



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

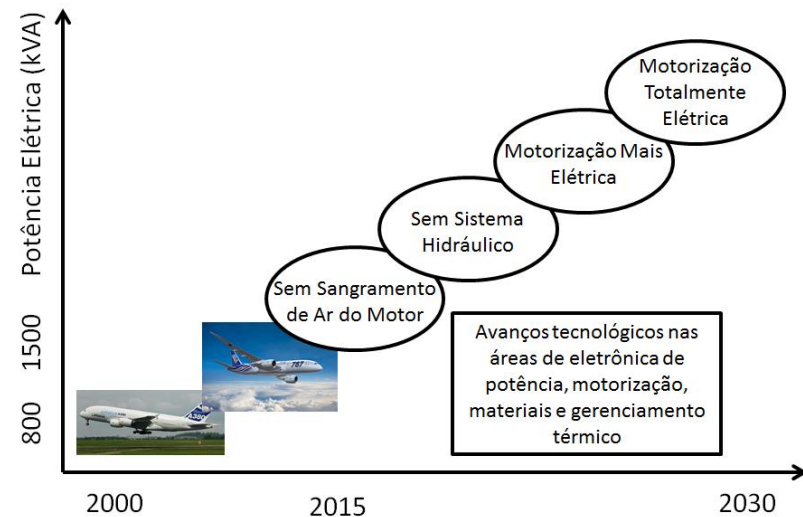
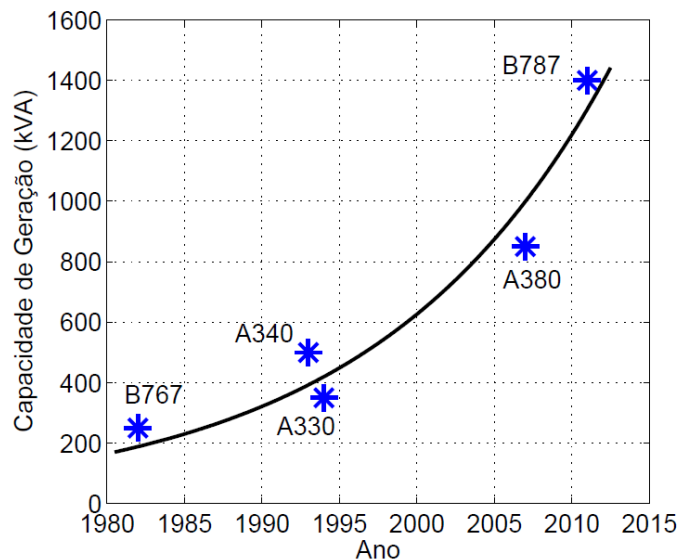


Agenda

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

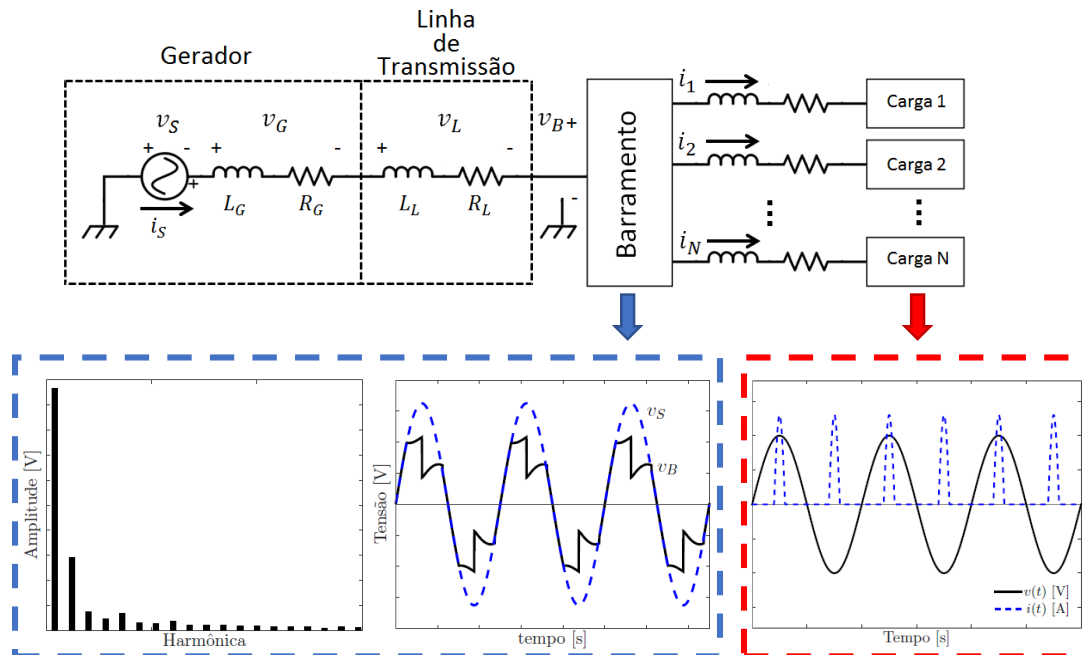
Introdução

- 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

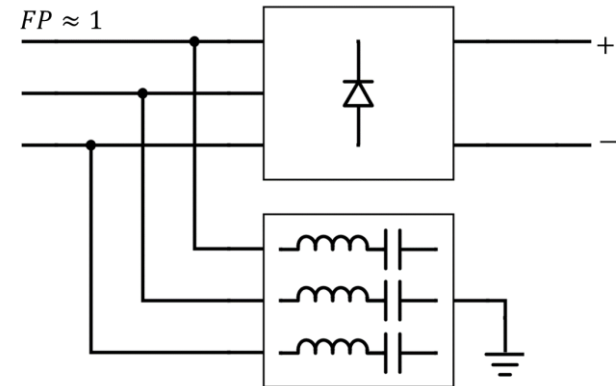


Objetivos e Contribuições

- Simulação de um sistema completo com a inclusão de filtros ativos em cargas não lineares
- Análise da correção do fator de potência
- Tensões mantidas dentro das normas aeronáticas no que tange qualidade de energia

Métodos de Correção de Fator de Potência

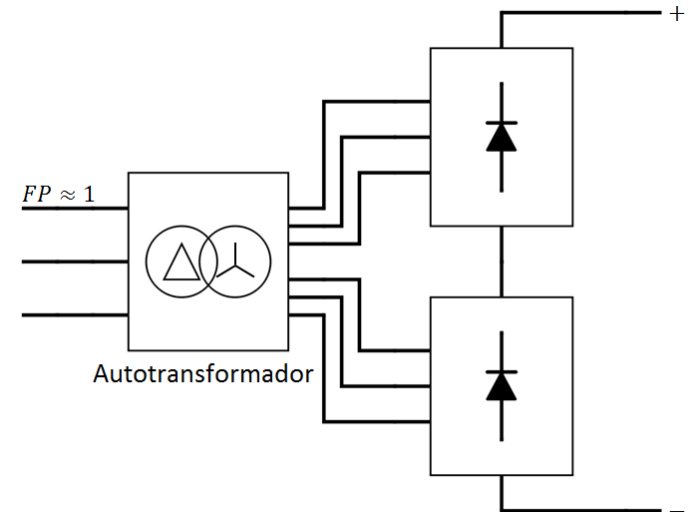
- Sistemas passivos:
 - **Filtros passivos**
 - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
 - Retificador com correção de fator de potência
 - Filtros Ativos



