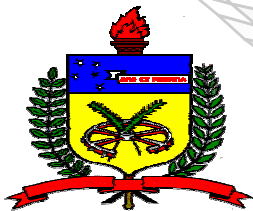


**Universidade Federal de Santa Catarina
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Instituto de Eletrônica de Potência**

Estabilizadores de Tensão Alternada para Alimentação de Cargas Não-Lineares: Estudo de Variações Topológicas e Métodos de Controle

Defesa Pública de Tese de Doutorado

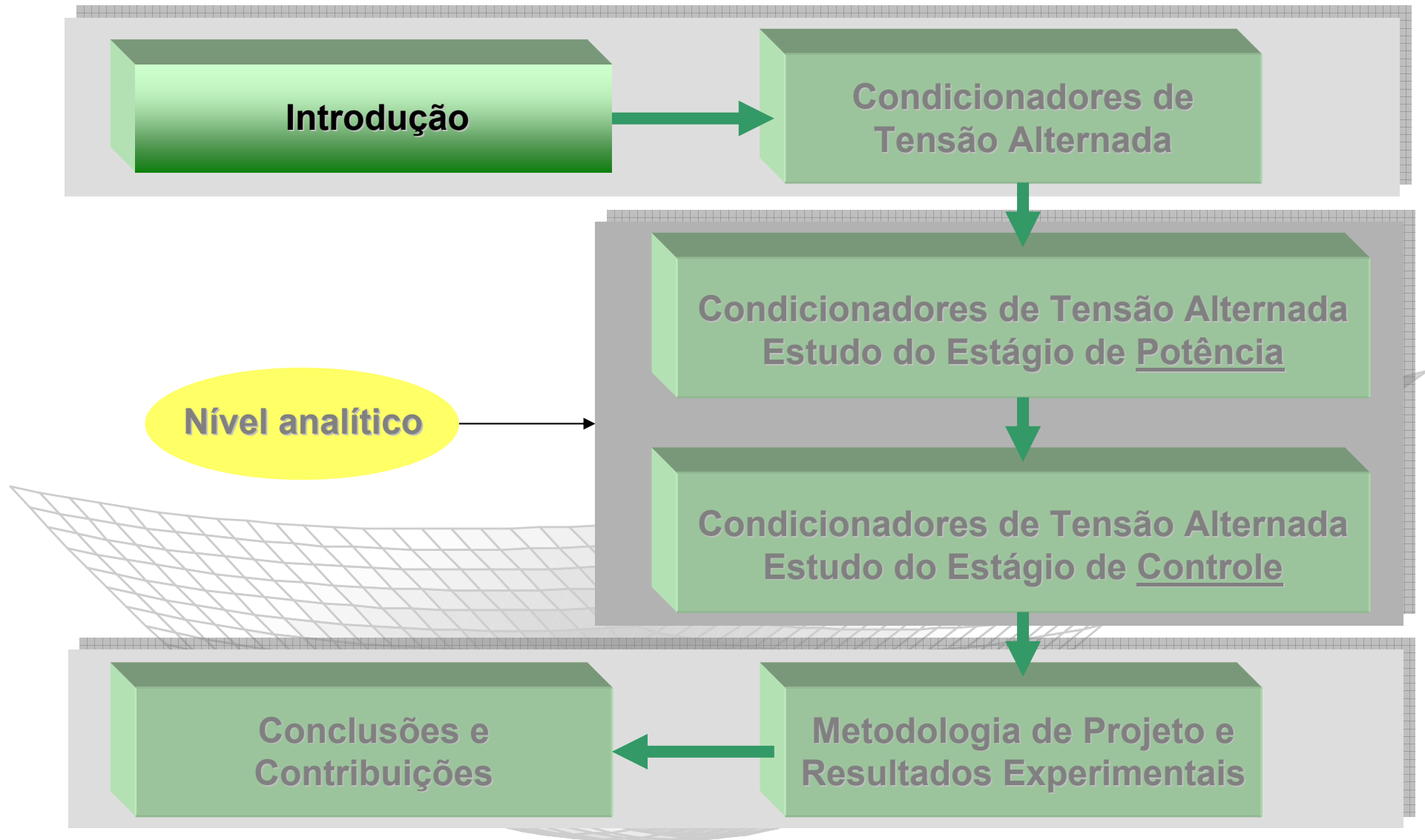
Proponente: *Clóvis Antônio Petry, Me. Eng.*
Orientador: *Prof. João Carlos dos Santos Fagundes, Dr.*
Co-Orientador: *Prof. Ivo Barbi, Dr. Ing.*



Florianópolis, julho de 2005.

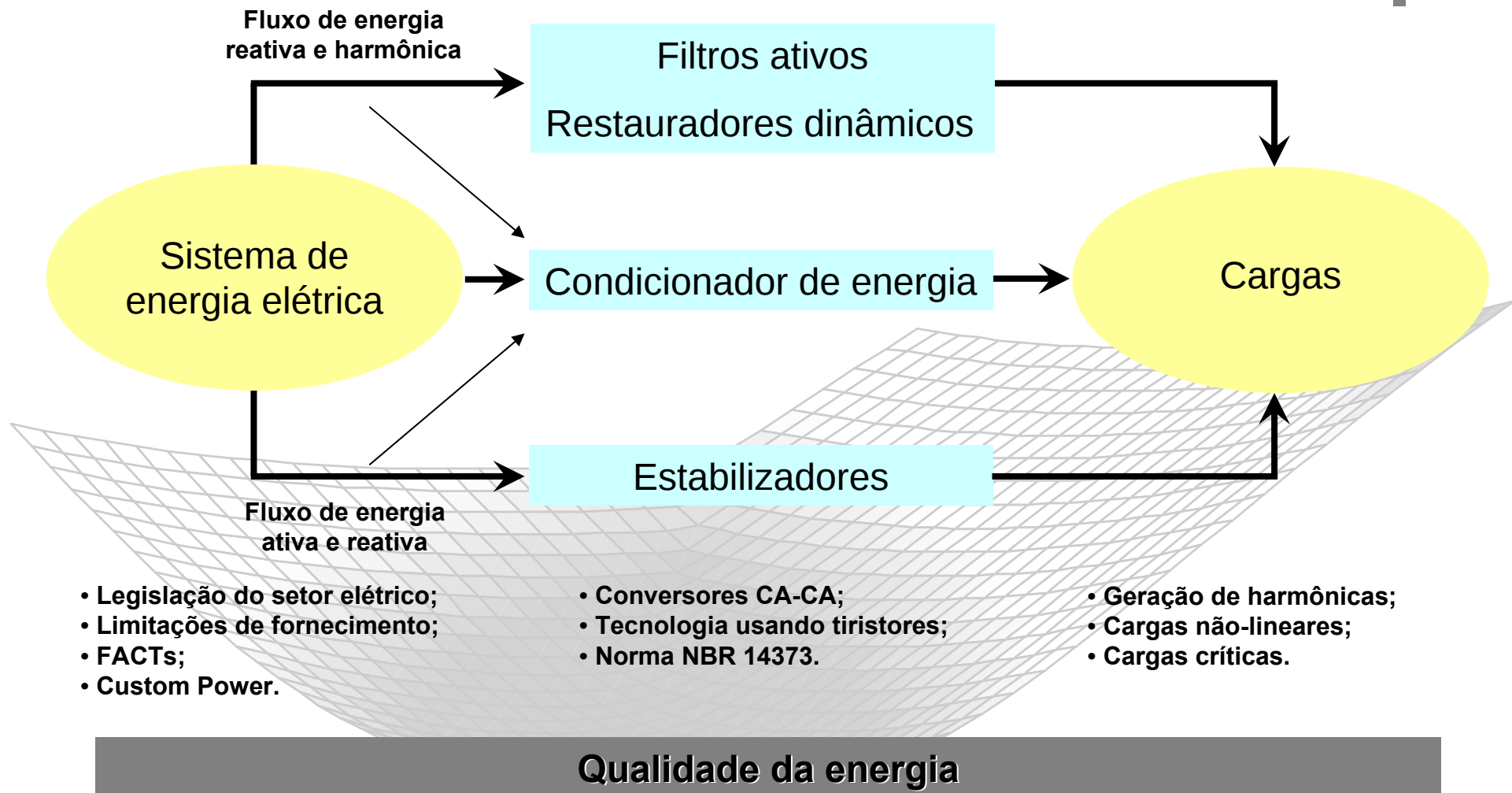


Parte 1/6



Introdução Geral

Identificação do Problema



Introdução Geral

Identificação do Problema

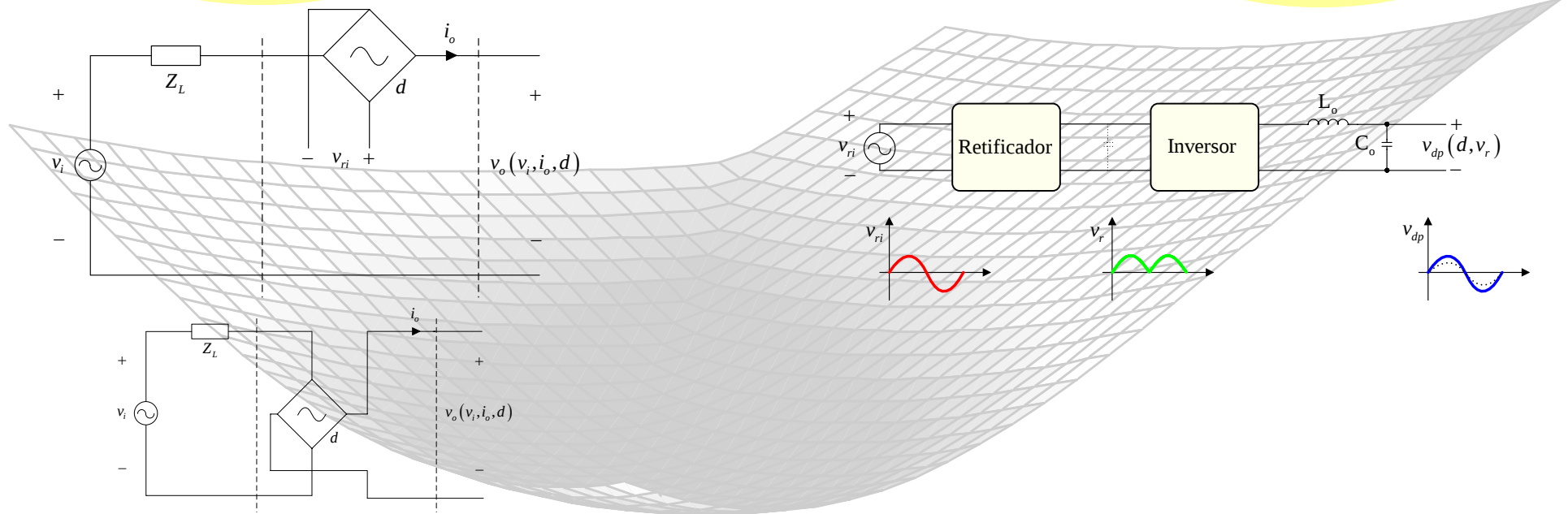
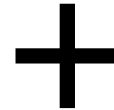
Patchett em 1950
[39]

Compensação
série

Princípios

Bong-Hwon Kwon et al. Em 2002
[263]

