

Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

## Equipamentos eficientes empregando hidráulica digital

Prof. Victor J. De Negri

Prof. Henri Carlo Belan (Doutorado LASHIP, 2018)

Marcos Paulo Nostrani (Doutorando)

Diego Mise (Mestrando)

**FEIMEC 2018 - São Paulo, abril de 2017**



## Capital do Estado de Santa Catarina (1726)

Ilha Principal (*Ilha de Santa Catarina*) + Área  
Continental + Pequenas Ilhas



- 42 praias
- 406.564 habitantes

# Ilha de Santa Catarina - Florianópolis

Ponte Hercilio Luz



Florianopolis, Brazil Is The Friendliest City In The World

3/5/13 2:02PM EST



Wall Street Insanity | by  
Samantha Cortez

Conde Nast  
Traveler Magazine, 2013



Mercado Público



Lagoa da Conceição



Dunas



Praia dos Ingleses



**Fundação 1960**

**Área do Campus: 1 km<sup>2</sup>**

**Professores: 2.050**

**Técnico-Administrativos: 3.113**

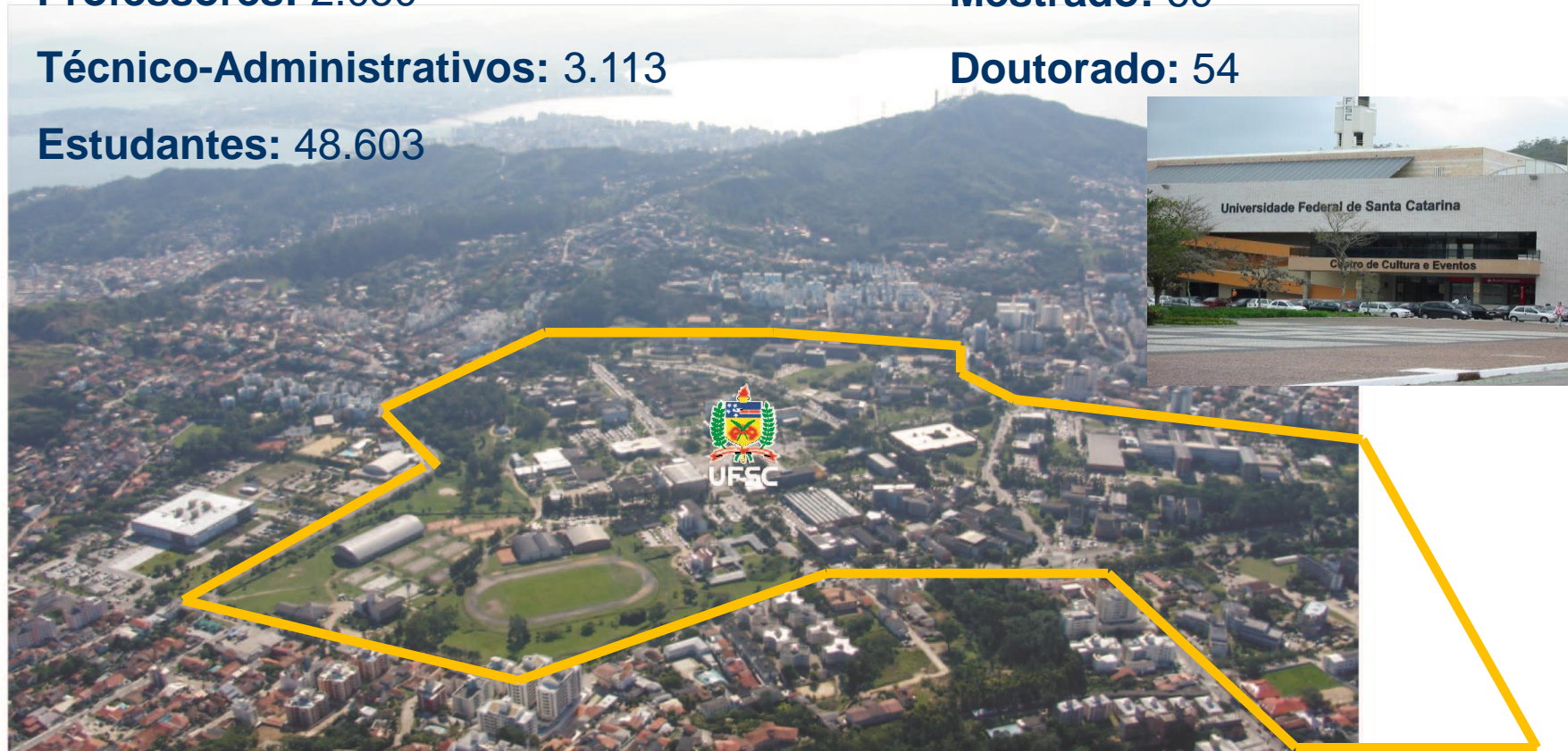
**Estudantes: 48.603**

**Número de cursos:**

**Graduação: 117**

**Mestrado: 69**

**Doutorado: 54**



## Objetivos:

- Qualificação de recursos humanos para atender demandas industriais e acadêmicas;
- Pesquisa para solução de problemas de relevância técnico-científica por meio de parcerias industriais;
- Consultoria industrial incluindo:
  - Teste de componentes hidráulicos e pneumáticos;
  - Desenvolvimento de sistemas especialistas;
  - Análise e projeto de componentes e sistemas hidráulicos e pneumáticos;
- Desenvolvimento de equipamentos didáticos para ensino de hidráulica e pneumática.

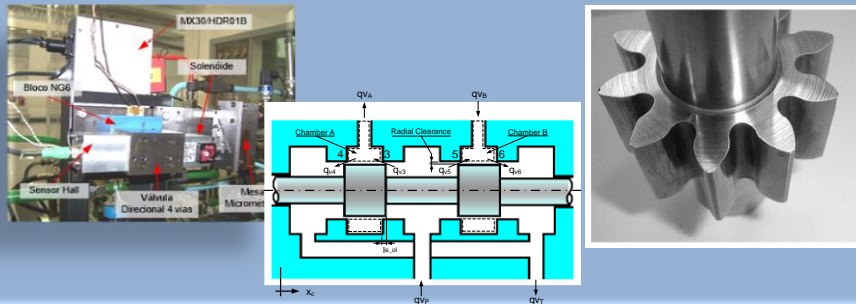
## Grupo de Pesquisa do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC

**Foco:**  
**Hidráulica e pneumática e sua inserção em mecatrônica, automação e controle**

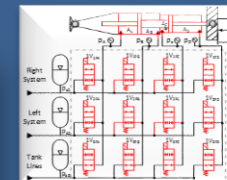


## Análise e Projeto de Componentes e Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

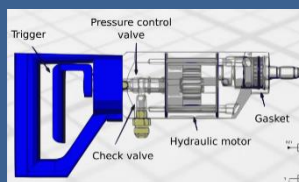
### Análise e detecção de falhas



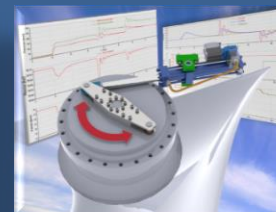
### Sistemas Veiculares e Aeronáuticos



### Projeto de componentes

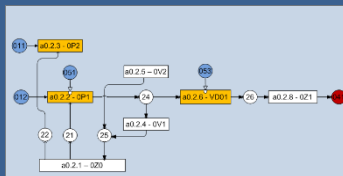


### Reguladores de velocidade e de potência

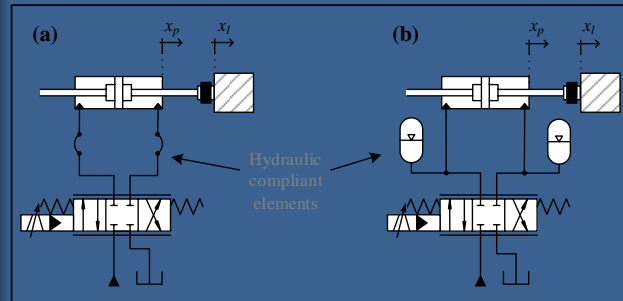


## Métodos para Desenvolvimento de Sistemas Mecatrônicos com Hidráulica e Pneumática

### Projeto para confiabilidade



### Robôs e controle de posição e força



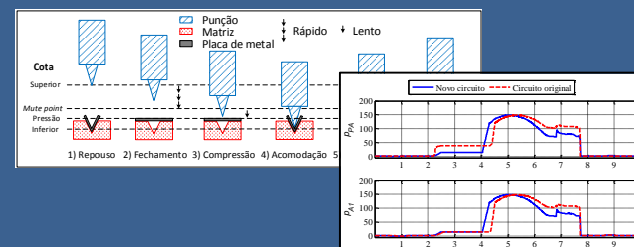
### Sistemas com fluidos biodegradáveis

Ageing causes			
Operational effects	Physico-chemical effects		
Maintenance	Solid particles	Temperature	Oil quantity
Mixture	Oil mineral (additive)	Water	Sealing
Oil-change interval	Pressure	Oxygen	Coating

### Dimensionamento de sistemas

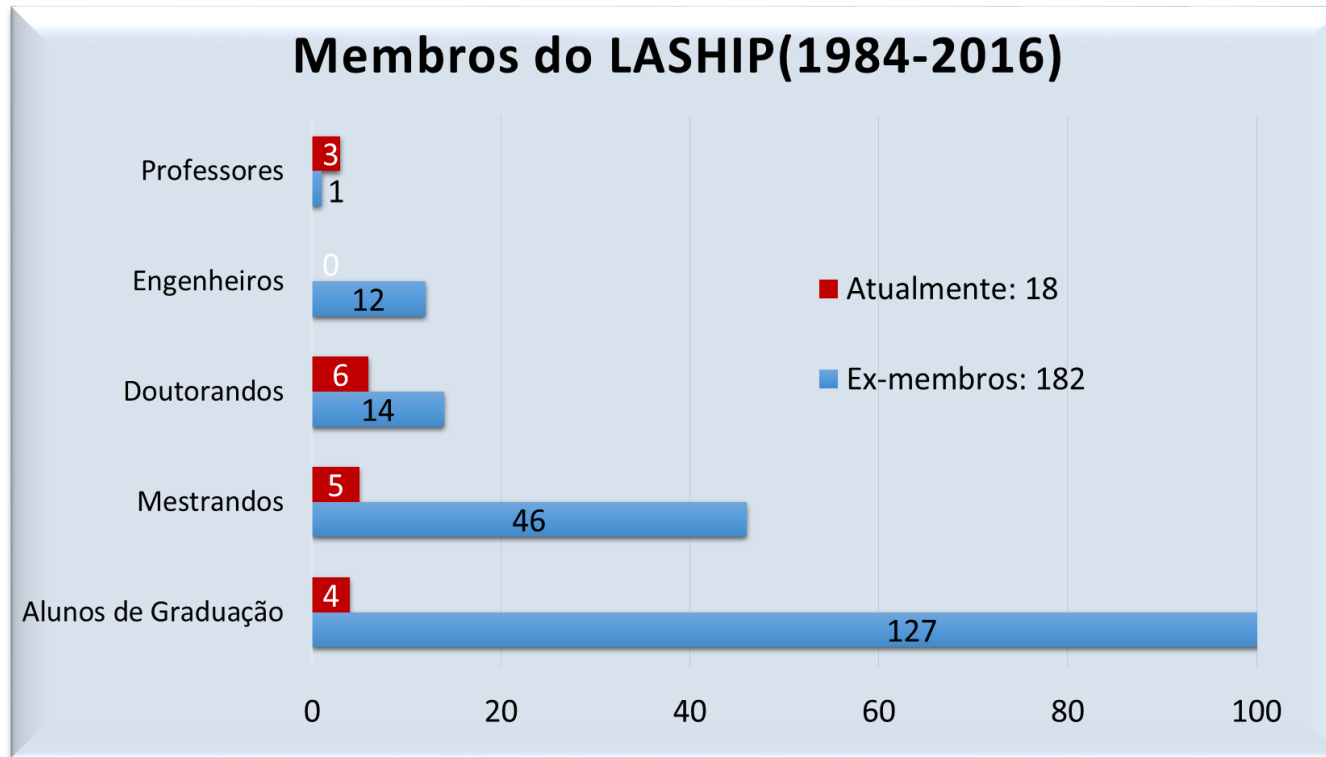


### Projeto de máquinas



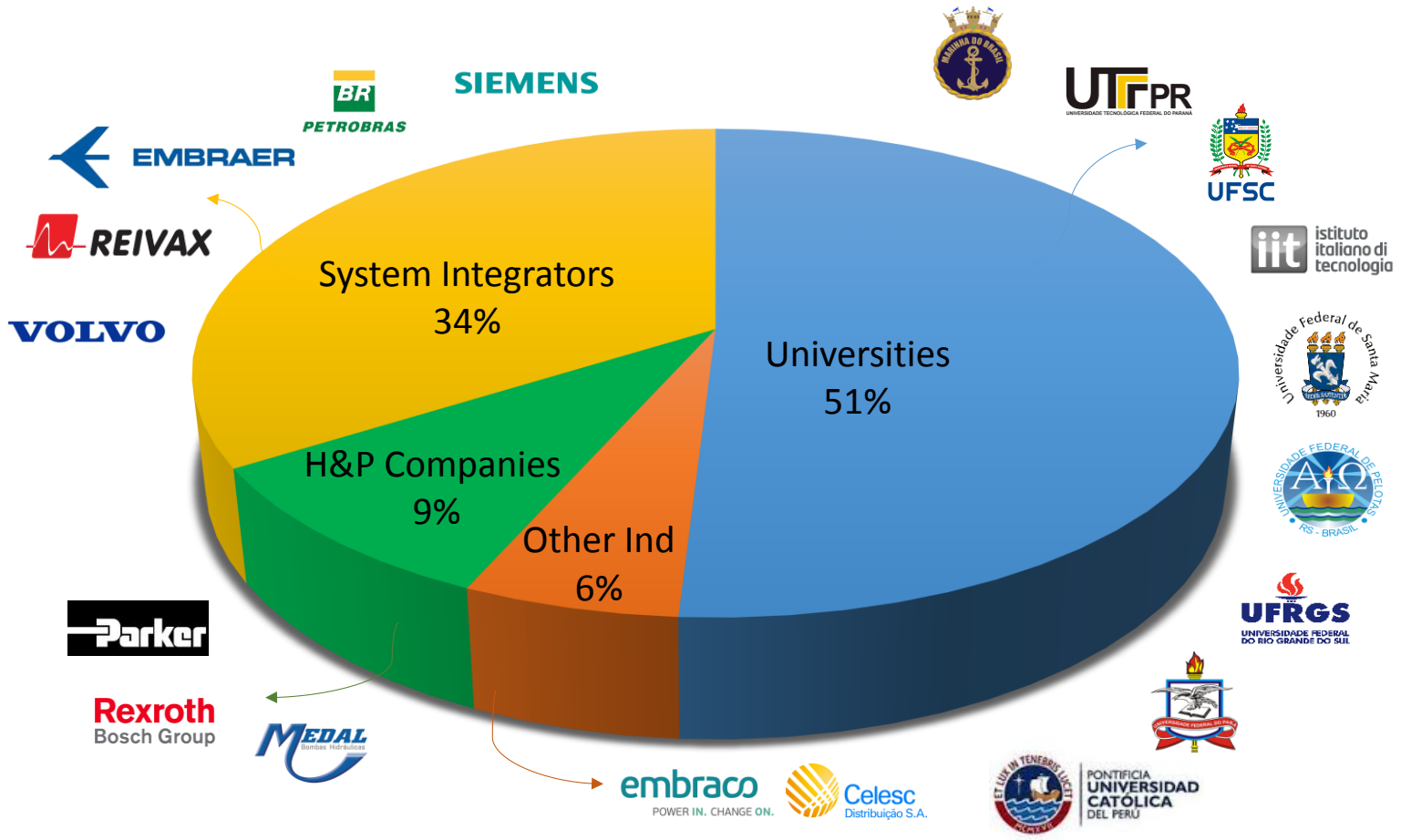
## Professores:

- Irlan von Linsingen (Educação tecnológica)
- Jonny C. da Silva (Modelagem e Sistemas especialistas)
- Victor J. De Negri (Hidráulica e Pneumática)
- Yesid E. Asaff Mendonza (Hidráulica e Pneumática)

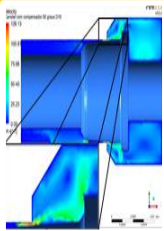




# Destinação de Mestres e Doutores



# LASHIP: Resultados



14 Teses de doutorado



49 Dissertações de mestrado



>30 Projetos de fim de curso e estágios



Contínua participação em fóruns técnicos e científicos



>140 Publicações em congressos e periódicos científicos



6 Livros e coletâneas



> 30 Projetos de pesquisa

Caminhões e Máquinas de movimentação de terra



Guindastes

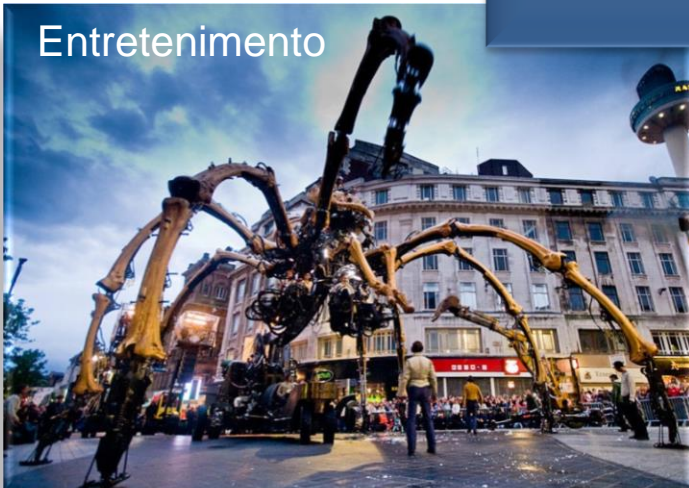


Aeronáutica



## Aplicações Móveis

Entretenimento



Máquinas Agrícolas



Máquinas industriais



Geração de Energia:  
Hidrelétricas, Turbinas eólicas ...