- Baixo custo
- Robustos
- Elevado peso e volume
- Não adequado para frequência variável

Métodos de Correção de Fator de Potência

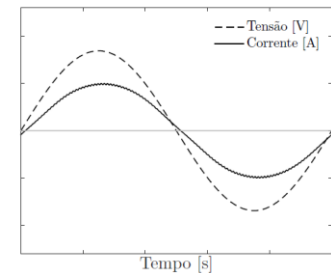
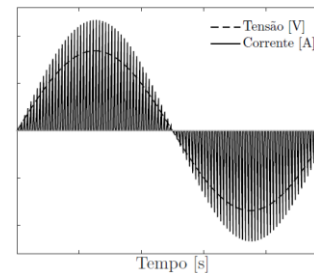
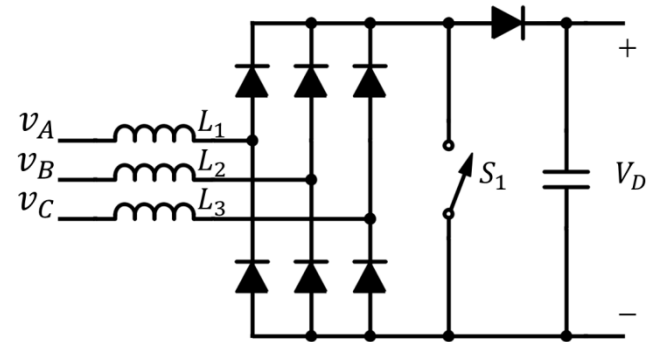
- Sistemas passivos:
 - Filtros passivos
 - **Conversores multipulso**
- Sistemas ativos:
 - Retificador com correção de fator de potência
 - Filtros Ativos



- Boa confiabilidade
- Opera em frequência variável
- Elevado peso e volume

Métodos de Correção de Fator de Potência

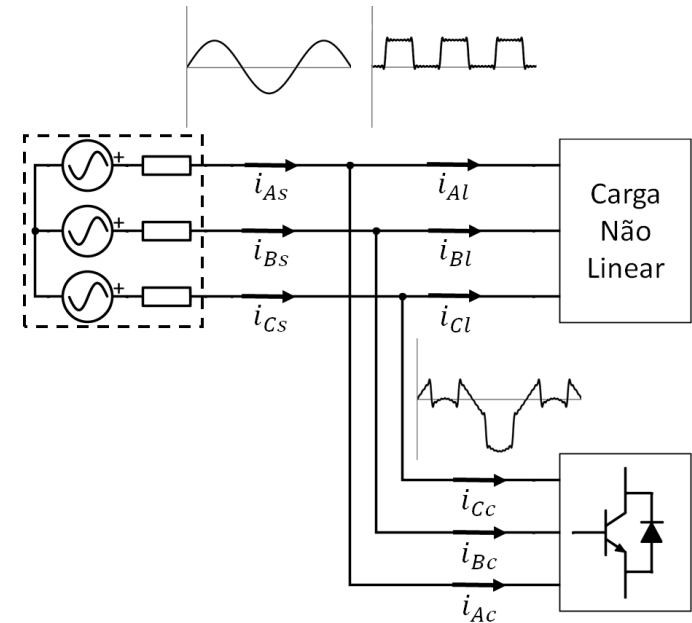
- Sistemas passivos:
 - Filtros passivos
 - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
 - **Retificador com correção de fator de potência**
 - Filtros Ativos



- Robustos
- Baixa densidade de energia condicionada
- Não adequado para frequência variável

Métodos de Correção de Fator de Potência

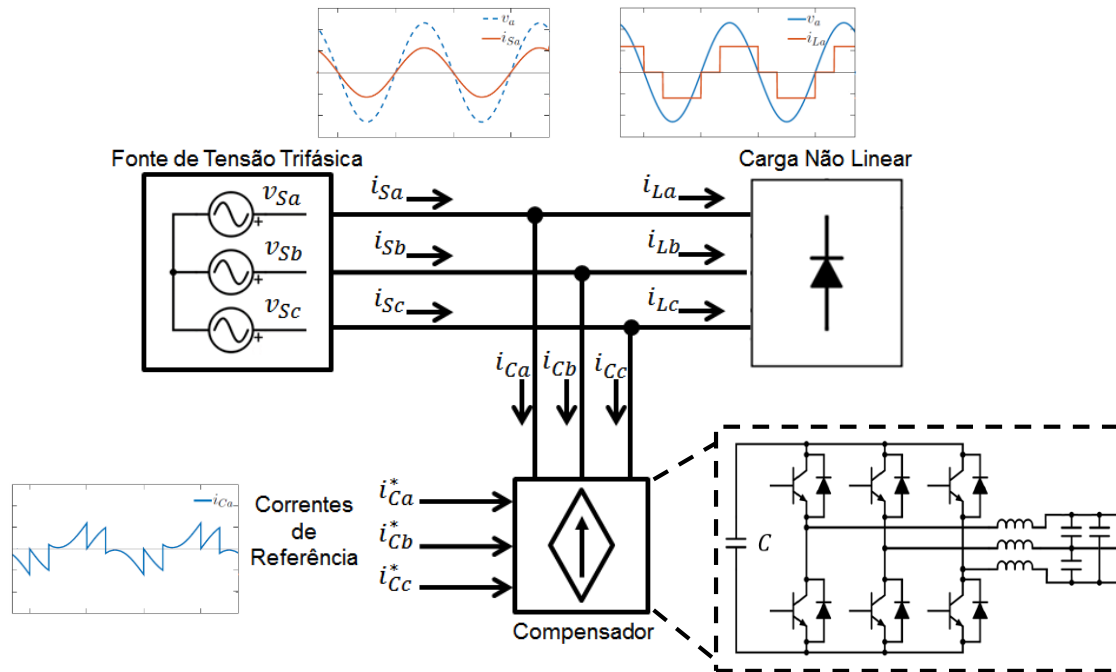
- Sistemas passivos:
 - Filtros passivos
 - Conversores multipulso
- Sistemas ativos:
 - Retificador com correção de fator de potência
 - **Filtros Ativos**



- Boa resposta dinâmica
- Menores e mais leves
- Alta complexidade
- Baixa confiabilidade

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:

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

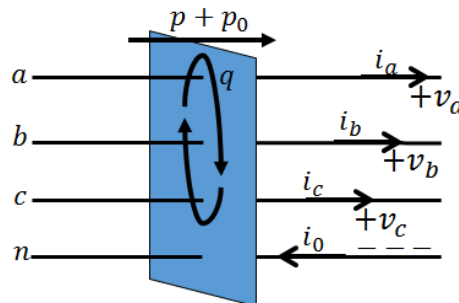
Teoria das Potências Instantâneas

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

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

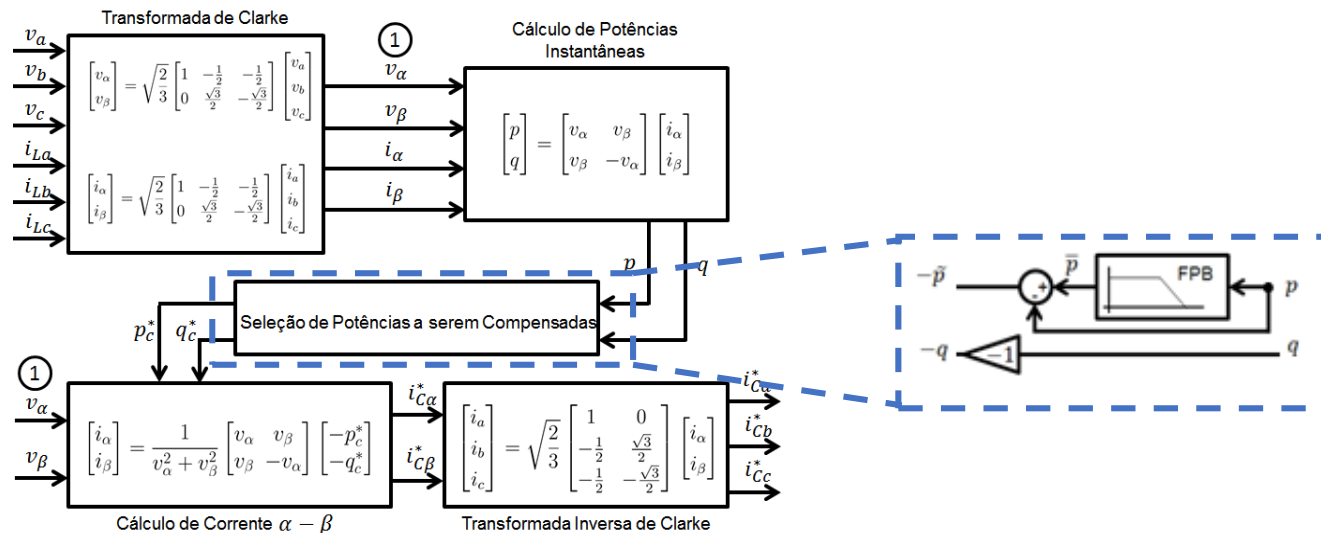
$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

- Significados físicos de p e q



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

Filtros Ativos Utilizando a Teoria p-q



- Determinação das correntes de referência i_{Ca}^* , i_{Cb}^* , i_{Cc}^*

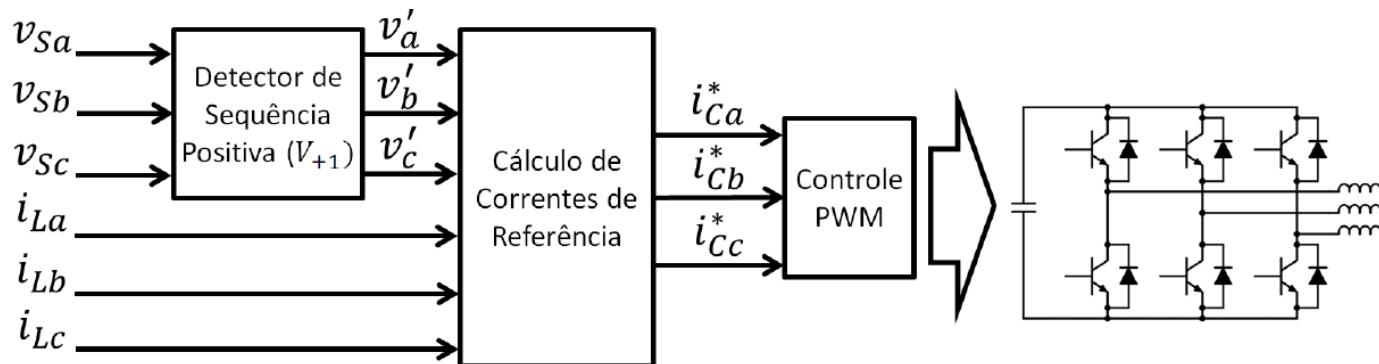
- Determinação das tensões e correntes em coordenadas $\alpha\beta$;
- Cálculos das potências Instantâneas
- Seleção das potências a serem compensadas (p^* e q^*);
- Cálculo de corrente de compensação nas coordenadas $\alpha\beta$;

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

- Transformada inversa de Clarke;