Conversão
indireta com link
direto

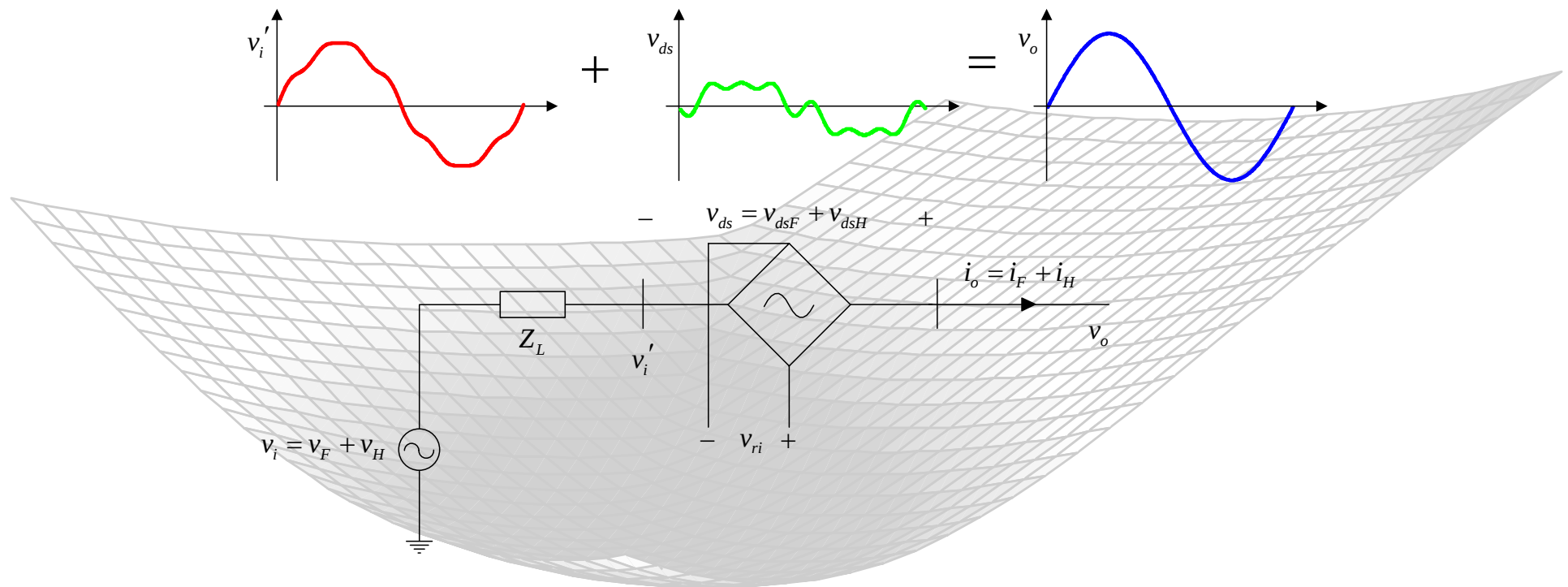


Introdução Geral

Identificação do Problema

Proposta de
um condicionador
de tensão alternada

Princípio de funcionamento



Introdução Geral

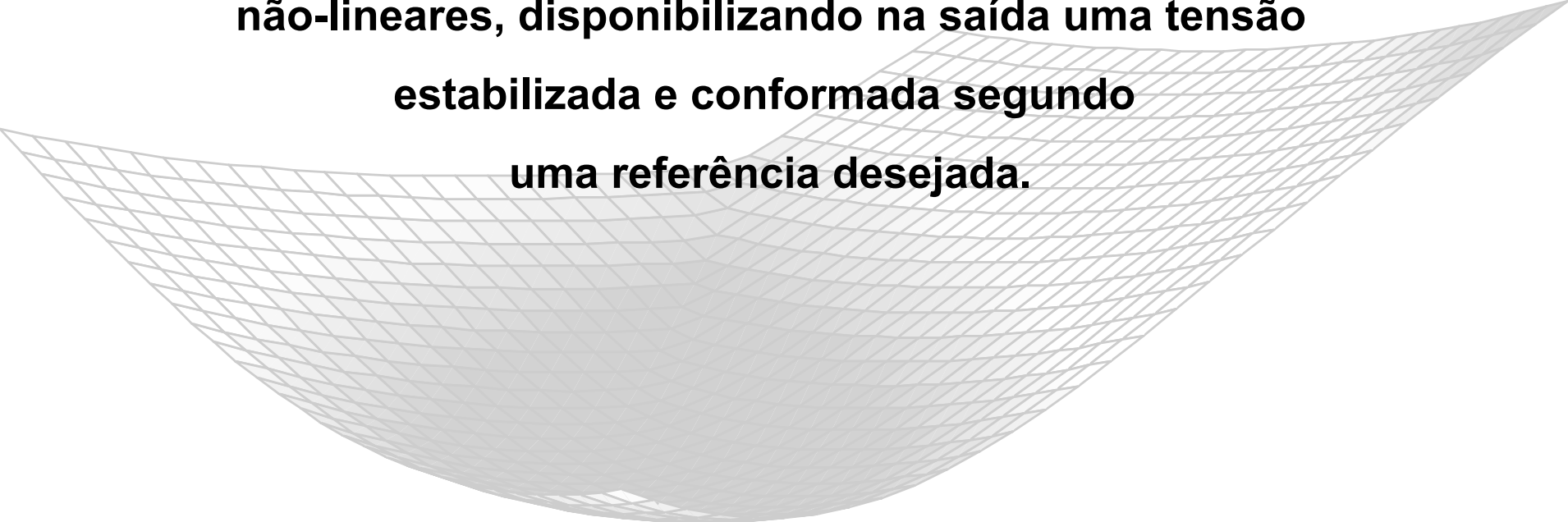
Motivações

- Contribuir com a qualidade de vida das pessoas;
- Domínio tecnológico para o país;
- Auxiliar a indústria nacional;
- Contribuir para o estudo de conversores CA-CA;
- Doutorado em Eletrônica de Potência.

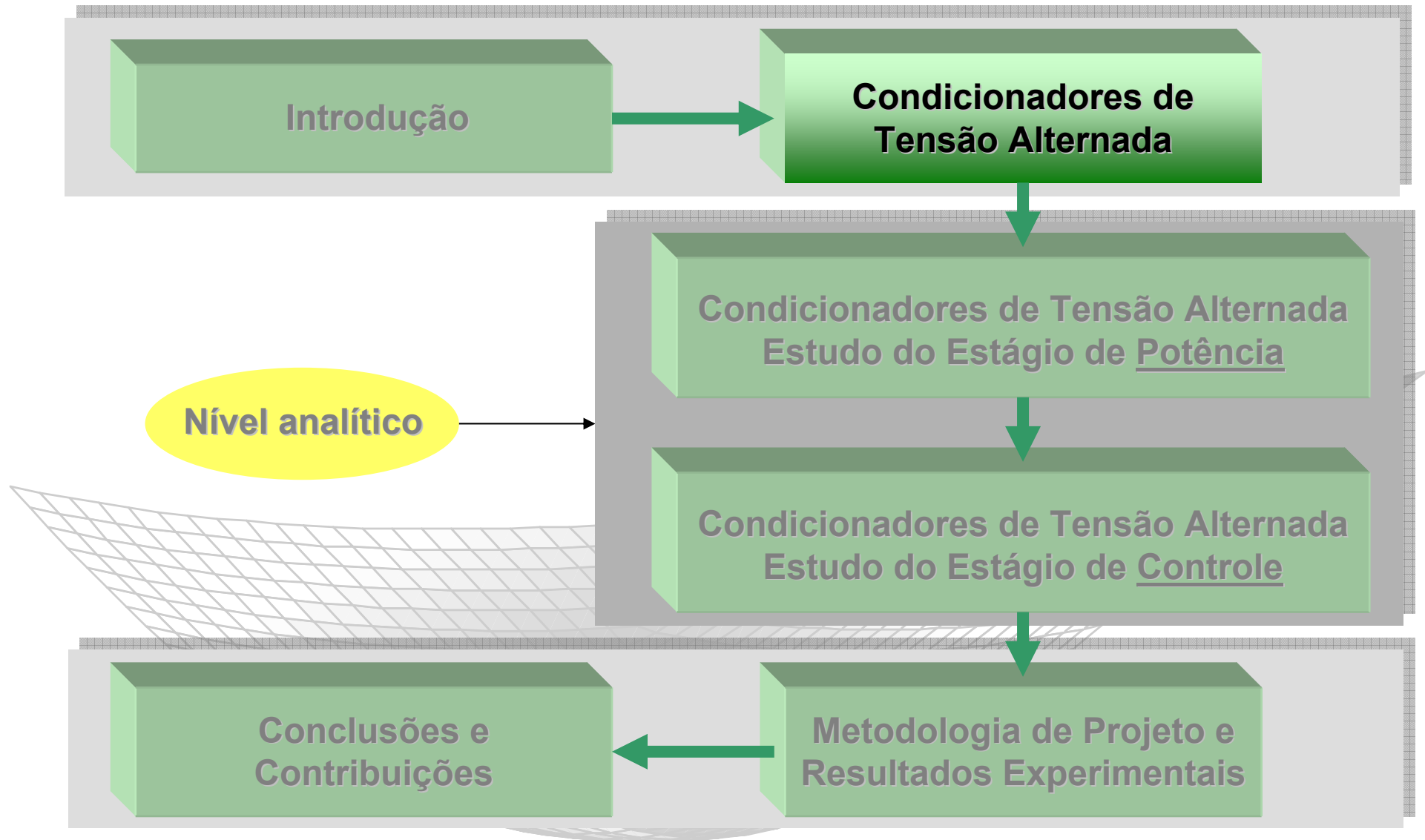
Introdução Geral

Objetivo Geral

Propor e estudar um estabilizador indireto de tensão alternada, sem elementos armazenadores de energia no barramento, que opere com tensão de entrada distorcida e cargas não-lineares, disponibilizando na saída uma tensão estabilizada e conformada segundo uma referência desejada.



Parte 2/6



Condicionador de Tensão Alternada

Definições Iniciais

Eletrônica de Potência

Eletrônica de Potência é uma área da Engenharia Elétrica que tem a finalidade de estudar e construir conversores de energia visando o processamento eletrônico da energia elétrica.

Classificação dos Conversores

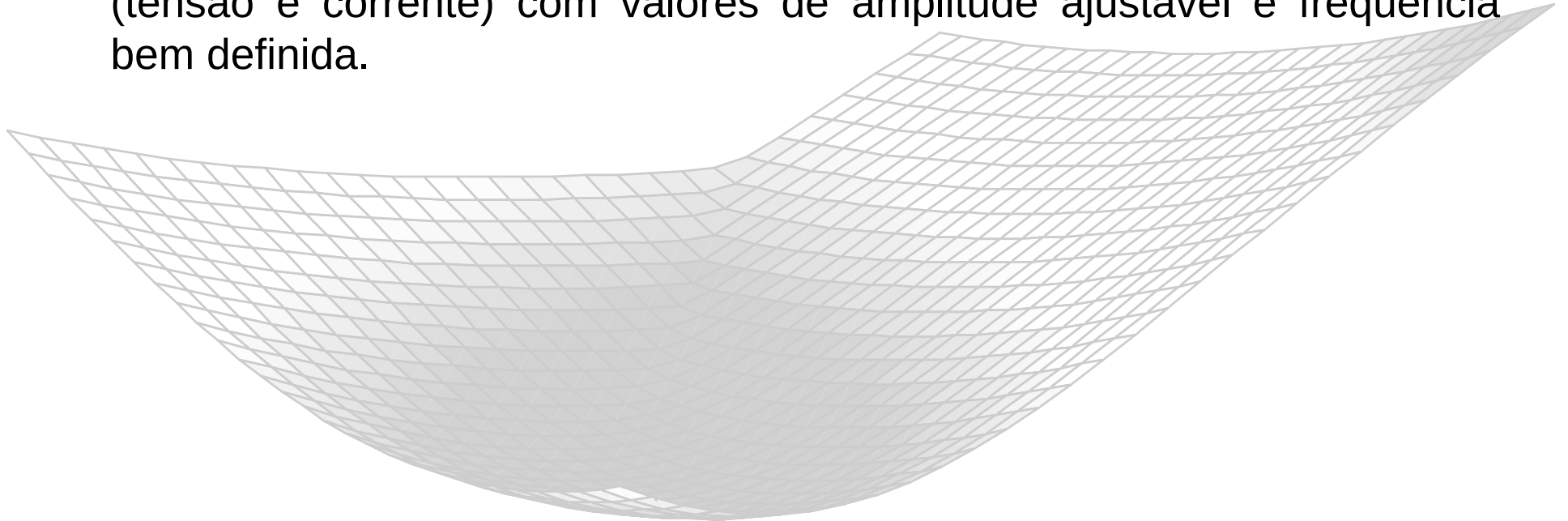
1. Conversores CC-CC;
2. Conversores CA-CC;
3. Conversores CC-CA;
4. Conversores CA-CA.

