Sistemas robóticos

por Prof. Thiago Boaventura


controle de interação
princípios básicos
controle de impedância

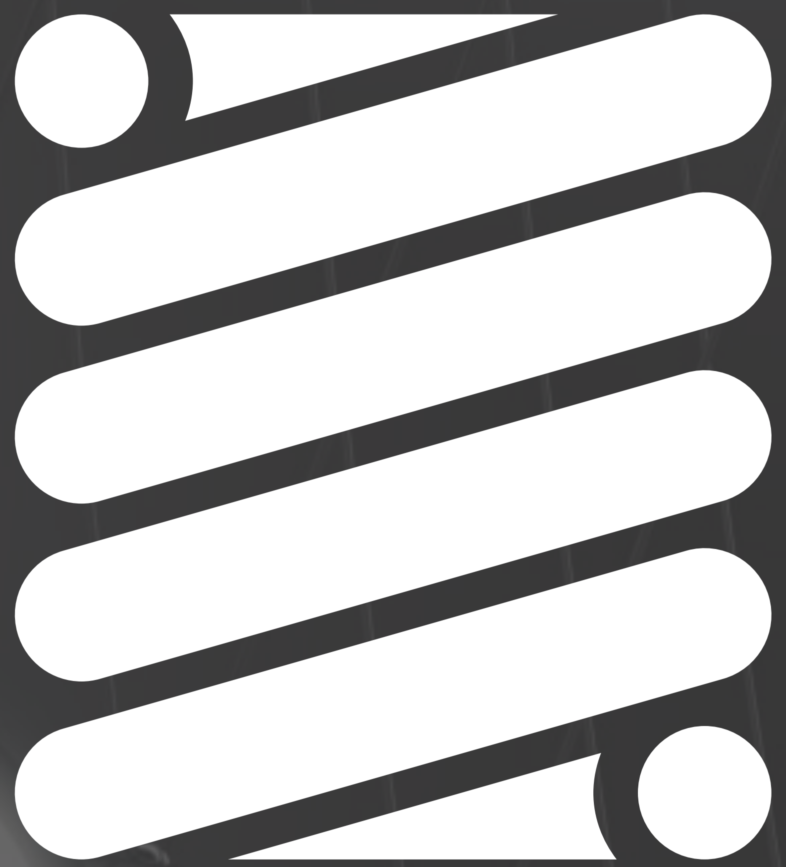
Controle da
interação física!

O que caracteriza **interação física?**

Fluxo de energia

Elementos energéticos ideais

energia
cinética



energia
potencial elástica

Fluxo de energia

Potência

= fluxo de energia

$$P = \frac{dE}{dt}$$

$$P = \frac{dE}{dt}$$

Dependência temporal descrita por:

E.D.O.

Função de transferência

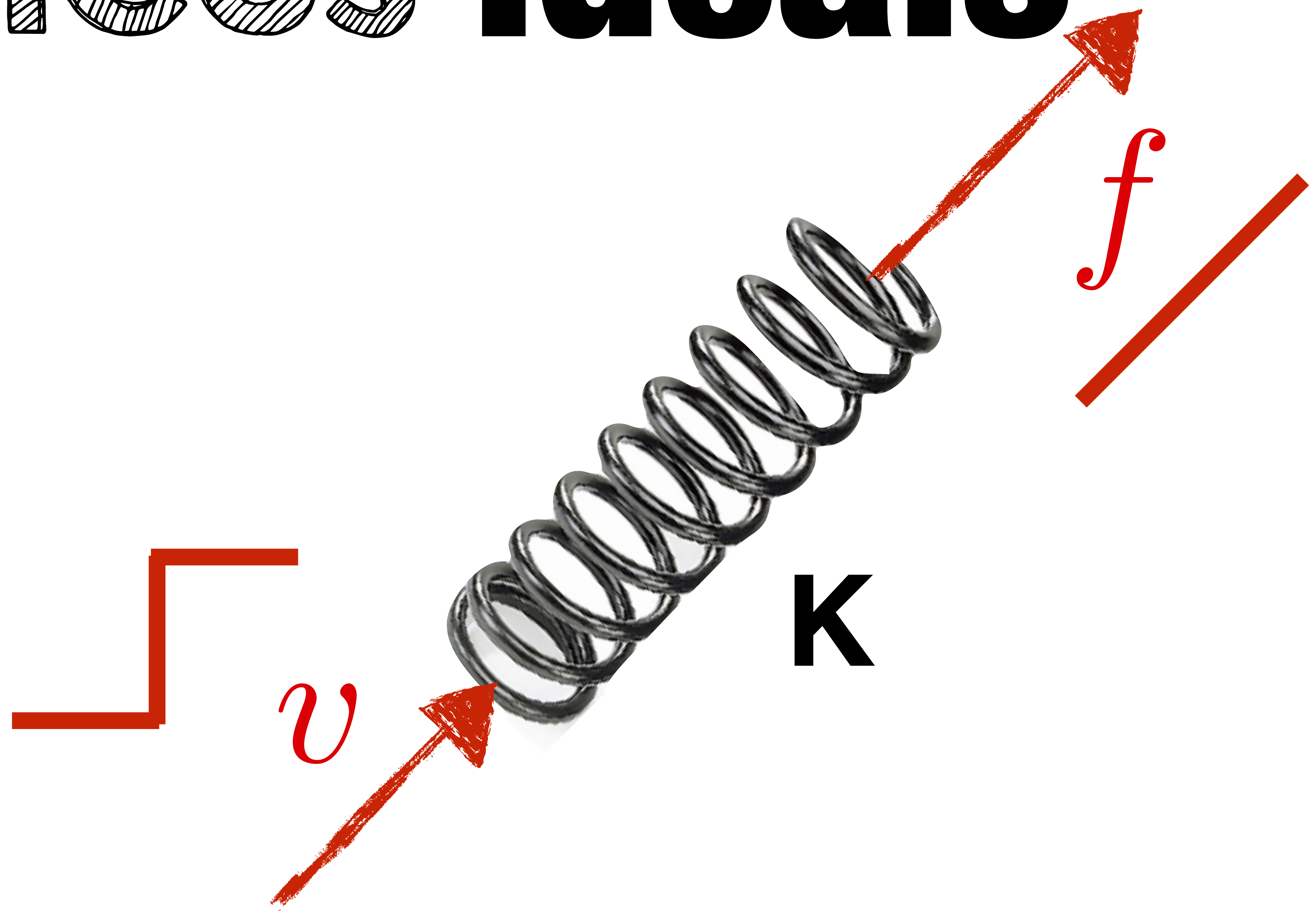
POTÊNCIA = ESFORÇO X FLUXO

Mecânico	=	FORÇA	X	VELOCIDADE
Elétrico	=	TENSÃO	X	CORRENTE
Fluidos	=	PRESSÃO	X	VAZÃO