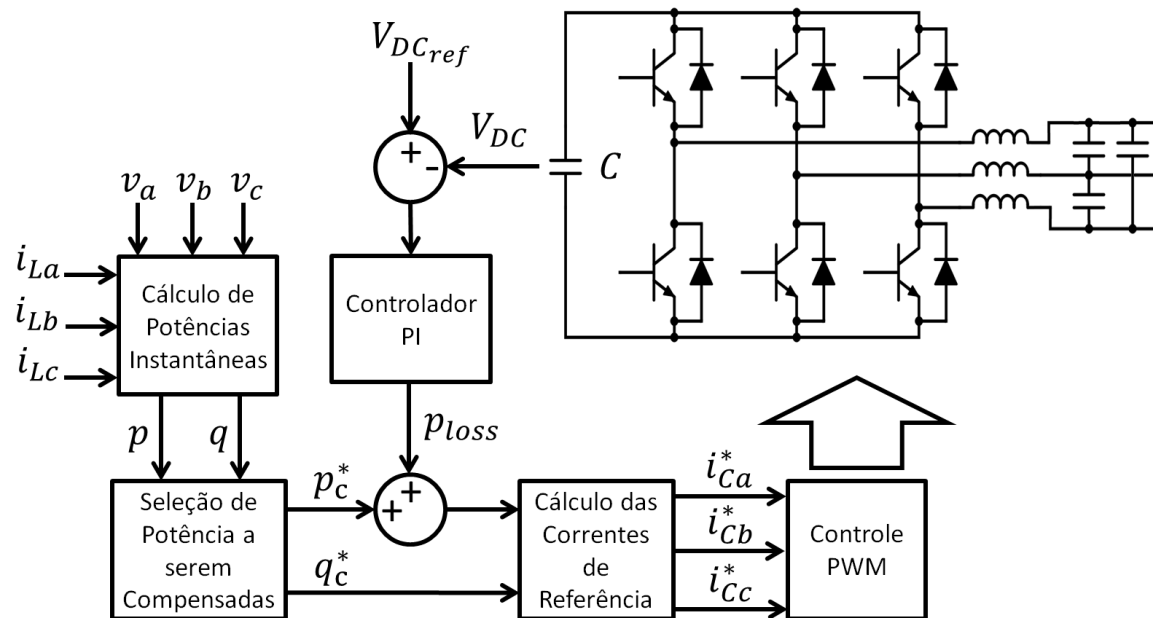
Estratégia de Controle

- 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

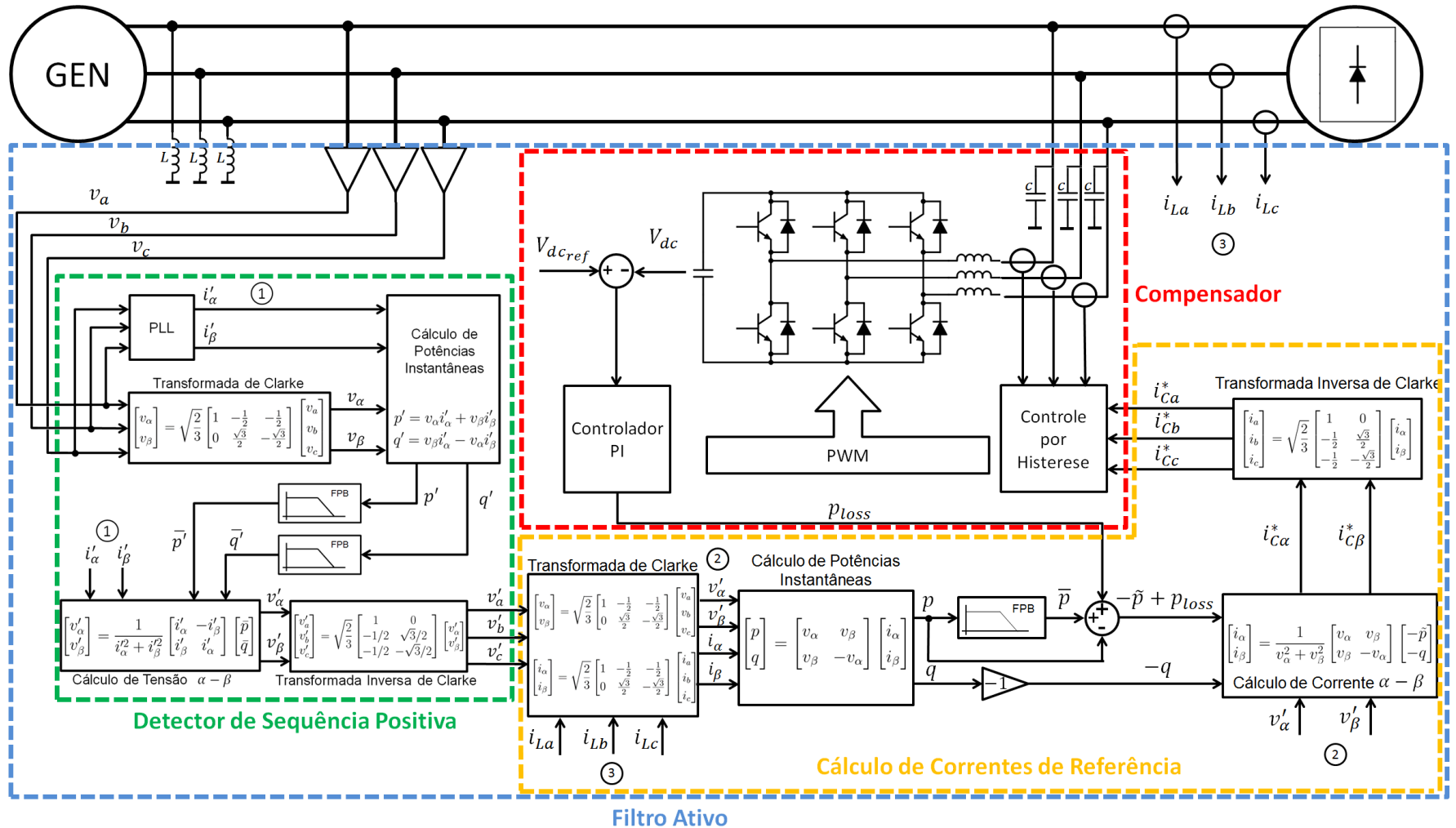


Controle de tensão do Capacitor do compensador

- 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

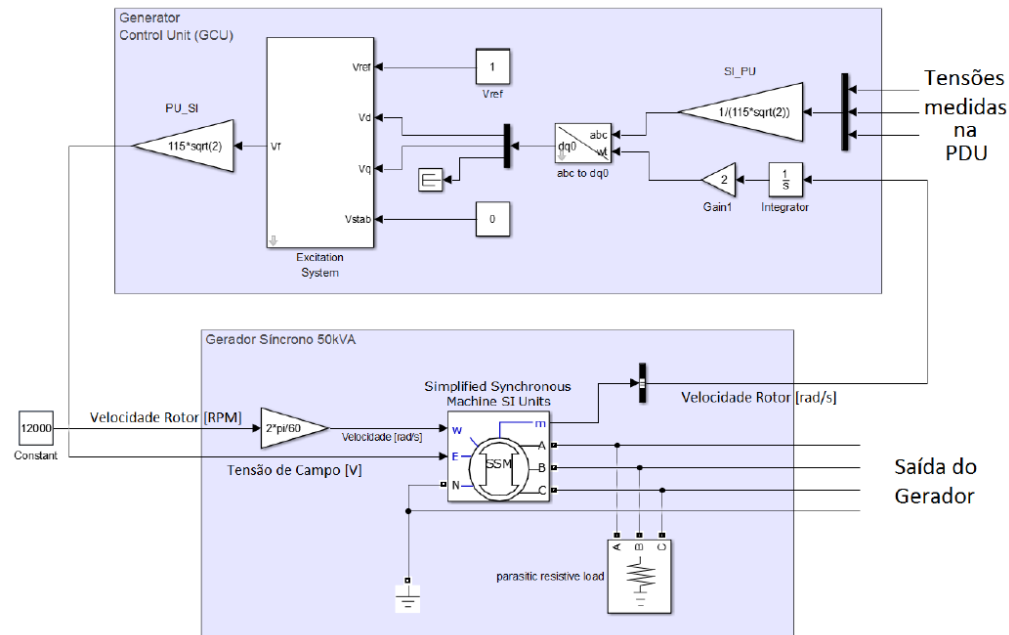


Simulação

- 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