Condicionador de Tensão Alternada

Definições Iniciais

Conversão CA-CA

Conversão CA-CA (corrente alternada – corrente alternada) é aquela que converte energia da forma alternada (tensão e corrente), preferencialmente da rede de energia elétrica, em energia alternada (tensão e corrente) com valores de amplitude ajustável e frequência bem definida.



Condicionador de Tensão Alternada

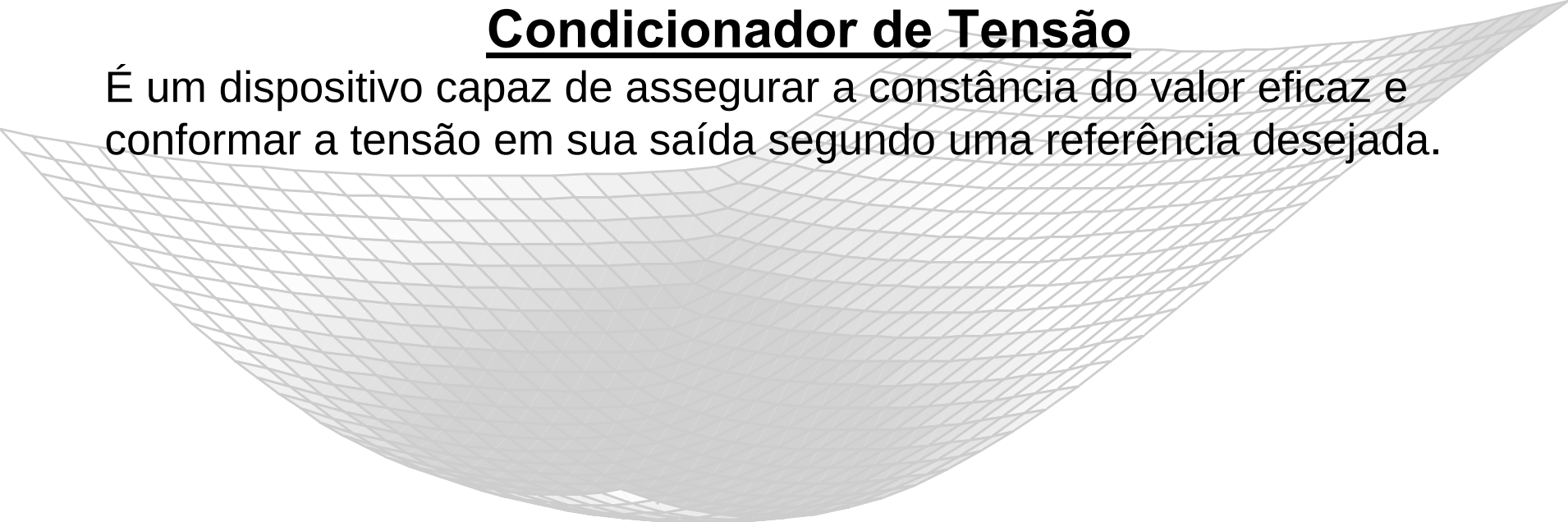
Definições Iniciais

Estabilizador de Tensão

É um dispositivo capaz de assegurar a constância do valor eficaz da tensão em sua saída.

Condicionador de Tensão

É um dispositivo capaz de assegurar a constância do valor eficaz e conformar a tensão em sua saída segundo uma referência desejada.



Condicionador de Tensão Alternada

Definições Iniciais

Conversor Direto

Aquele no qual a energia é transferida de forma direta da entrada para a saída.

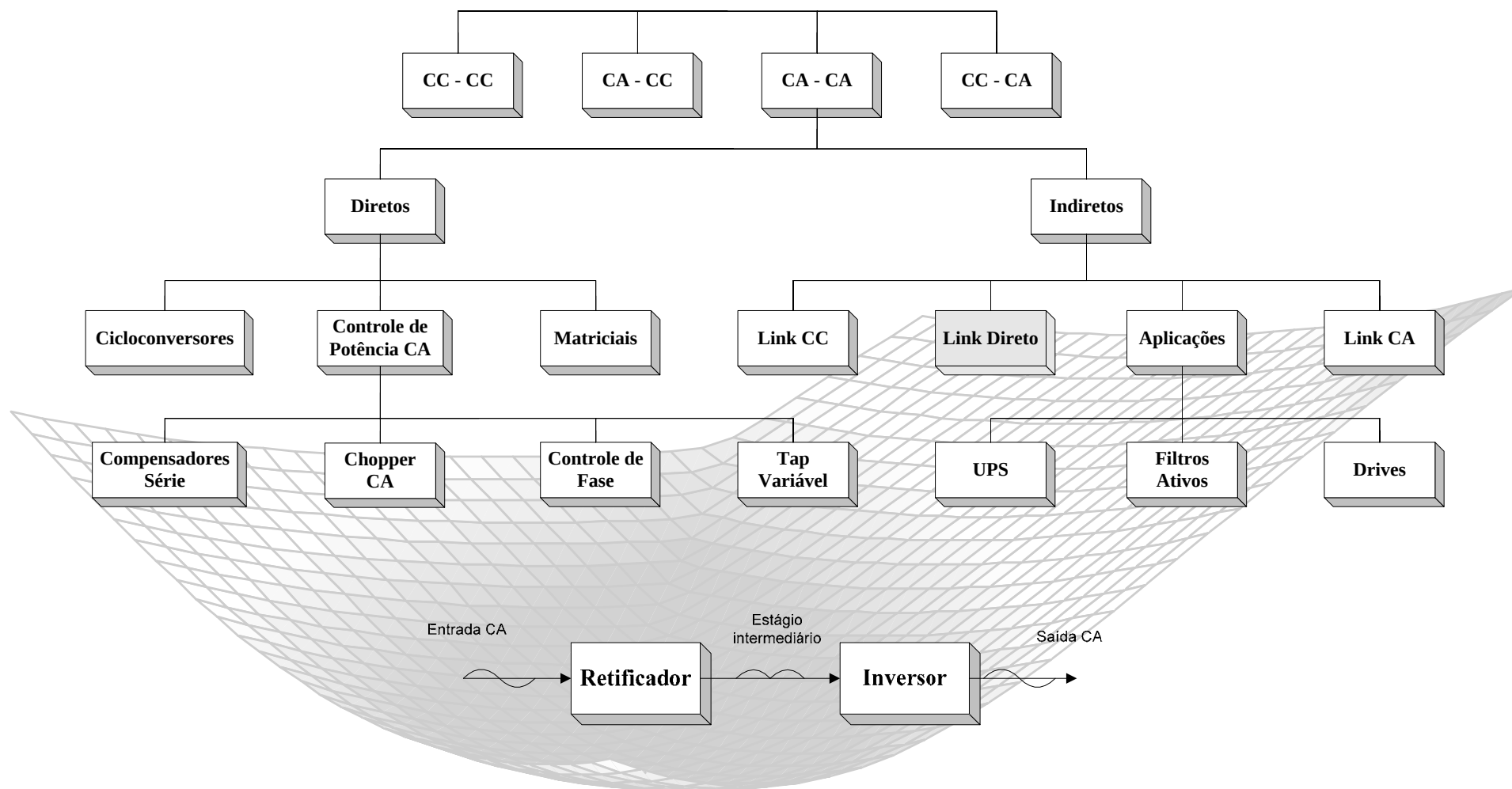
Conversor Indireto

Aquele no qual a energia é transferida de forma indireta da entrada para a saída.



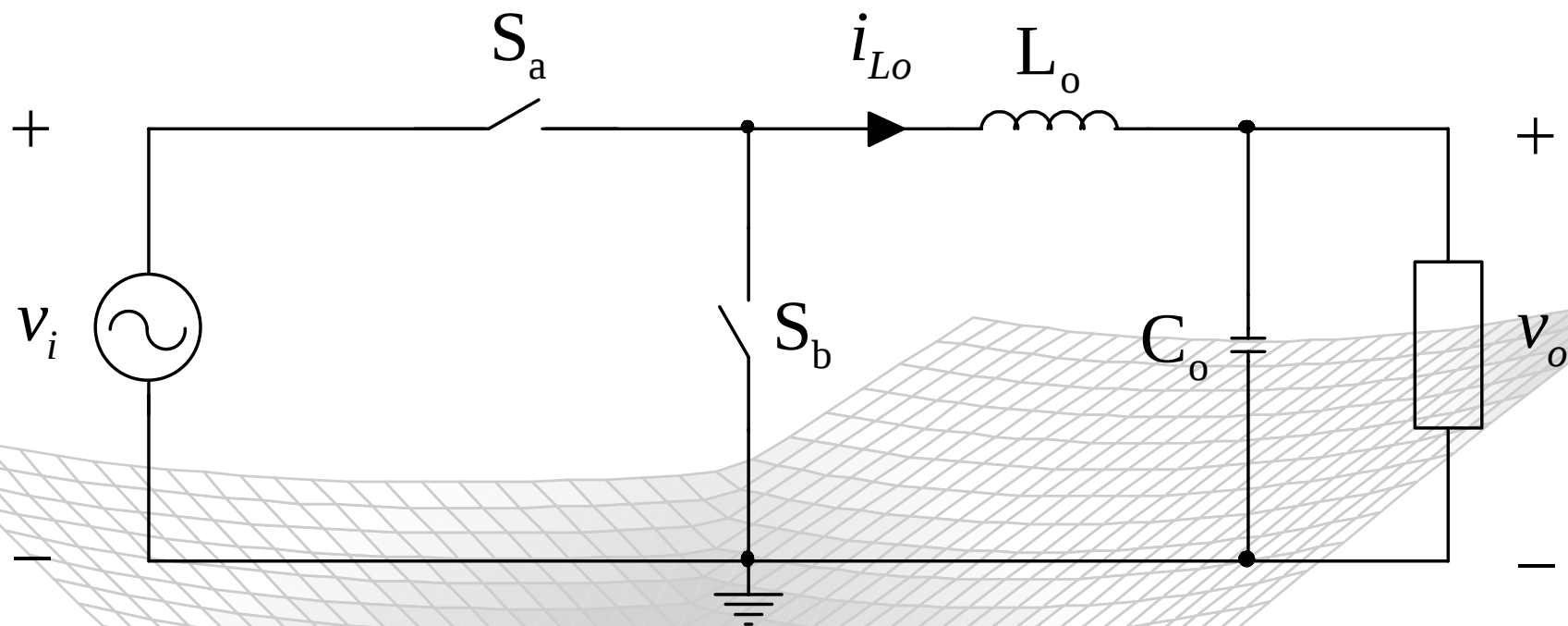
Condicionador de Tensão Alternada

Classificação dos Conversores CA-CA



Condicionador de Tensão Alternada

Conversão CA-CA

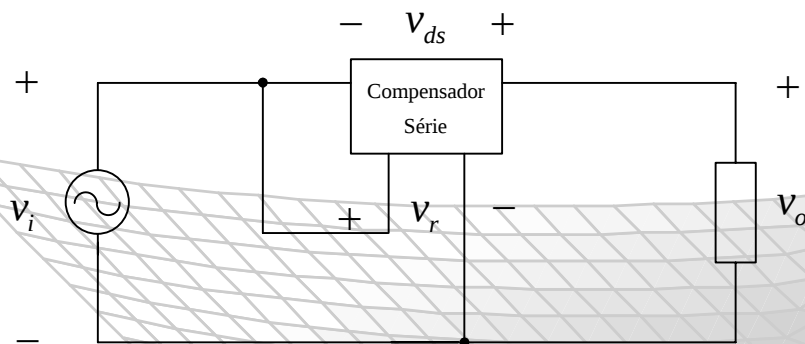
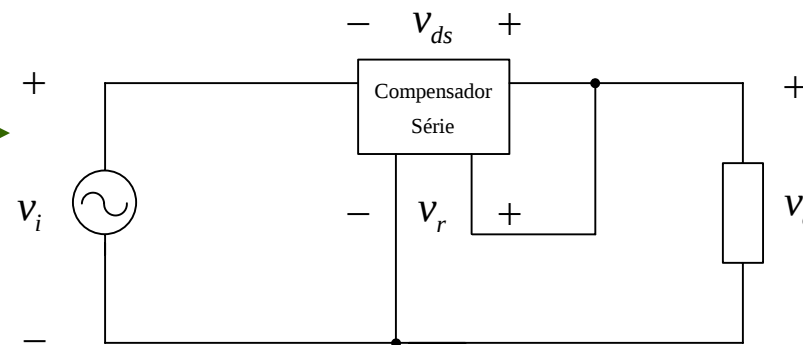


