



# **Simulação de Filtro Ativo do tipo *Shunt* para Correção de Fator de Potência em Sistema Elétricos Aeronáuticos**

João Paulo de Souza Oliveira

Orientador      Prof. Dr. Roberto d'Amore

Coorientador      M. Eng. André Domingues Rocha de Oliveira

São José dos Campos, SP – Brasil 2017

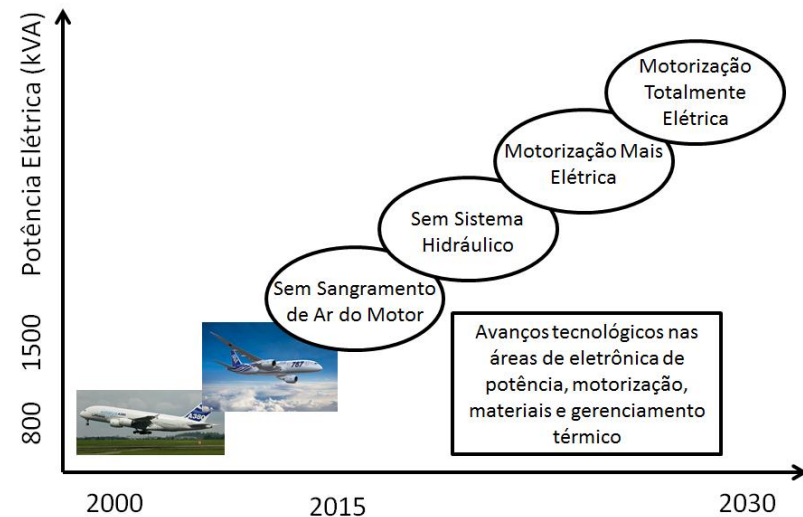
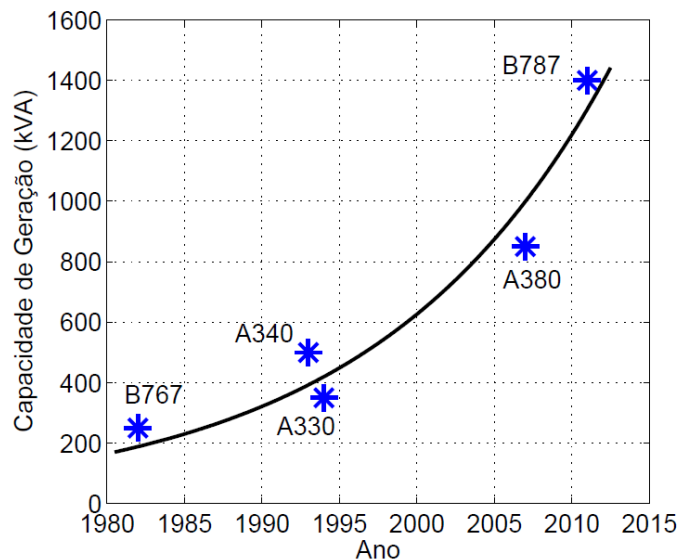


# Agenda

- Introdução
  - Motivação
  - Objetivos
- Métodos de Correção de Fator de Potência
- Filtros Ativos Utilizando a Teoria p-q
- Teoria da Potências Instantâneas
- Simulação
  - Modelos
  - Resultados
- Conclusão

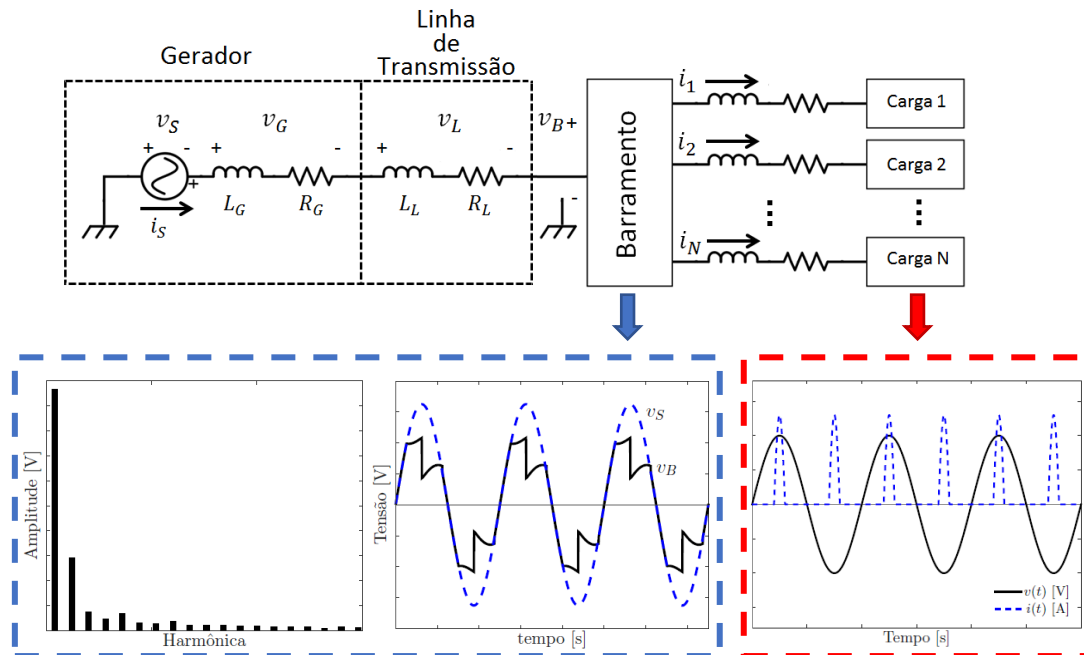
## Introdução

- Tendência de aumento do uso do sistema elétrico em aeronaves
- Sistemas hidráulicos e pneumáticos tendem a ser trocados por similares elétricos
- Redução dos custos operacionais



# Introdução

- Elevação da dependência do sistema elétrico na aeronavegabilidade e segurança operacional
- Aumento de cargas não lineares compromete a qualidade de energia





## Motivação

- Promover um estudo sobre diversas topologias de correção de fator de potência
- Viabilizar o conceito dos filtros ativos em sistemas elétricos aeronáuticos
- Aprofundar o estudo na teoria das potências instantâneas

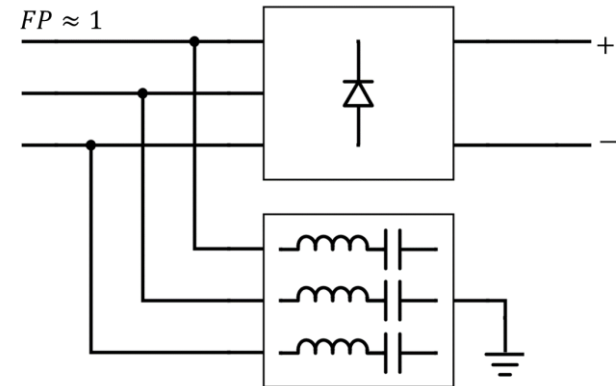


## Objetivos

- Desenvolver uma simulação com a inclusão de filtros ativos em cargas não lineares
- Promover um sistema de correção de fator de potência
- Garantir a manutenção das tensões dentro das normas aeronáuticas no que tange qualidade de energia