POTÊNCIA = ESFORÇO X FLUXO

Mecânico = FORÇA X VELOCIDADE

Elementos mecânicos **ideais**



$$\dot{v} = \frac{1}{m} f$$

$$\dot{f} = K v$$

Saída **Entrada**

$$v = \int \frac{1}{m} f \, dt$$

Saída **Entrada**

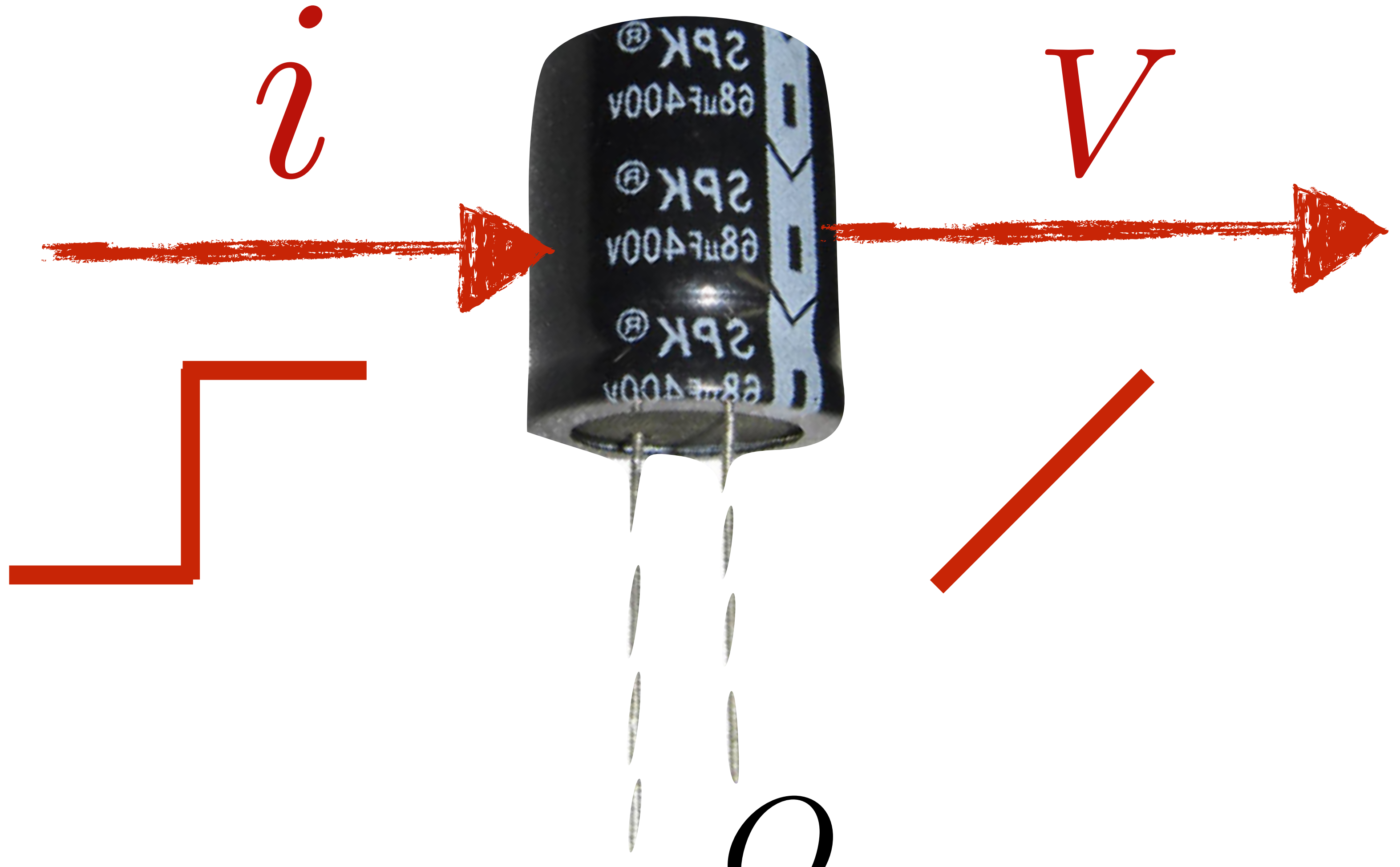
$$f = \int K v \, dt$$

Elementos elétricos **ideais**

$$V = L\frac{di}{dt}$$

Saída **Entrada**

$$i = \frac{1}{L}\int V\,dt$$



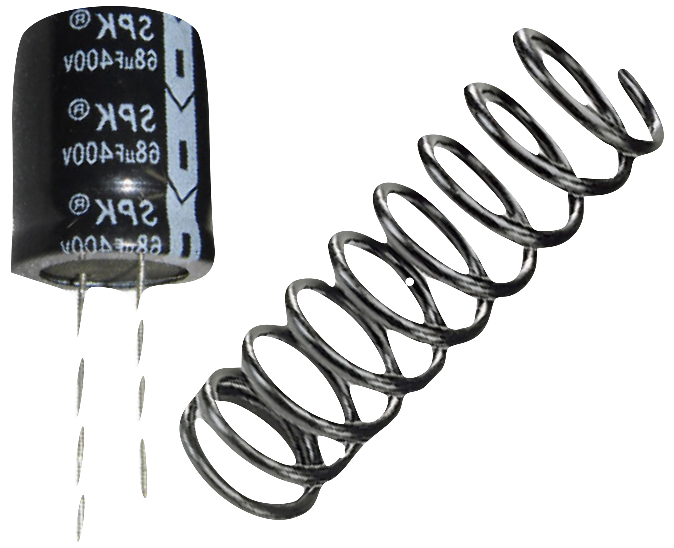
$$V = \frac{Q}{C}$$

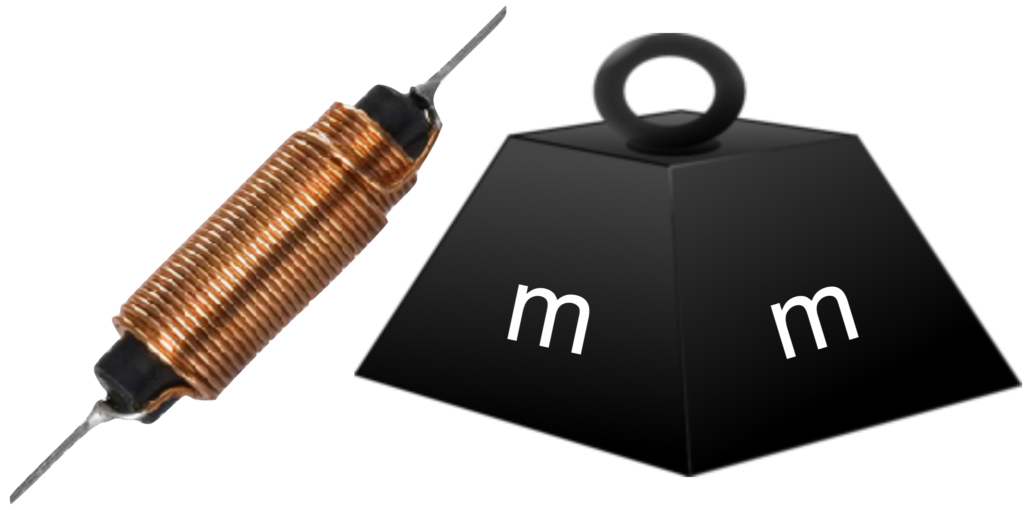
Saída **Entrada**

$$V = \frac{1}{C}\int i\,dt$$

Impedância e admitância

Descrevem uma relação **dinâmica** entre **ESFORÇO/FLUXO**



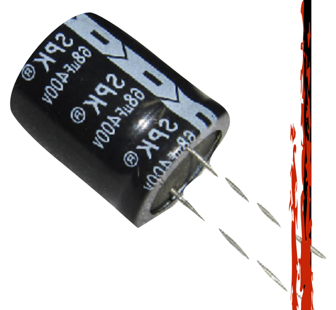
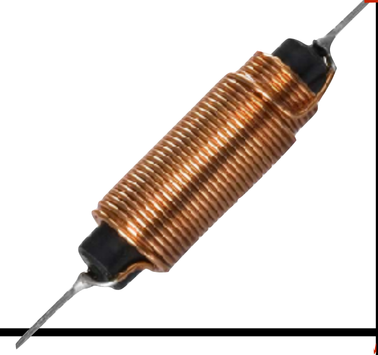
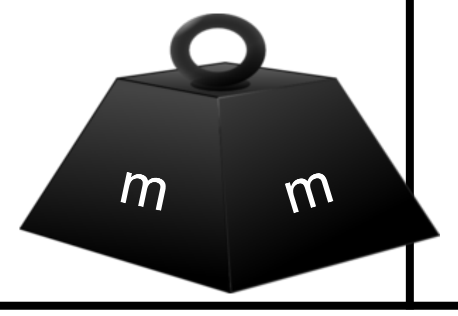


	ENTRADA	SAÍDA
impedância	FLUXO	ESFORÇO $Z(s) = \dfrac{F(s)}{V(s)}$
admitância	ESFORÇO	FLUXO $Y(s) = \dfrac{V(s)}{F(s)} = \dfrac{1}{Z(s)}$