Condicionador de Tensão Alternada

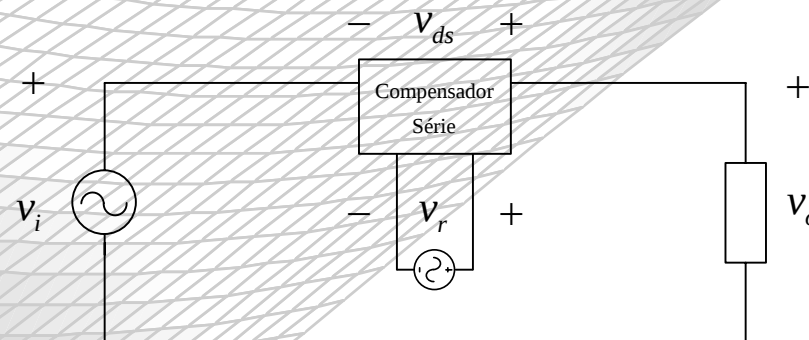
Generalização dos Compensadores Série

Alimentação
do conversor
CA-CA

Pela Saída



Pela Entrada



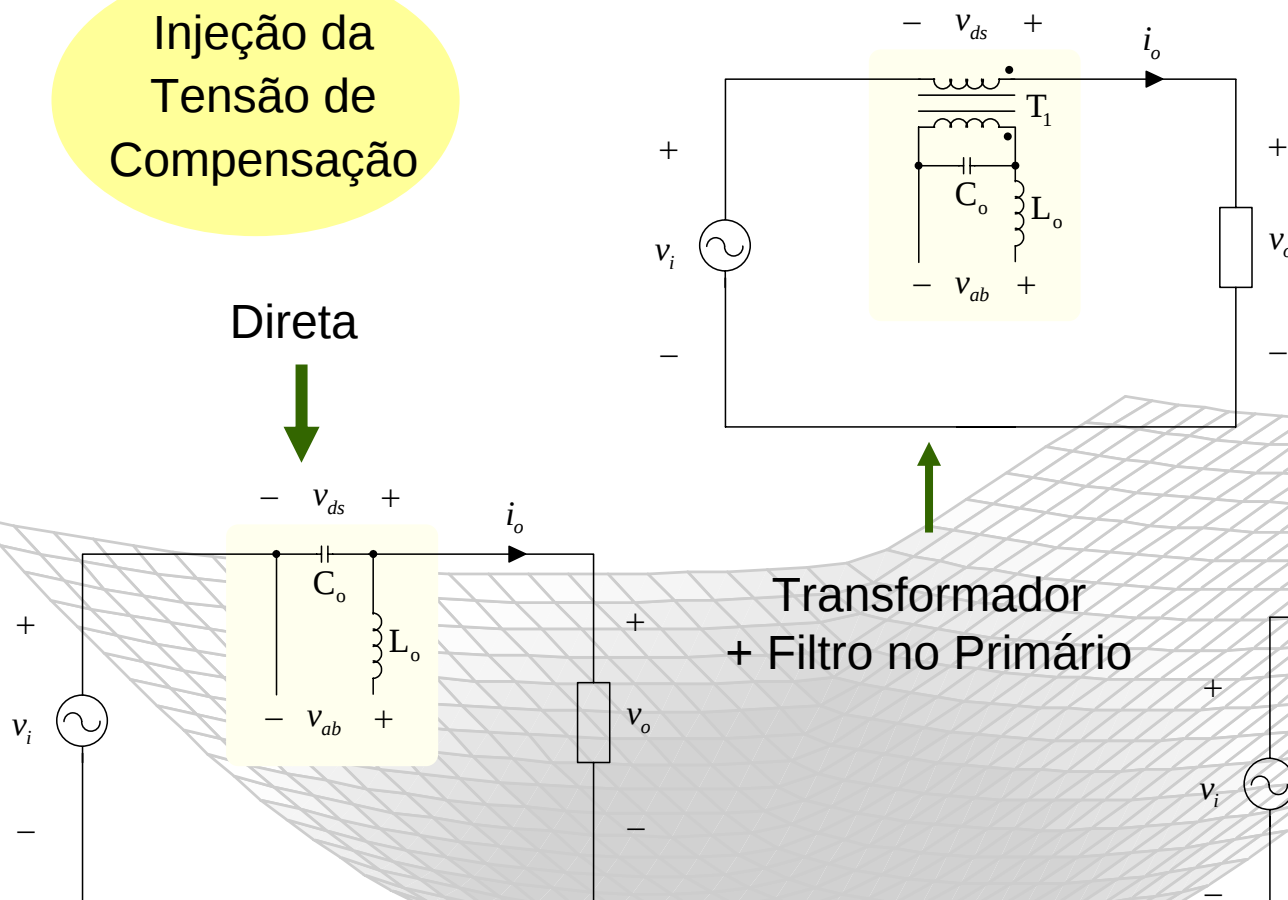
Independente

Condicionador de Tensão Alternada

Generalização dos Compensadores Série

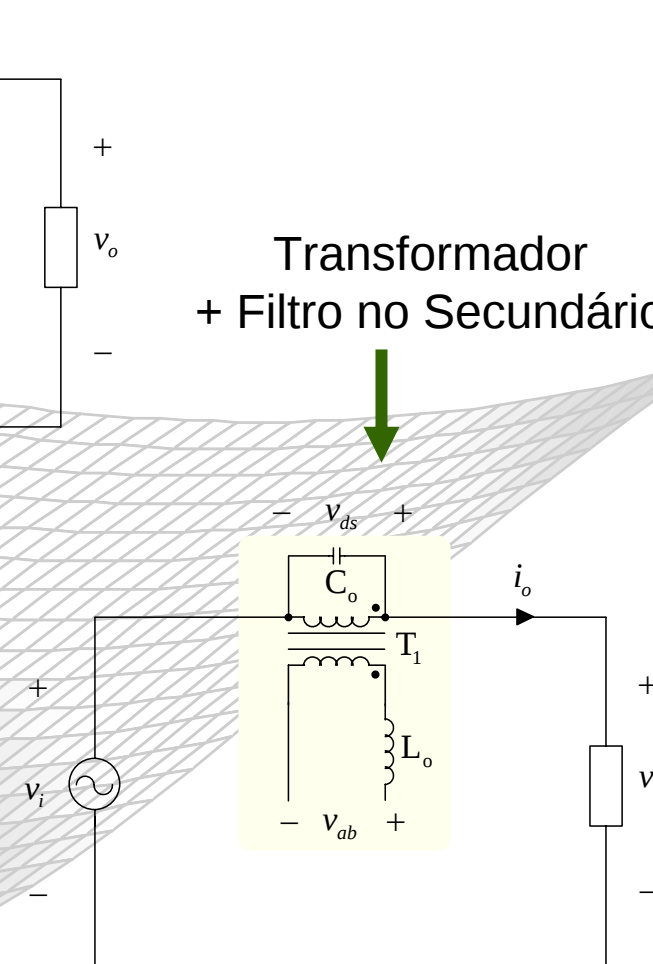
Injeção da
Tensão de
Compensação

Direta



Transformador
+ Filtro no Primário

Transformador
+ Filtro no Secundário

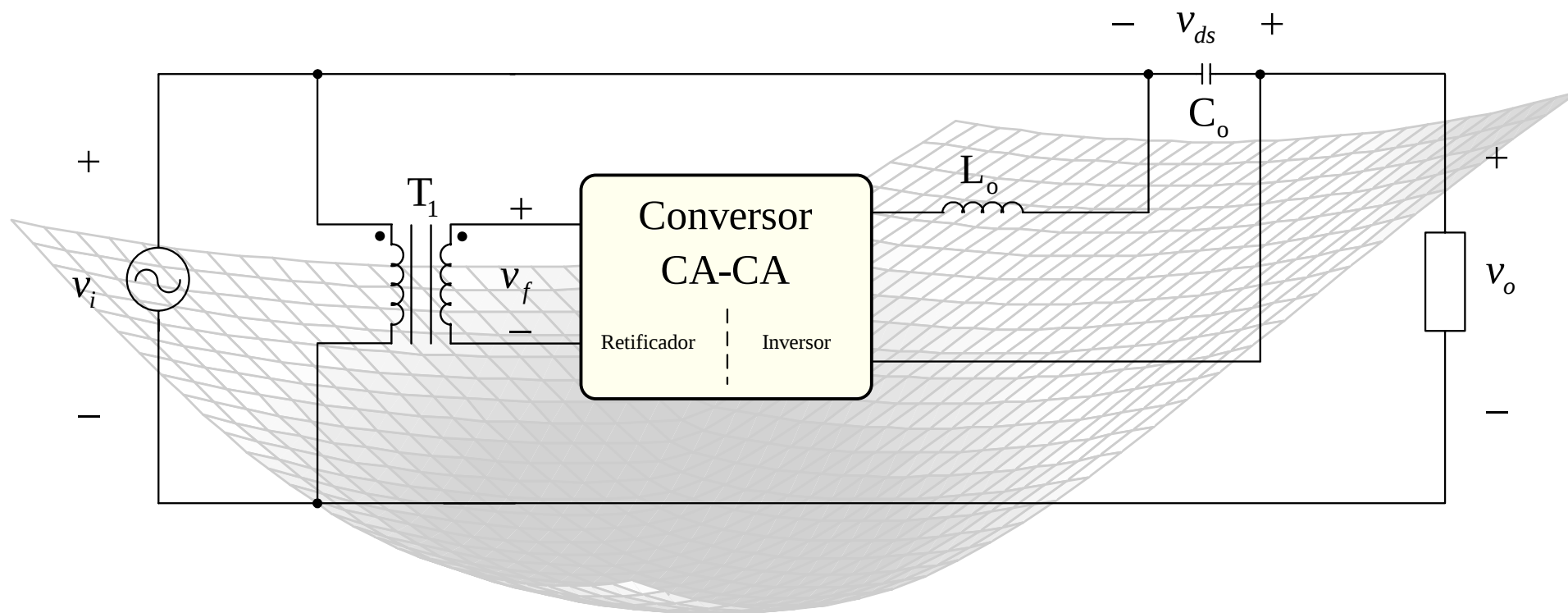


Condicionador de Tensão Alternada

Generalização dos Compensadores Série

Isolamento
do conversor

No lado do retificador (entrada)