Robôs/Plataformas  
industriais e de  
Serviços



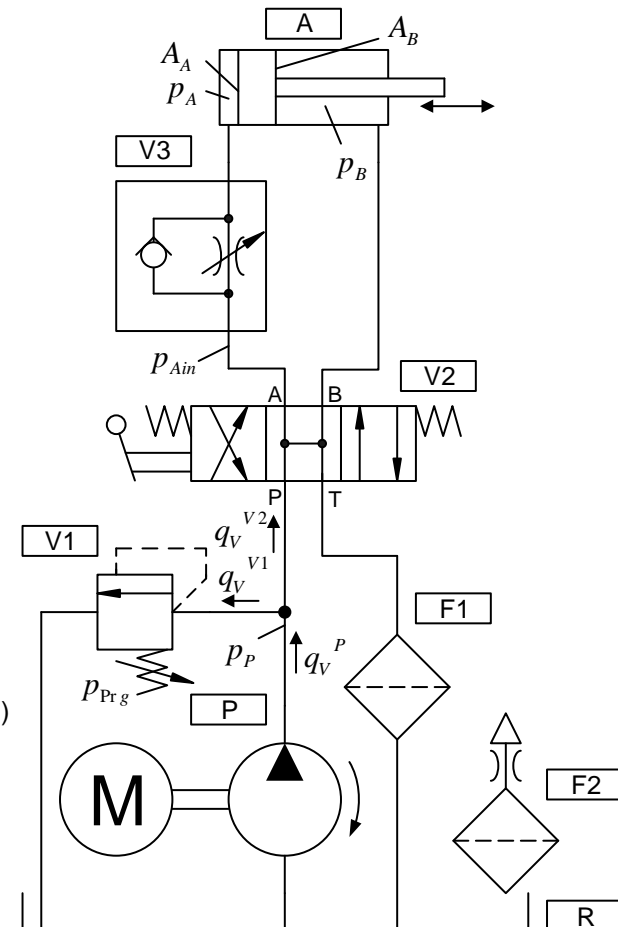
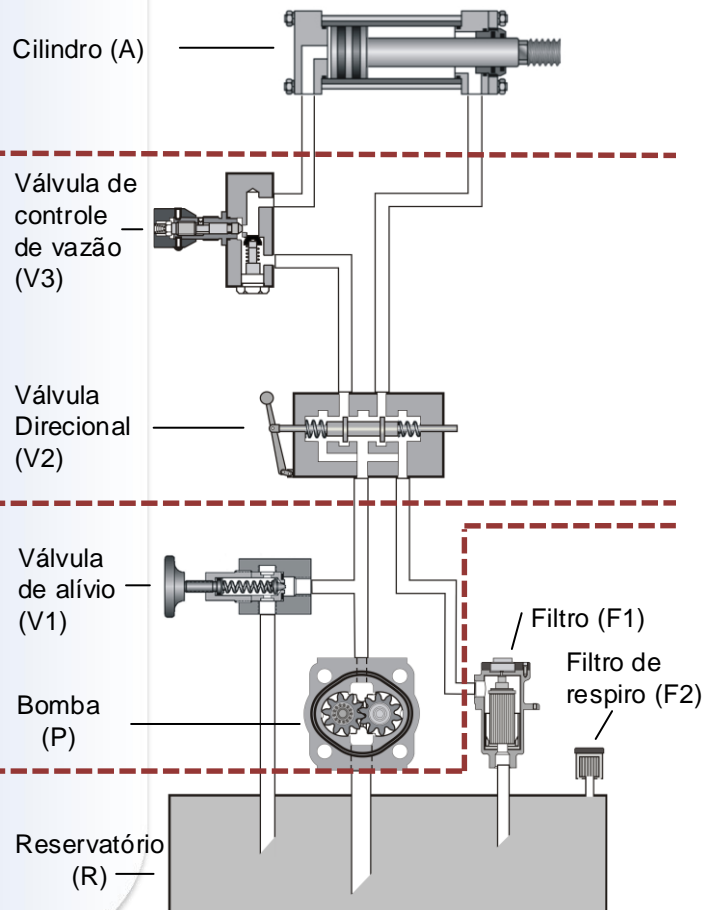
Aplicações  
Estacionárias

Processos industriais



## CIRCUITO ABERTO: Controle por restrição ao escoamento

- 4 unidades funcionais
- Conversão secundária
- Limitação e controle
- Conversão primária
- Armazenamento e condicionamento

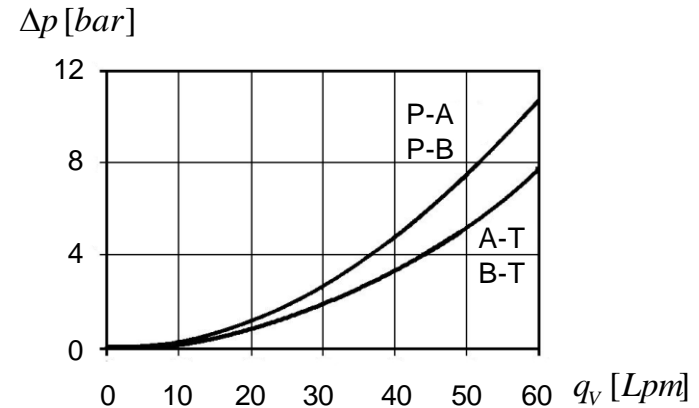


## • Controle por restrição ao escoamento

- Vazão requer diferença de pressão

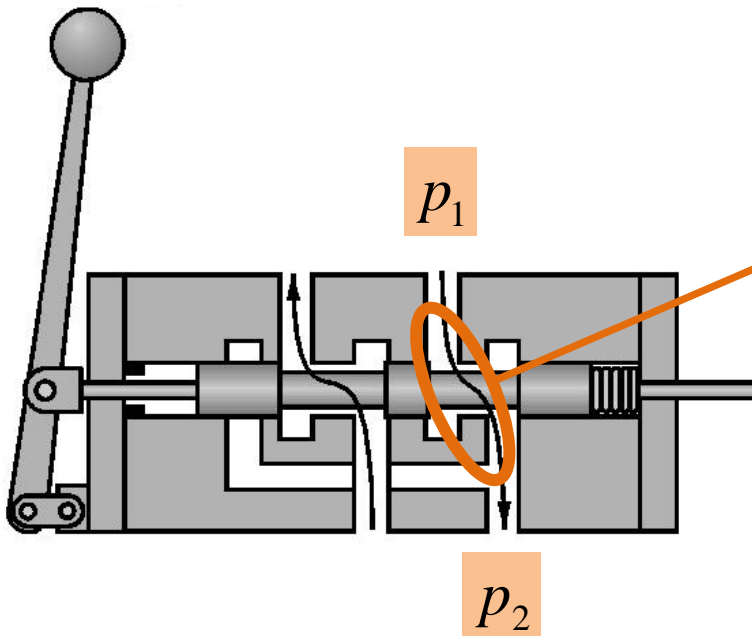
$$q_v = cd \cdot A_0 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta p}{\rho}}$$