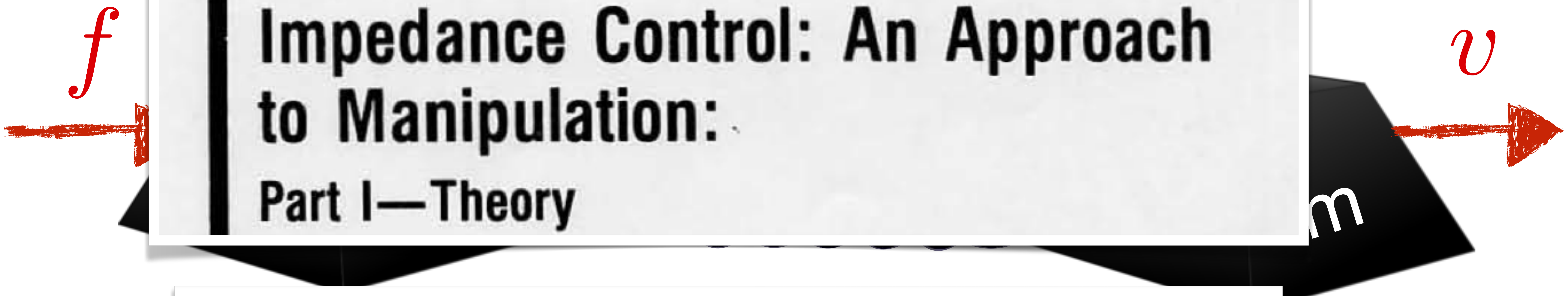
Impedância e admitância

$$Z(s) = \frac{F(s)}{V(s)}$$

$$Y(s) = \frac{V(s)}{F(s)} = \frac{1}{Z(s)}$$

Elemento	Impedância	Admitância
Capacitor 	$Z(s) = \frac{1}{Cs}$	$Y(s) = Cs$
Indutor 	$Z(s) = Ls$	$Y(s) = \frac{1}{Ls}$
Mola 	$Z(s) = \frac{k}{s}$	$Y(s) = \frac{s}{k}$
Massa 	$Z(s) = ms$	$Y(s) = \frac{1}{ms}$

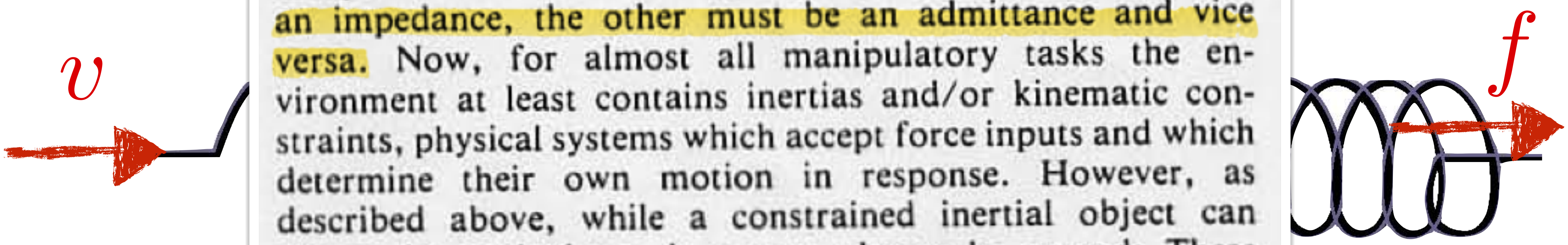
Entrada/Saida ⇔ Causalidade



Impedance Control: An Approach to Manipulation:

Part I—Theory

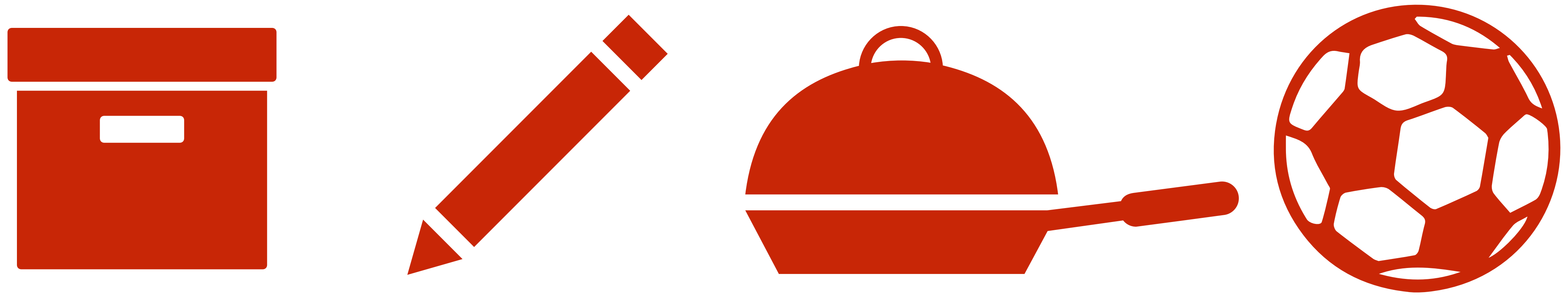
The most important consequence of dynamic interaction between two physical systems is that one must physically complement the other: Along any degree of freedom, if one is an impedance, the other must be an admittance and vice versa. Now, for almost all manipulatory tasks the environment at least contains inertias and/or kinematic constraints, physical systems which accept force inputs and which determine their own motion in response. However, as described above, while a constrained inertial object can always be pushed on, it cannot always be moved; These systems are properly described as admittances. Seen from the manipulator, the world is an admittance.



[Hogan, 1985]

Inércia

modelo **mínimo** da maioria dos **objetos**



preferem causalidade de **admitância**

Restrição cinemática

$$\dot{x} = \ddot{x} = 0$$

mais **simples** descrição de contato com **superficies**

exigem causalidade de **admitância**

impedância

admitância

impedância

admitância

Durante
interação física
conseguimos controlar
força e posição
independentemente?

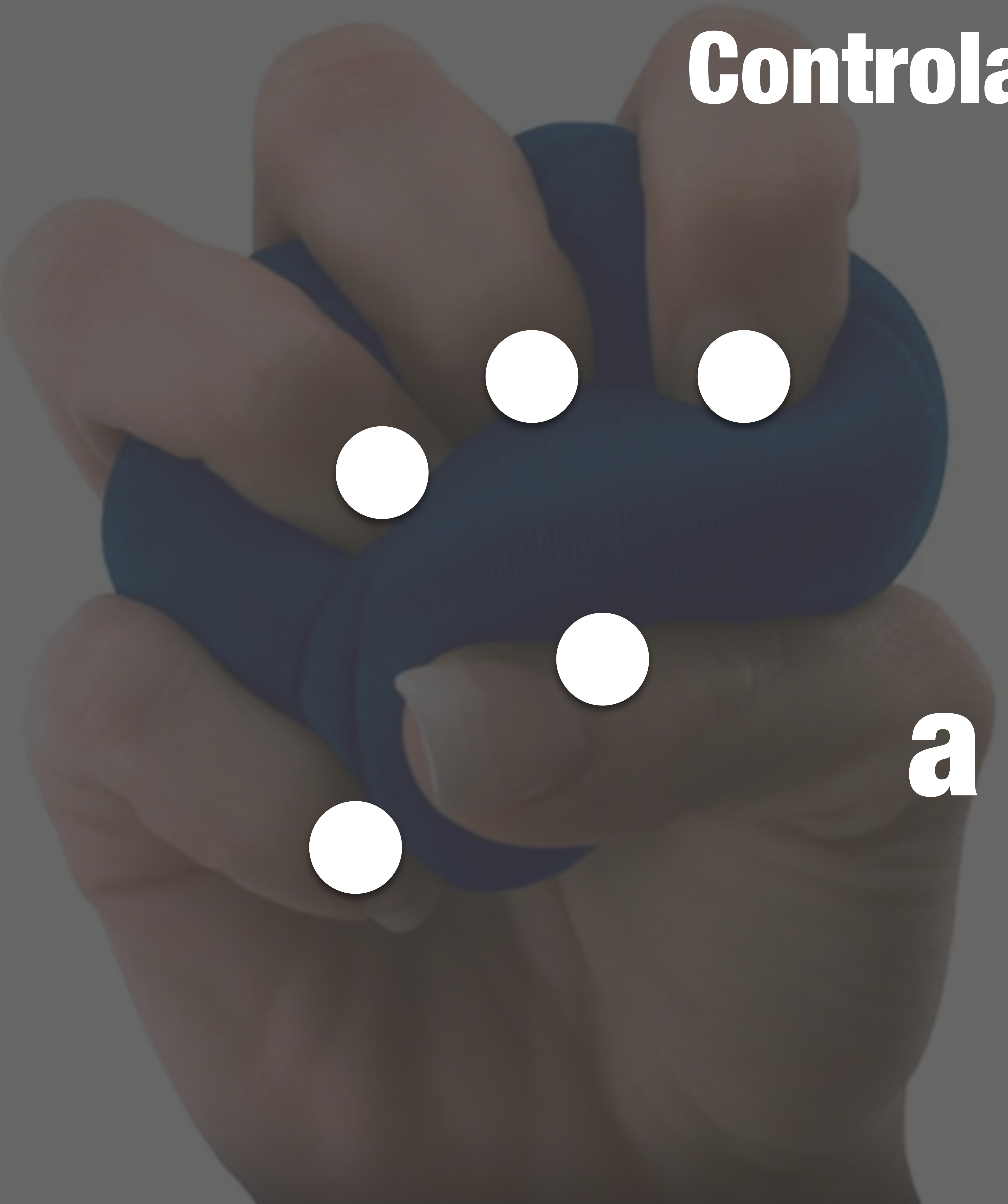
NÃO!