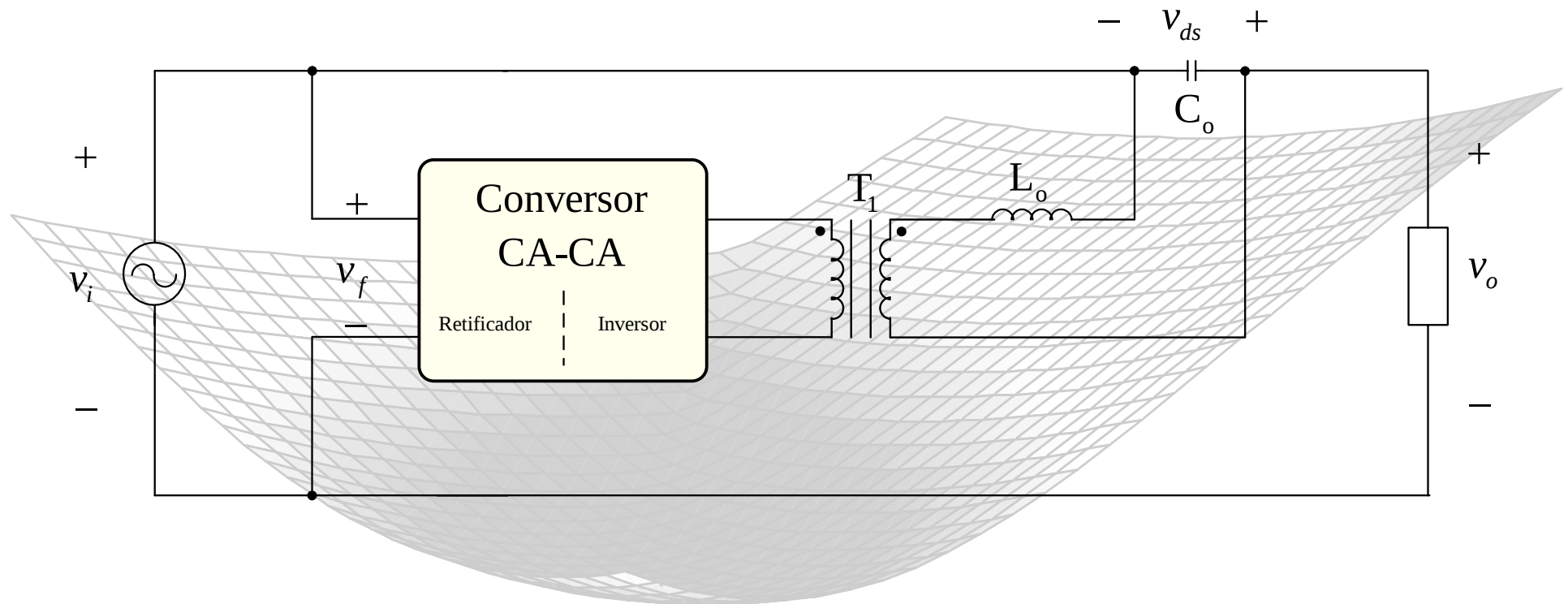


Condicionador de Tensão Alternada

Generalização dos Compensadores Série

Isolamento
do conversor

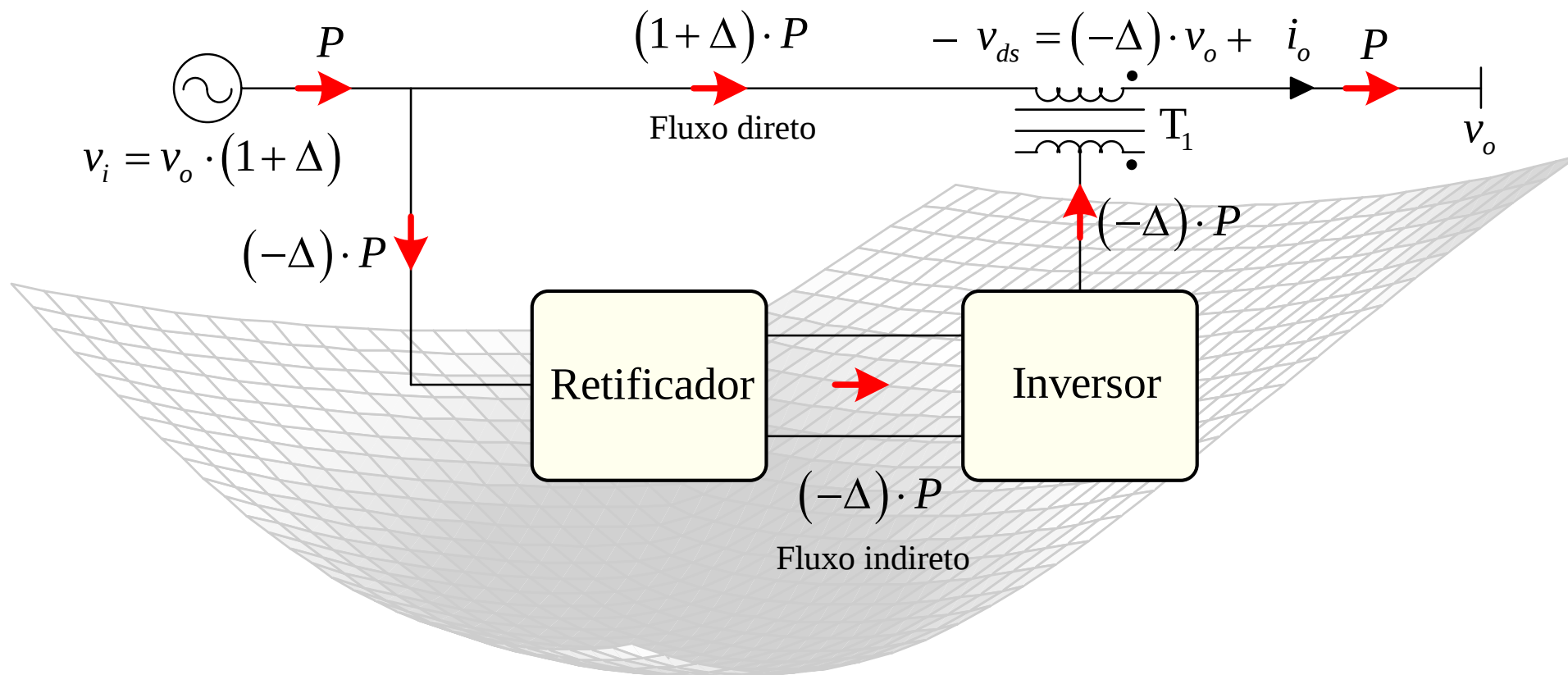
No lado do inversor (saída)