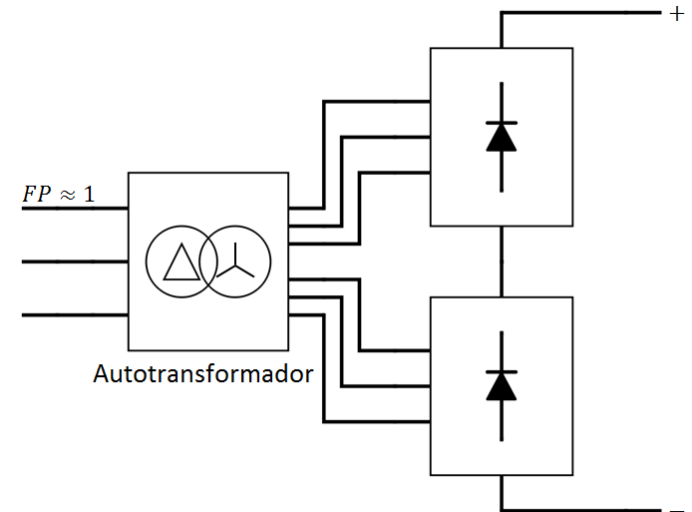
## Métodos de Correção de Fator de Potência

- Sistemas passivos:
  - **Filtros passivos**
  - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
  - Retificador com correção de fator de potência
  - Filtros Ativos



## Métodos de Correção de Fator de Potência

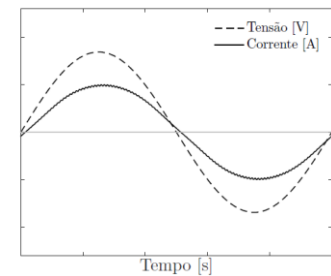
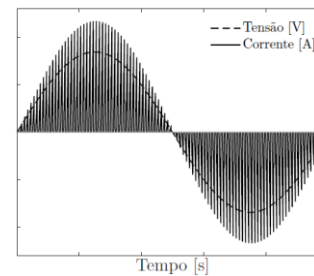
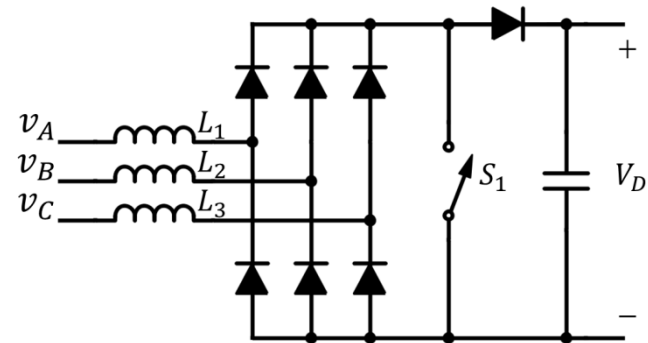
- Sistemas passivos:
  - Filtros passivos
  - **Conversores multipulso**
- Sistemas ativos:
  - Retificador com correção de fator de potência
  - Filtros Ativos





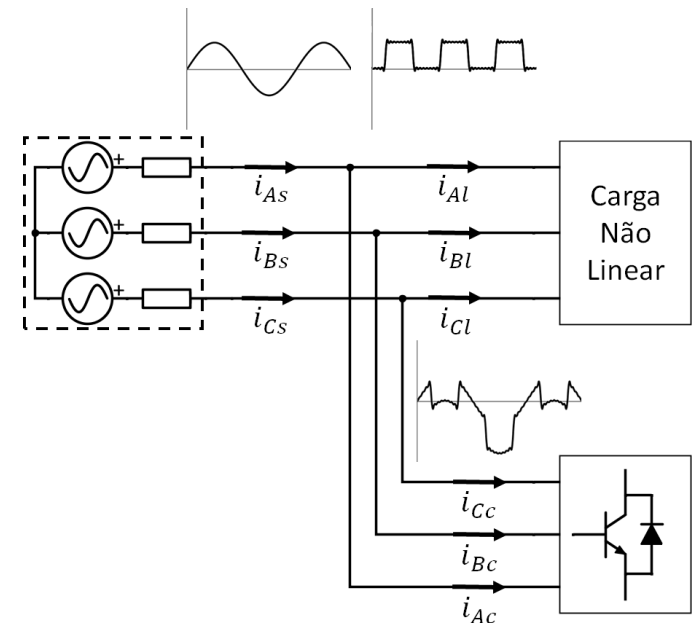
## Métodos de Correção de Fator de Potência

- Sistemas passivos:
  - Filtros passivos
  - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
  - **Retificador com correção de fator de potência**
  - Filtros Ativos



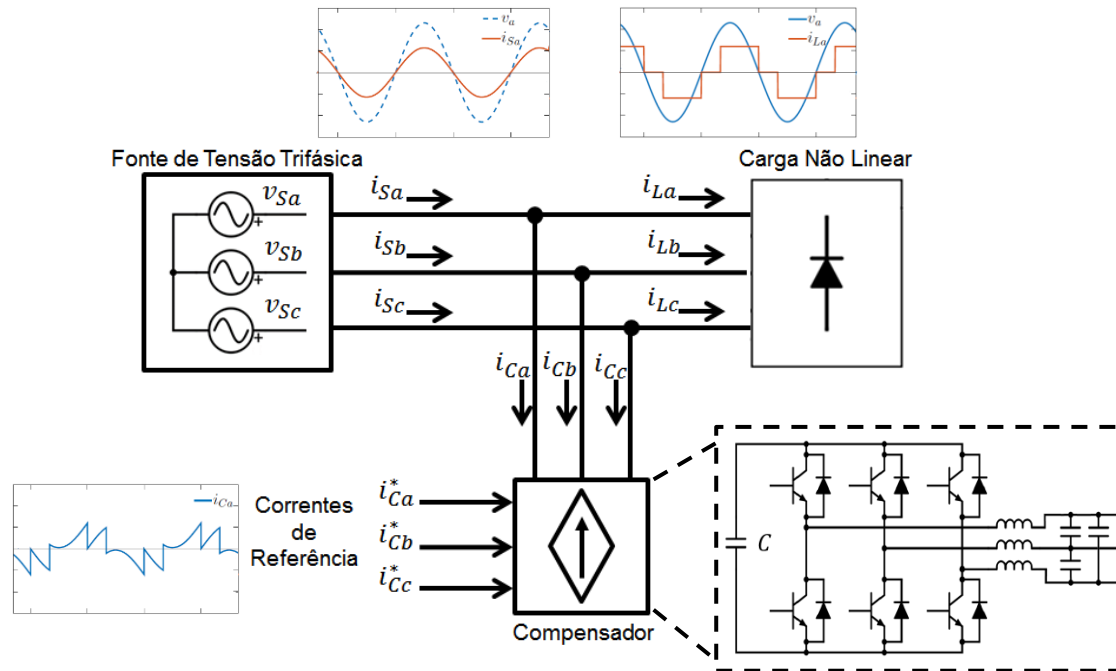
## Métodos de Correção de Fator de Potência

- Sistemas passivos:
  - Filtros passivos
  - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
  - Retificador com correção de fator de potência
  - **Filtros Ativos**



## Filtros Ativos

- Filtro Ativo opera injetando componentes de harmônica presentes no sistema, porém, defasadas em 180 graus



- $i_{Ca}^*$ ,  $i_{Cb}^*$ ,  $i_{Cc}^*$  é determinado utilizando a teoria das potências instantâneas

## Teoria das Potências Instantâneas

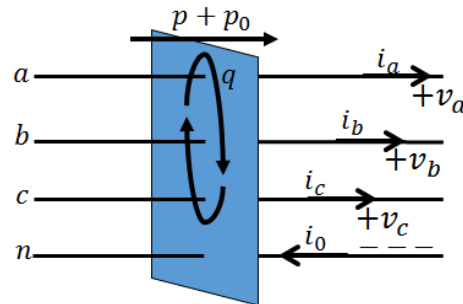
- É utilizada na determinação das potências instantâneas ativa e reativa ( $p$  e  $q$ , respectivamente), a qual carregam dados sobre a forma da tensão/corrente
- Aplicável apenas à sistemas trifásicos
- Baseada na transformada de Clarke:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 1 & -\frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ 0 & \frac{\sqrt{3}}{2} & -\frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}; \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 1 & 0 \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{1}{\sqrt{2}} & -\frac{1}{2} & \frac{\sqrt{3}}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix}$$