Dinâmica do objeto define relação força/movimento

não é afetado pelo contato e interação

Alternativa:

Controlar o comportamento dinâmico do(s) ponto(s) de interação



Alternativa:

Controlar o **comportamento dinâmico** do(s) ponto(s) de interação

i.e.

a **Relação** entre **força e movimento**

controle de interação

princípios básicos

controle de impedância

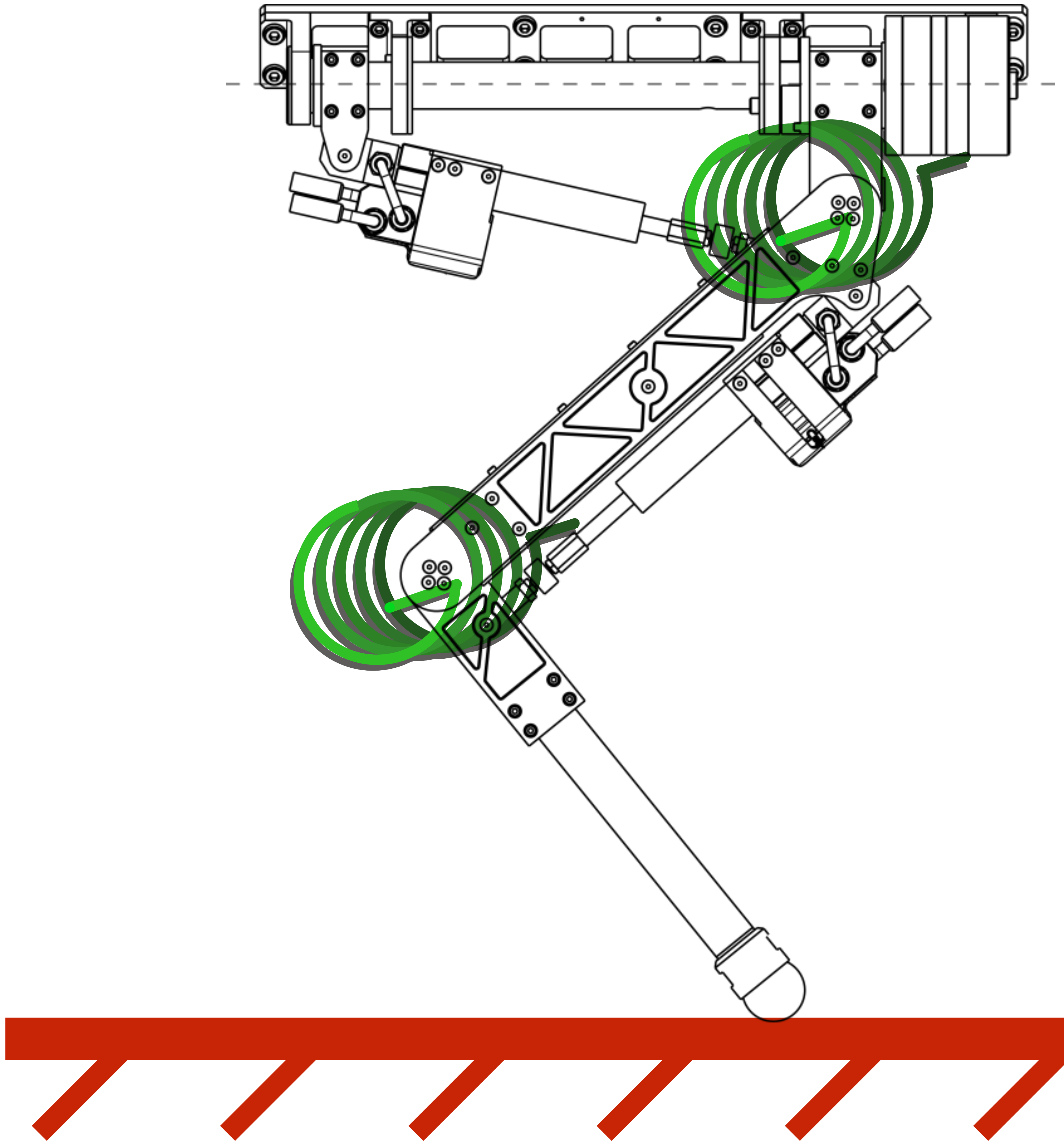
Controle de impedância

Estabelece uma **relação dinâmica** entre **força** e **posição**

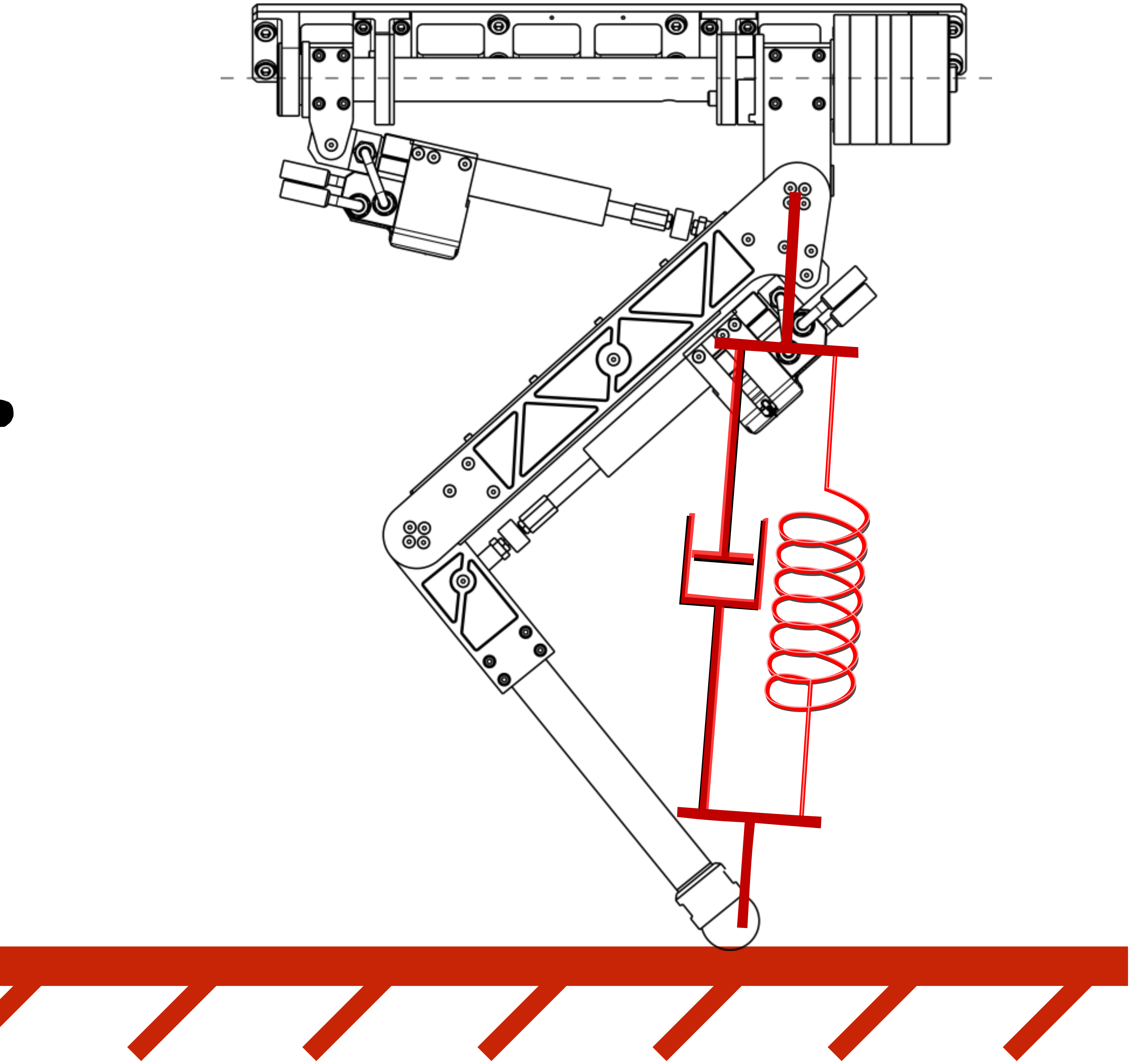
$$F = M\ddot{x} + B\dot{x} + Kx$$

Inércia **Amortecimento** **Rigidez**

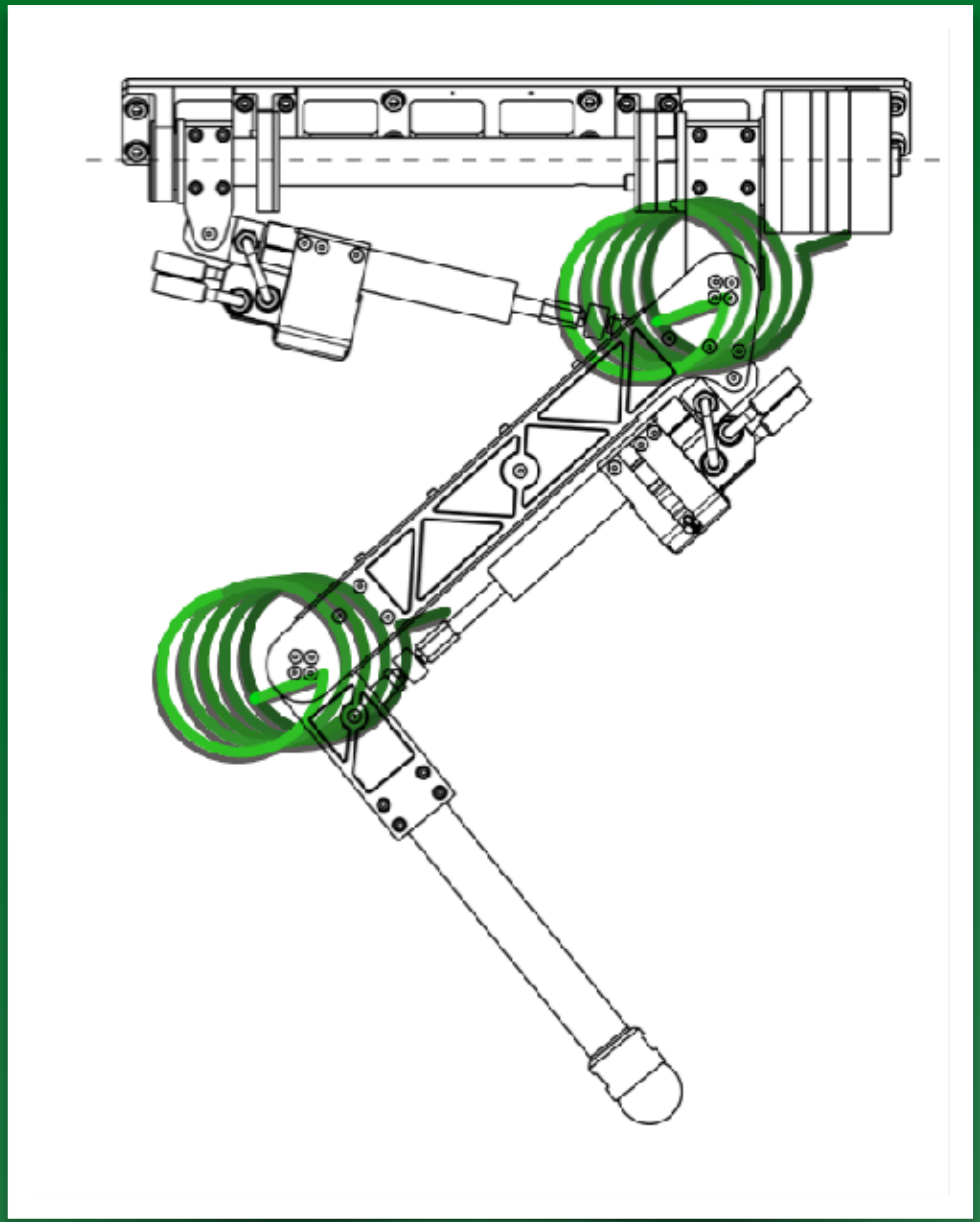
Espaço de juntas vs. Espaço de tarefas



vs.

