Algoritmos computacionais em controle automático

Felipe M Pait

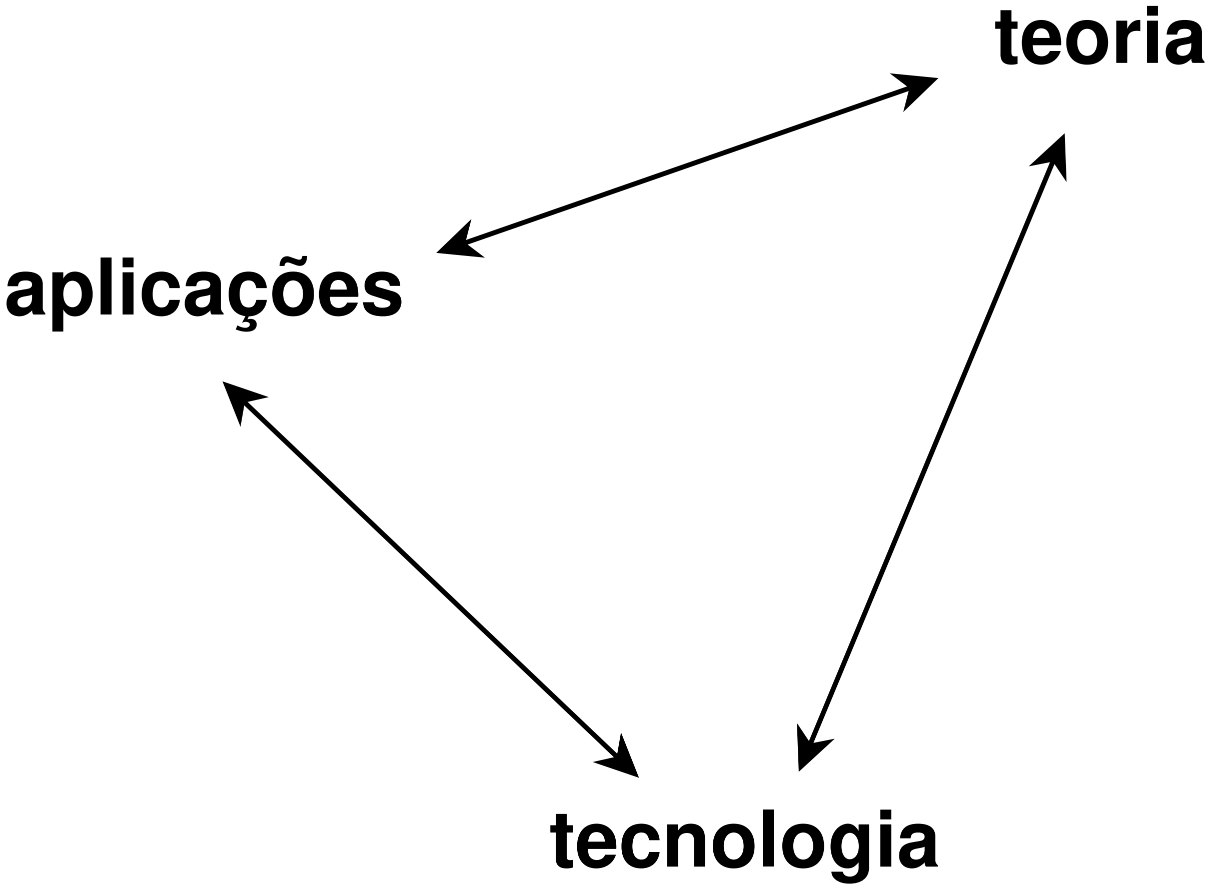
`http://www.lac.usp.br/~pait`

There's an art to knowing when.
Never try to guess.
Toast until it smokes and then
Twenty seconds less.