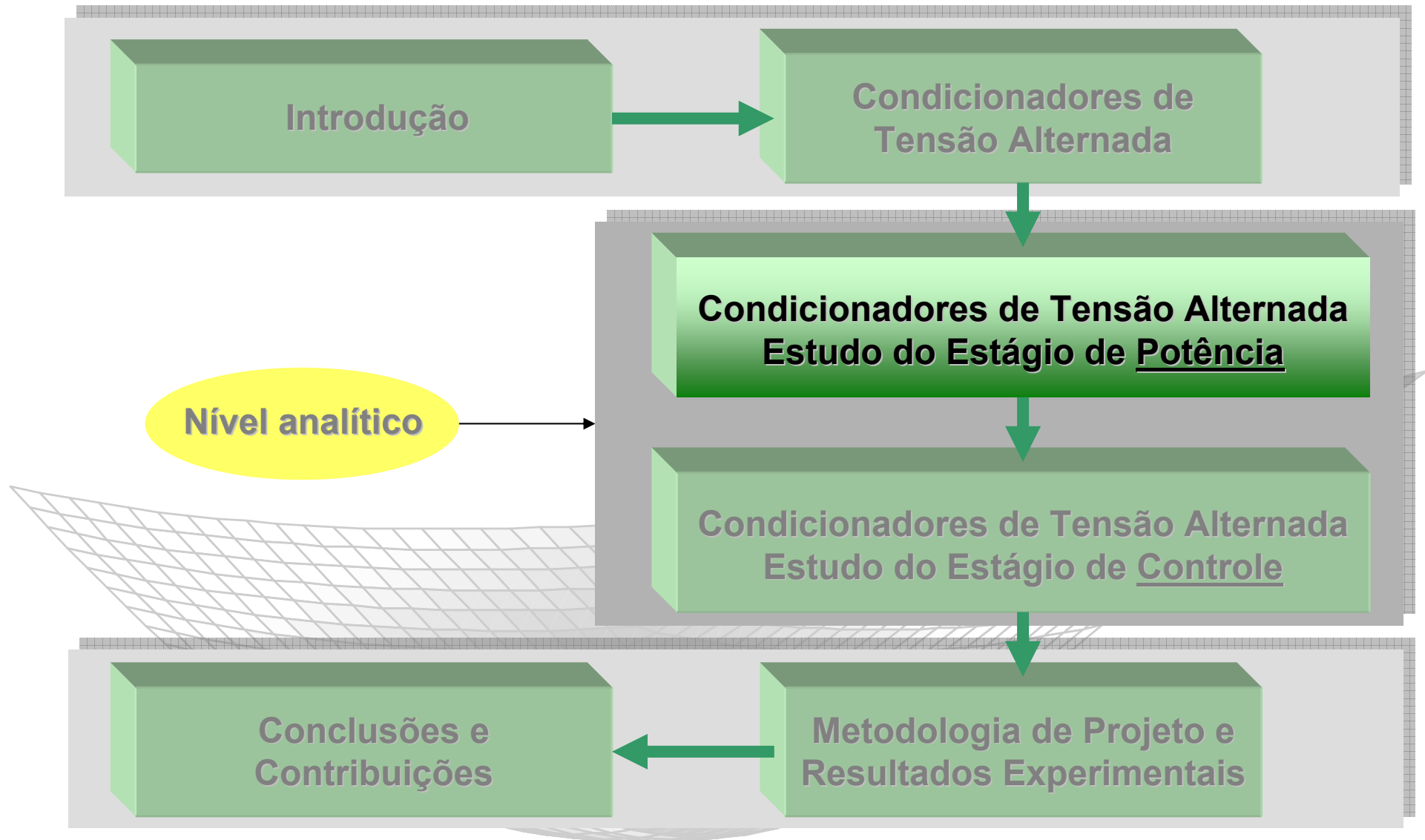
Condicionador de Tensão Alternada

Fluxo de energia

Alimentação pelo lado da rede

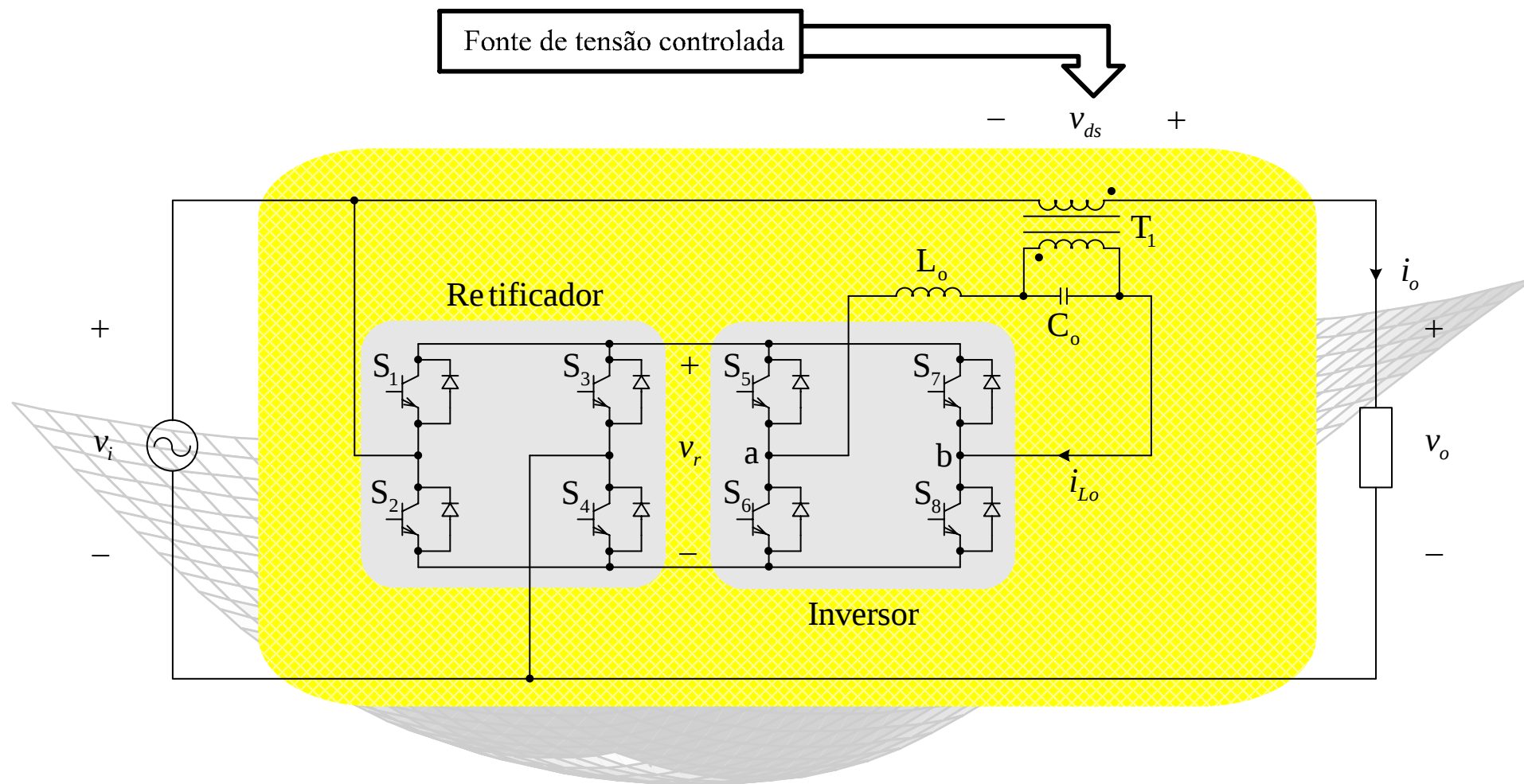


Parte 3/6



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

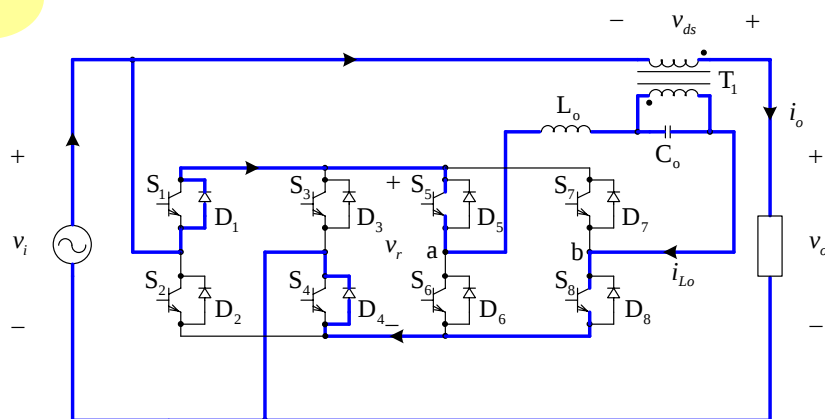
Topologia Proposta



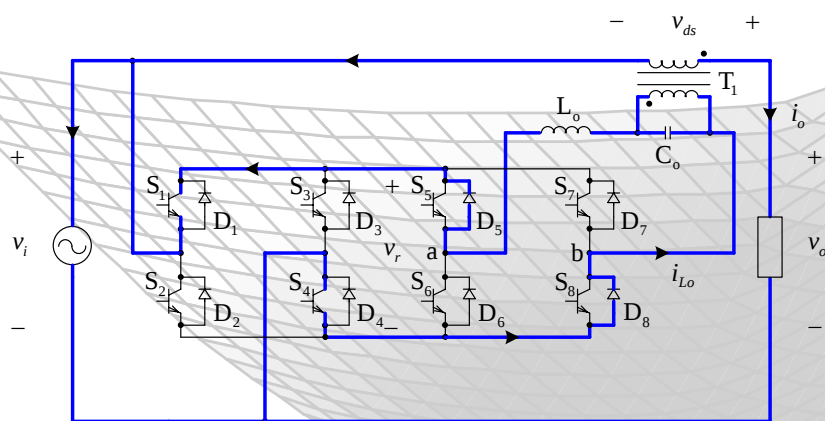
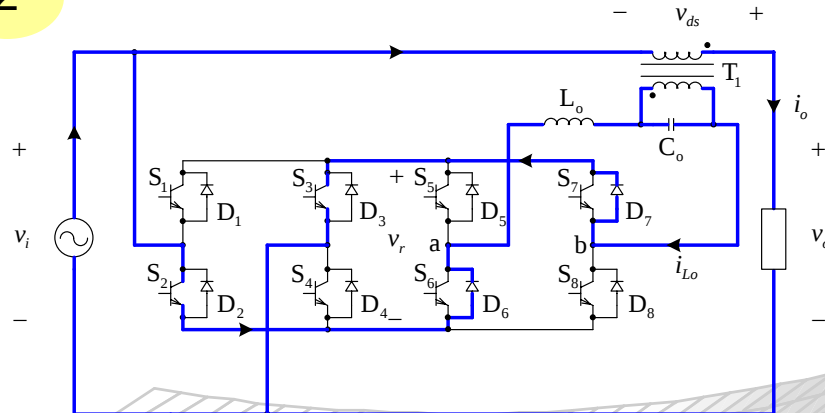
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Etapas de Funcionamento do Retificador (2 etapas)

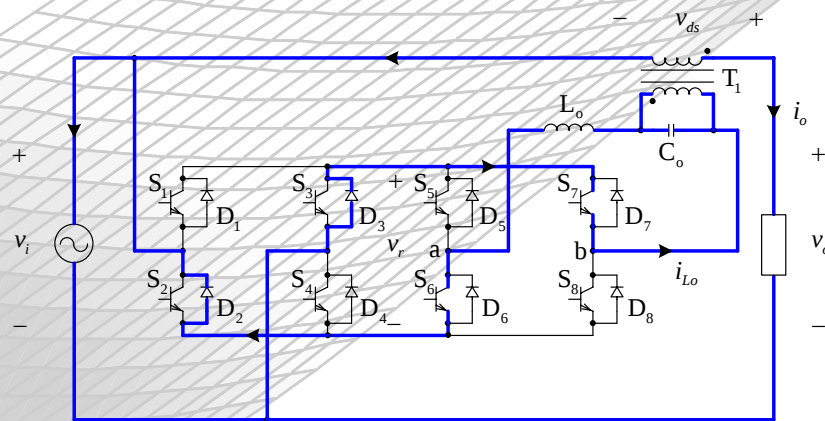
1a



2a



$v_i(t) > 0$

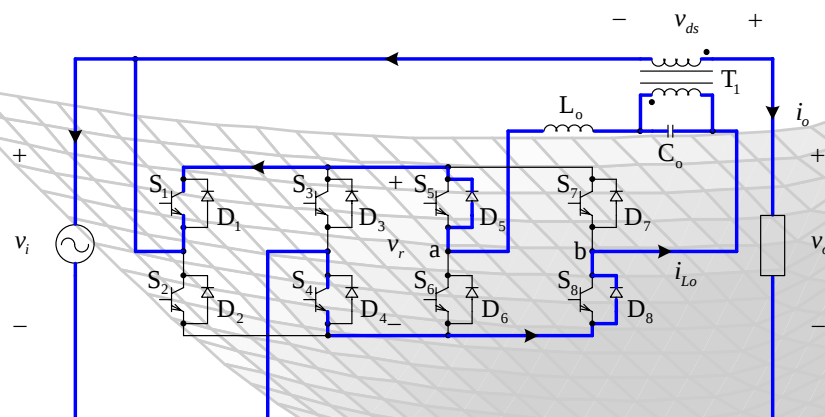
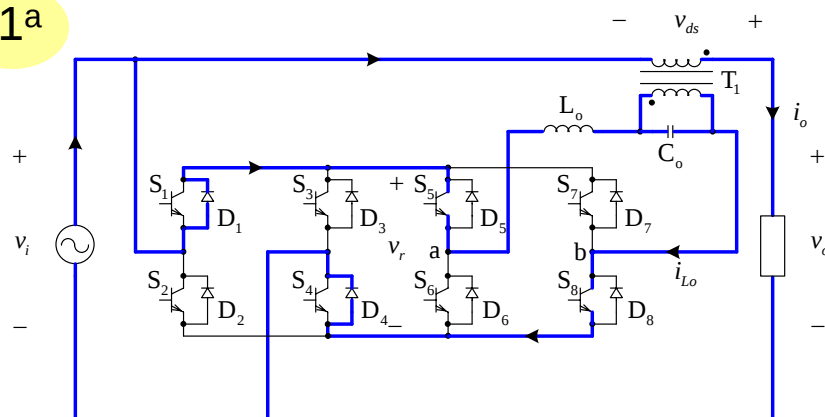


$v_i(t) < 0$

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

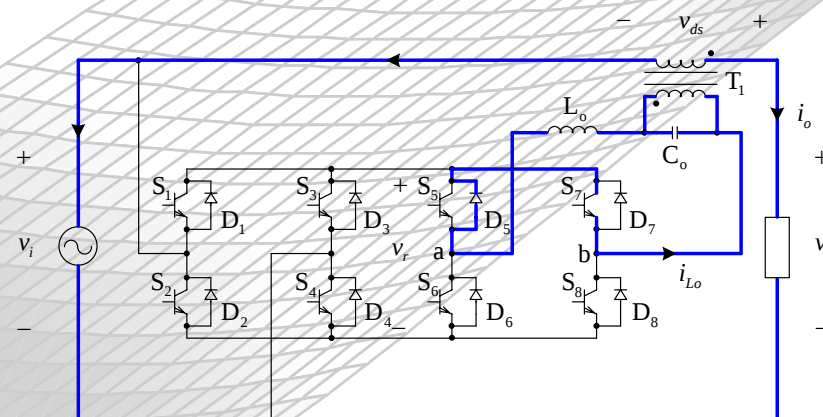
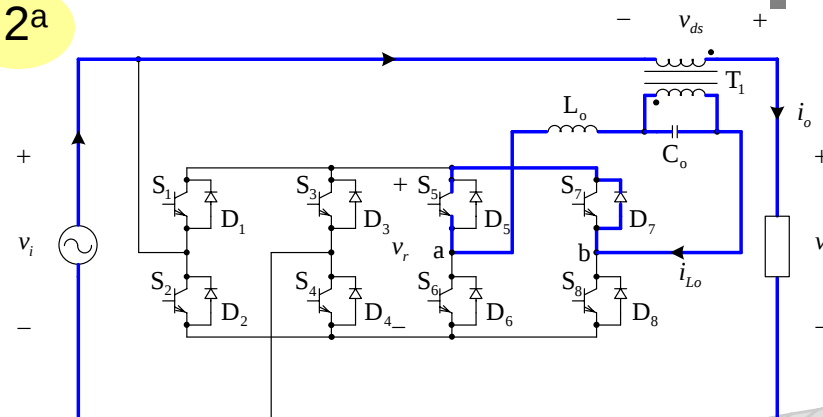
Etapas de Funcionamento do Inversor (5 etapas)