- Curva da perda de carga



- Potência de entrada > Potência de saída

$$(P_{h1} = p_1 \cdot q_{V1}) > (P_{h2} = p_2 \cdot q_{V2})$$

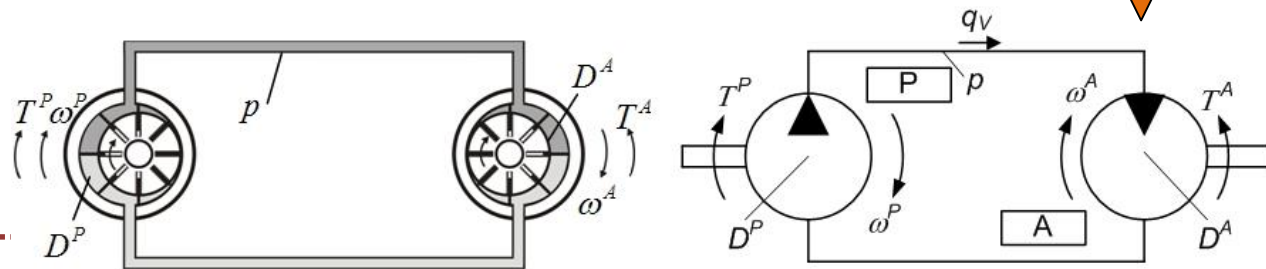


**CIRCUITO FECHADO: Controle por deslocamento volumétrico**

▪ **Circuito ideal**

- Conversão secundária

- Limitação de controle



- Conversão primária

- Armazenamento e condicionamento

**CIRCUITO FECHADO: Controle por deslocamento volumétrico**

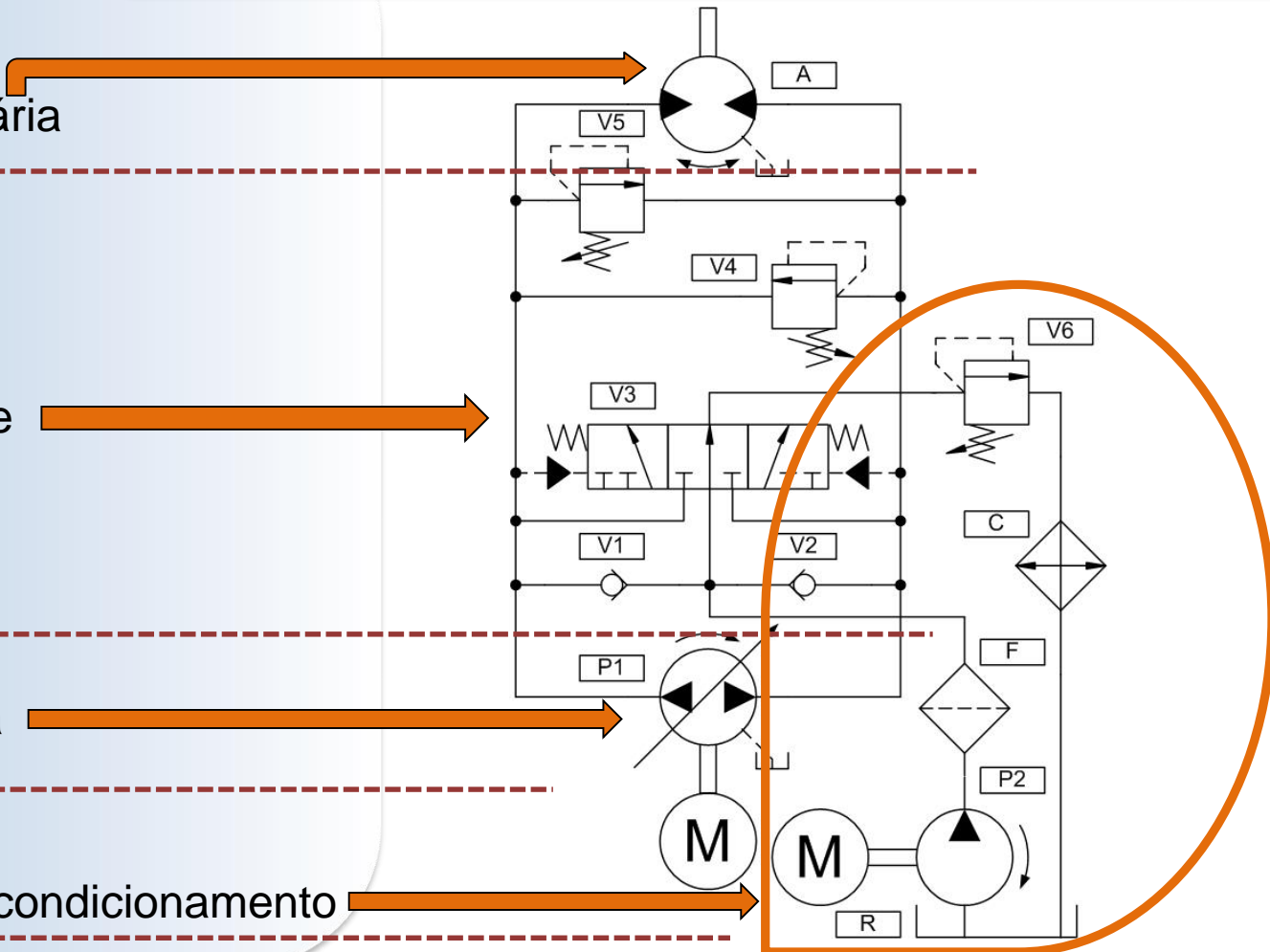
▪ **Circuito real:**

• Conversão secundária

• Limitação e controle

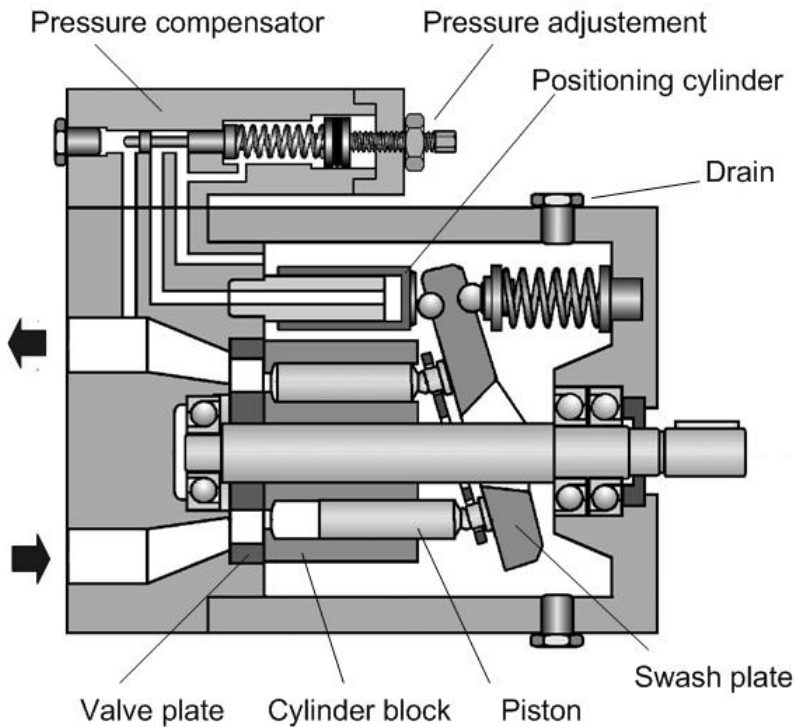
• Conversão primária

• Armazenamento e condicionamento



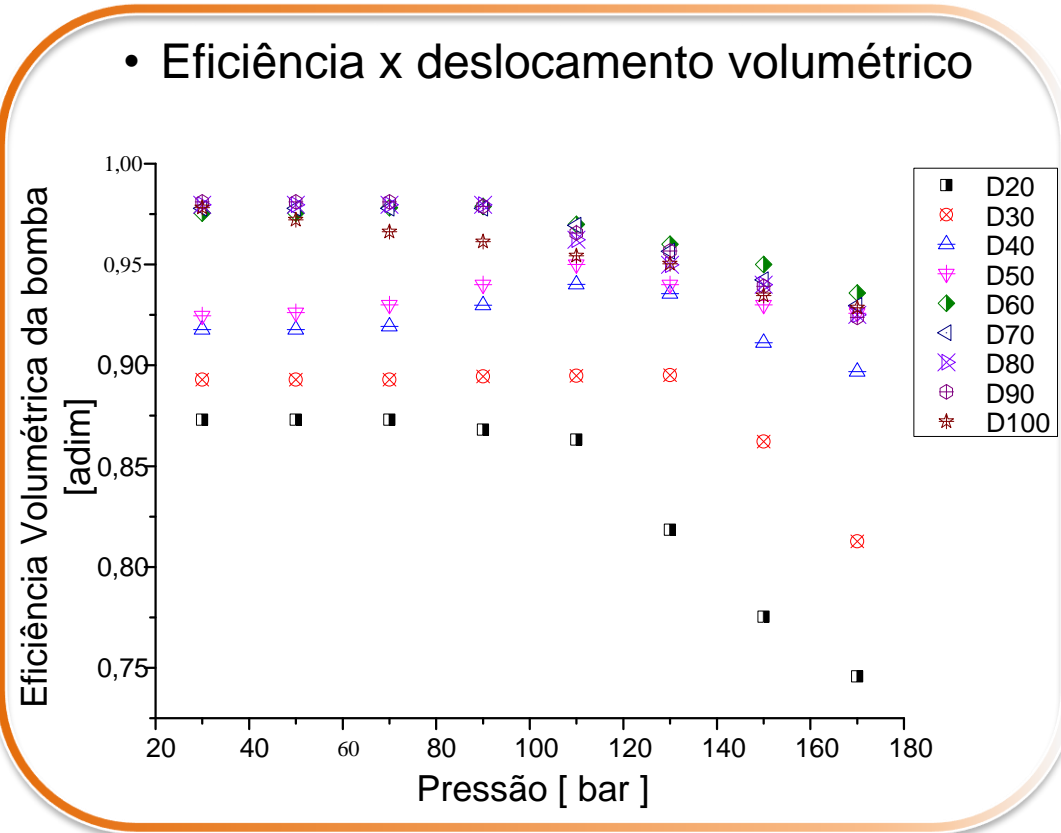


• Controle por variação do deslocamento volumétrico



(Linsingen, 2013)

• Eficiência x deslocamento volumétrico



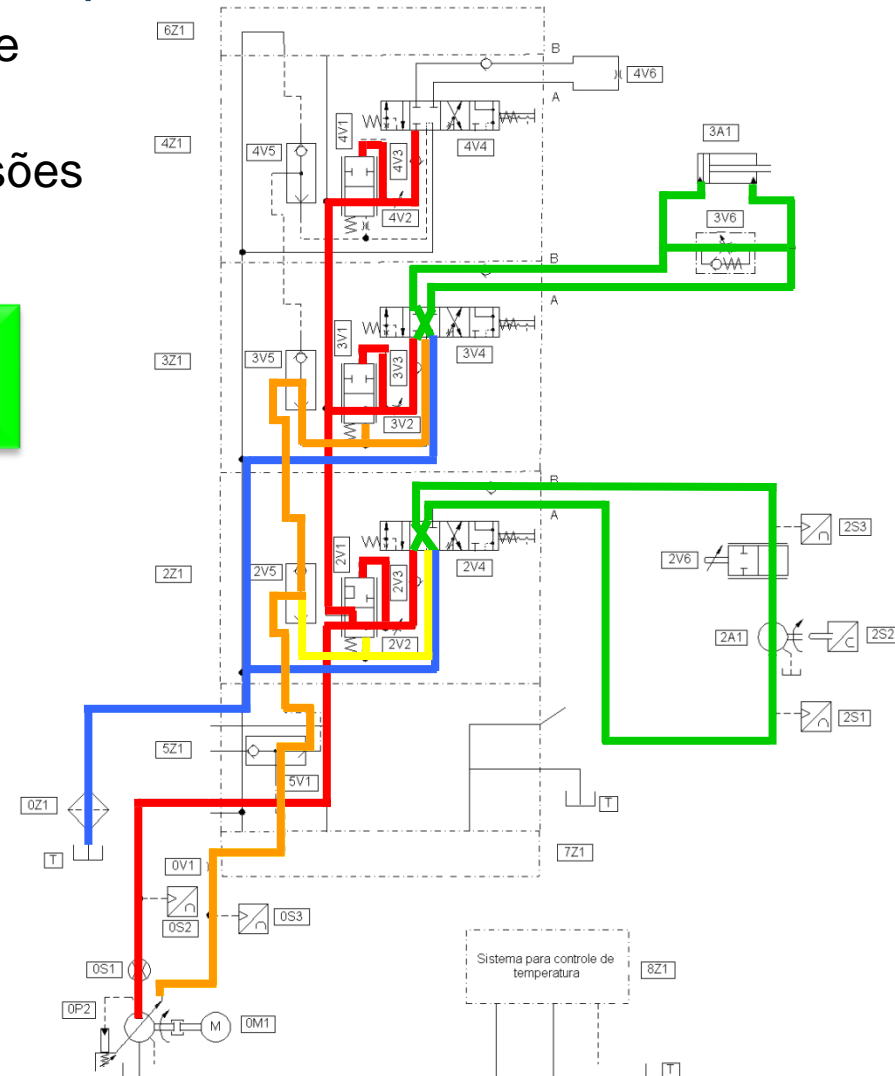
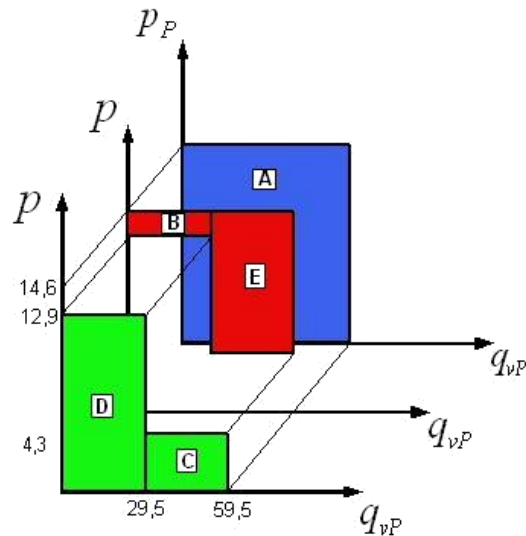
## ▪ Bombeamento centralizado e controle por válvulas:

- Bomba sujeita a único valor de pressão de descarga
- Atuadores operando com diferentes pressões de carga.

Potência hidráulica  
suprida

>

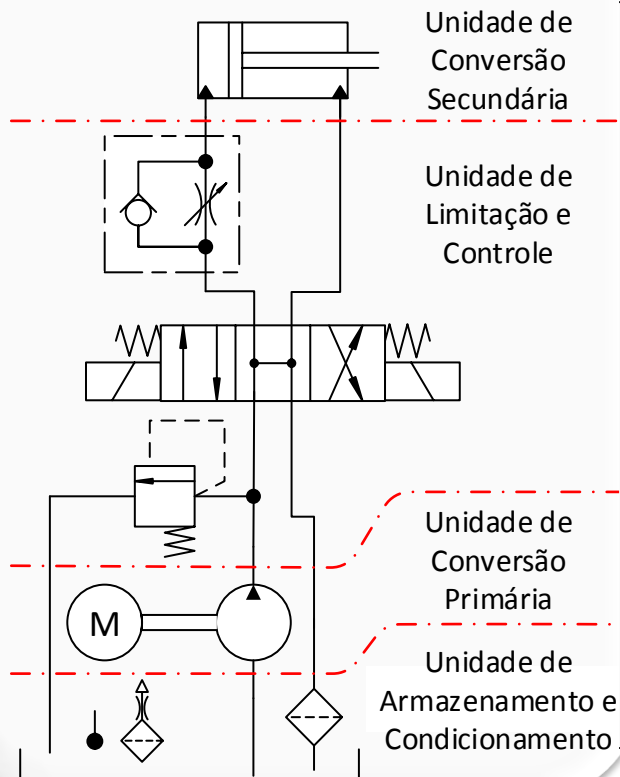
Potência hidráulica  
utilizada



## ▪ Definição de HIDRÁULICA DIGITAL:

- “Sistemas hidráulicos que possuem componentes discretos, os quais controlam ativamente a saída do sistema” (Linjama, 2011).

### Sistema Convencional



▶ Ainda não há consenso quanto a **classificação** dos sistemas hidráulicos digitais;

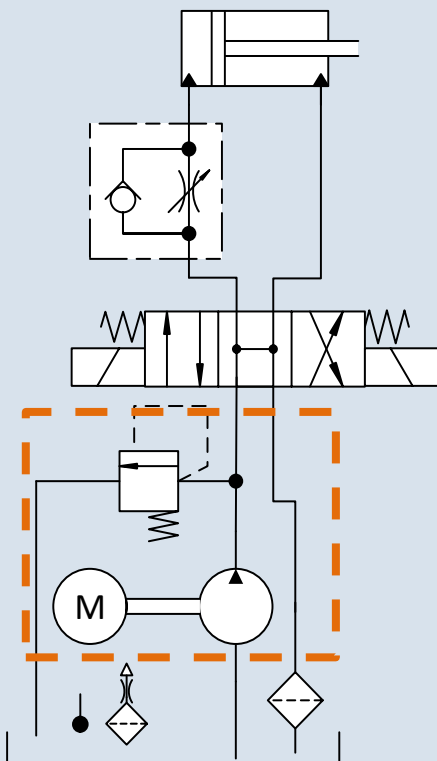
▶ No LASHIP adota-se a classificação com base nas **4 unidades funcionais**

**Sistemas Digitais: Belan *et al.* (2014)**



Primeira publicação sobre hidráulica digital em língua portuguesa.

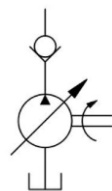
## Sistema Convencional



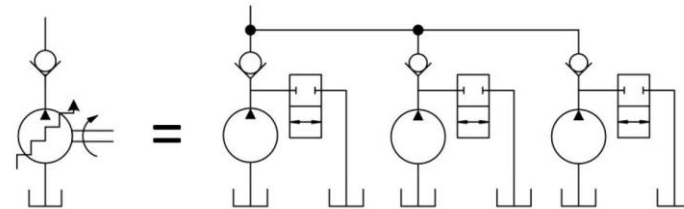
(Belan *et al.*, 2014)

### Unidade de Conversão Primária

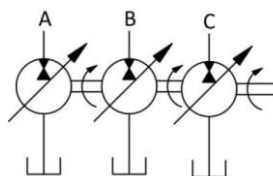
ANALÓGICO



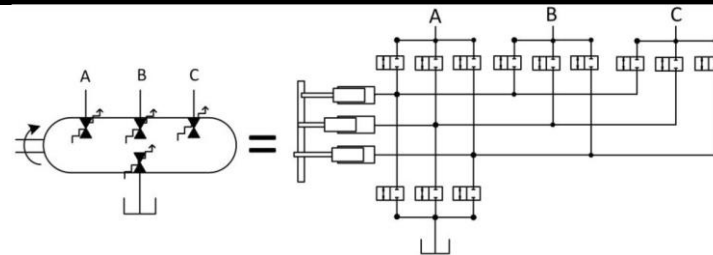
DIGITAL



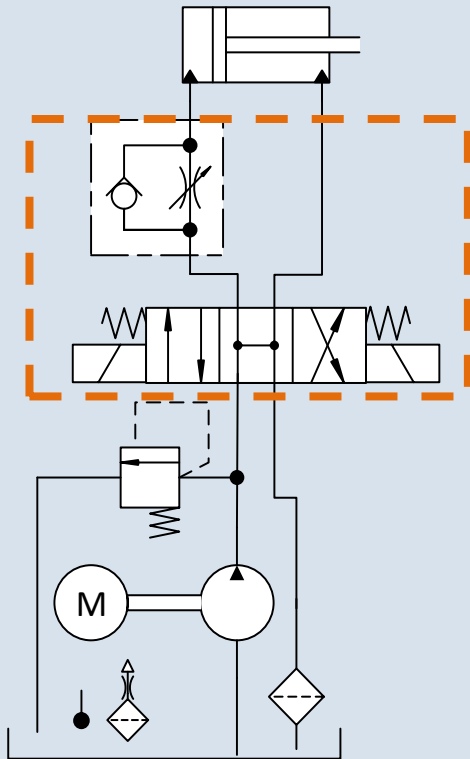
ANALÓGICO



DIGITAL



## Sistema Convencional

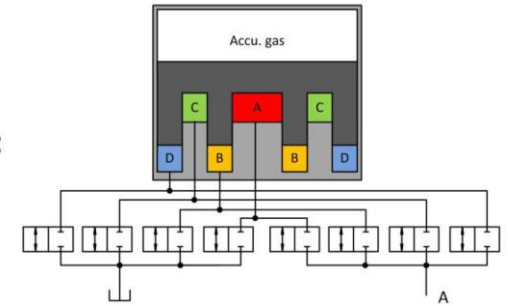
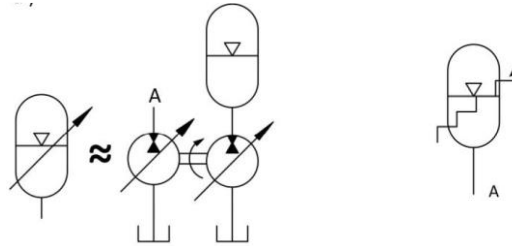


(Belan et al., 2014)

## Unidade de Limitação e Controle

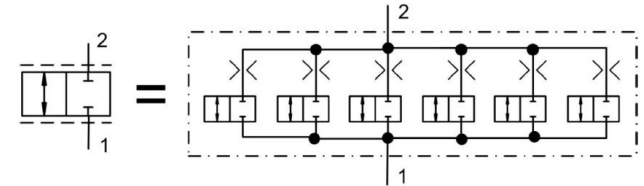
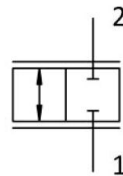
ANALÓGICO