## Teoria das Potências Instantâneas

$$\begin{bmatrix} p_0 \\ p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_0 & 0 & 0 \\ 0 & v_\alpha & v_\beta \\ 0 & -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

- Significados físicos de  $p$  e  $q$

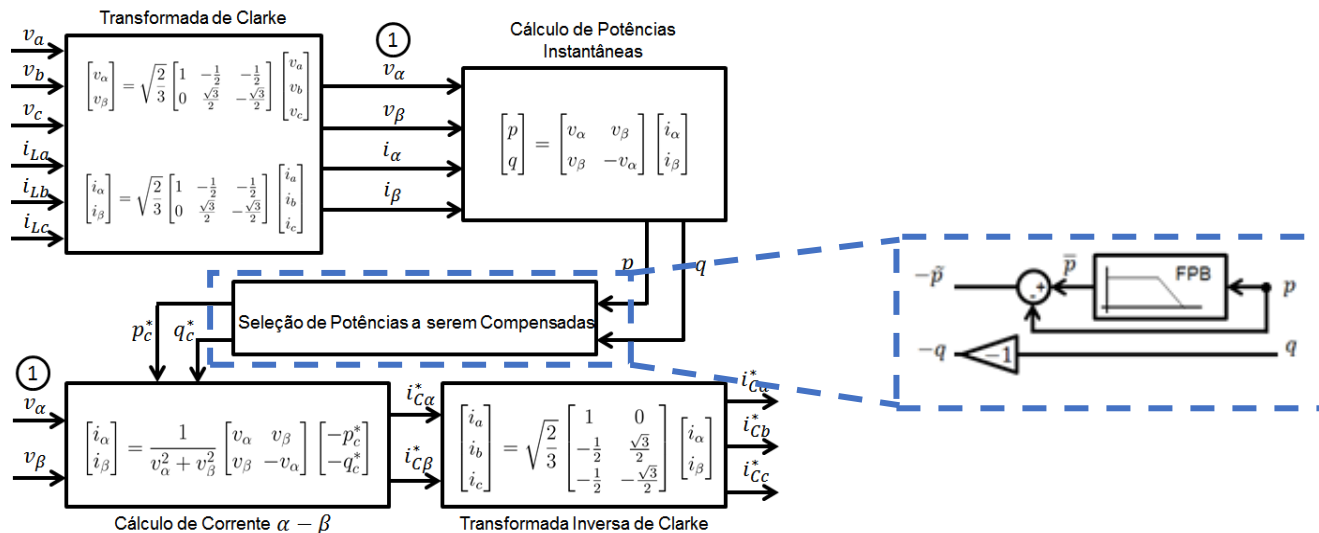


$$\begin{aligned} p &= \bar{p} + \tilde{p} \\ q &= \bar{q} + \tilde{q} \end{aligned}$$

- Tensão e corrente de sequencia zero são desconsideradas em sistemas elétricos aeronáuticos

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

## Filtros Ativos Utilizando a Teoria PQ



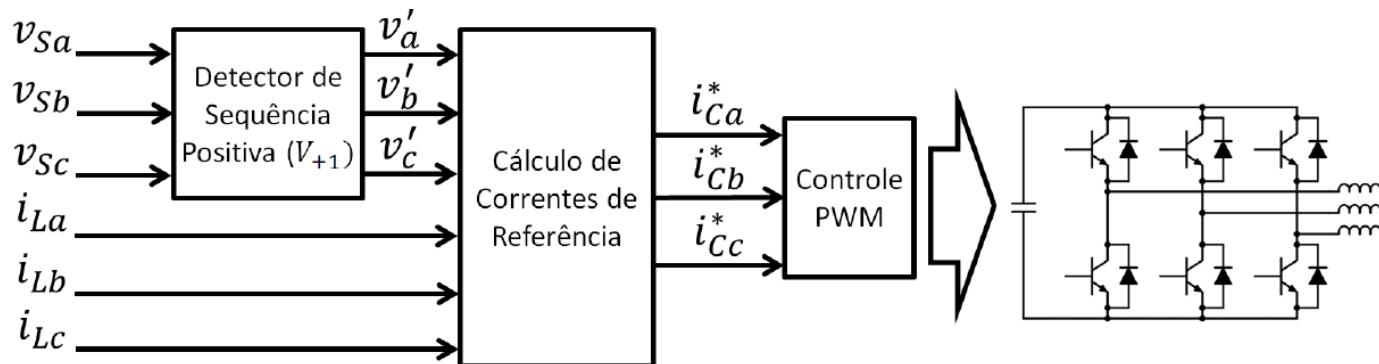
- Determinação das correntes de referência  $i_{Ca}^*, i_{Cb}^*, i_{Cc}^*$ 
  - Determinação das tensões e correntes em coordenadas  $\alpha\beta$ ;
  - Seleção das potências a serem compensadas ( $p^*$  e  $q^*$ );
  - Cálculo de corrente de compensação nas coordenadas  $\alpha\beta$ ;

$$\begin{bmatrix} i_{Ca}^* \\ i_{Cb}^* \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ v_\beta & -v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p^* \\ q^* \end{bmatrix}$$

- Transformada inversa de Clarke;

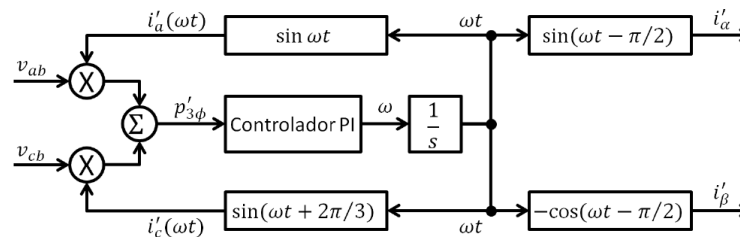
## Estratégia de Controle

- A teoria p-q por si só mostra-se insuficiente para garantir a filtragem quando a tensão do barramento é distorcida
- Controle de Corrente Senoidal com uso do Detector de Sequencia Positiva

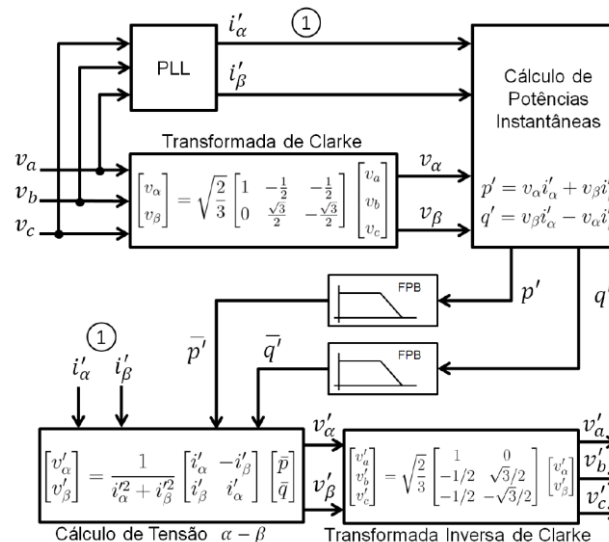


## Detector de Sequência Positiva

- Malha de captura de fase (PLL)