Piet Hein

Sumário

- Evolução da automação & controle: teoria, tecnologia, e aplicações.
- Controle adaptativo.
  - Chaveamento cíclico.
  - Algoritmos paralelos.
  - Novas propostas.
- Algoritmos de identificação: desempenho, complexidade, estabilidade numérica.
- Sistemas híbridos.
- Considerações finais: ensino de automação.


teoria
aplicações
tecnologia

aplicações	**tecnologia**	**teoria**
governador	mecânica	
(Watt)		estabilidade
		(Maxwell,
	vapor	Routh,
servo-		Hurwitz)
mecanismos		
(máquina	PID!	
a vapor,		Lyapunov
navios)	hidráulica	
		cálculo de
iluminação,	eletromecânica	operadores
máquinas		(Heaviside)
elétricas		
–regime–	registradores,	
	indicadores	

aplicações	**tecnologia**	**teoria**
processos contínuos (químicos)	pneumática (PID)	cascata, feedforward,
comunicação –transientes–	eletrônica analógica	controle clássico (Bode, Nyquist, Nichols)
tiro antiaéreo, rastreamento	óptica	processos estocásticos (cibernética de Wiener)
aeronáutica, espaço		filtro de Kalman, ótimo

aplicações	**tecnologia**	**teoria**
manufatura	eletromecânica	
		controle
	digital	digital,
comando	(centralizada)	tempo
numérico		discreto
por		
computador	micro-	
	processadores	
		identificação
	controlador	
	lógico	
filas,	programável	
redes		estocástico
	controle	
	distribuído	
energia,		
máquinas	eletrônica	
elétricas	de potência	

aplicações

- robótica
- geração e distribuição de energia
- organização: controle global na fábrica
- economia, finanças

tecnologia

- tempo real
- redes (fieldbus)
- bancos de dados
- computação numérica intensiva
- projeto por computador (interface gráfica)

teoria

- adaptativo
- eventos discretos
- projeto: não-linear, robusto, $\mathcal{H}_\infty$, preditivo, redes neurais, fuzzy, simulação

aplicações	**tecnologia**	**teoria**
estruturas flexíveis	sensores, atuadores	equações diferenciais parciais
vibrações, combustão, turbulência	nano-tecnologia	não-linearidade, caos
agentes cooperativos, autonômos	visão	visão ativa inteligência artificial
tráfego (veículos, informação)		sistemas híbridos
medicina	biologia	aprendizado, adaptação

Controle adaptativo: automatizar *projeto* de sistemas de controle.

Modelagem:

- Fenomenológica;
- Empírica (identificação de sistemas).

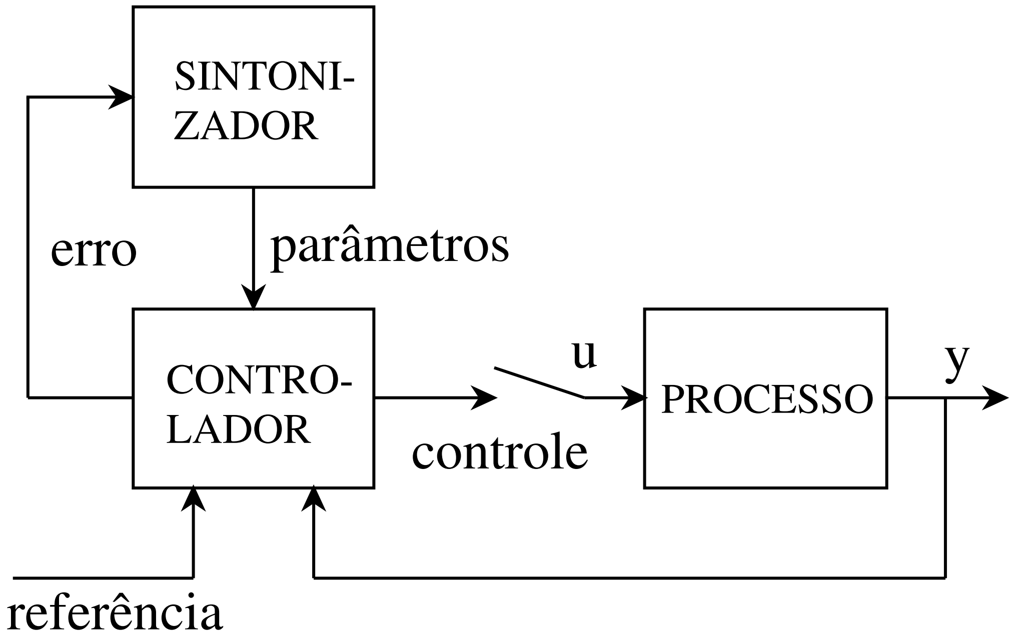
Projeto:

- Heurístico;
- Baseado em modelo.