DIGITAL



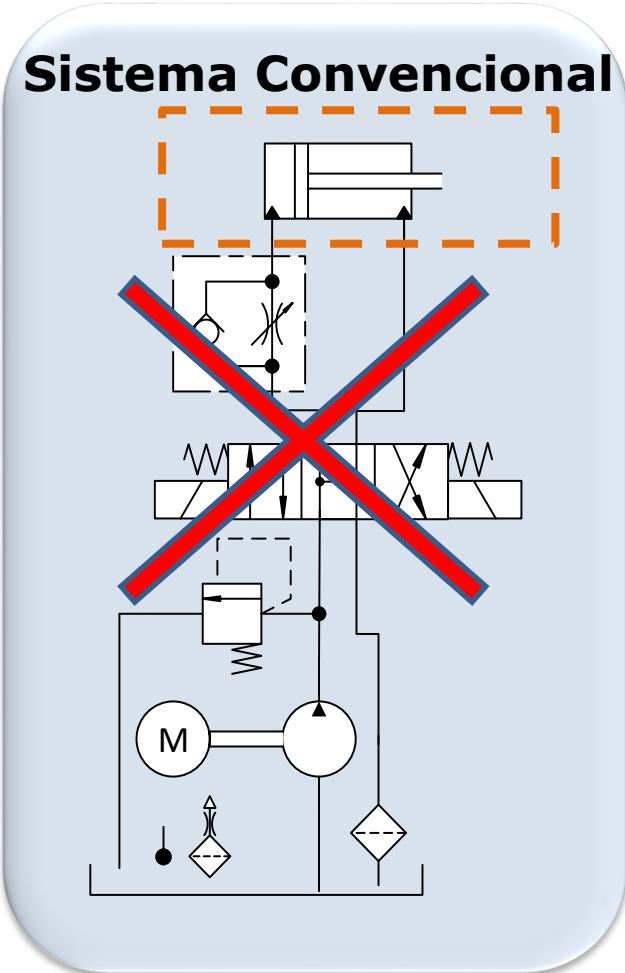
ANALÓGICO

DIGITAL

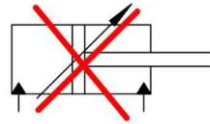


## Unidade de Conversão Secundária

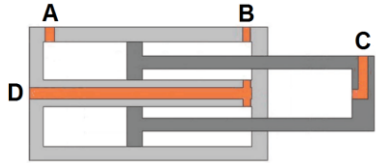
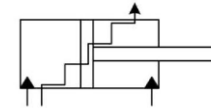
### Sistema Convencional



ANALÓGICO

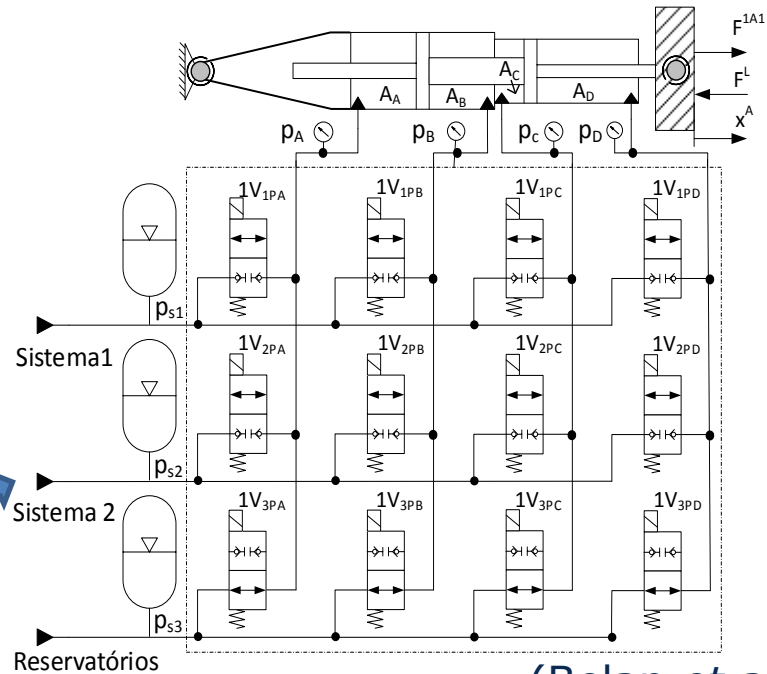


DIGITAL



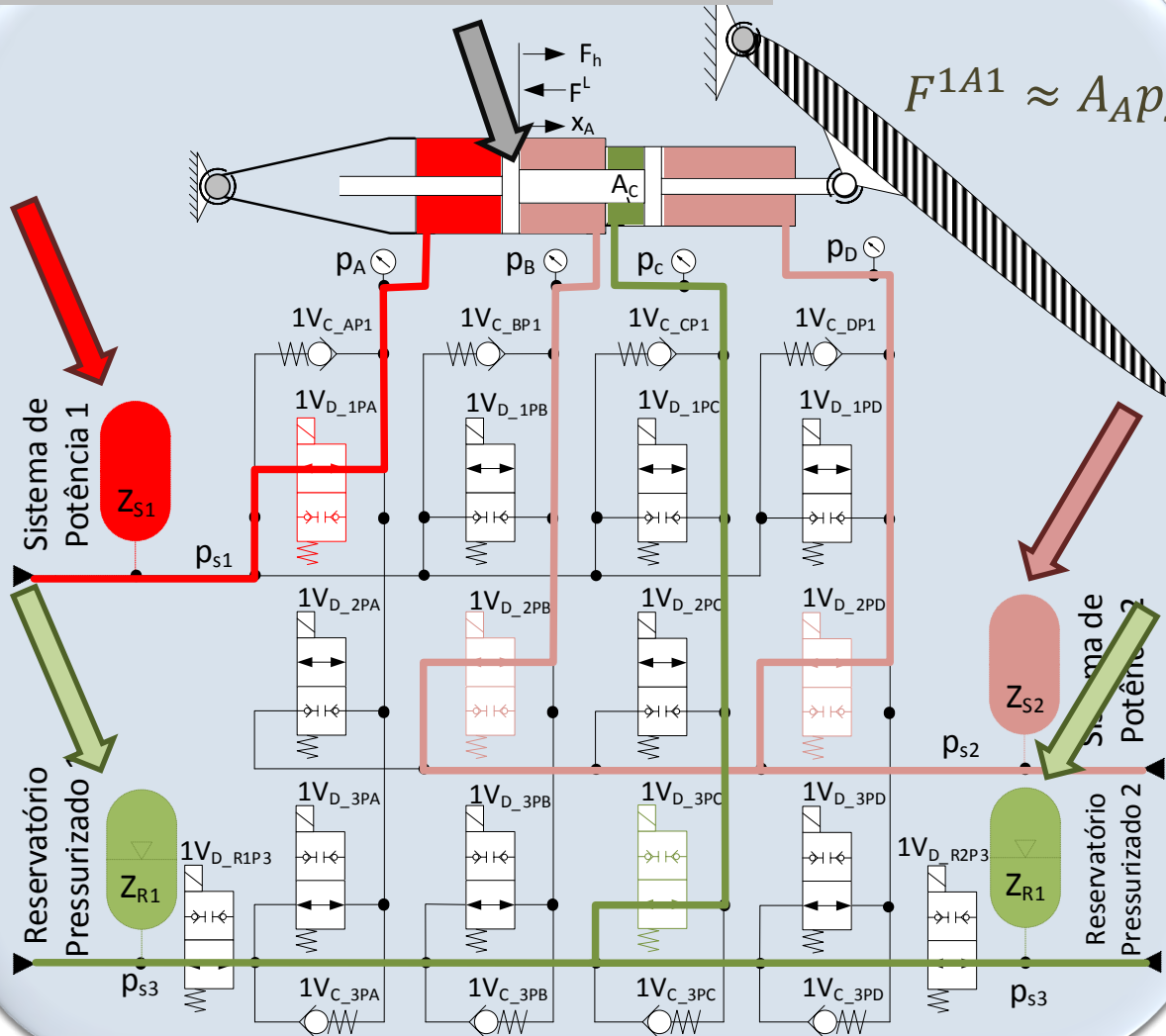
## Controle Secundário com Atuador Linear (Linjama et al., 2009)

Fontes de Pressão



(Belan et al., 2015)

## Cilindro em configuração tandem



$$F^{1A1} \approx A_A p_{S1} - A_B p_{S2} + A_C p_{S3} - A_D p_{S2}$$

**Duas linhas de suprimento de pressão**

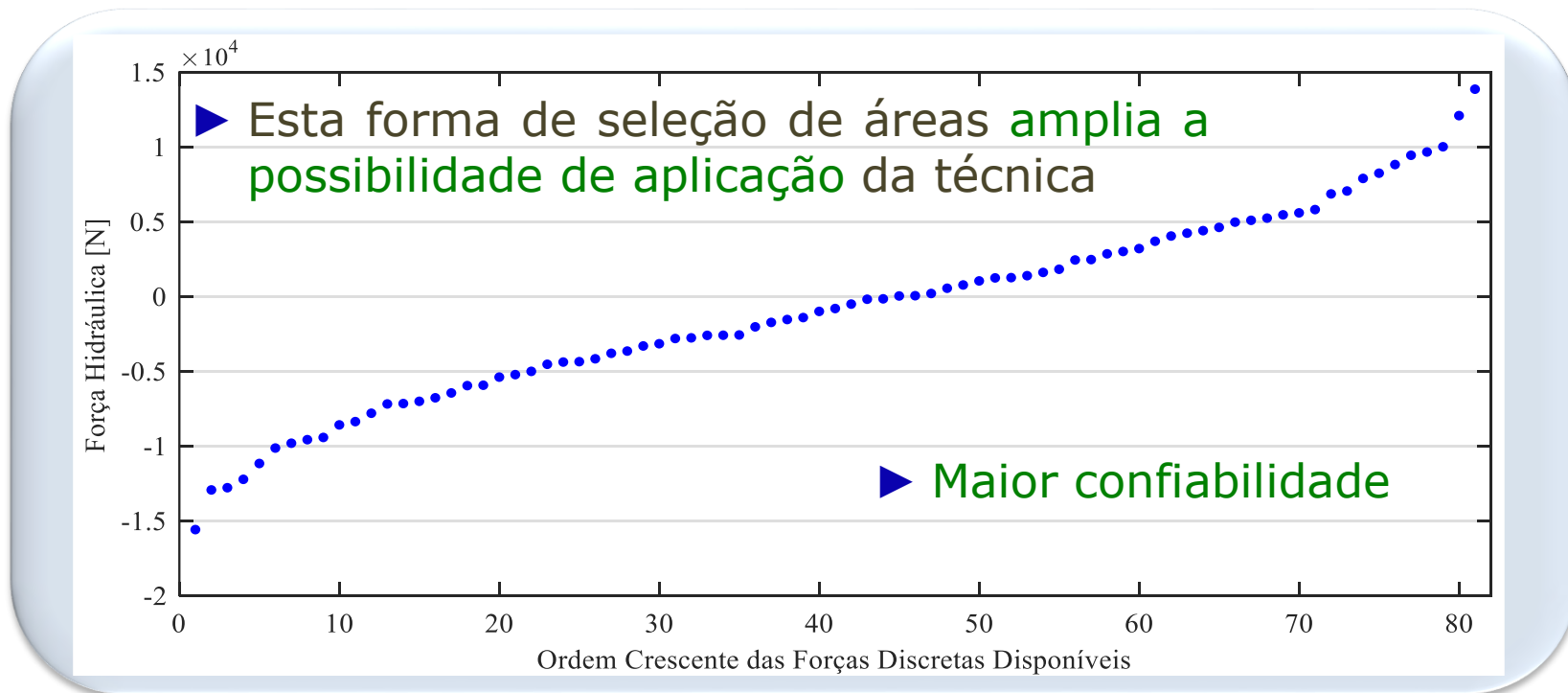
**Reservatórios pressurizados**

(Belan *et al.*, 2016)

- A distribuição de forças discretas depende das **áreas e pressões** utilizadas.