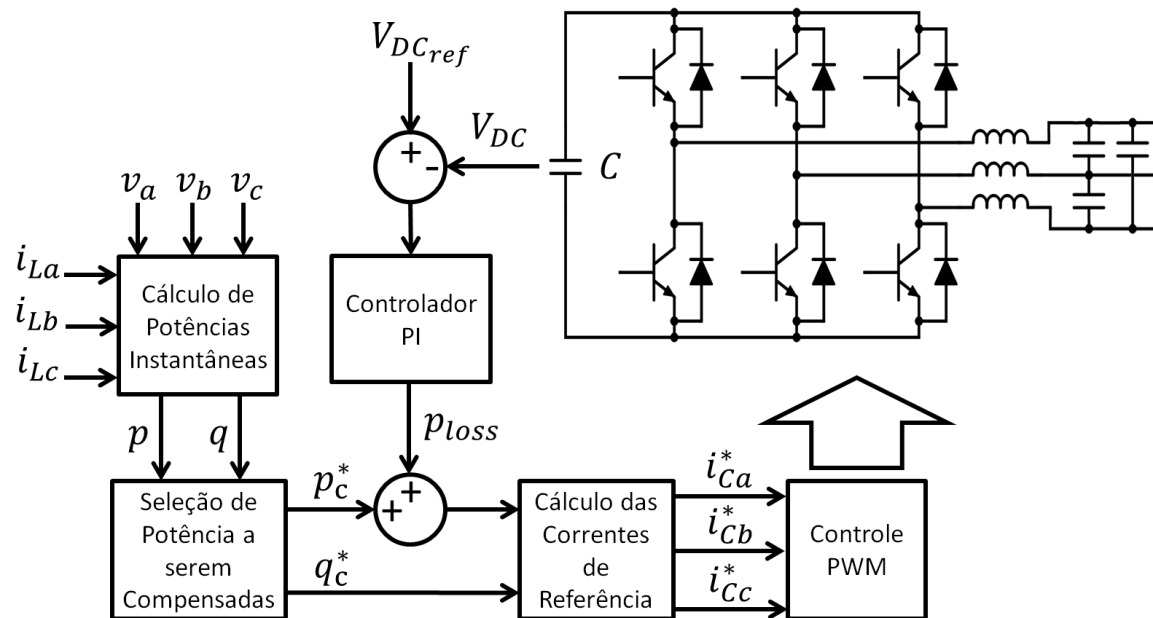
- Malha Principal



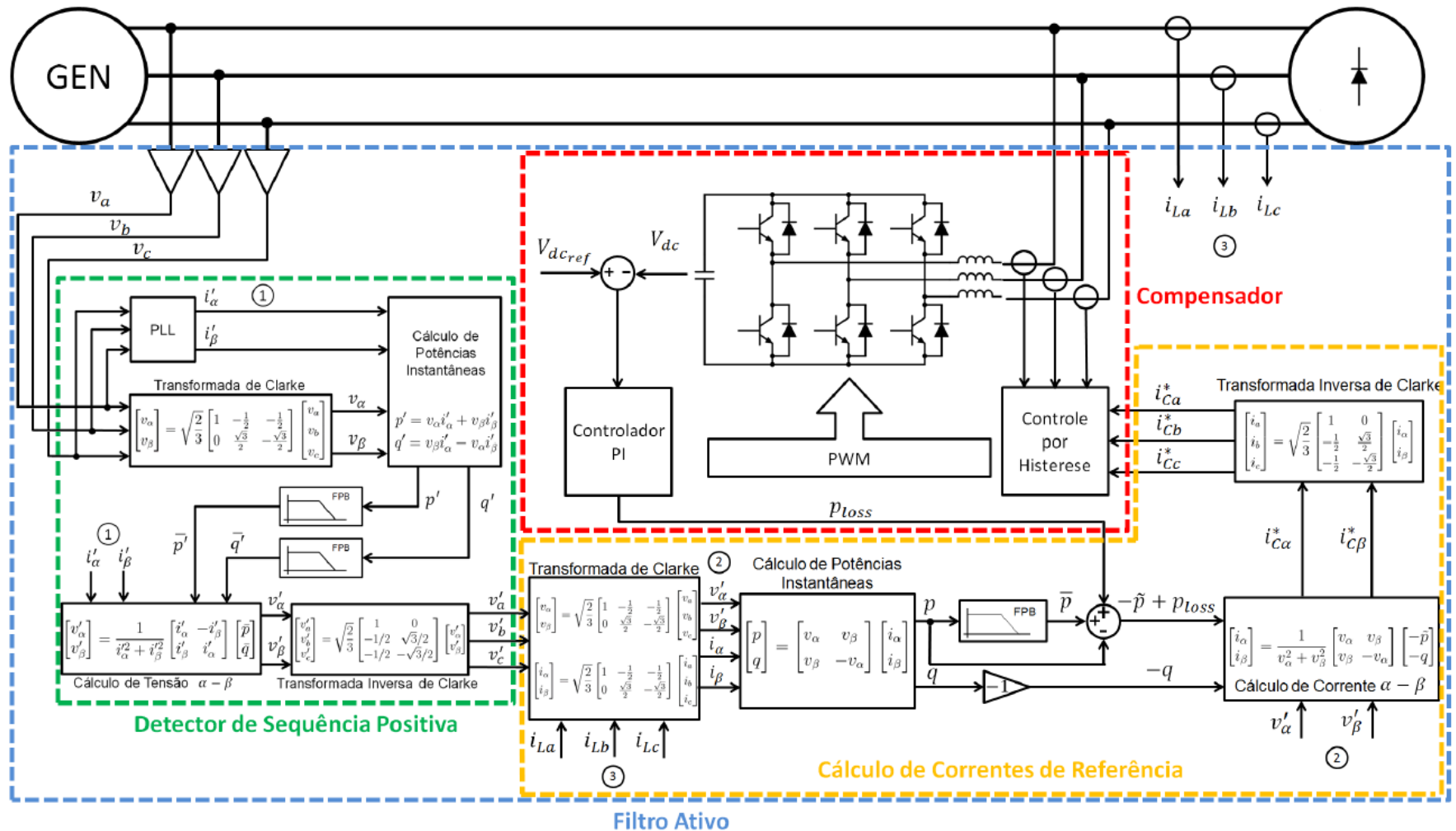


## Controle de tensão do Capacitor do compensador

- Eficiência do filtro é diretamente ligada aos níveis de tensão do Capacitor do Compensador
- Perdas nos elementos do filtro faz com que a tensão no Capacitor diminua