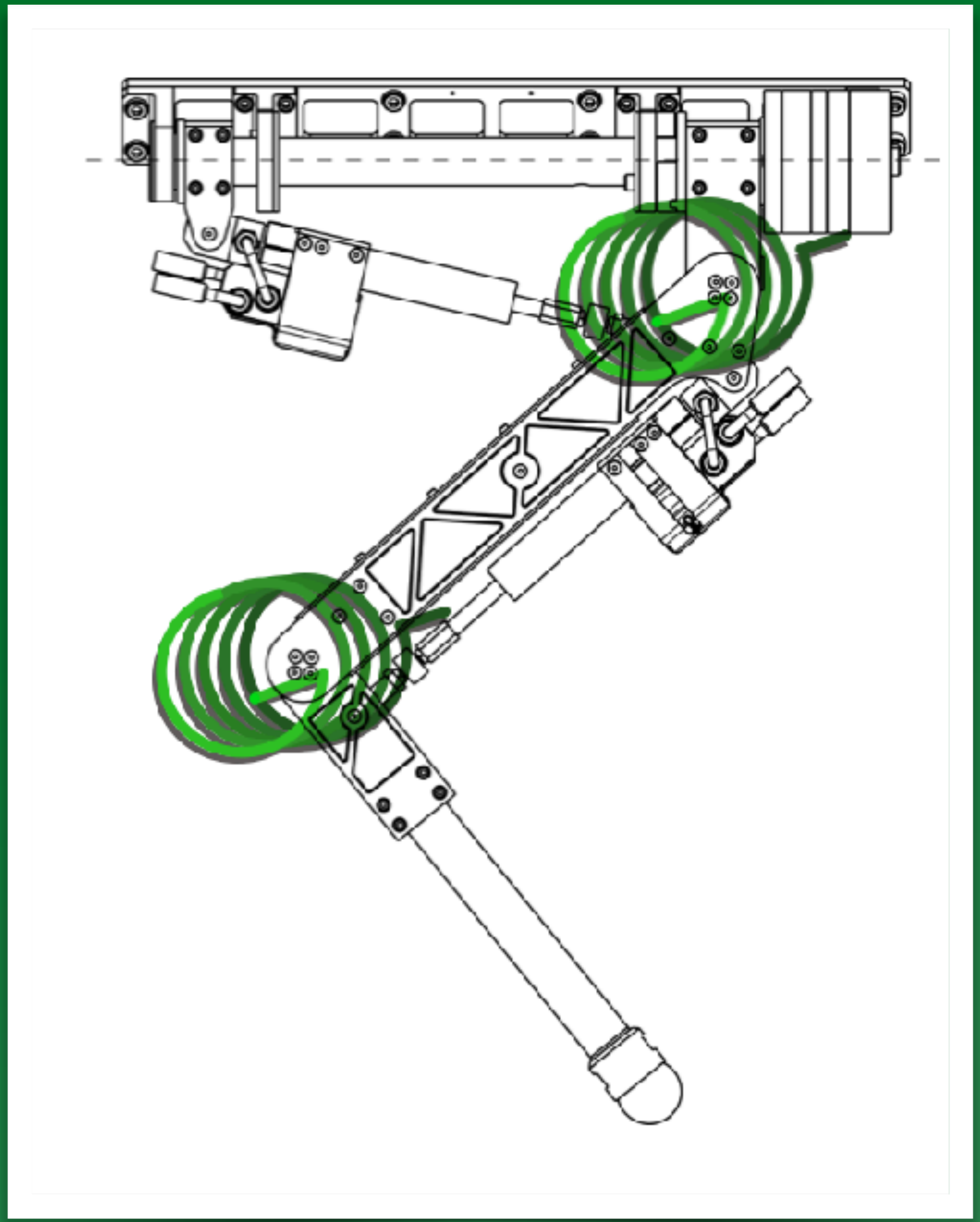


Espaço de juntas vs. Espaço de tarefas



Qual a **rigidez** aparente no **efetuador** devido às molas nas **juntas**?

Espaço de juntas vs. Espaço de tarefas



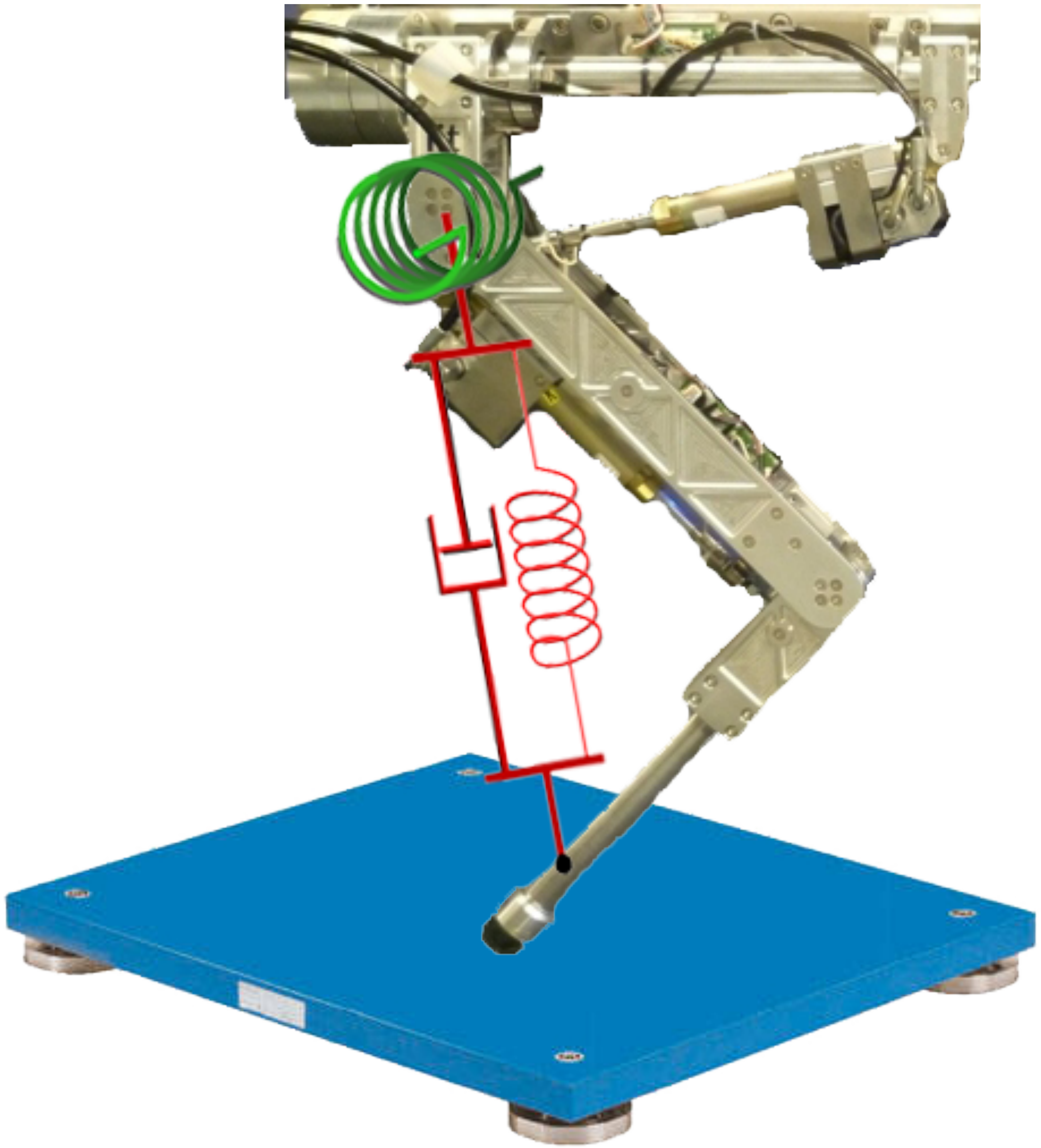
$$\tau = K\theta + B\dot{\theta}$$

Espaço de juntas


Virtual springs:
Rotational spring at hip
Linear spring in leg
ETH Zürich
iit
ADVR