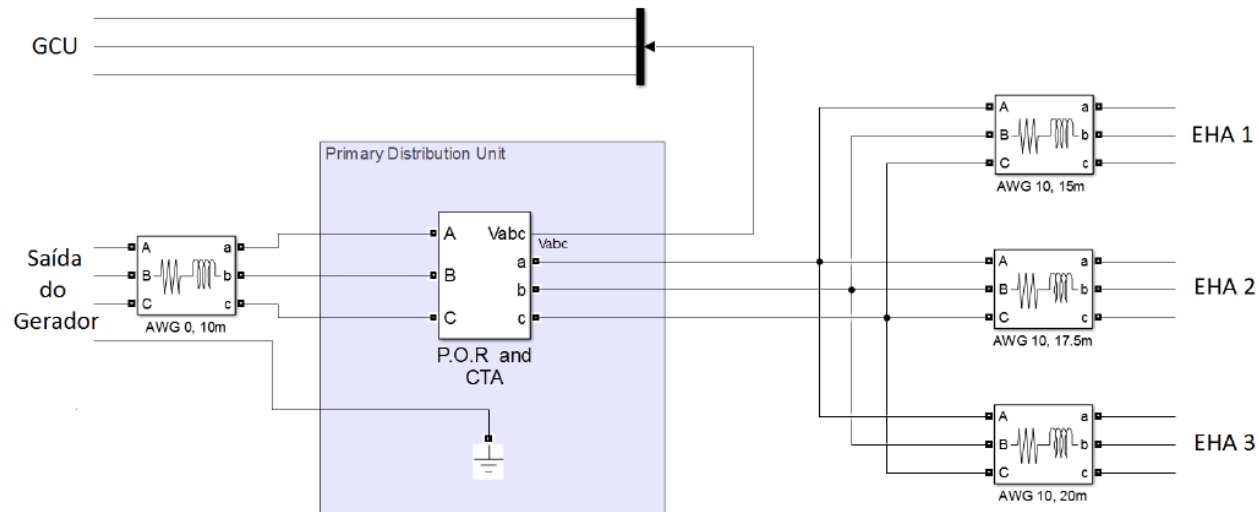
- Modelo Empregado do Sistema de Geração



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

Simulação

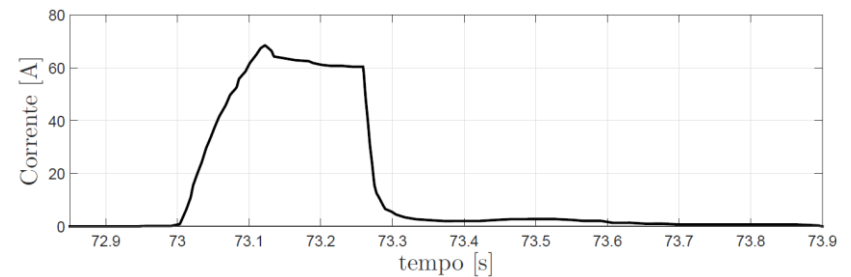
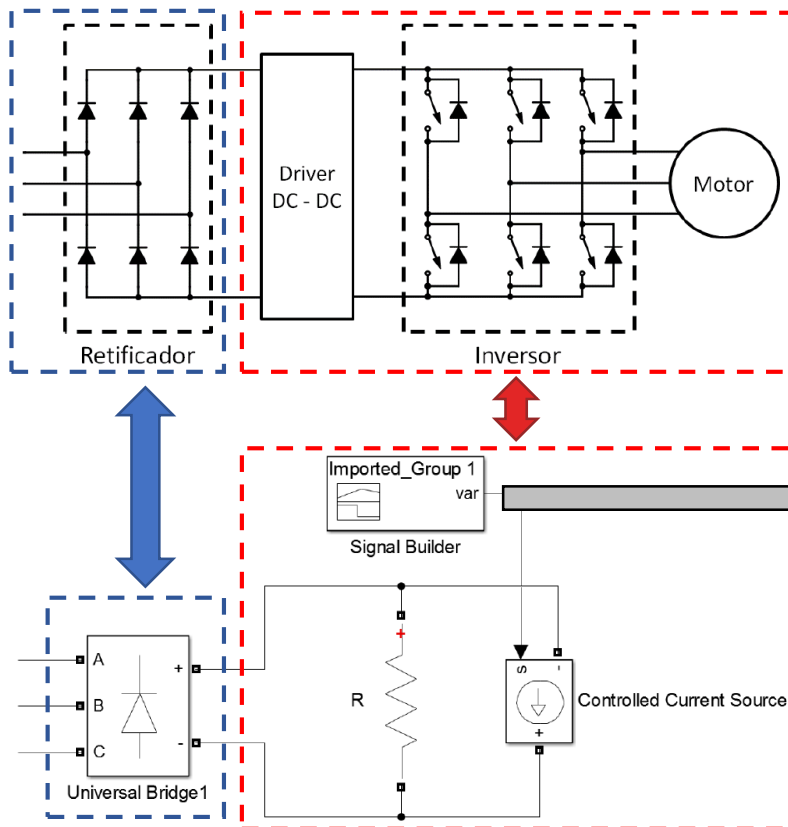
- Modelo Empregado do Sistema de Distribuição



Porção	Bitola	Comprimento	Impedância (400 Hz) [Ω]
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	$0,0720 + j0,0266$