# Sistema Completo

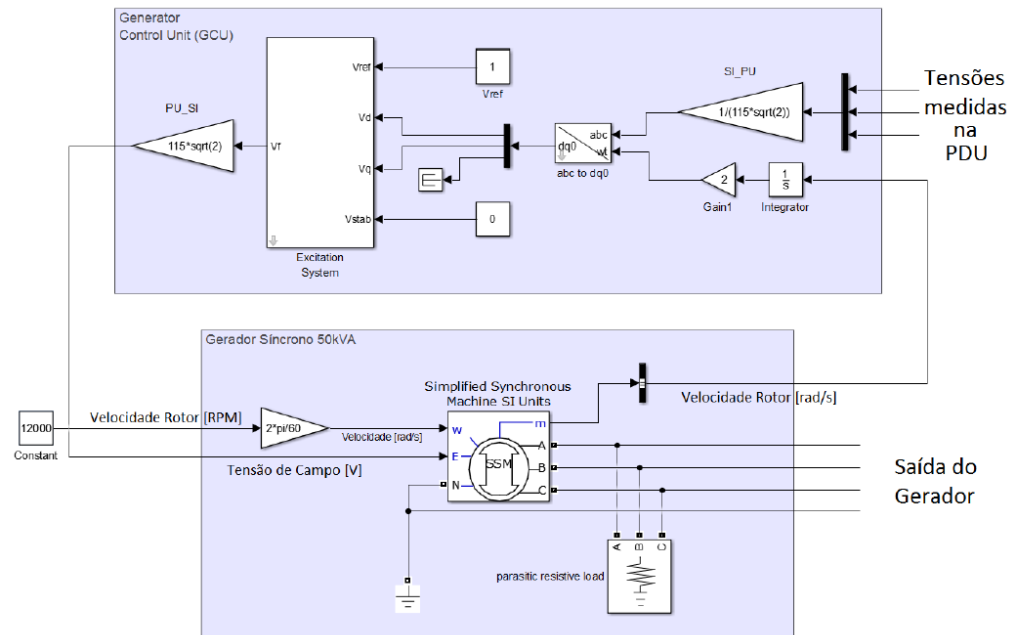


## Simulação

- Sistema de geração e distribuição de uma aeronave de transporte civil com uma média de 100 passageiros.
- Simulação visa verificar o comportamento da iteração do sistema de geração e distribuição com cargas não lineares com respectivos filtros ativos
- 3 EHAs operando simultaneamente sob mesmo regime de carregamento
- Cada EHA possui um filtro ativo em sua entrada

# Simulação

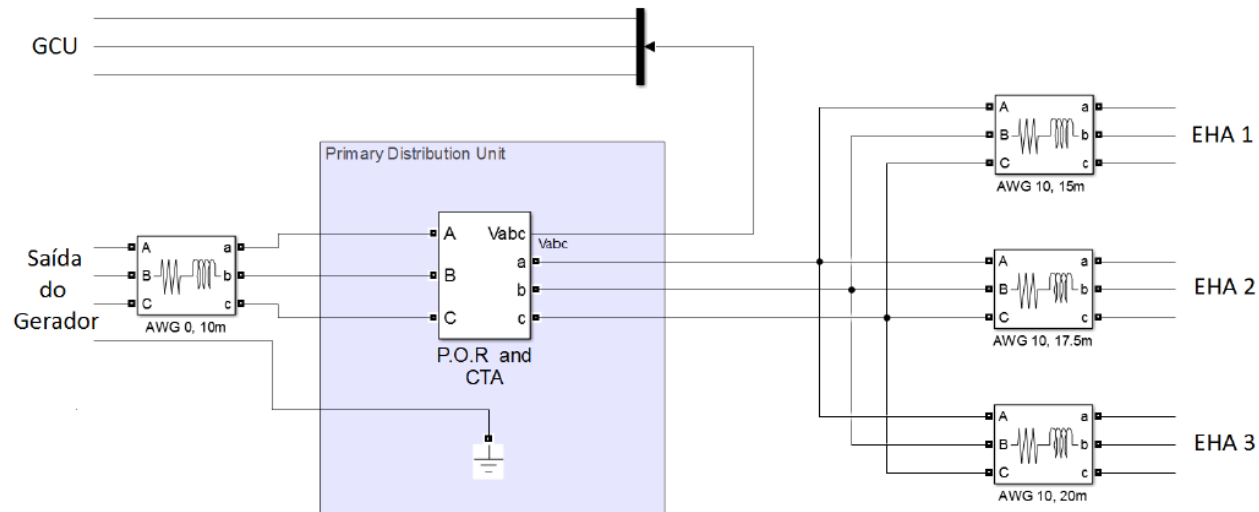
- Modelo Empregado do Sistema de Geração



Resistência [ $\Omega$ ]	Indutância [mH]	Impedância (400 Hz) [ $\Omega$ ]
0.0404	0.09204	$0.0404 + j0.213$

# Simulação

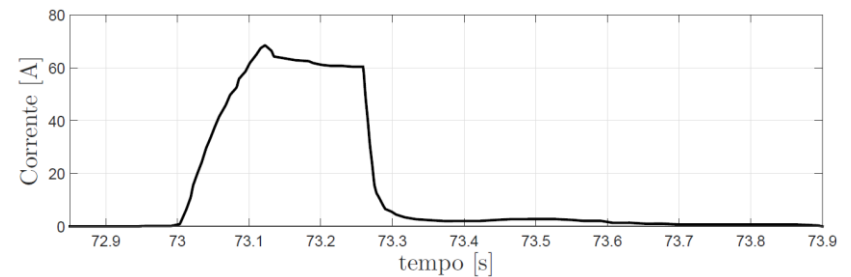
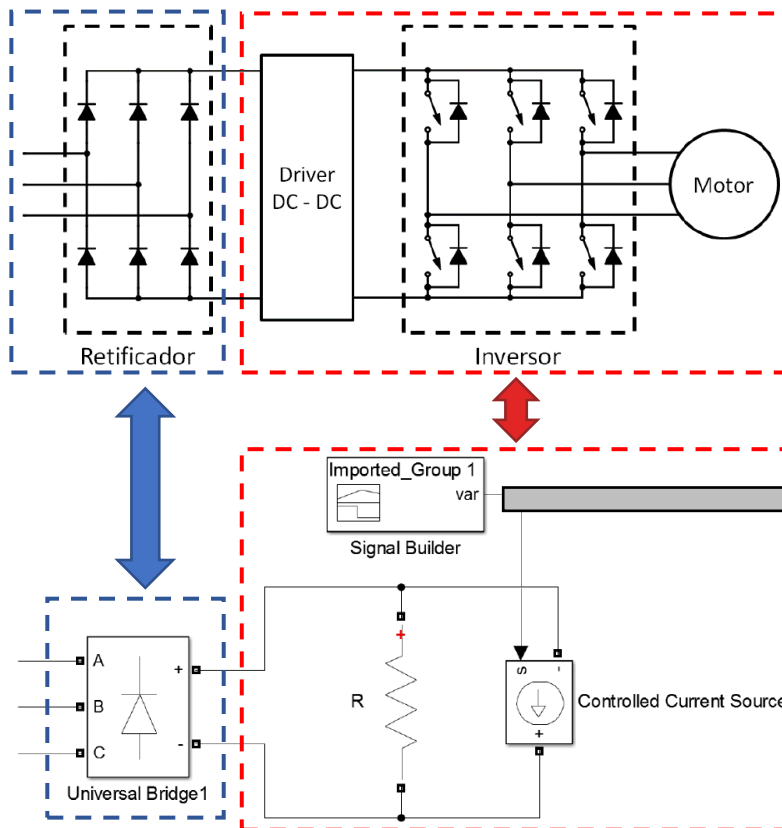
- Modelo Empregado do Sistema de Distribuição



Porção	Bitola	Comprimento	Impedância (400 Hz) [ $\Omega$ ]
GEN - PDU	AWG 0	10 m	$0,0047 + j0,0067$
PDU - EHA 1	AWG 10	15 m	$0,0540 + j0,0199$
PDU - EHA 2	AWG 10	17.5 m	$0,0630 + j0,0233$
PDU - EHA 3	AWG 10	20 m	$0,0720 + j0,0266$