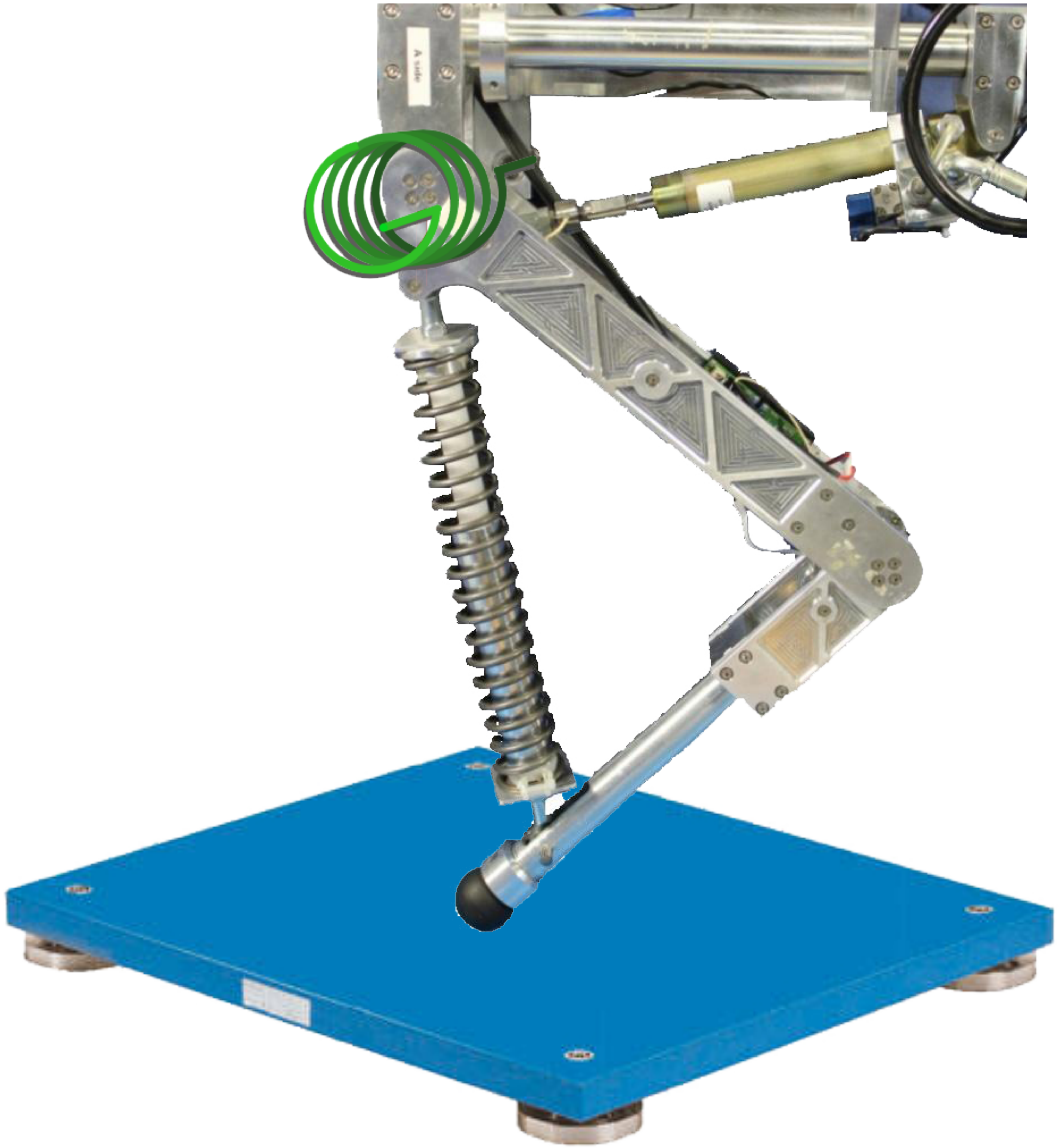
Impedância ativa

(espaço de tarefas)



VS.

Impedância passiva



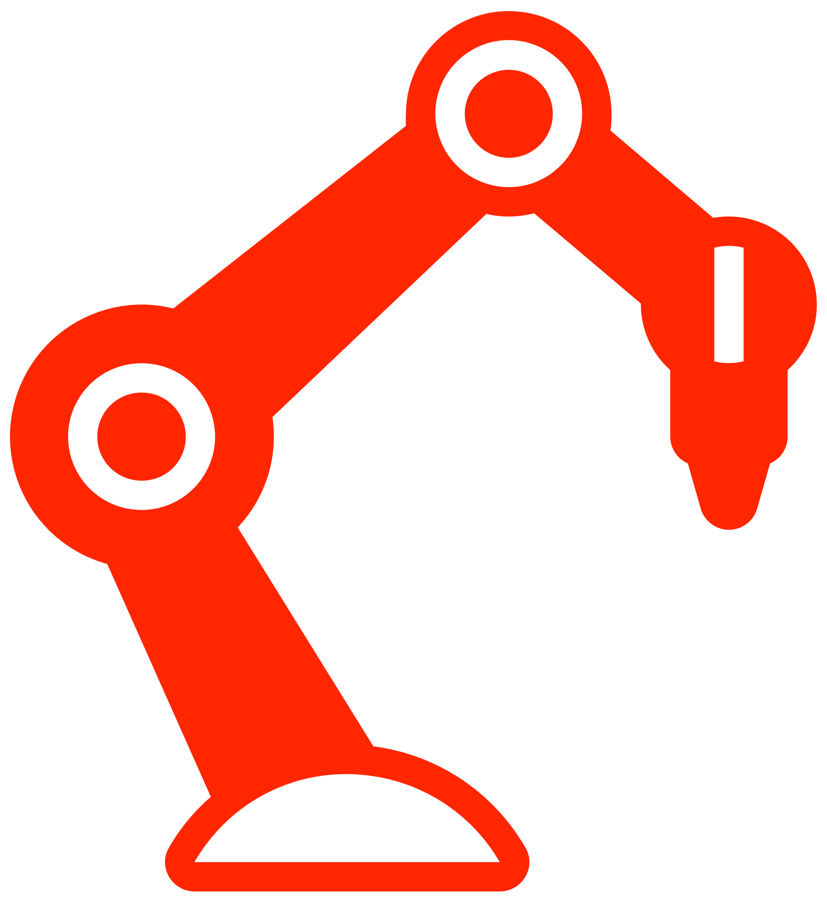
Active Impedance vs. Passive Impedance
Drop test – Speed 1/16


iit
ADVR

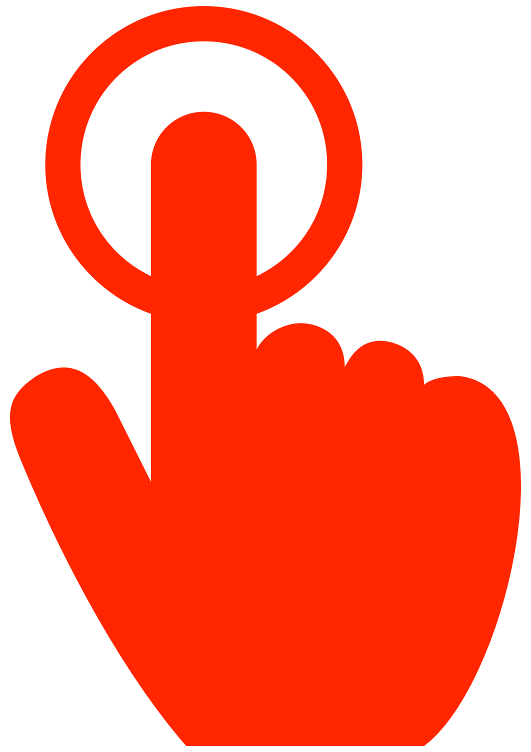
Formas de se controlar a impedância de um robô