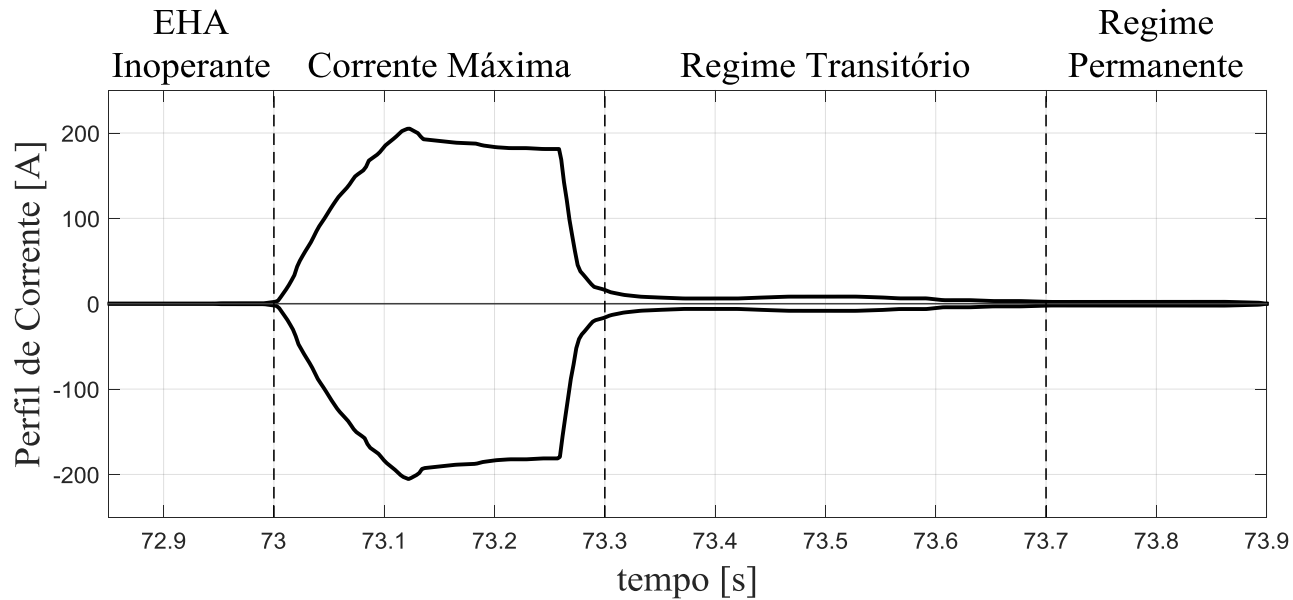
Simulação

- Modelo Empregado do EHA



Simulação

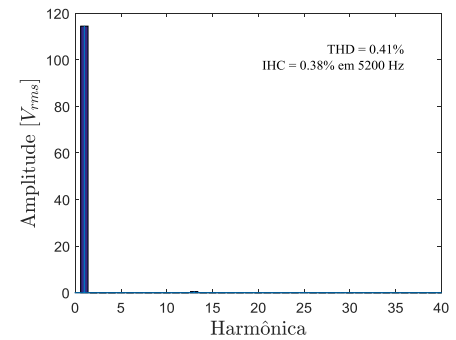
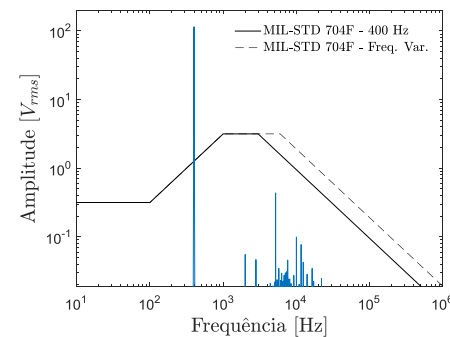
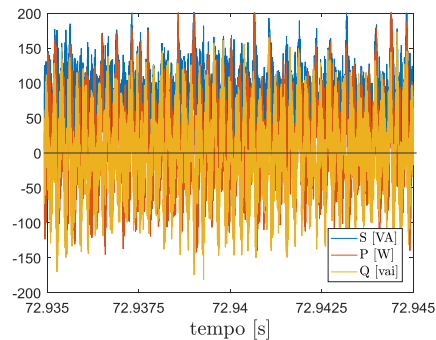
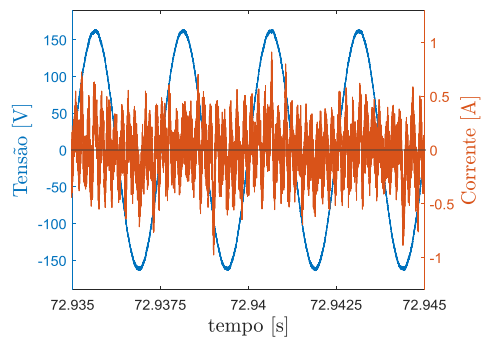
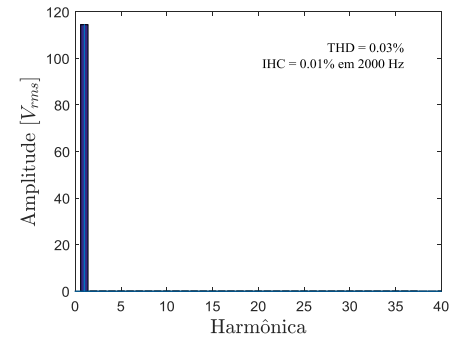
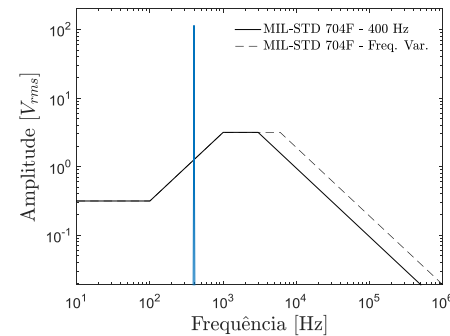
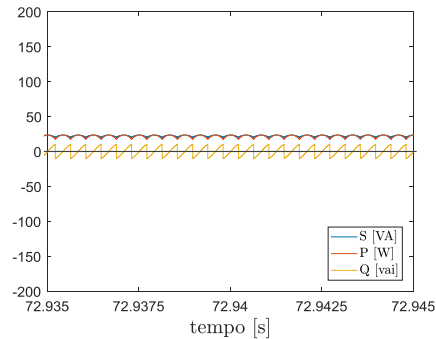
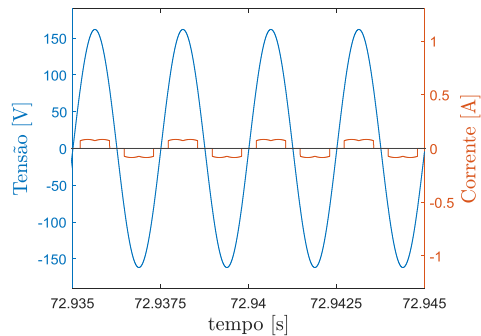
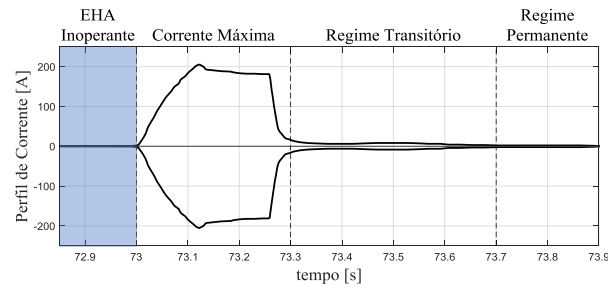
- Simulação dividida em quatro subperíodos durante a operação do EHA