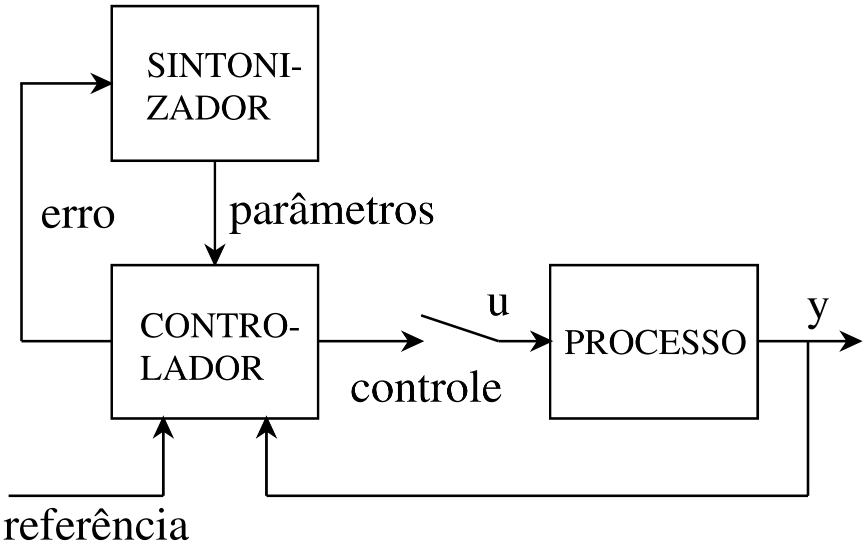
Teste.

Controle adaptativo: dupla malha de realimentação.

- Controle.
- Sintonia do controlador.



Controlador gera u e sinal de erro e.



Princípio da equivalência à certeza: a cada instante, escolha controlador como se parâmetros estimados fossem corretos.

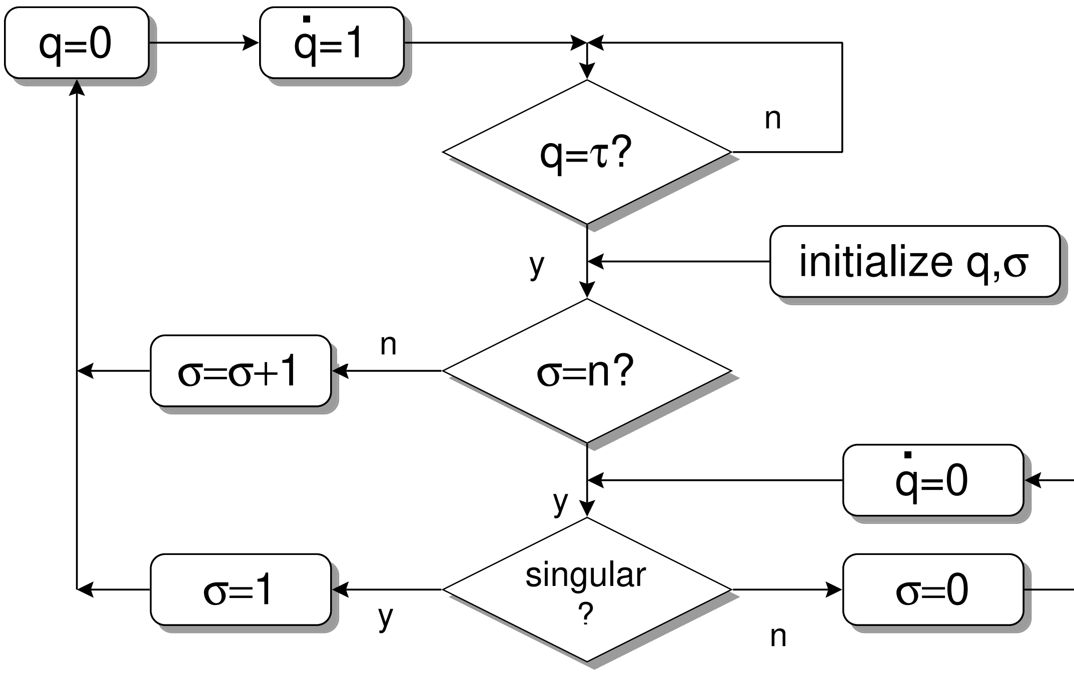
Algumas estimativas não admitem controlador!