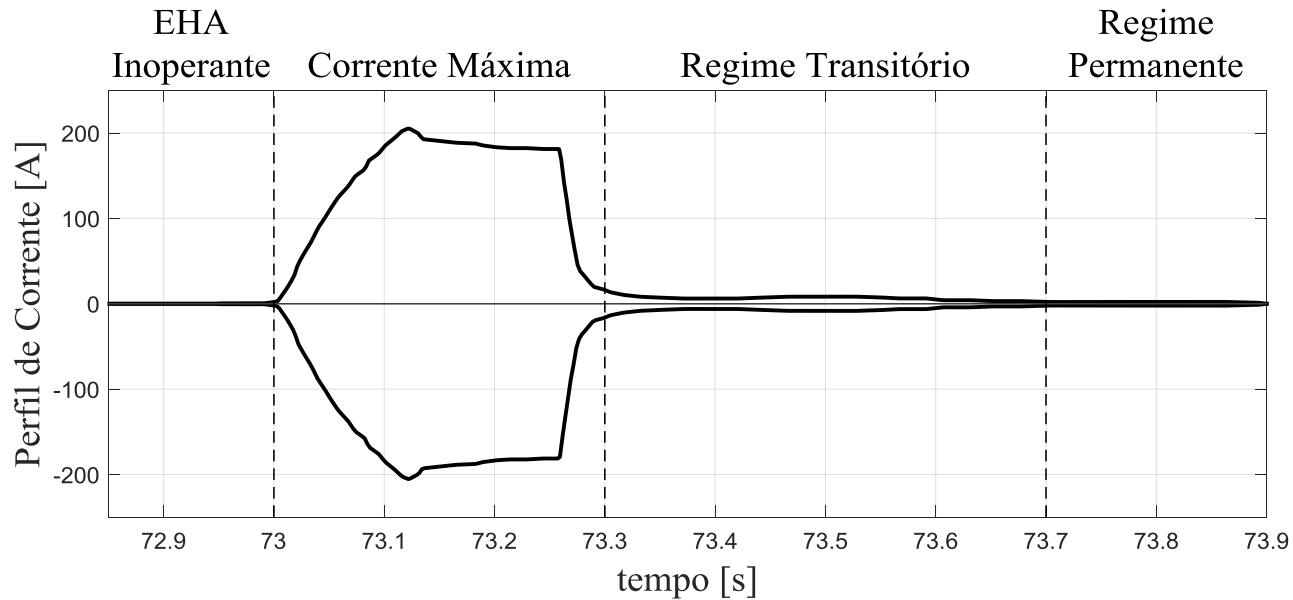
# Simulação

- Modelo Empregado do EHA



## Simulação

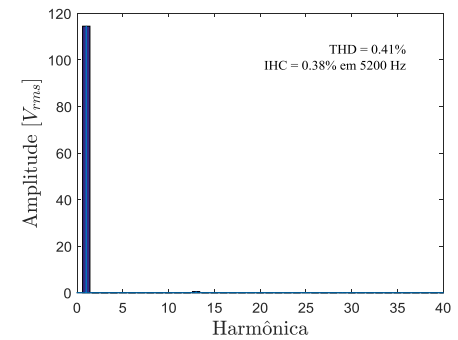
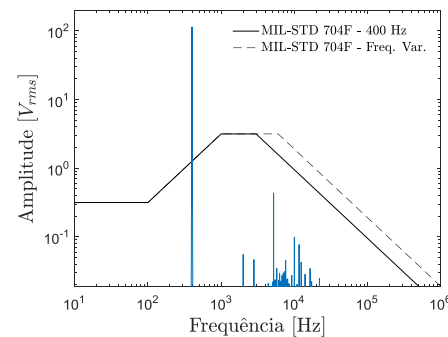
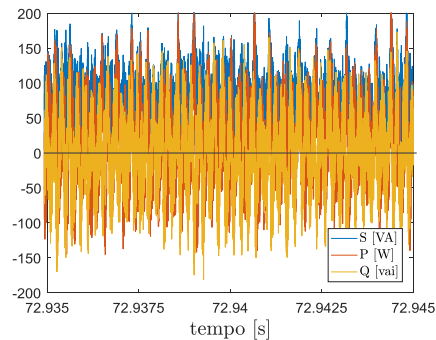
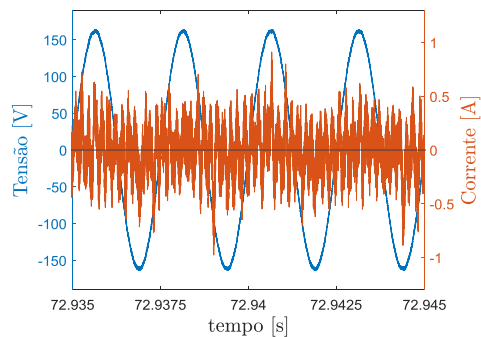
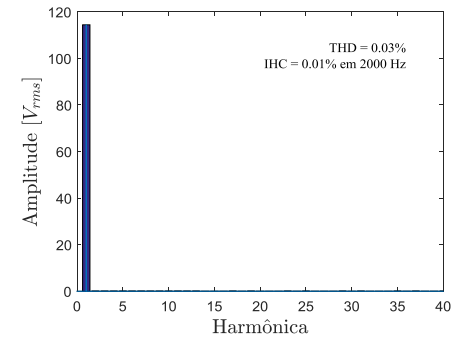
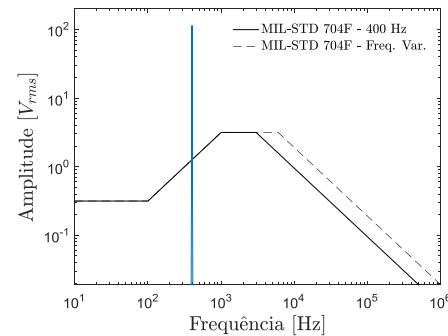
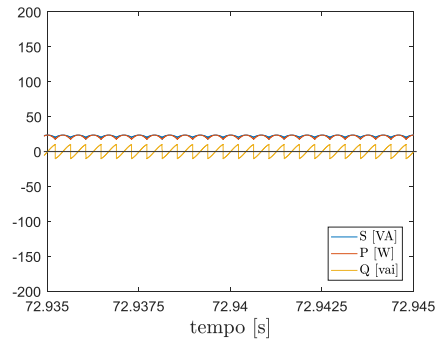
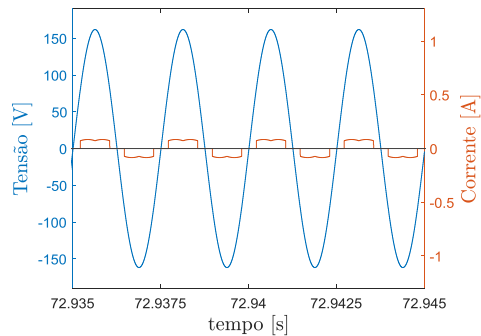
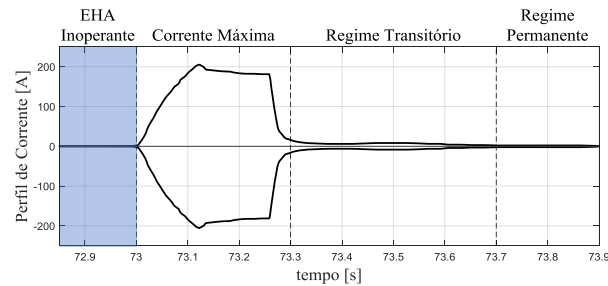
- Simulação dividida em quatro subperíodos durante a operação do EHA