$$n_{Forças} = (n_{pressões})^{n_{câmaras}}$$

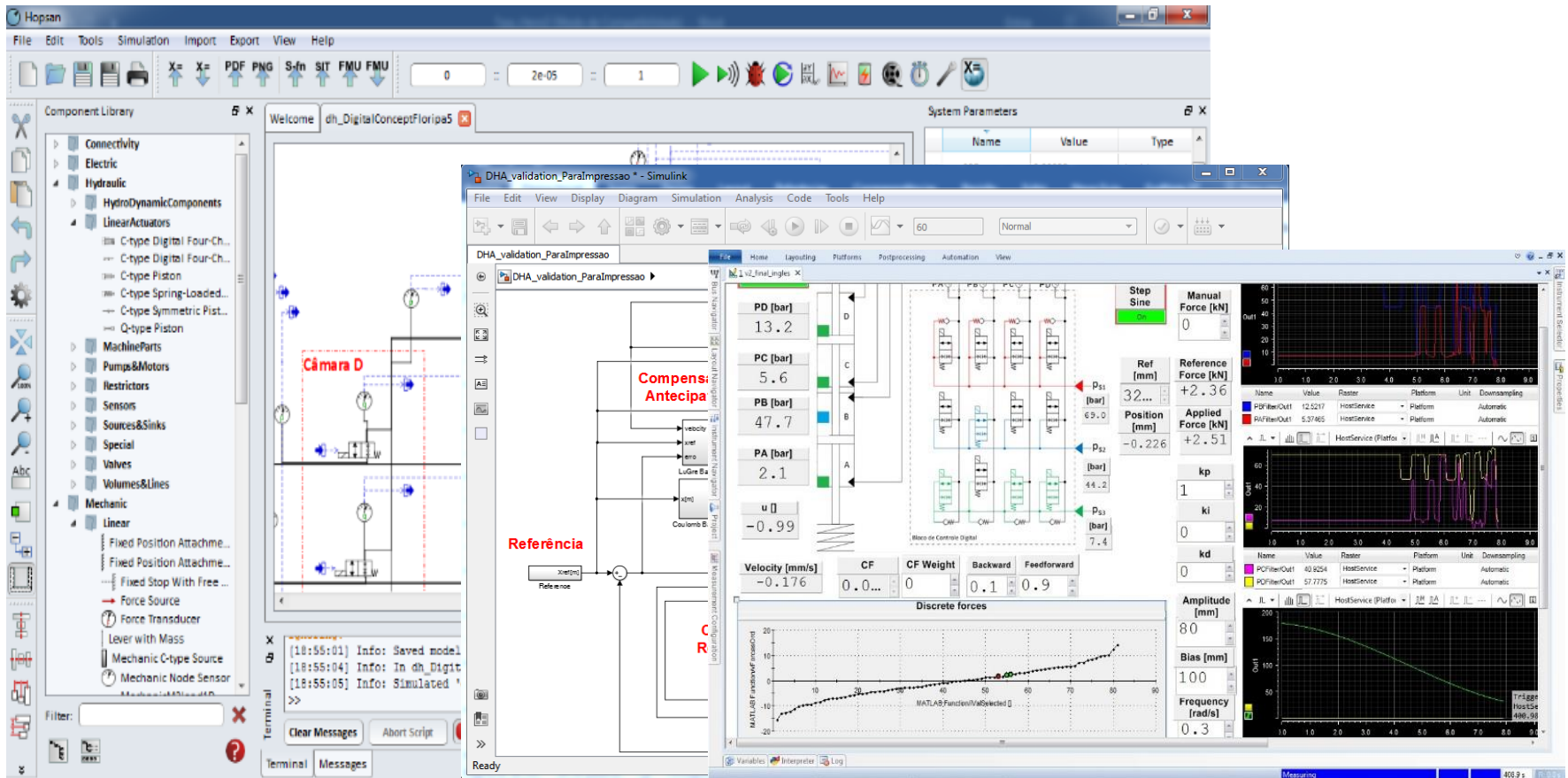
$$n_{Forças} = 3^4 = \mathbf{81}$$



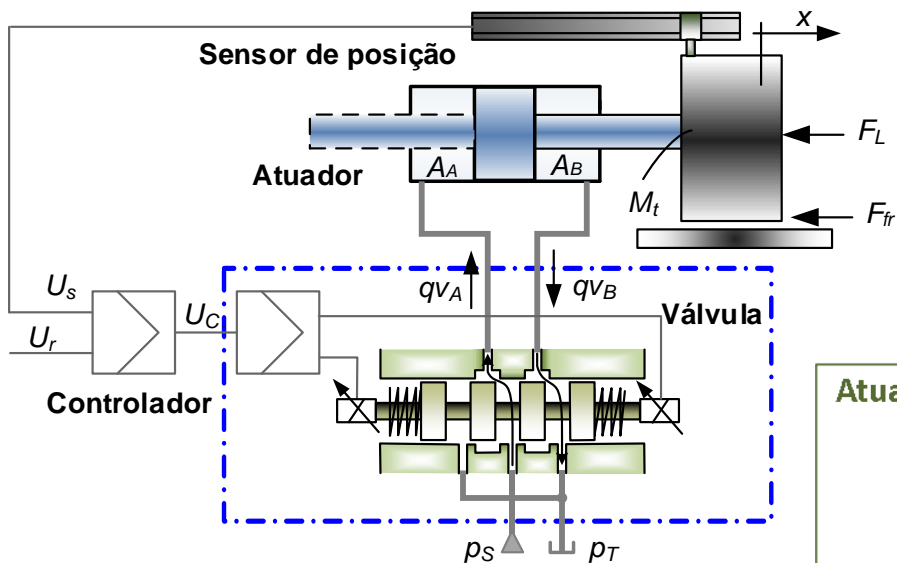




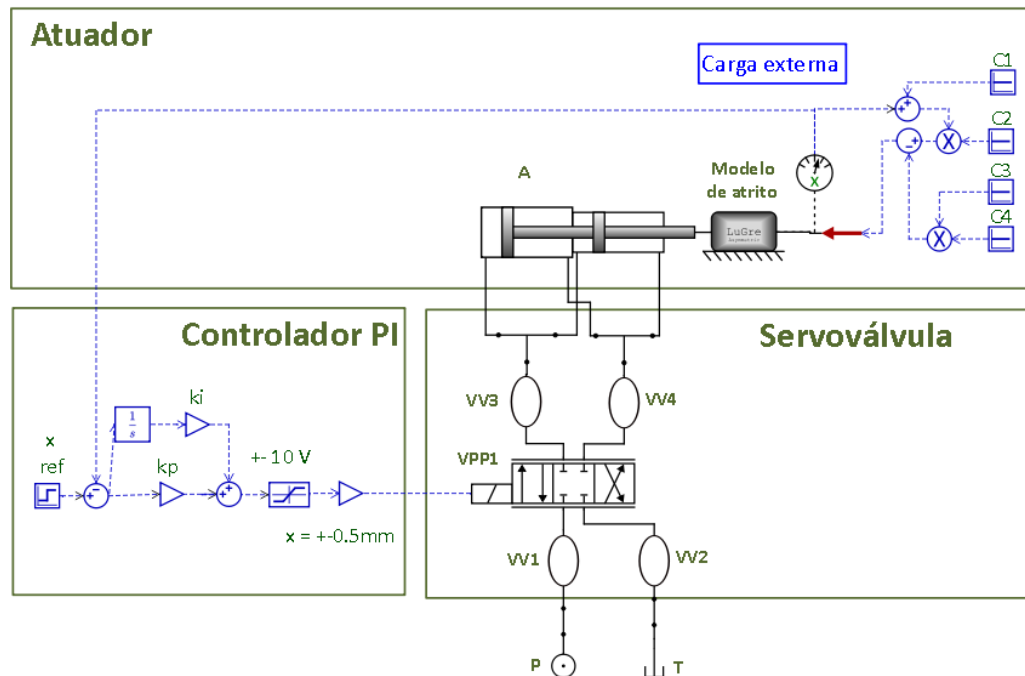
- Hopsan (software livre) – DHA (FLUMES/LiU – Suécia)
- MatLab/Simulink - Controle
- dSpace/Control Desk – Hardware e Supervisório