- Resultados são referentes a medições obtidas na PDU

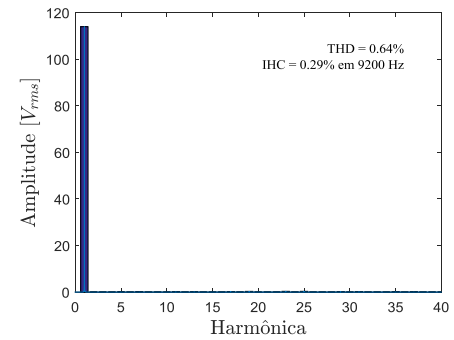
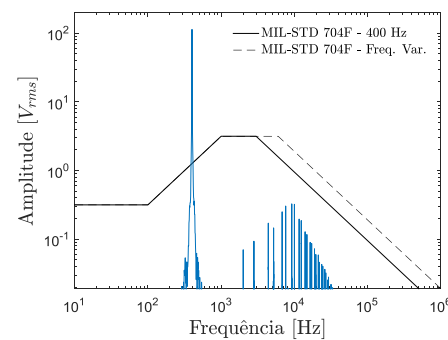
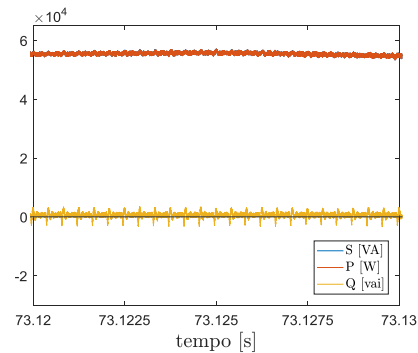
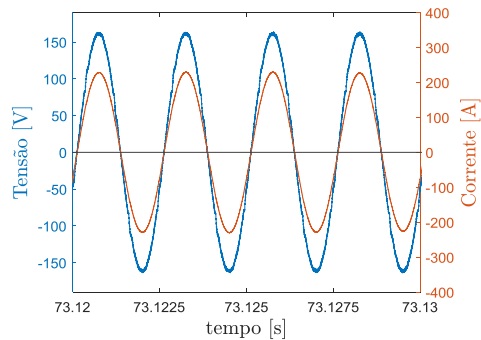
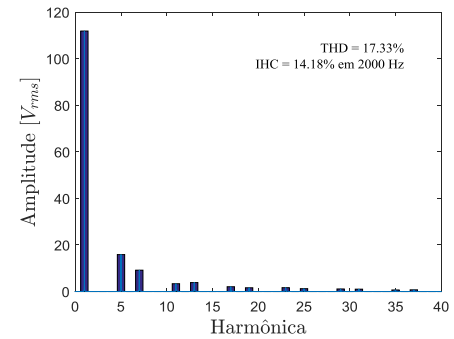
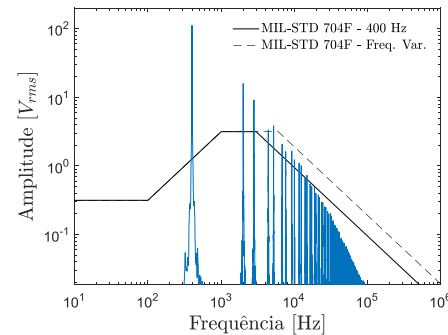
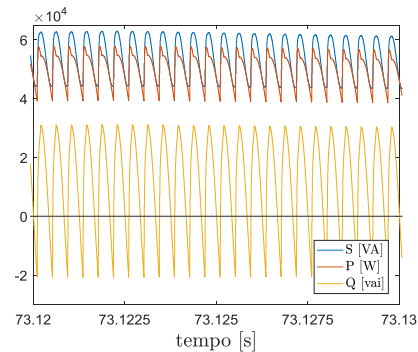
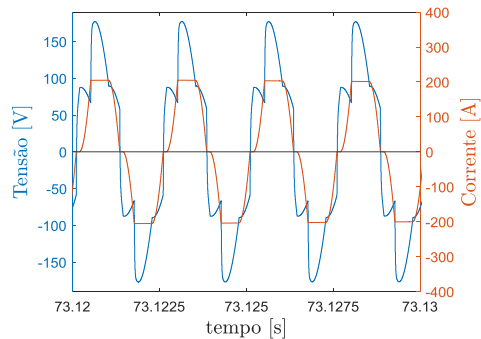
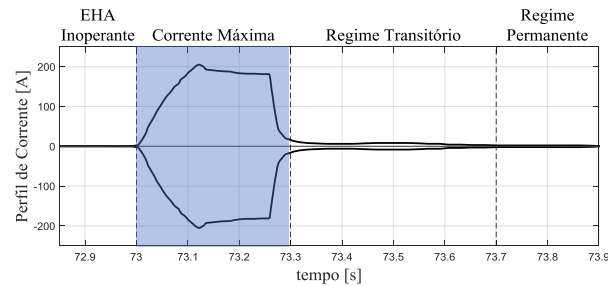
Resultados

- EHA Inoperante



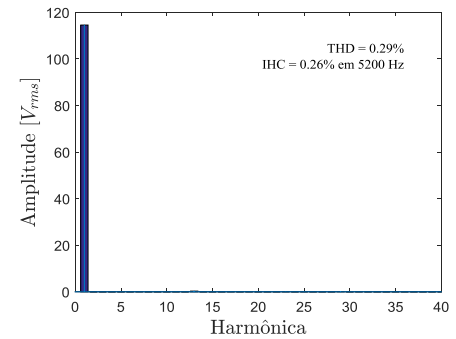
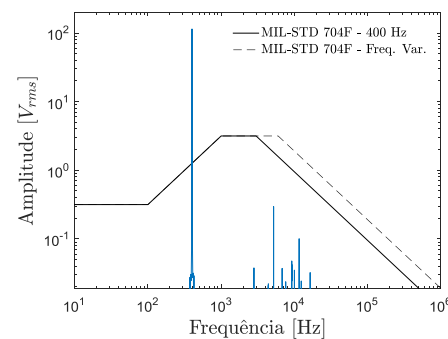
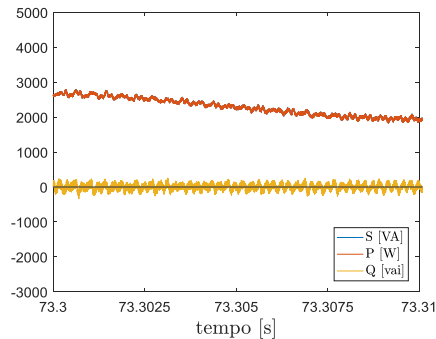
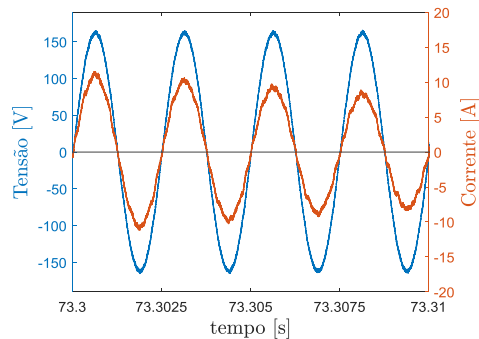
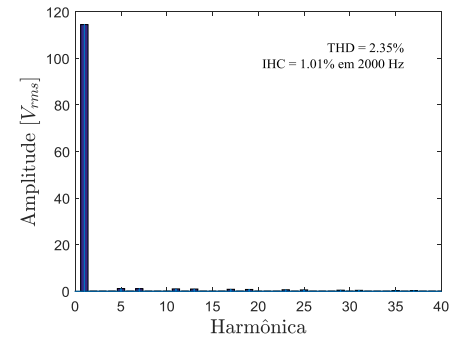
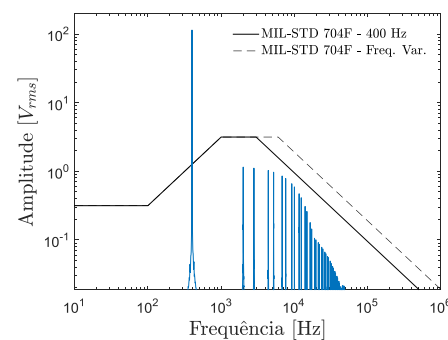
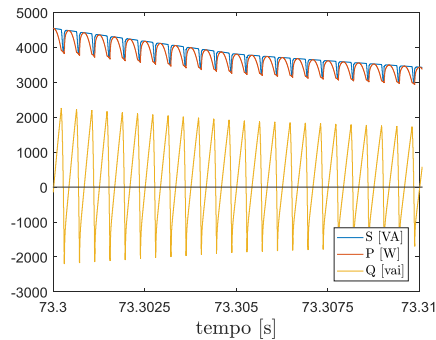
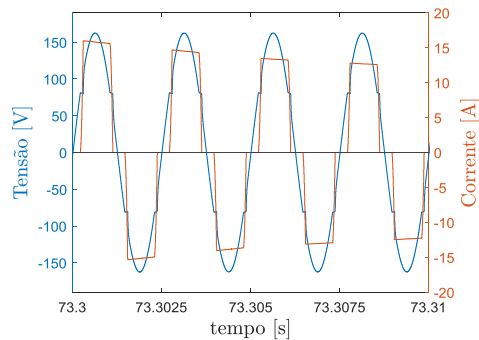
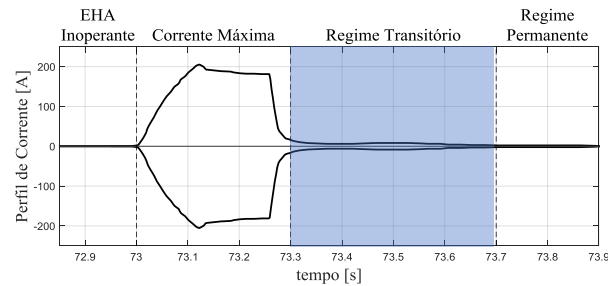
Resultados