1a



S_5 e S_8 ON

2a

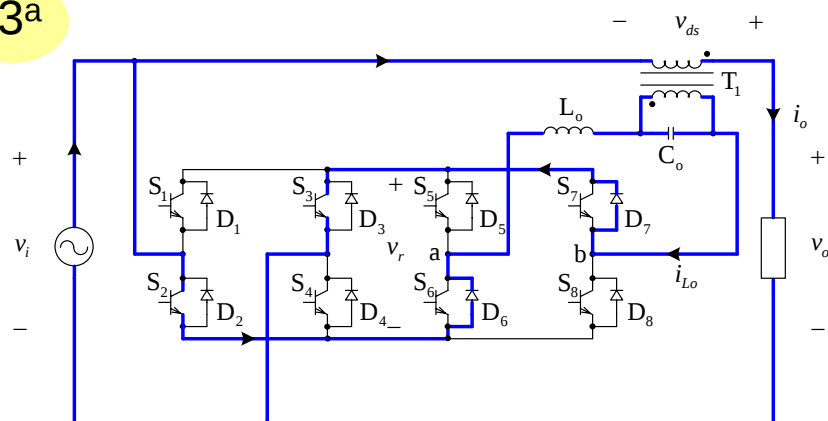


S_5 e S_7 ON

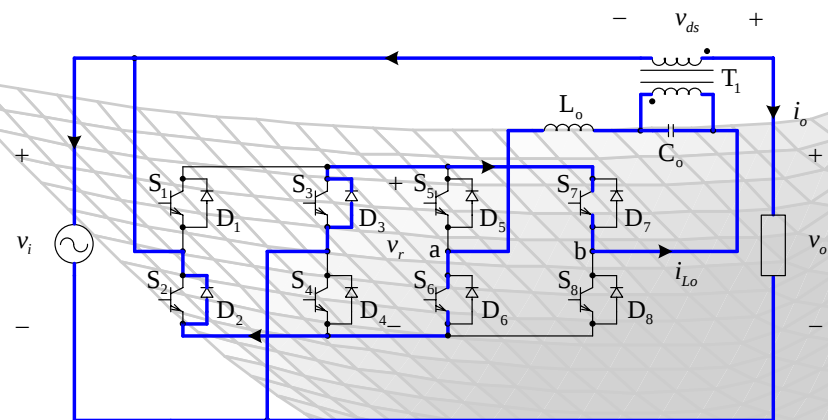
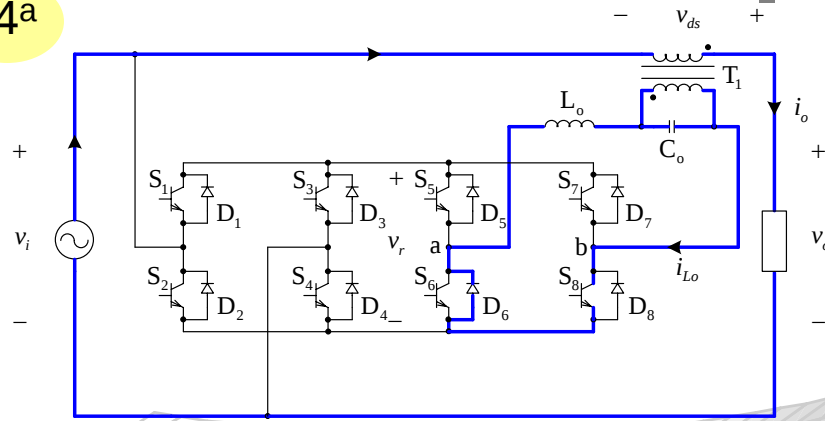
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Etapas de Funcionamento do Inversor (5 etapas)

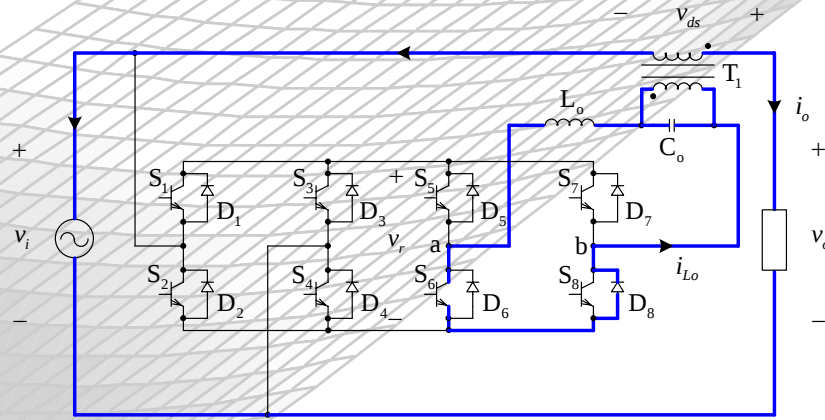
3a



4a



S_6 e S_7 ON

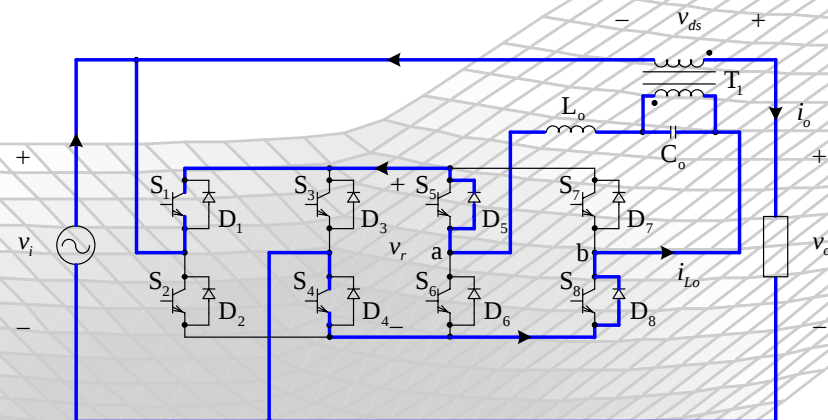
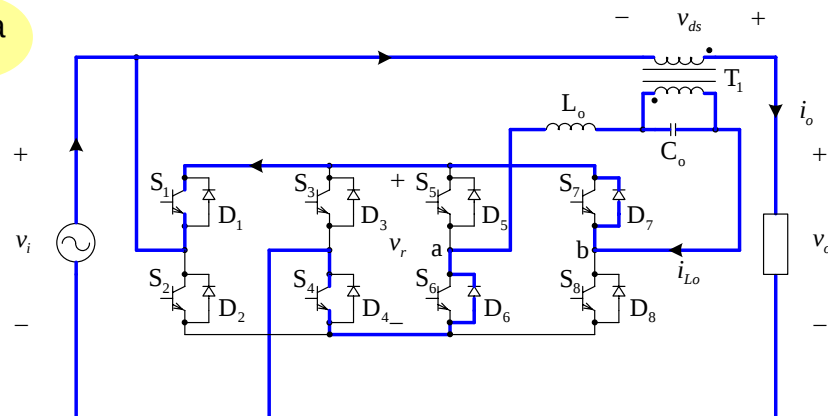


S_6 e S_8 ON

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Etapas de Funcionamento do Inversor (5 etapas)

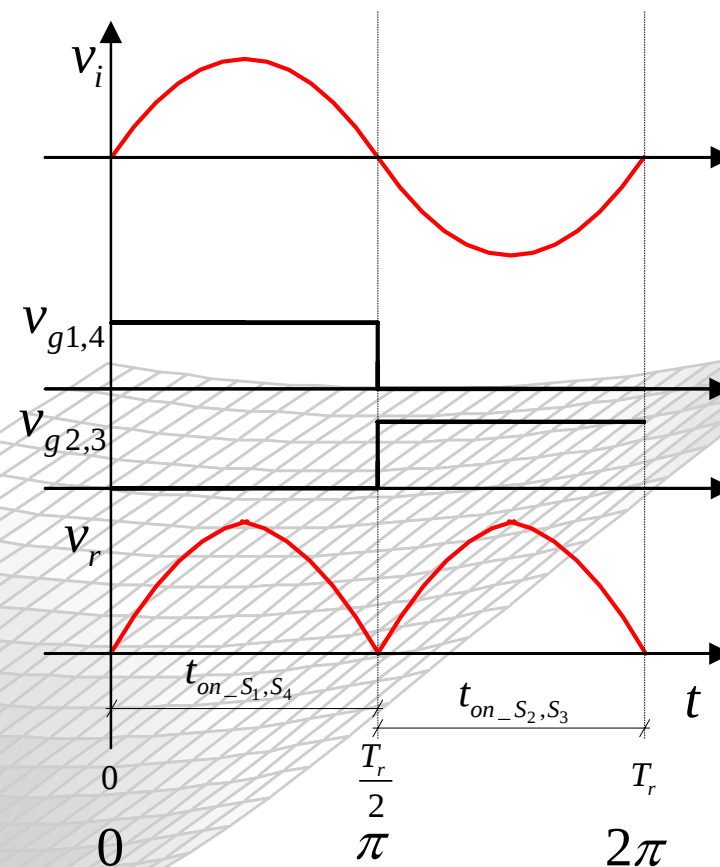
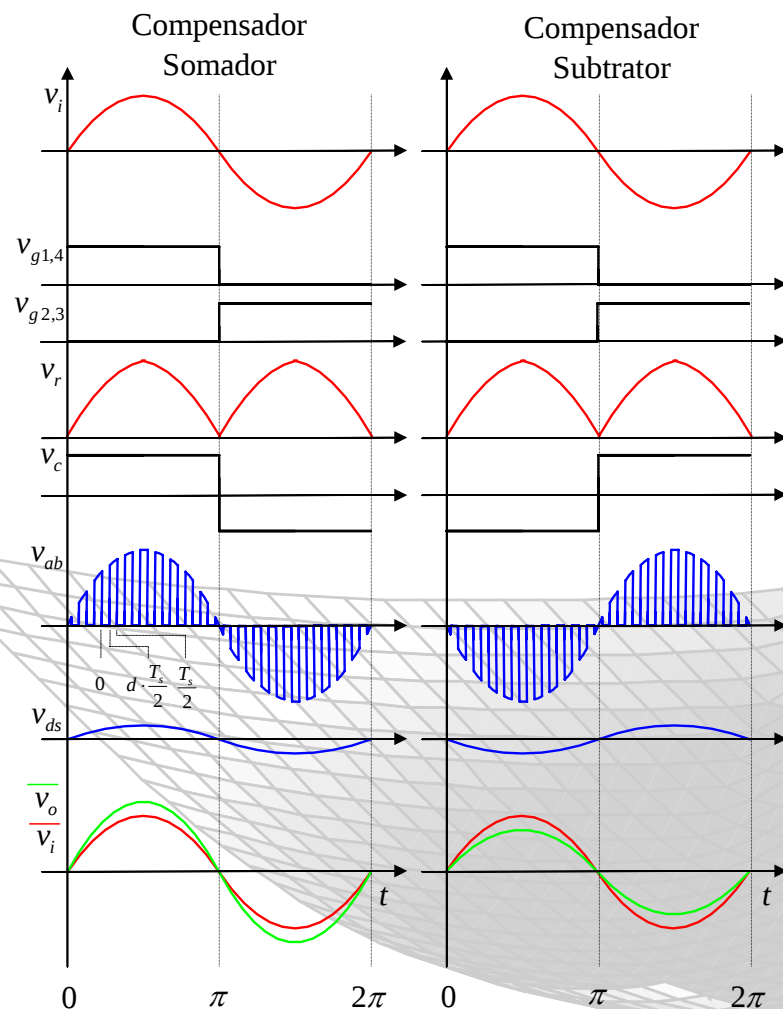
5a



S_5 e S_8 OFF

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Principais Formas de Onda e Modulação do Retificador



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Modulação do Inversor – dois níveis