Diagnóstico: topologias para identificação, controle incompatíveis no espaço de modelos.

Exemplo: calibração automática de visão estéreo em robótica.

Problema da estabilização: Não pode ser resolvido usando controladores contínuos.

Pode ser resolvido (com grande generalidade) usando **chaveamento cíclico**.



Sistema híbrido: sistema dinâmico + chaveamento lógico.

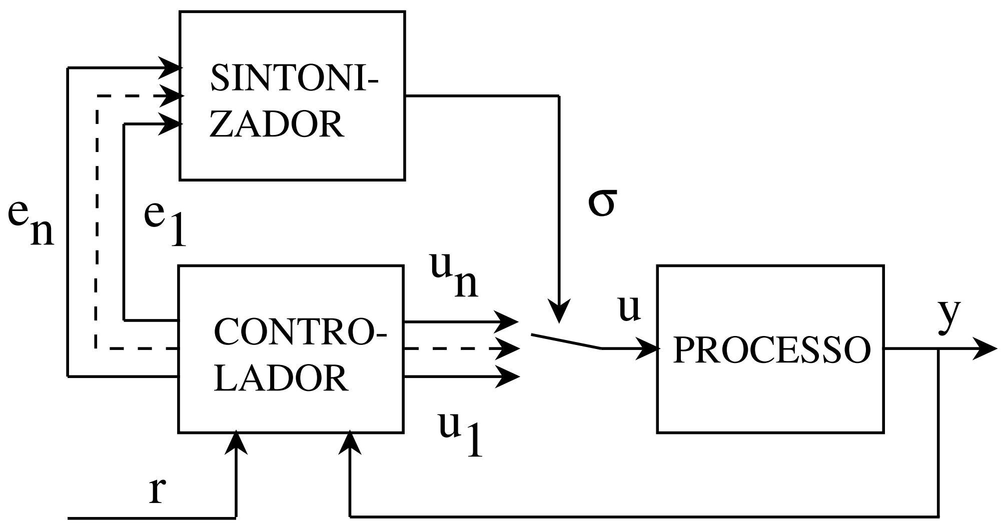
Algoritmos paralelos para controle adaptativo

Objetivo: no contexto de controladores auto-ajustáveis, desenvolver ferramentas para estudar compromisso