- Resultados são referentes a medições obtidas na PDU

# Resultados

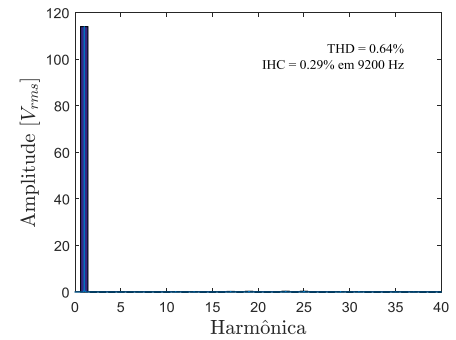
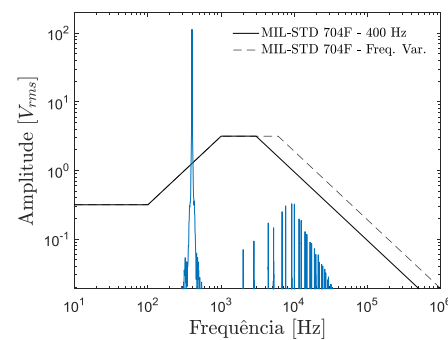
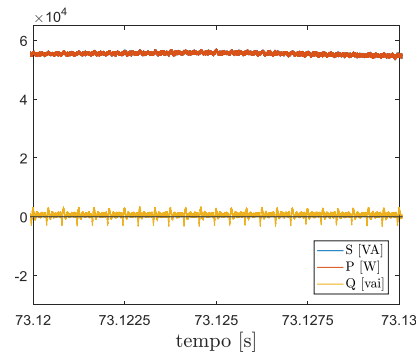
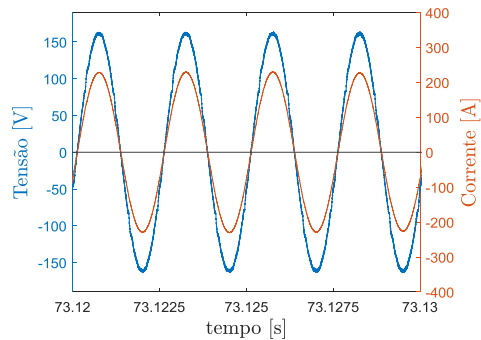
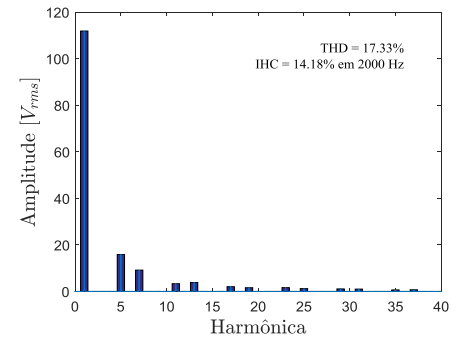
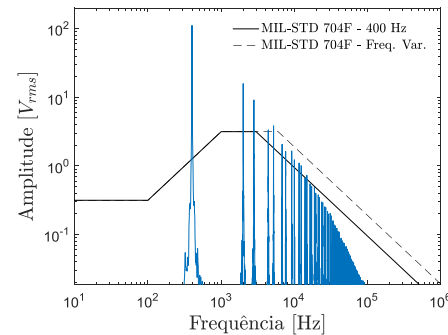
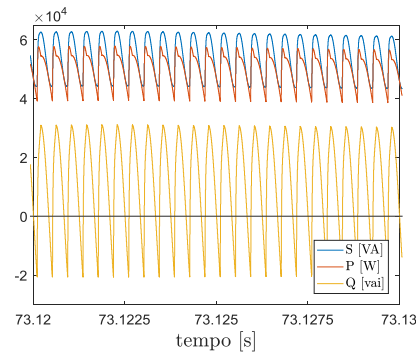
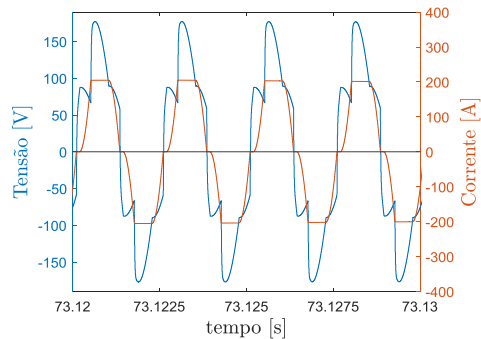
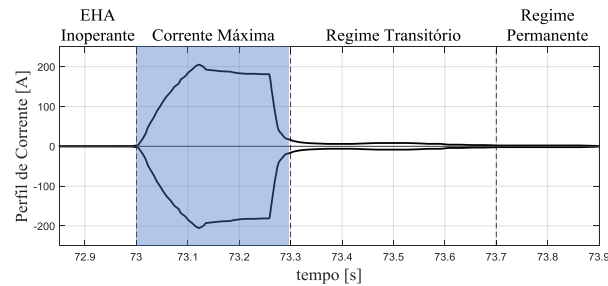
- EHA Inoperante





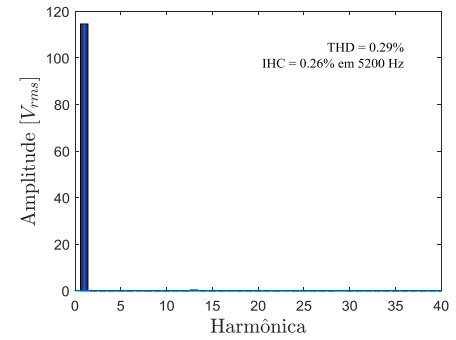
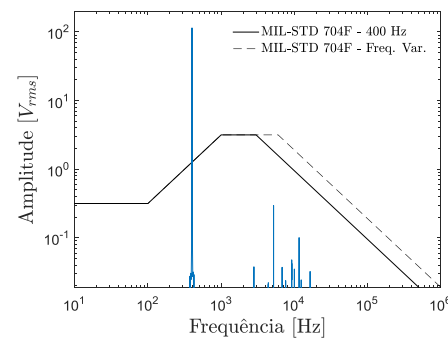
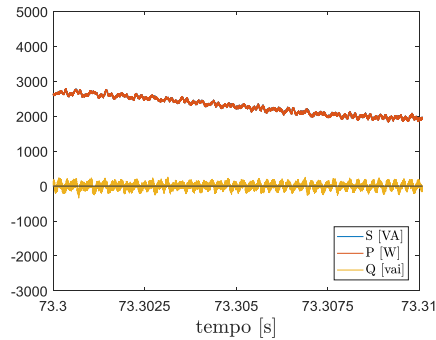
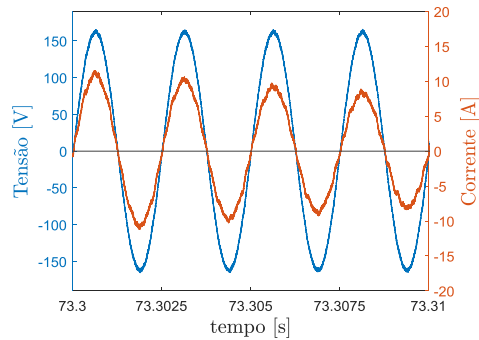
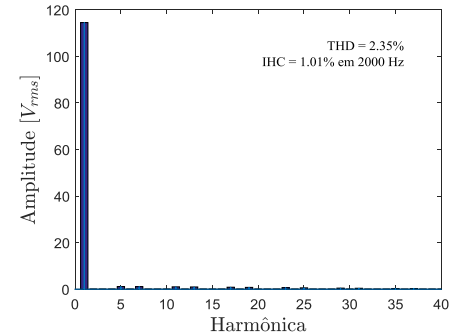
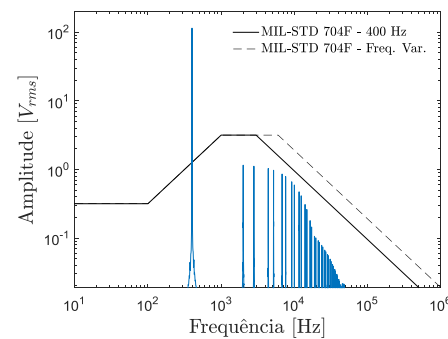
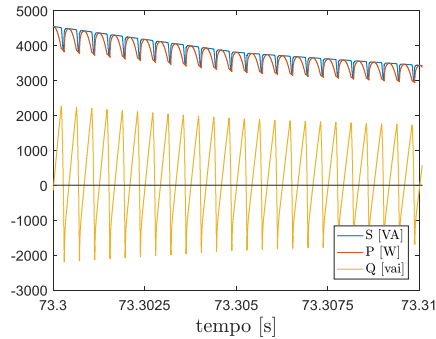
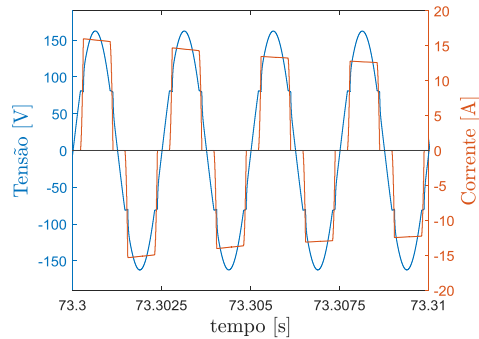
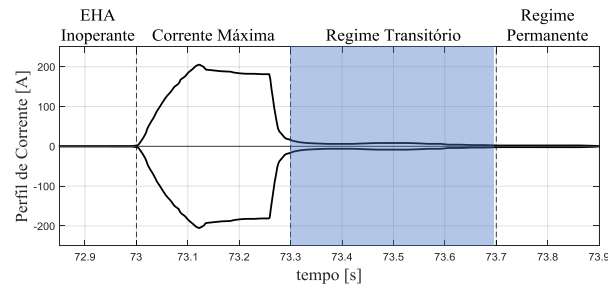
# Resultados