- Corrente Máxima



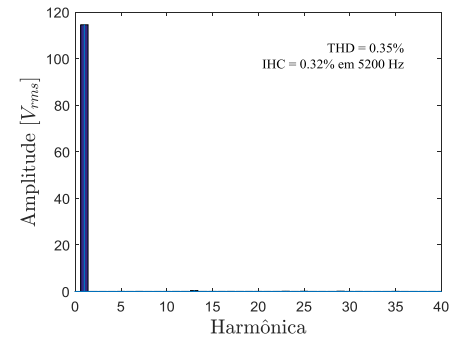
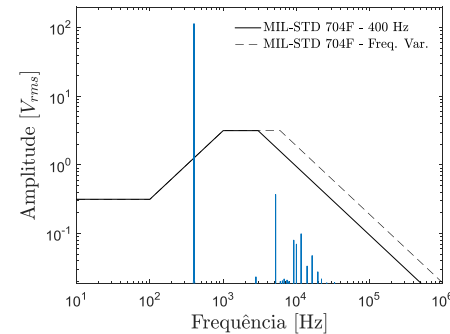
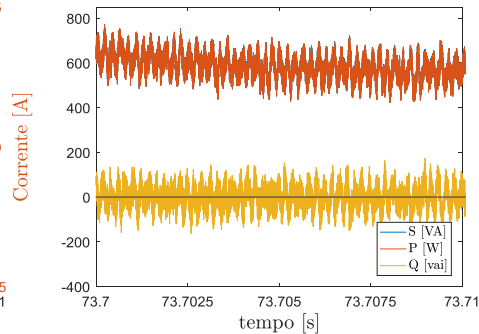
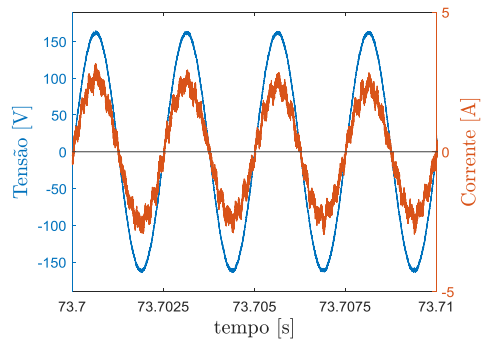
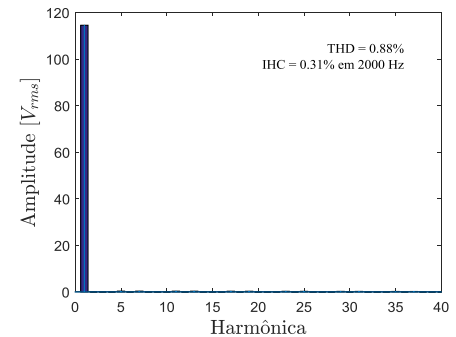
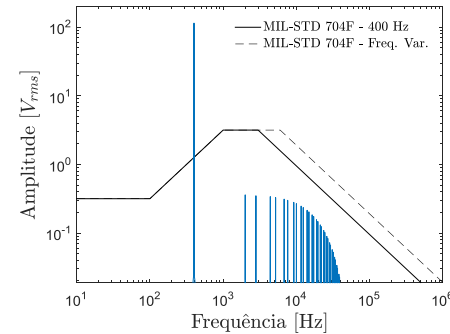
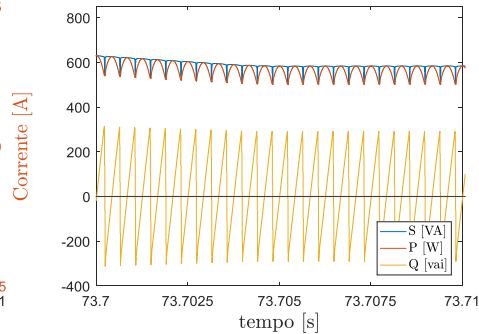
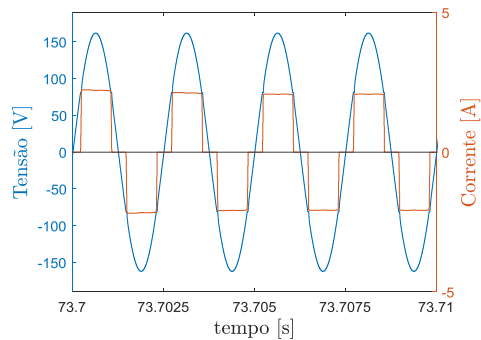
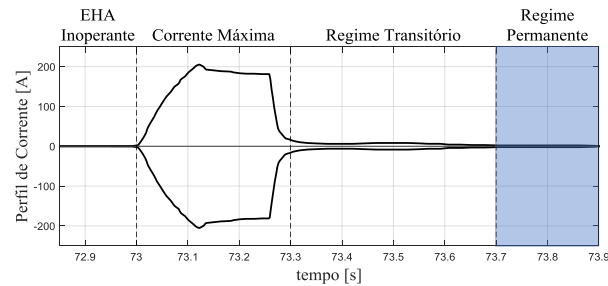
Resultados

- 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 quando há demanda de carga
- 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 dos sistemas 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