τ

controle
das juntas

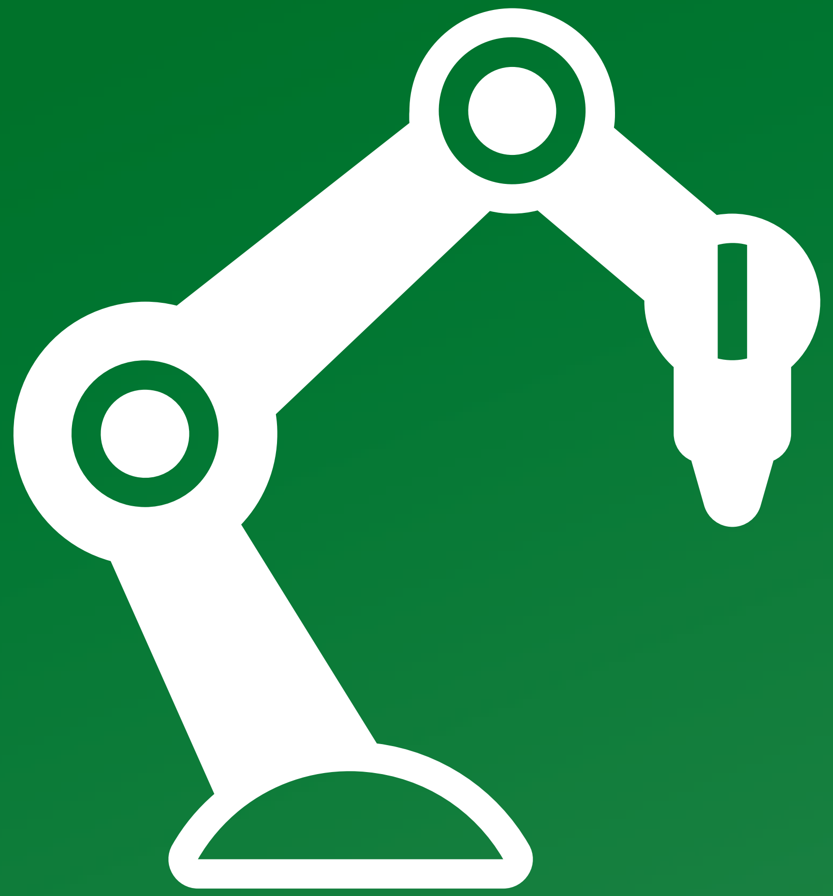


configuração
cinemática

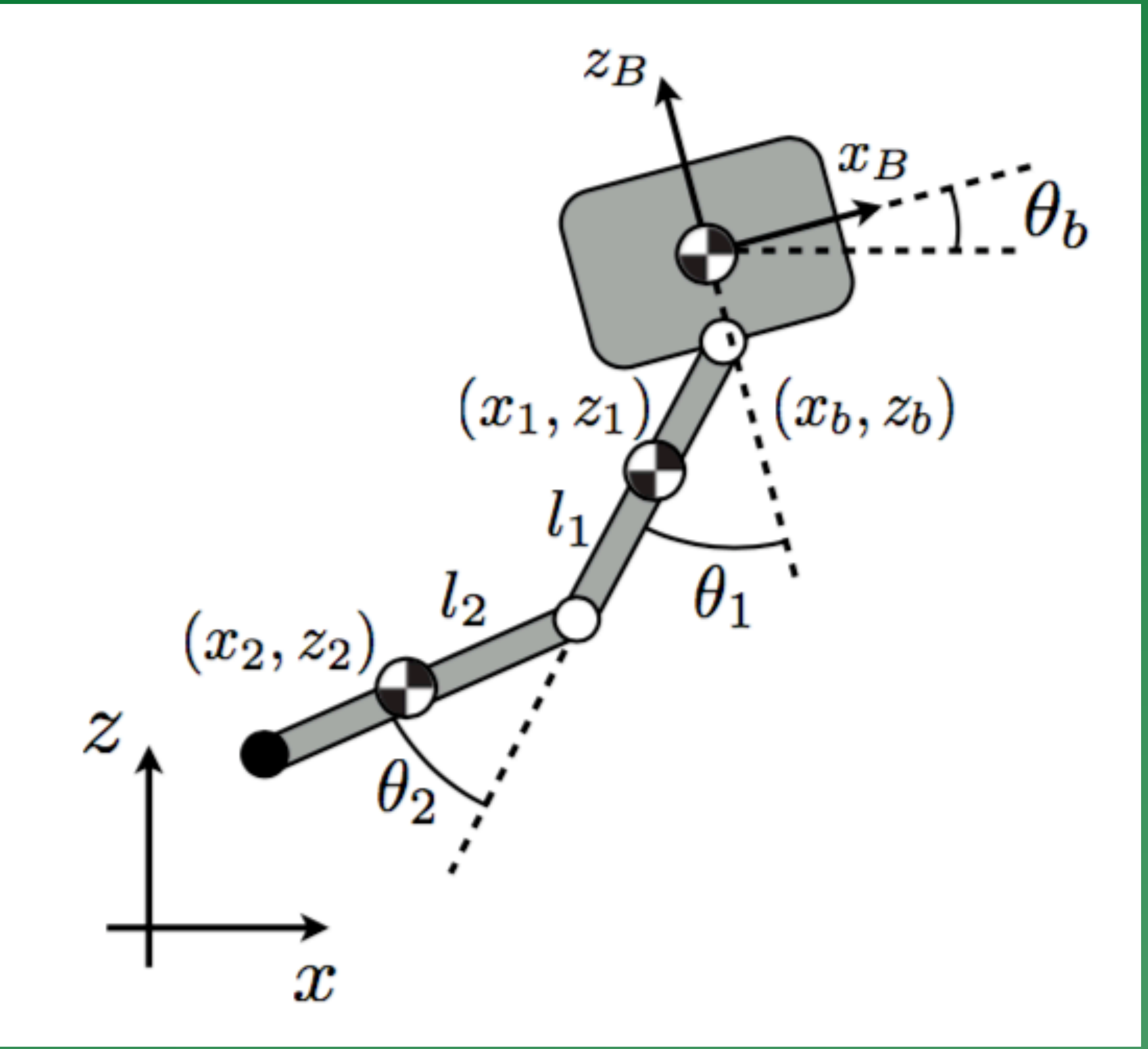


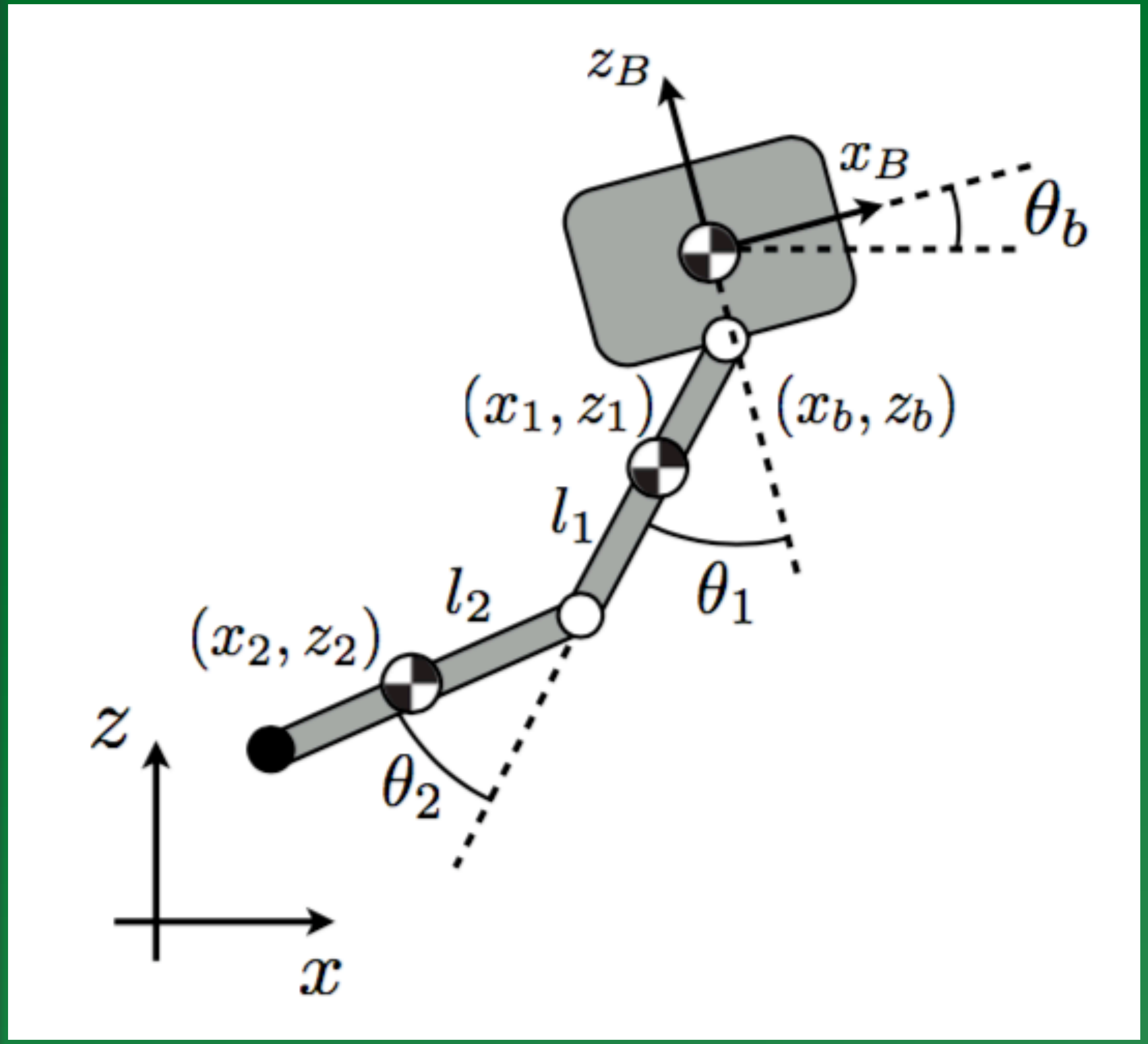
pontos de
contato

Exemplo



configuração cinemática





z_B
x_B
θ_b
(x_1, z_1)
(x_b, z_b)
l_1
θ_1
l_2
(x_2, z_2)
θ_2
z
x

controle das juntas

Possíveis arquiteturas

Take-home message

controlar **impedância** não é controlar **força**…

… nem controlar **posição**…

mas sim a **relação** entre eles.

Talk on "Interaction Control for Contact Robotics" by **Neville Hogan** Part 1 and 2

https://www.youtube.com/watch?v=GjKy3EFs3g8

https://www.youtube.com/watch?v=Dkc1LkTDXXk&t=2693s

Calanca, A., et al. (2016). A review of algorithms for compliant control of stiff and fixed-compliance robots. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics

Hogan, N. (1985). Impedance control: An approach to manipulation: Part II—Implementation. Journal of dynamic systems, measurement, and control


That's all Folks!