- Utilizando servoválvula ou válvula proporcional



Simulação em Hopsan



## ■ Análise energética:

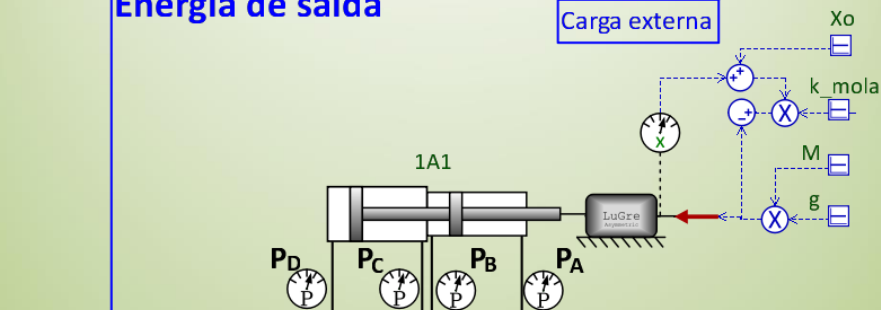
- Atuador Hidráulico Digital

- Atuador Servo-Hidráulico

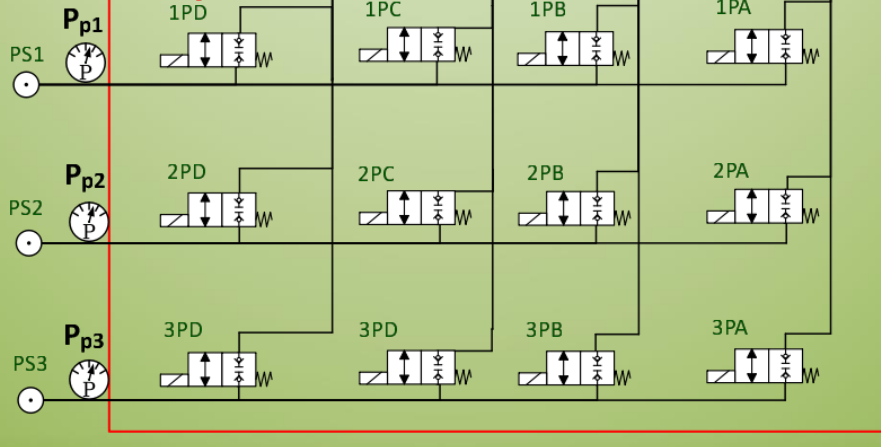
Energia de entrada

Energia de saída

Carga externa



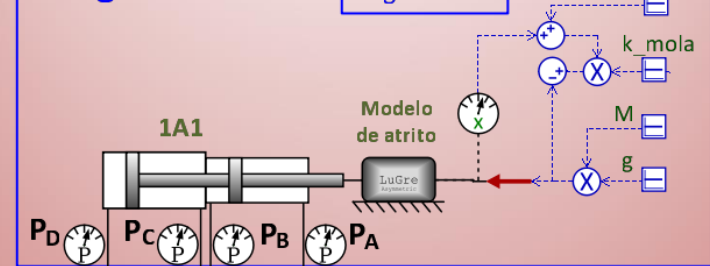
Energia dissipada



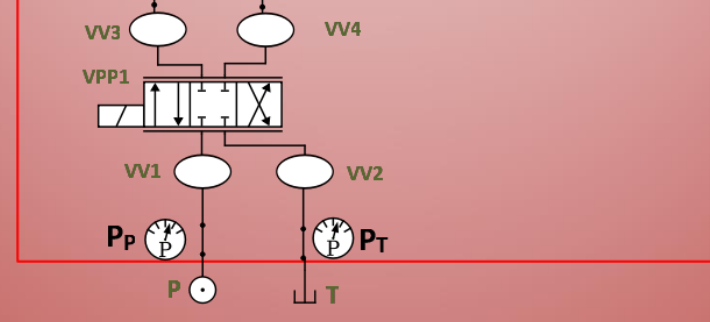
Energia de entrada

Energia de saída

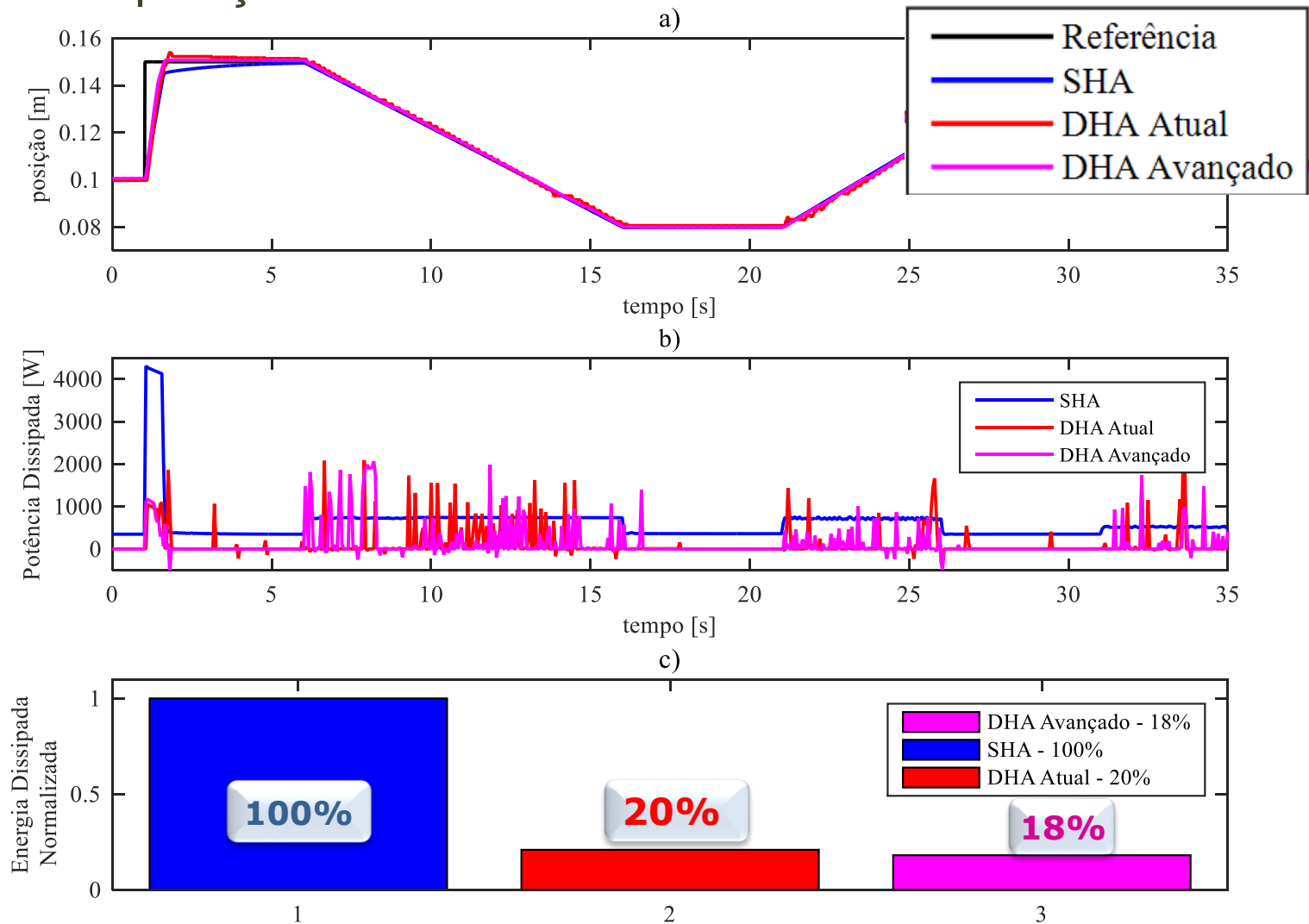
Carga externa



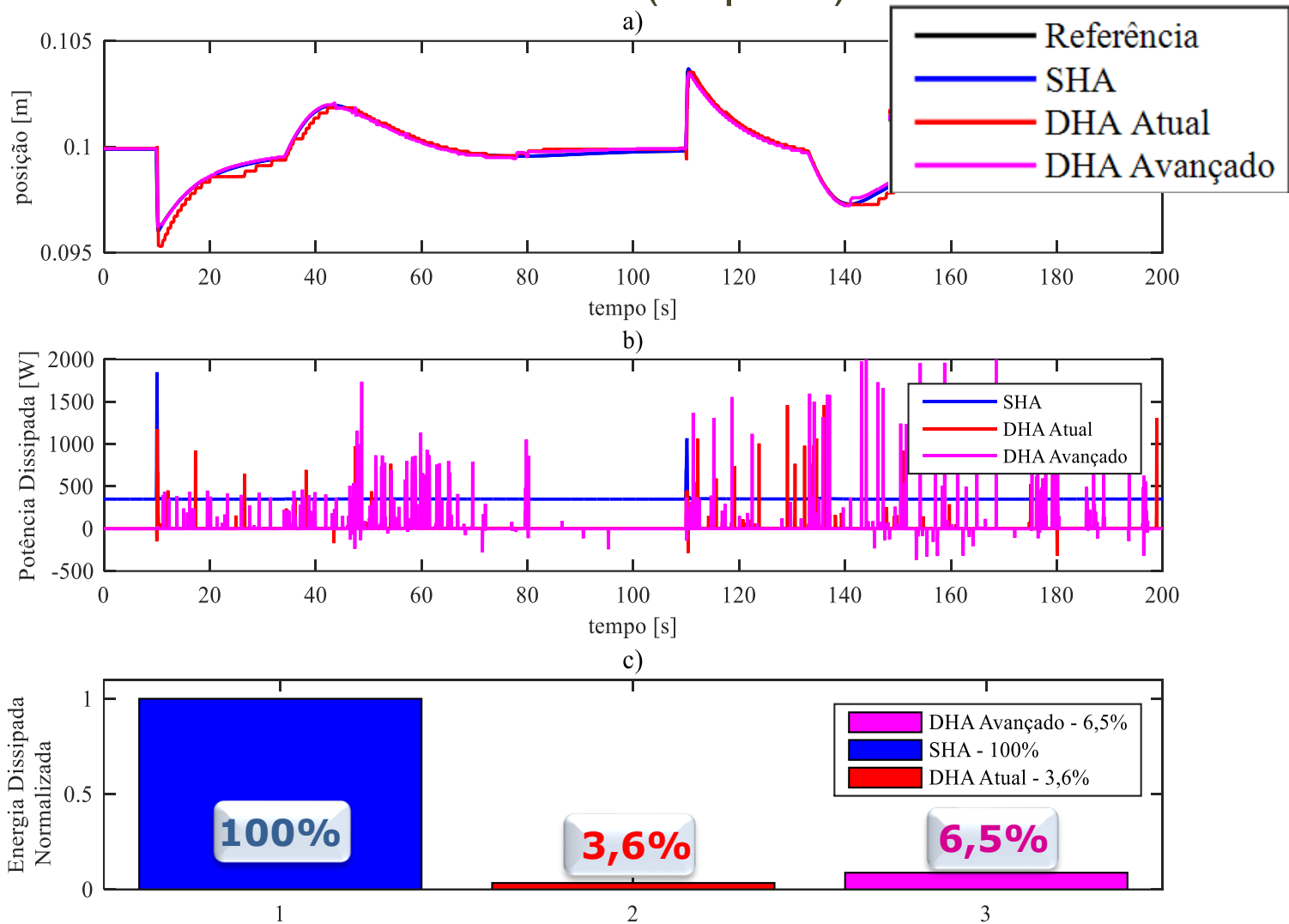
Energia dissipada



## ■ Controle de posição

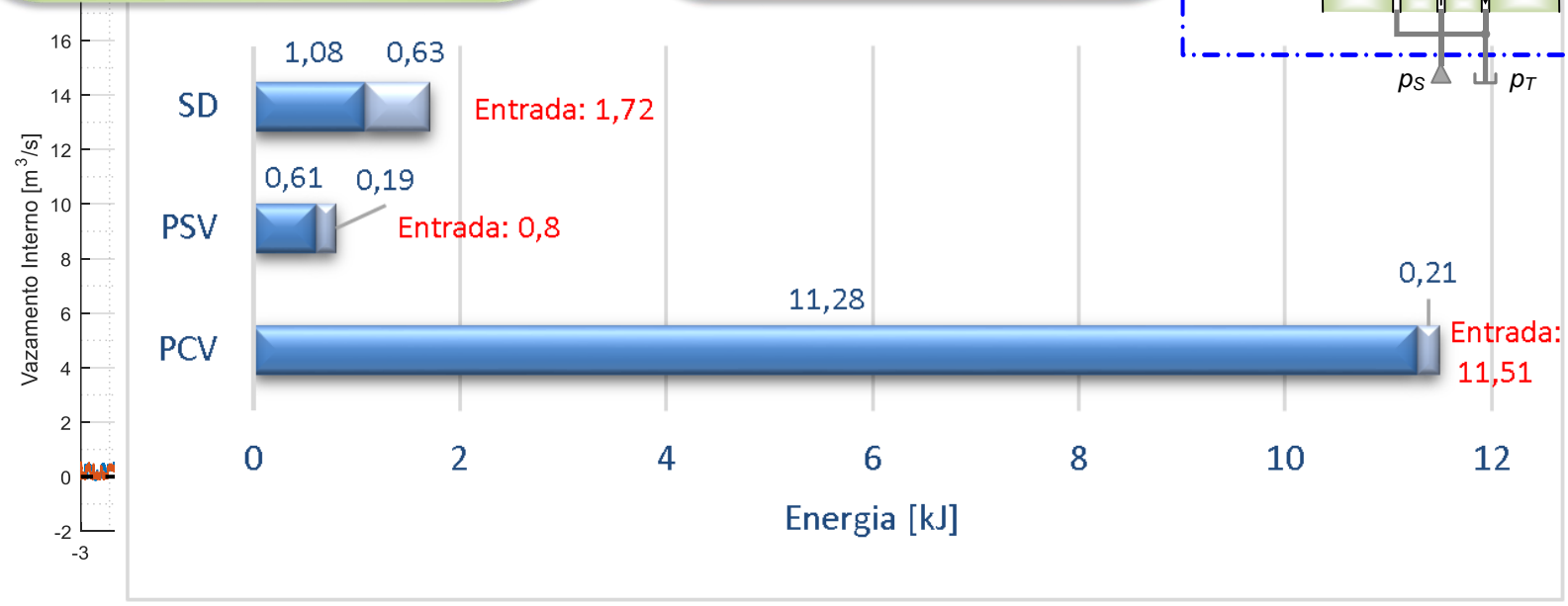
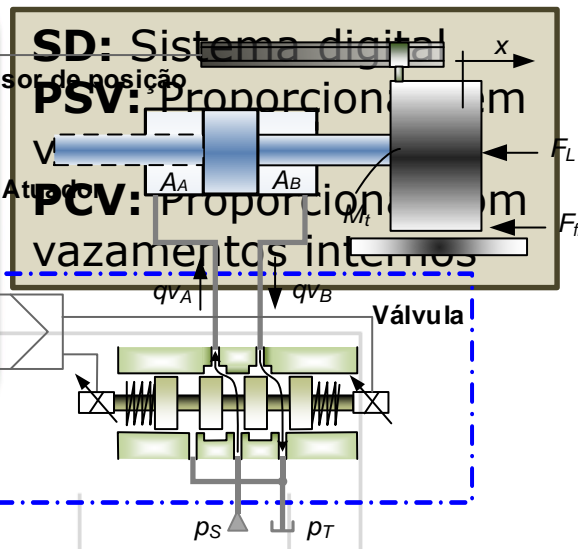
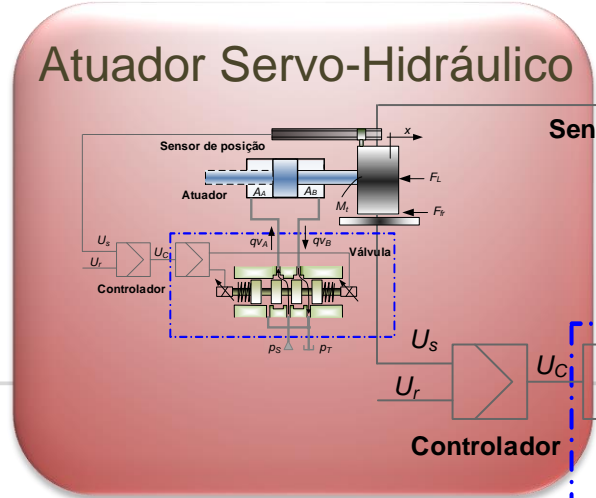


## Curva de referência de avião F16 (Hopsan)



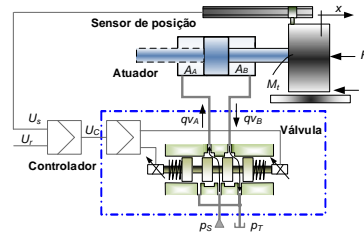
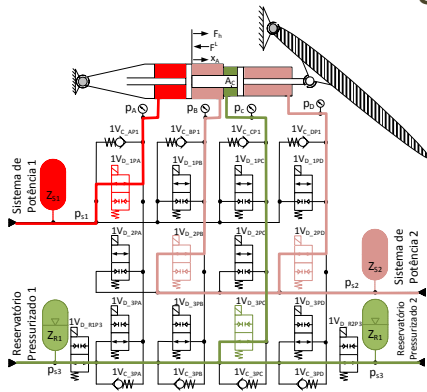
## Análise energética:

- Atuador Hidráulico Digital x Atuador Servo-Hidráulico



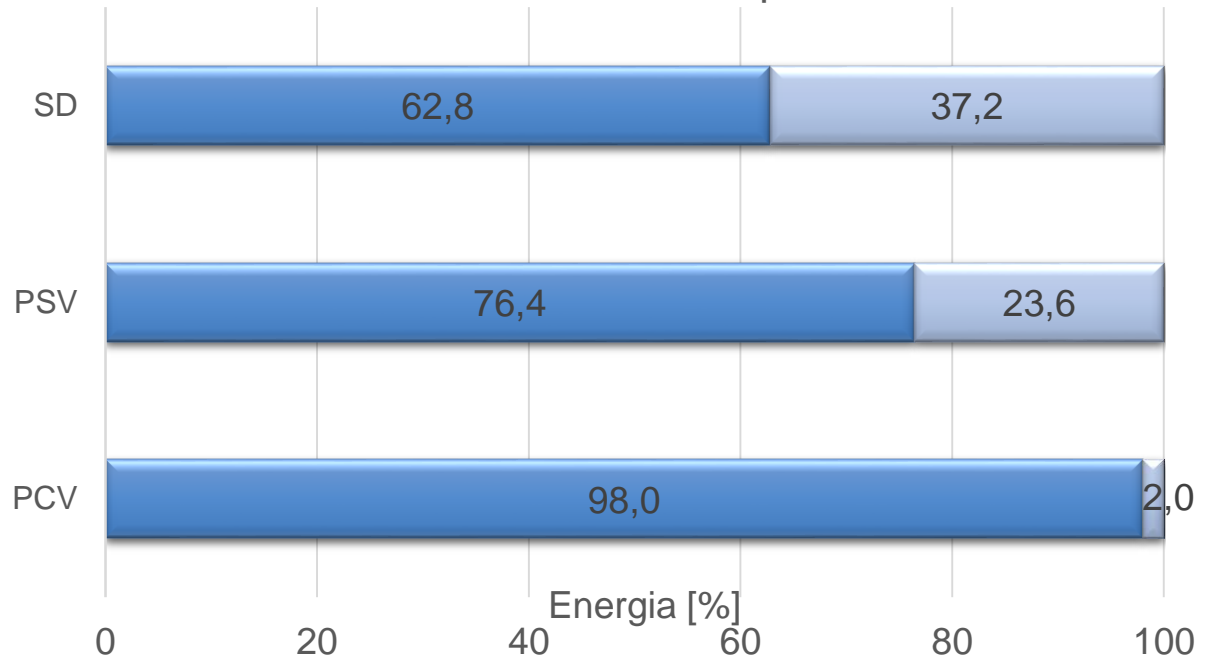
## ■ Análise energética:

- Atuador Hidráulico Digital x Atuador Servo-Hidráulico



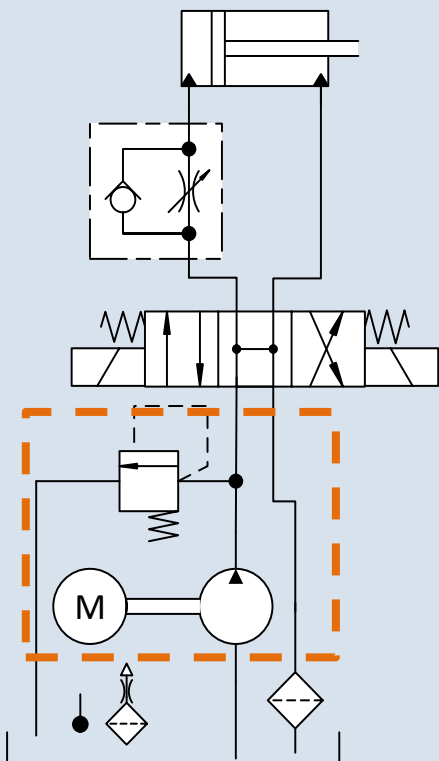
**SD:** Sistema digital  
**PSV:** Proporcional sem vazamentos internos  
**PCV:** Proporcional com vazamentos internos

■ Dissipada ■ Saída





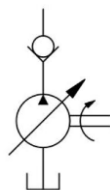
## Sistema Convencional



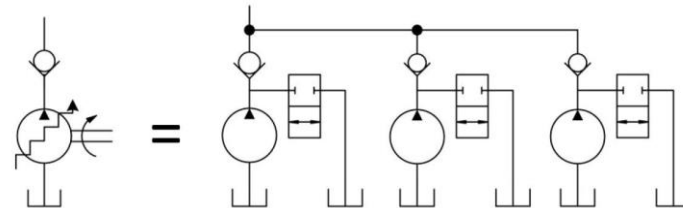
(Belan *et al.*, 2014)

### Unidade de Conversão Primária

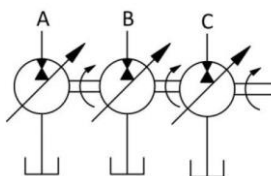
ANALÓGICO



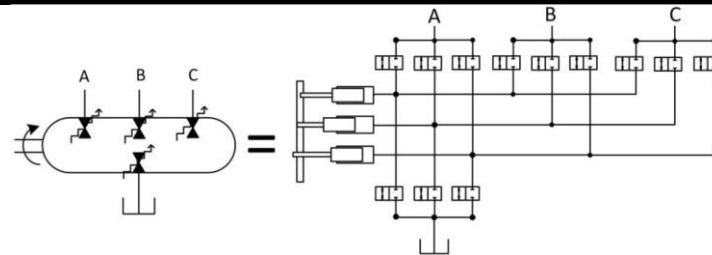
DIGITAL



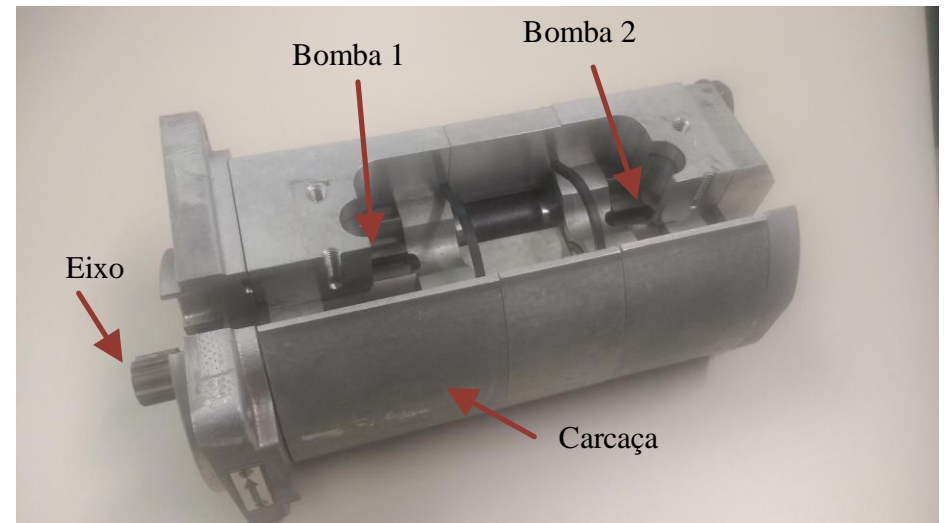
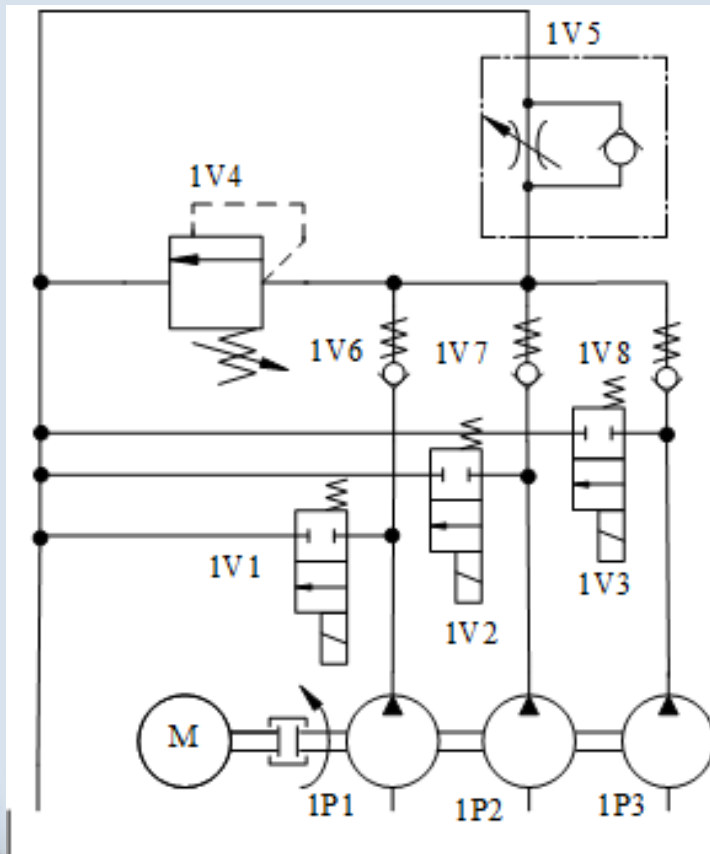
ANALÓGICO