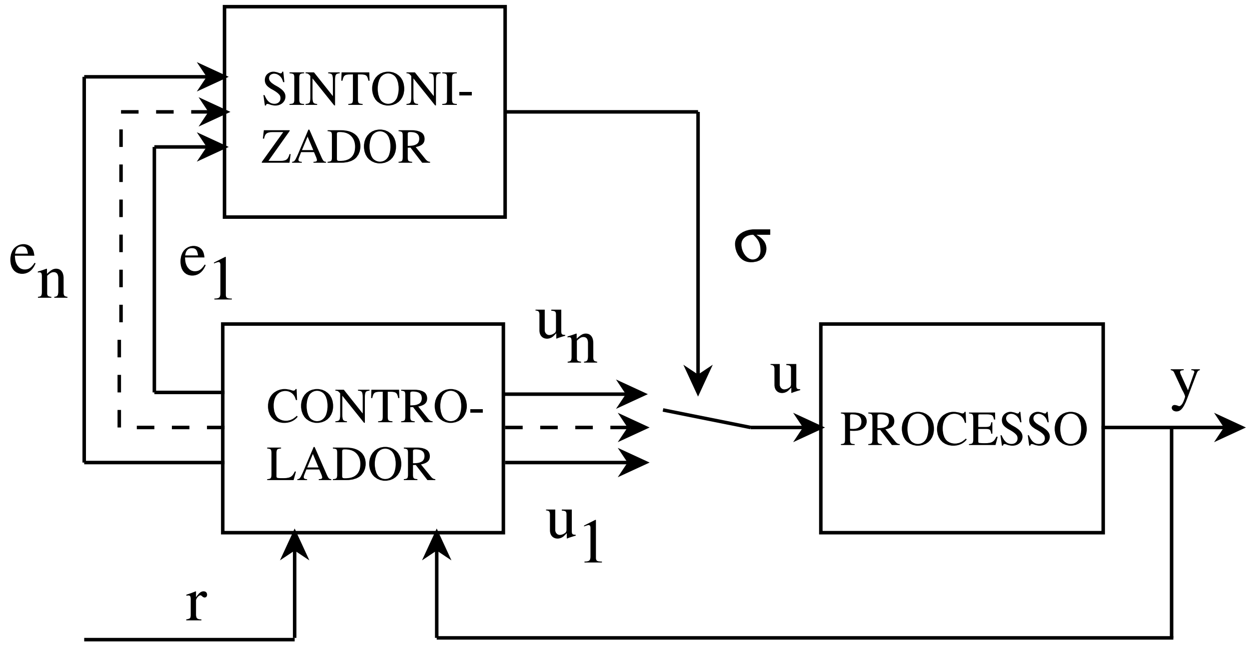
Desempenho do sistema de controle

X

capacidade de processamento do equipamento computacional.



- Discretizar conjunto de modelos.
- Analisar em paralelo um grande número.
- Chavear controladores candidatos (controle supervisório).



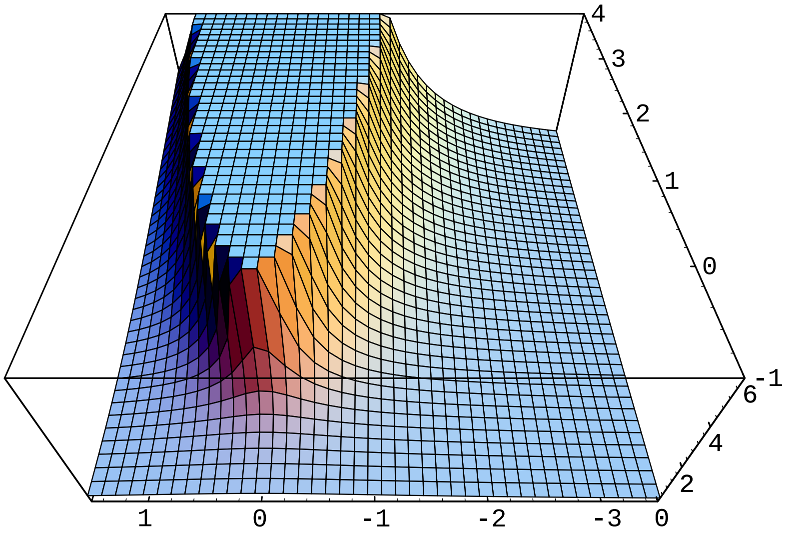
Resultados importantes sobre robustez.

Ajuste contínuo parece impraticável.

Solução proposta para o problema de controle adaptativo

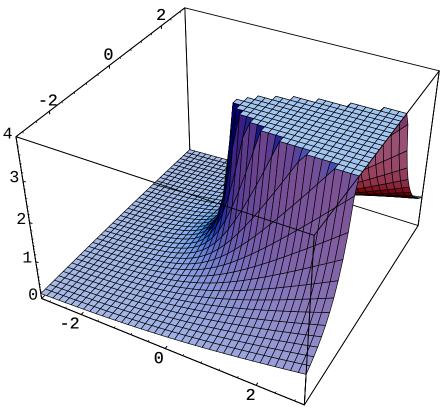
Estimação de n parâmetros em variedade n-dimensional de $\mathbb{R}^{n+m}$.

Sintonia baseada em algoritmos de busca, pesquisa operacional.



Objetivos:

- Compatibilizar topologias.
- Conciliar controle e aprendizado, desempenho e robustez.
- Concretizar potencial do controle adaptativo em aplicações.
- Modularidade.



Sintonia de n parâmetros

Usa técnicas de identificação de sistemas, filtragem adaptativa.

método	convergência	desempenho	complexidade*	estab. numérica
gradiente instantâneo (LMS)	lenta	"ótimo"	$O(n)$	estável
mínimos quadrados (RLS)	rápida	não é robusto	$O(n^2)$	não
acelerante (segunda ordem)	compromisso	"bom"	$O(n)$	estável (!?)
gradiente (máxima declividade)	rápida	?	$O(n^2)$	?