## • Corrente Máxima



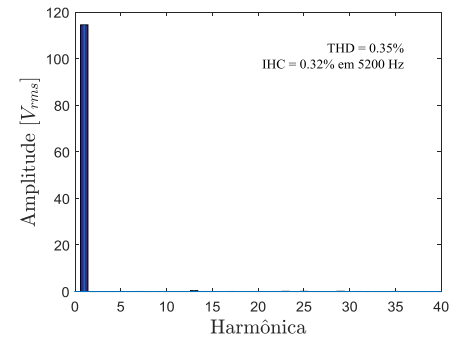
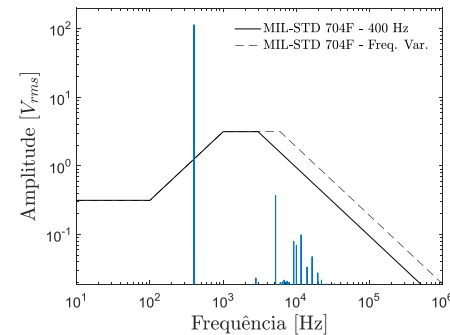
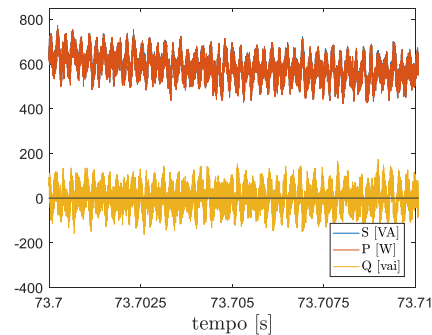
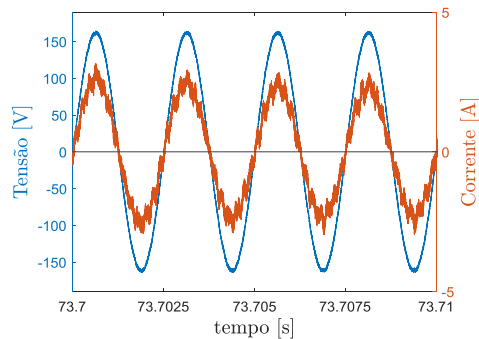
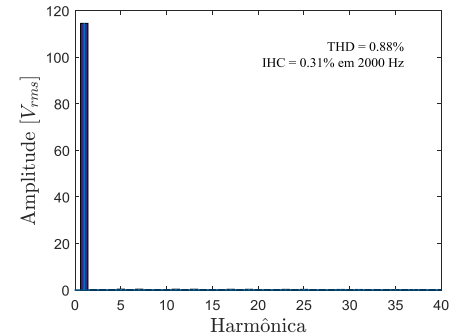
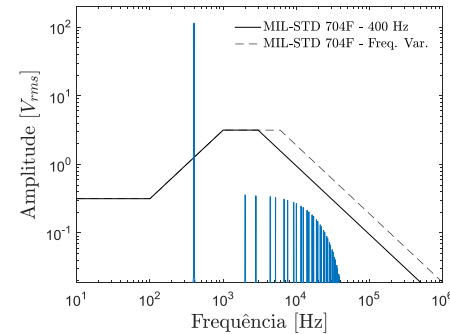
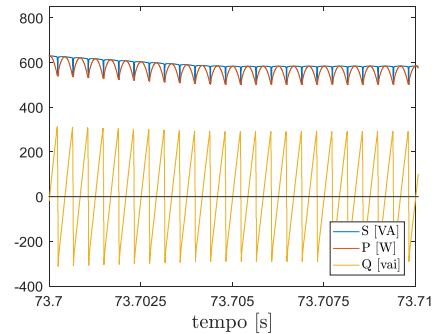
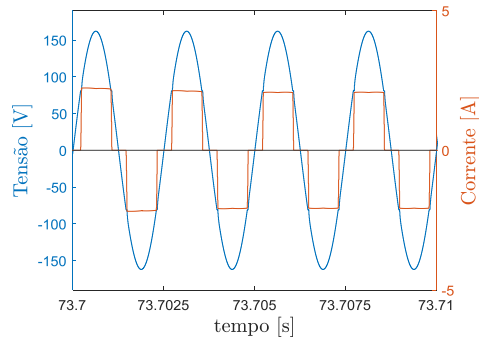
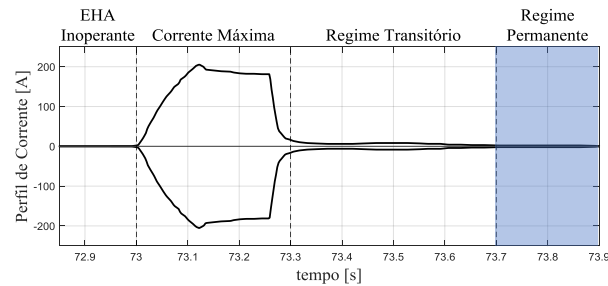
# Resultados

- Regime Transitório



# Resultados

## • Regime Permanente



## Conclusão

- O filtro operou como esperado, deixando a resposta dentro das normas aeronáuticas para qualquer condição de operação
- O filtro atua deixando o sistema com alto fator de potência
- Sem ou com baixa carga houve a degradação da qualidade de energia
- Perdas nos semicondutores fazem com que a operação do filtro requer potência para qualquer condição de operação



## Trabalhos Futuros

- Implementar o filtro com foco na integração dos elementos do sistema elétricos aeronáuticos
- Otimizar a concepção dos filtros capacitivos da linha de maneira a operar o filtro ativo em sistemas com geração com frequência variável
- Construir um protótipo para avaliação de operação em laboratório



# Obrigado

João Paulo de Souza Oliveira