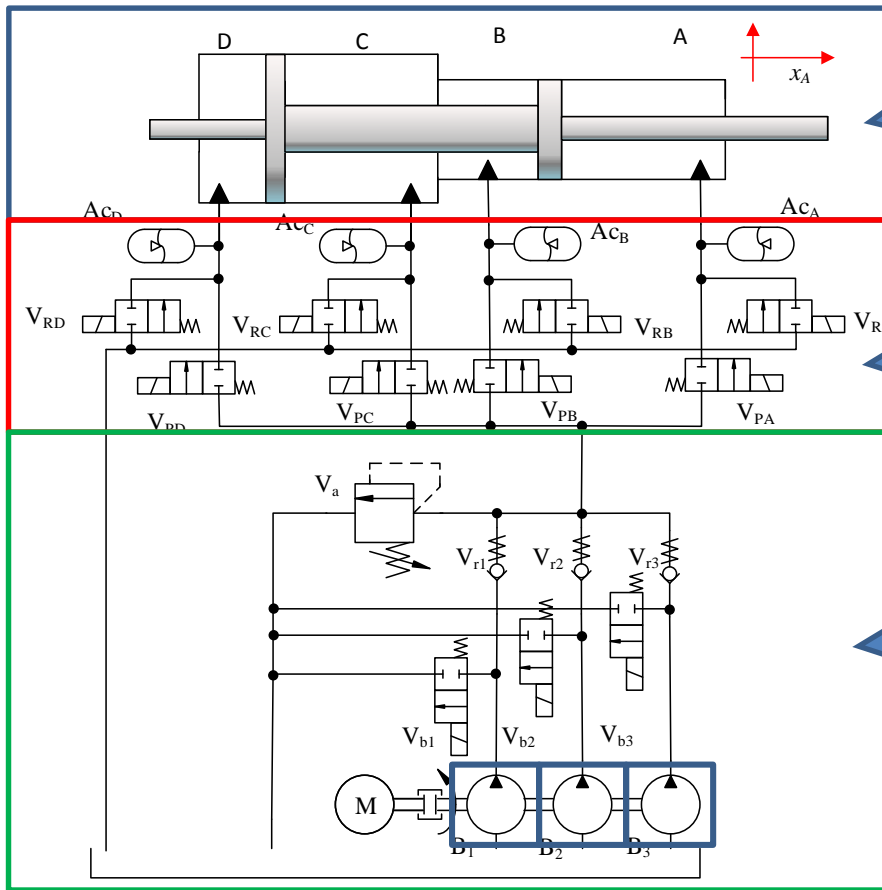


DIGITAL



## Bombas em paralelo





❑ 1 Atuador Multicâmaras

❑ 8 Válvulas *on/off*

❑ 4 acumuladores

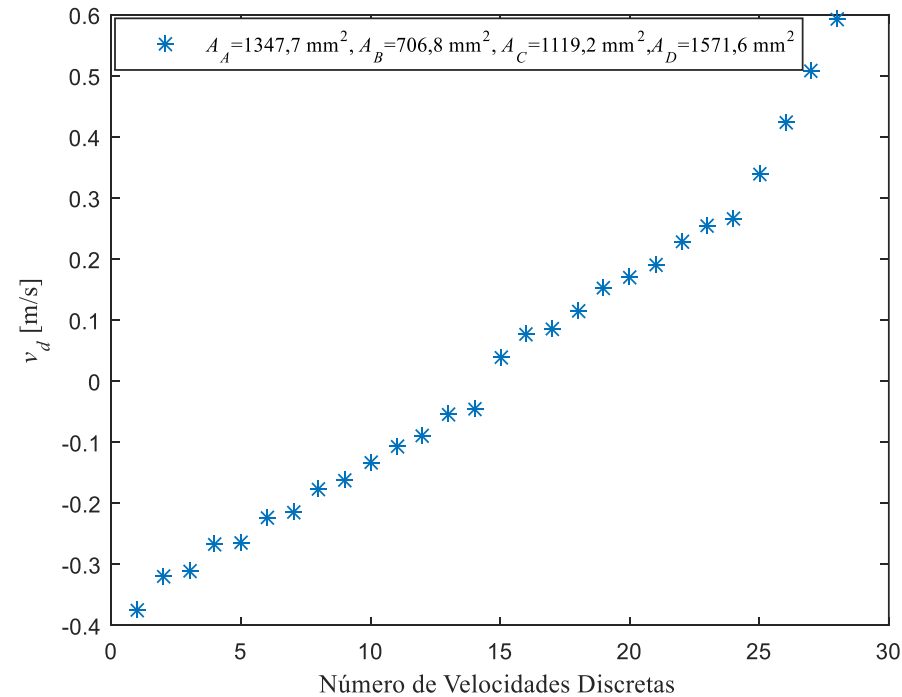
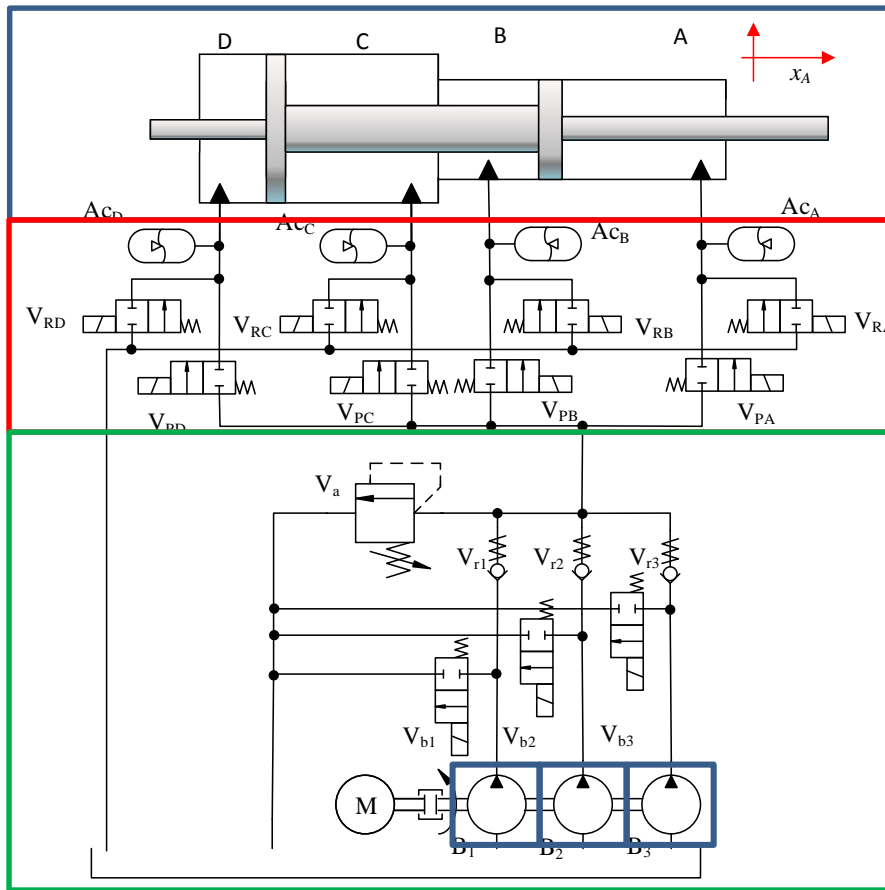
❑ 3 Bombas de deslocamento fixo

❑ 3 Válvulas *on/off*

❑ 1 Válvulas de segurança

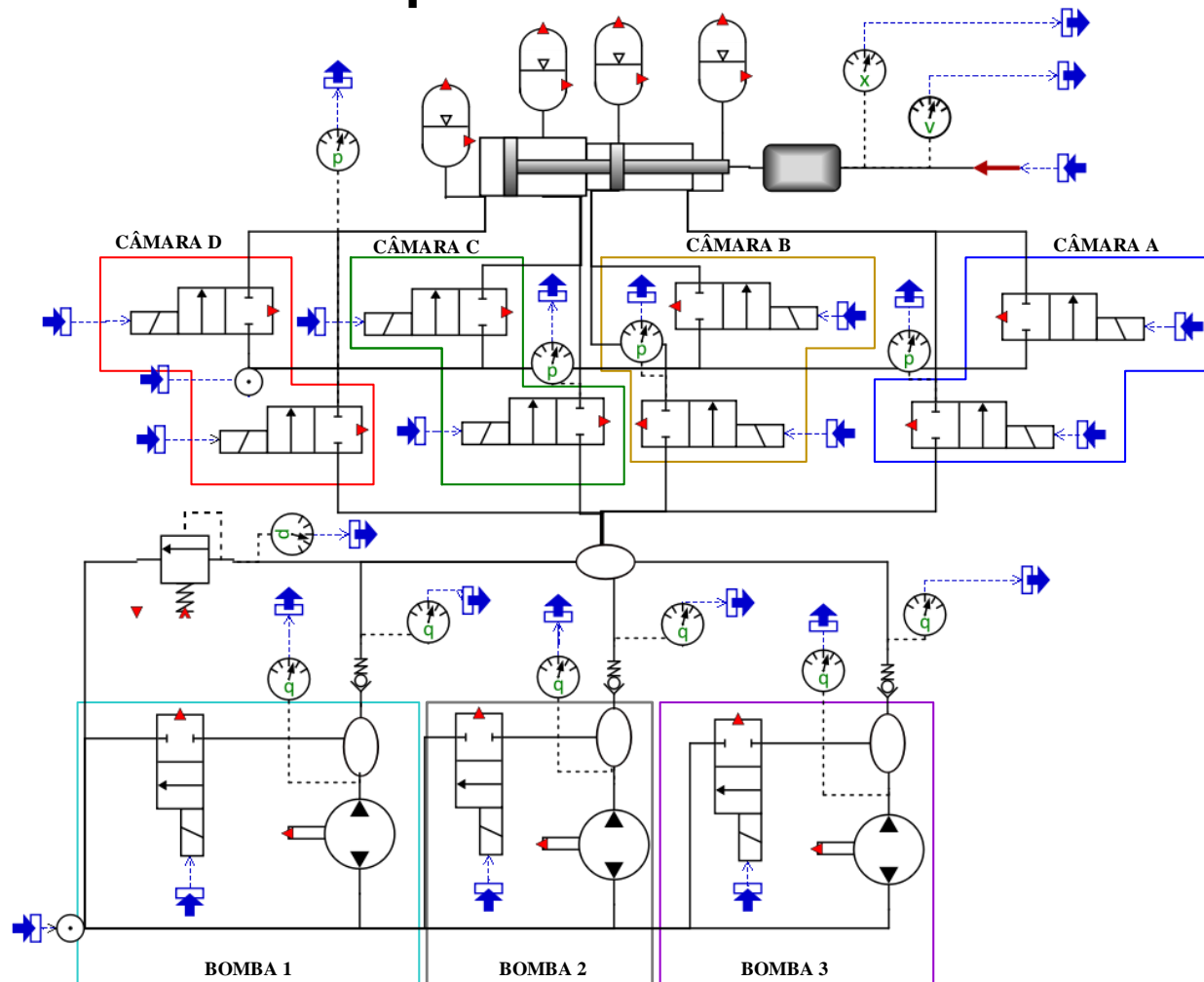
Elaborada pelo autor.

# DHP+A - Bomba + Atuador Hidráulico Digital

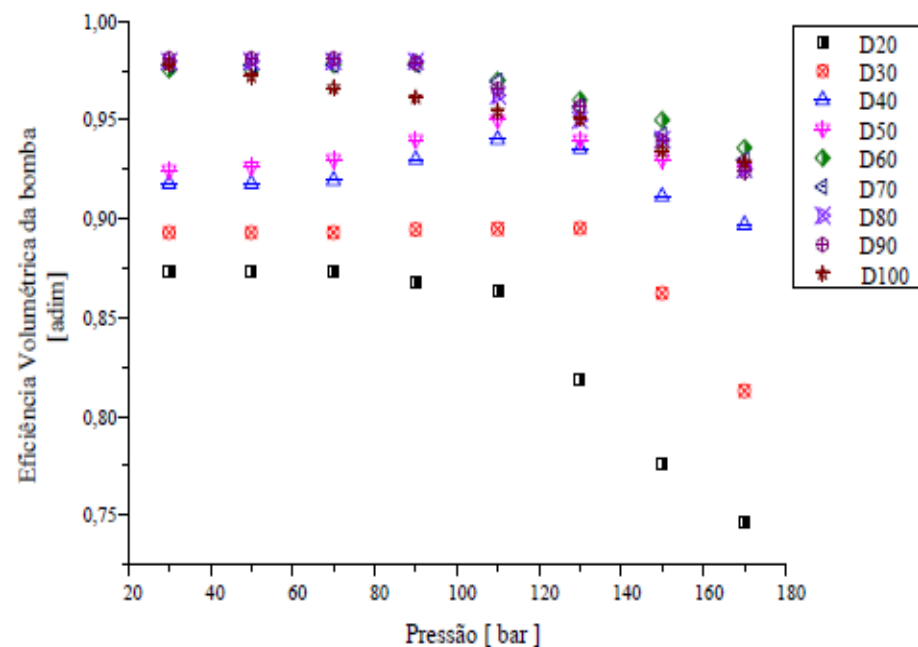
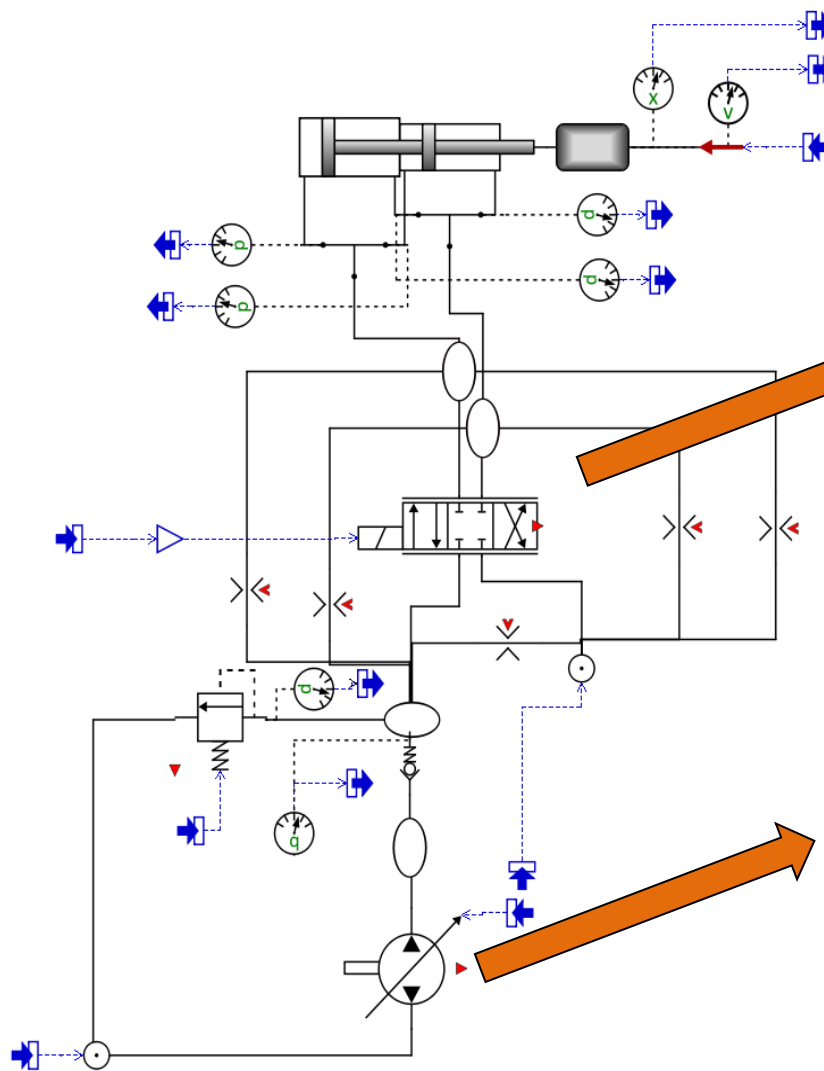


Elaborada pelo autor.