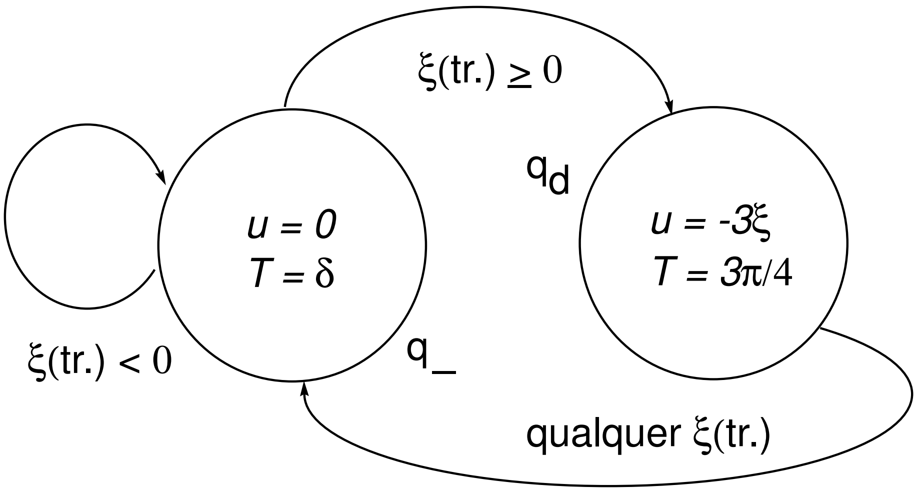
*número de operações de ponto flutuante em cada intervalo de tempo.

Estabilização híbrida

Oscilador harmônico

$$\ddot{\xi} = -\xi + u$$

pode ser estabilizado usando autômato finito, dois estados, sem memória [Artstein 1996].

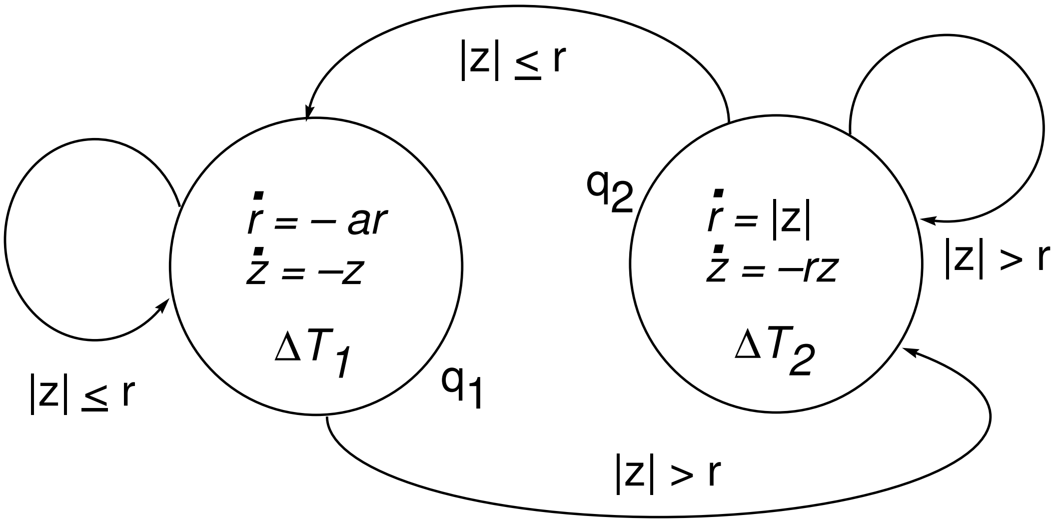


Estado do autômato $\longleftrightarrow$ realimentação

$$u = f_i \xi.$$

Qual o estabilizador mais "simples"?

Estabilização híbrida de sistemas não-holonômicos



- Aparecem freqüentemente em robótica, planejamento de trajetórias...

- Não podem ser estabilizados por métodos convencionais da teoria de controle (realimentação contínua, linearização...)