## ▪ Simulação utilizando Hopsan



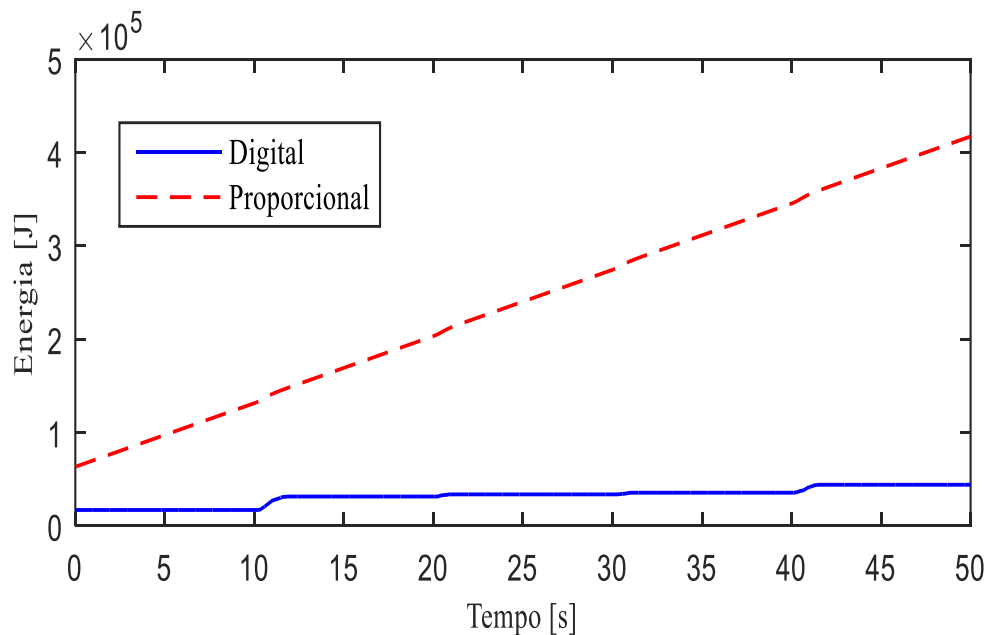
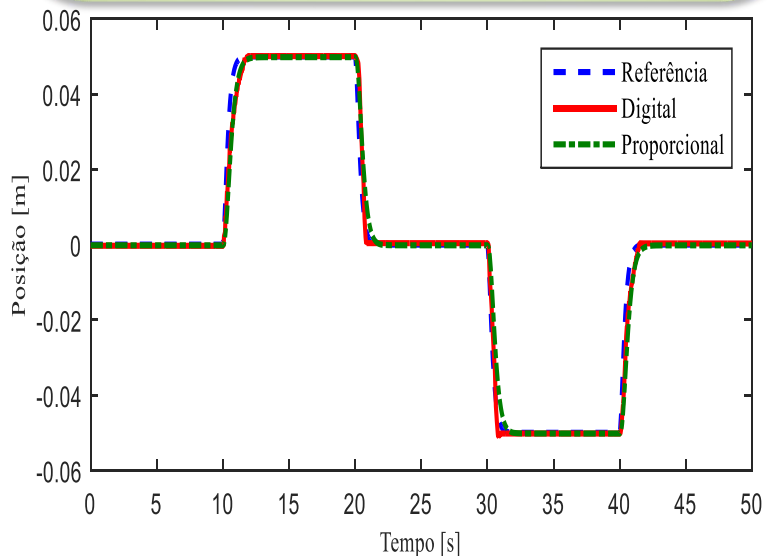
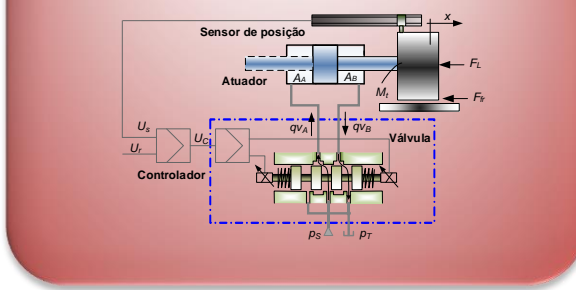
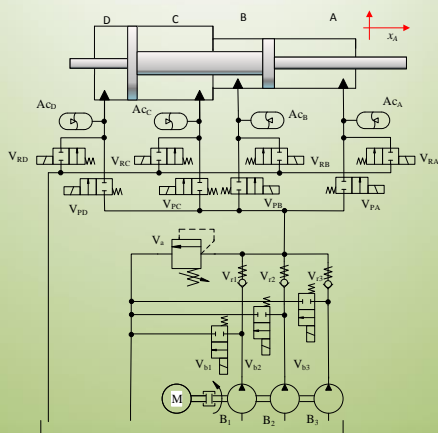
## SHA com Bomba de deslocamento variável



## ■ Análise energética:

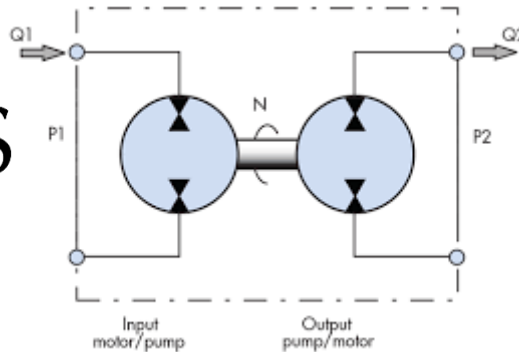
### • Atuador+Bomba Hidráulica Digital x

### Atuador Servo-Hidráulico

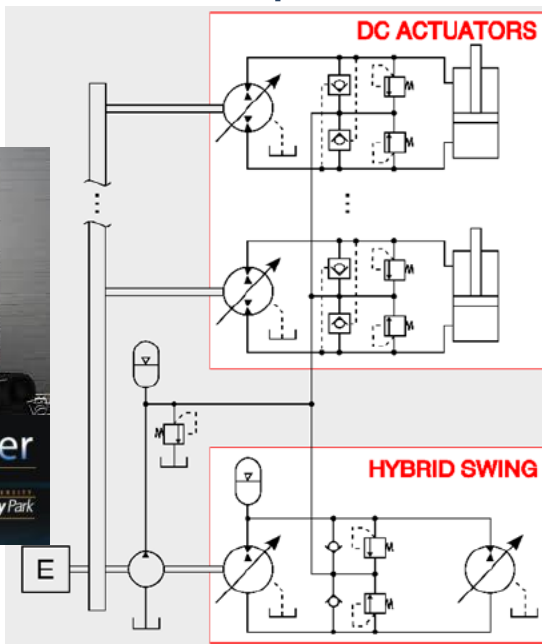


## Transformadores hidráulicos

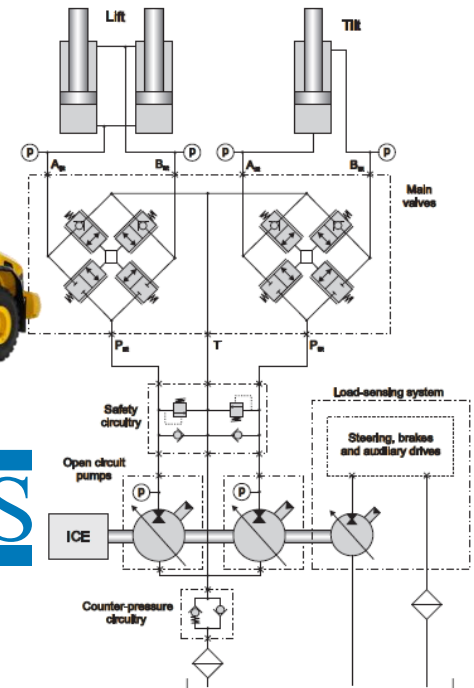
# INNAS



## Atuador controlado por bomba dedicada

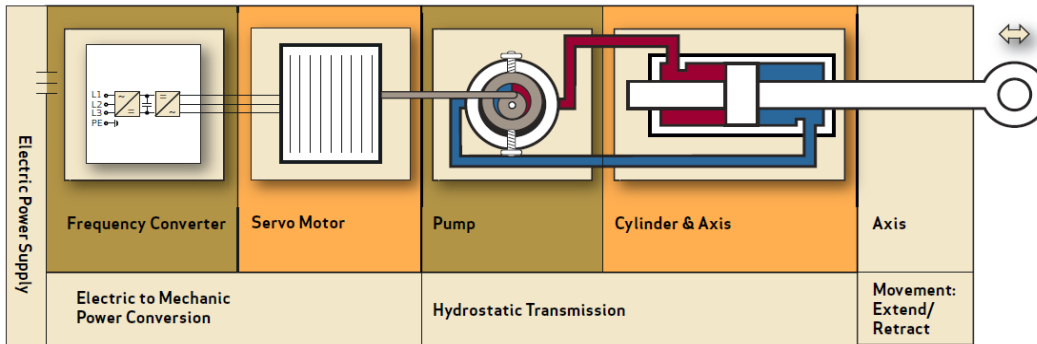


Fluida och Mekatroniska System  
**FluMeS**  
 Fluid and Mechatronic Systems





- Atuadores eletro-hidrostáticos (EHA)

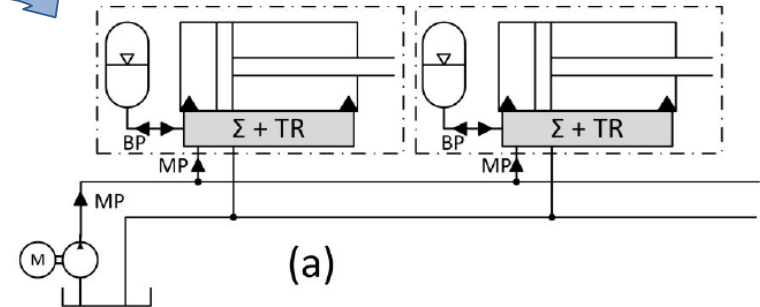


**MOOG**

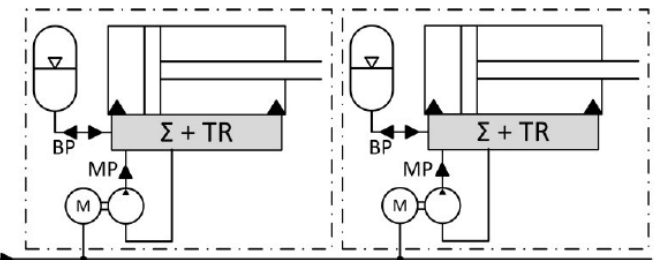
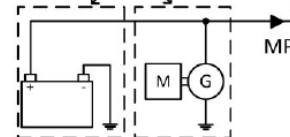
- Híbridos hidráulicos / eletro-hidráulicos



**TAMPERE  
 UNIVERSITY OF  
 TECHNOLOGY**



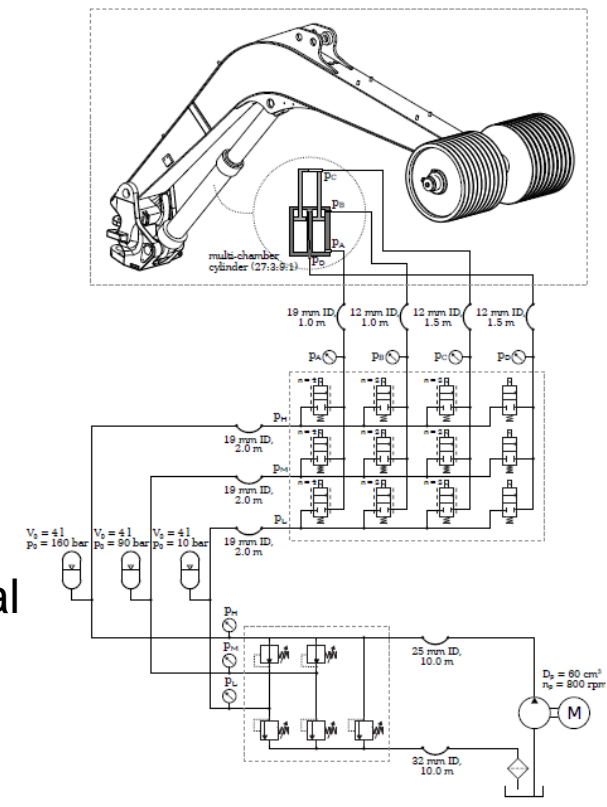
Alternatives



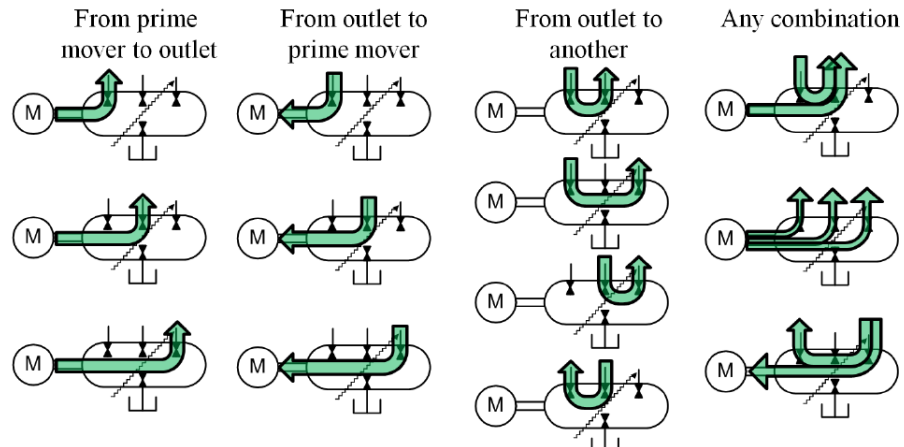
TR = Pressure – Force Transformation  
 Σ = Power Summation

## ▪ Hidráulica digital:

- Diversas fontes de pressão + Cilindros multicâmaras:



- Sistema de gerenciamento de potência hidráulica digital



**TAMPERE  
 UNIVERSITY OF  
 TECHNOLOGY**

# Principais Fontes



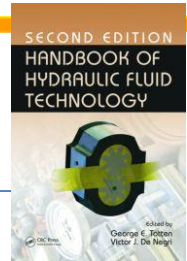
**Livro: Fundamentos de Sistemas Hidráulicos**

Autor: Irlan von Linsingen



**Livro: Handbook on Hydraulic Fluid Technology**

Autores: George Totten; Victor De Negri



**Tese de doutorado: Sistemas de Atuação Hidráulicos Digitais para Aviões com Foco em Eficiência Energética**

Autor: Henri Carlo Belan



**Tese de doutorado: Sistema hidráulico-pneumático de frenagem regenerativa aplicado a veículos comerciais híbridos médios e pesados**

Autor: Rafael R. da Silva Bravo



**Exame de Qualificação: Unidade de Potência hidráulica digital para Aplicação em Aeronaves**

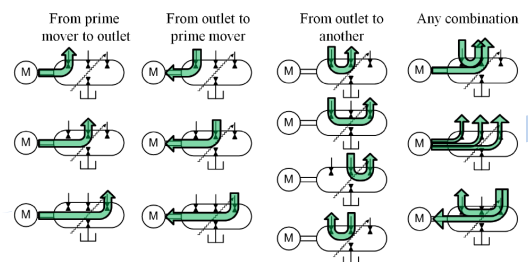
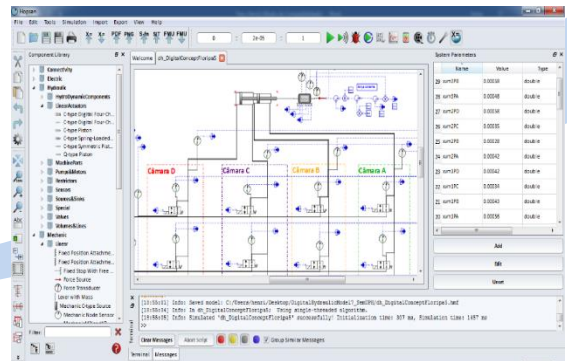
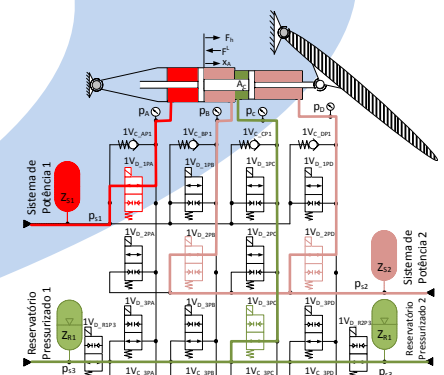
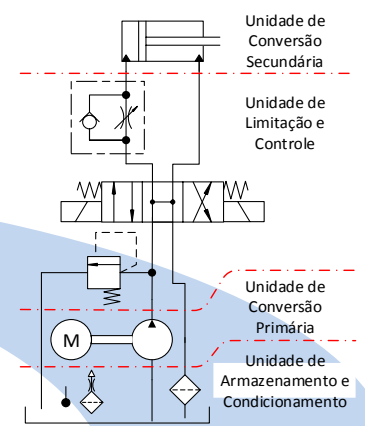
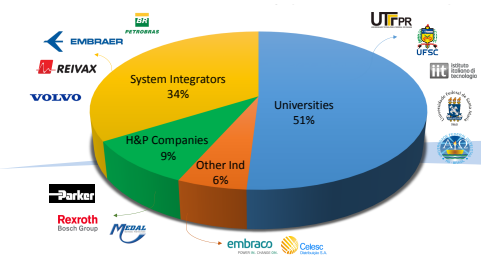
Autor: Marcos Paulo Nostrani



**Dissertação de mestrado: Análise do sistema hidráulico digital para aviões com foco em eficiência energética**

Autor: Diego Mise

# Outcome



Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Mecânica  
Laboratório de Sistemas Hidráulicos e Pneumáticos

## Equipamentos eficientes empregando hidráulica digital

**Victor J. De Negri**  
**[victor.de.negri@ufsc.br](mailto:victor.de.negri@ufsc.br)**  
**[laship.ufsc.br](http://laship.ufsc.br)**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica  
**[posmec.ufsc.br](http://posmec.ufsc.br)**  
Curso de Graduação em Engenharia Mecânica  
**[emc.ufsc.br](http://emc.ufsc.br)**