- Podem ser estabilizados usando realimentação híbrida, autômatos.

Algumas áreas envolvidas

engenharia elétrica, mecânica, química, aeroespacial, transporte	mecânica	análise
medicina	elétrica	álgebra
economia	eletrônica	sistemas dinâmicos
	óptica	estatística
	materiais	topologia
....	....	....

Computação: autômatos, análise numérica, algoritmos e complexidade, processamento paralelo, redes...

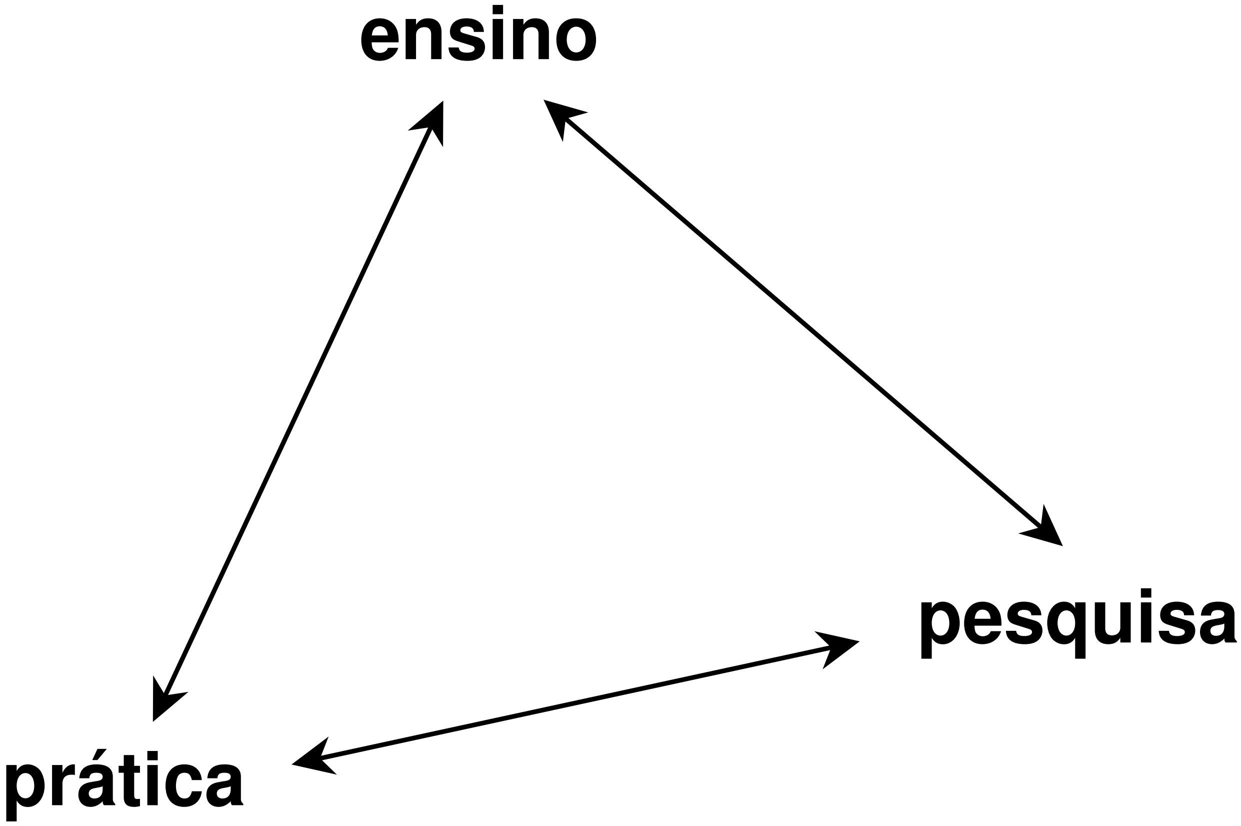
Ensino de automação

Multidisciplinaridade.

Currículos flexíveis.

Ênfase nos fundamentos.

Trabalho criativo e em equipe.



... the best theory is inspired by practice. The best practice is inspired by theory. ... Neither is healthy without the other. They deserve to be mixed and blended, but sometimes they also need to be pure.

Donald E Knuth