Razão Cíclica Teórica
 $0 \leftrightarrow 1$

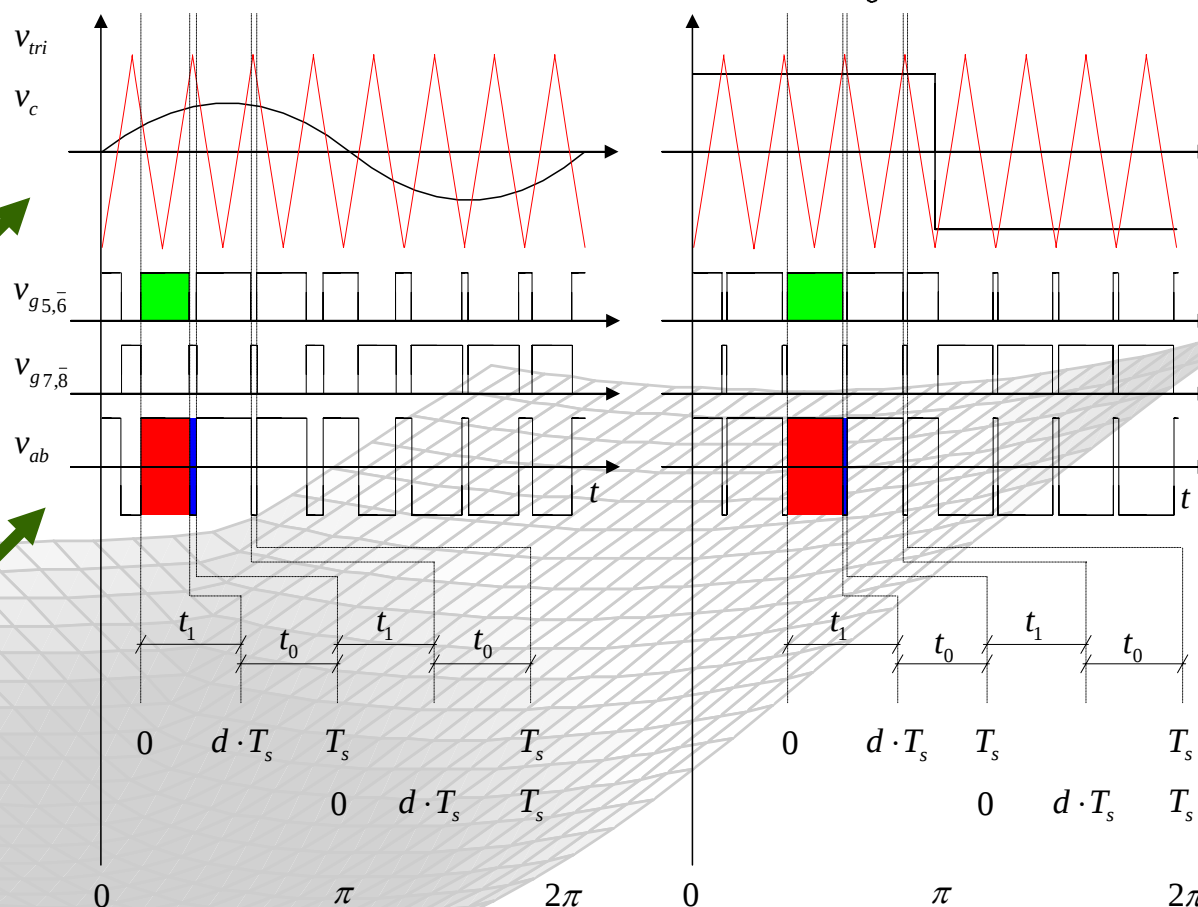
$$d(t) = M \cdot \text{sen}(\omega t)$$

$$M = \frac{V_{ds_pk}}{V_r}$$

Modulação PWM
Senoidal

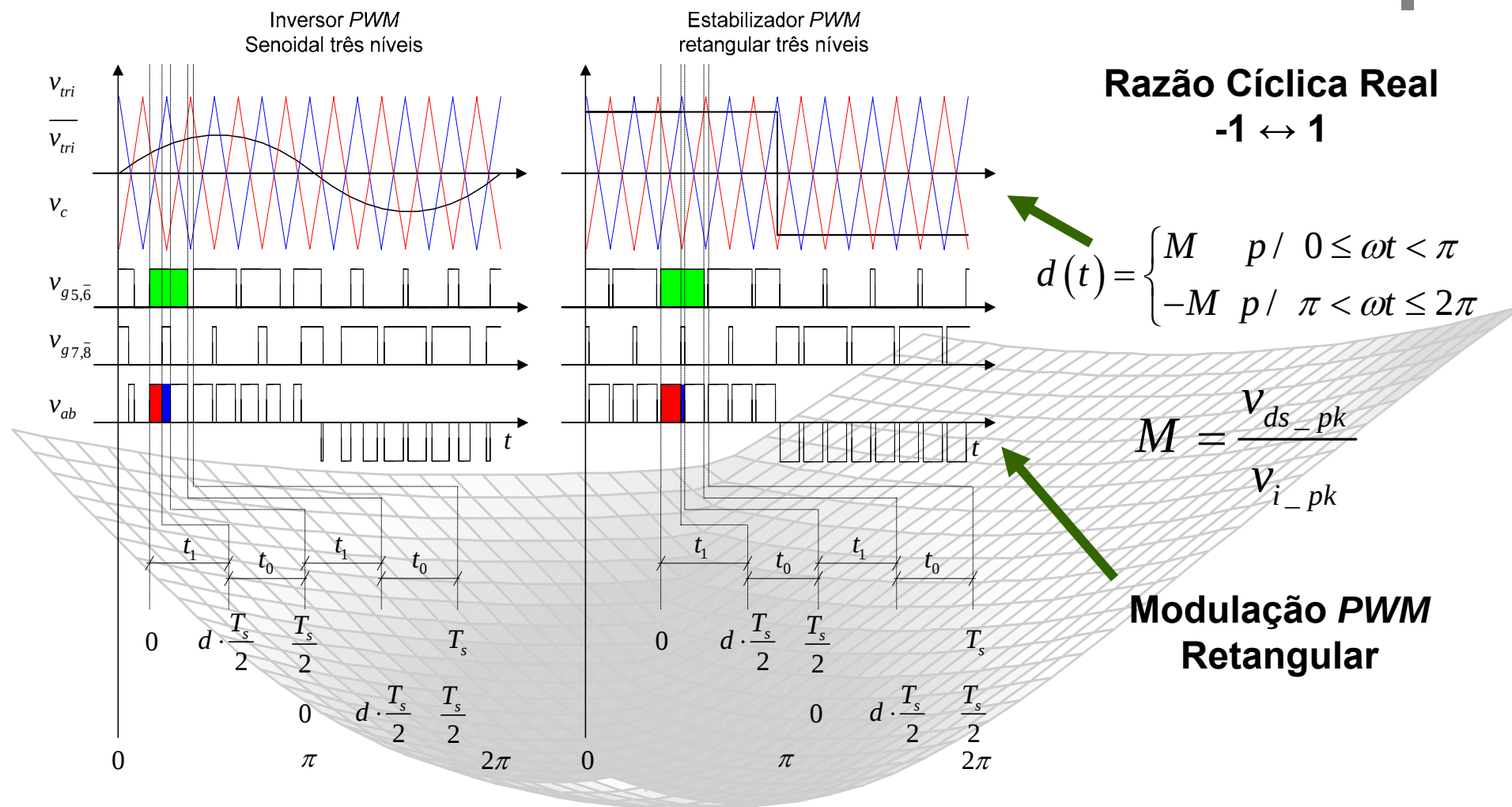
Inversor PWM
Senoidal dois níveis

Estabilizador PWM
retangular dois níveis



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Modulação do Inversor – três níveis



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

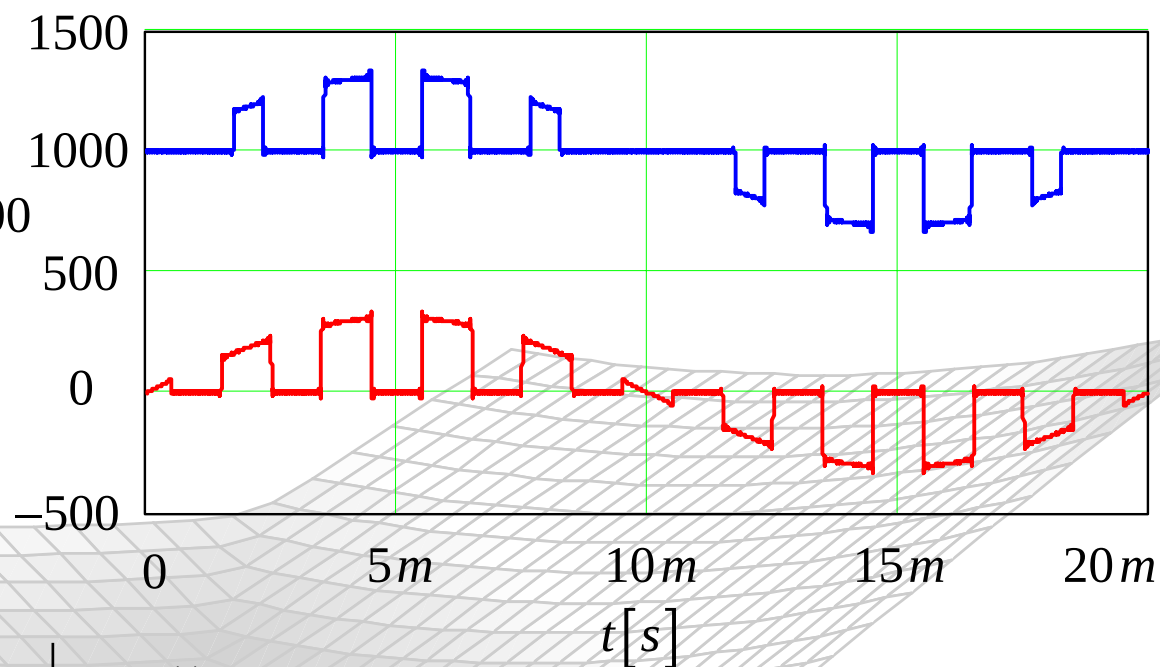
Modulação do Inversor – análise harmônica

Largura dos
Pulsos Varia
Senoidalmente

$$v_{ab}(t)_{SPWM} + 1000$$

$$v_{ab}(t)_{RPWM}$$

Largura dos
Pulsos é Fixa



	$v_{ab}(t)$
RPWM	96,6%
SPWM	111,1%

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ganho Estático

Ganho Estático

É a relação entre as tensões de entrada e saída do condicionador, ou seja, é a razão linear entre $v_o(t)$ e $v_i(t)$.

$$g(t) = \frac{v_o(t)}{v_i(t)}$$
$$g(t) = \frac{v_o(t)}{v_i(t)} = \frac{N_1 + (2 \cdot d(t) - 1)}{N_1} \quad \text{2 níveis}$$
$$g(t) = \frac{v_o(t)}{v_i(t)} = \frac{N_1 + d(t)}{N_1} \quad \text{3 níveis}$$

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

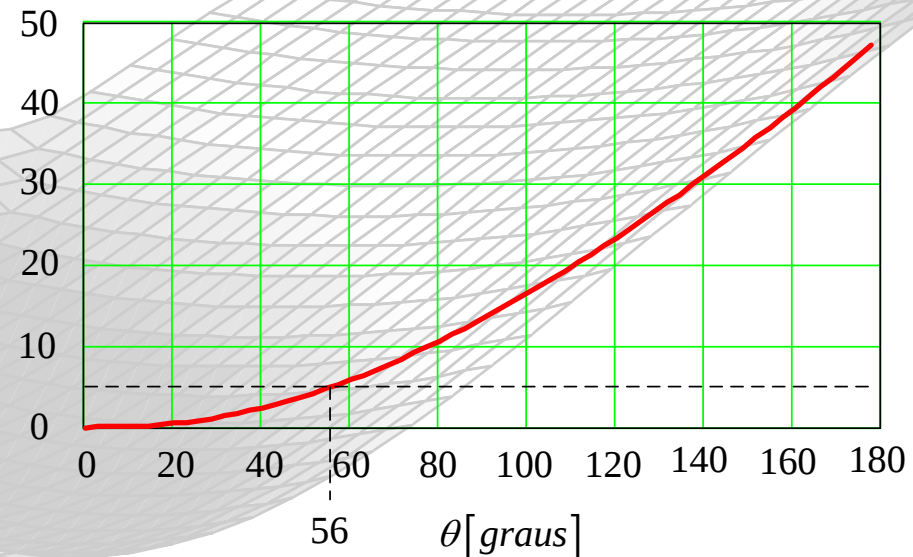
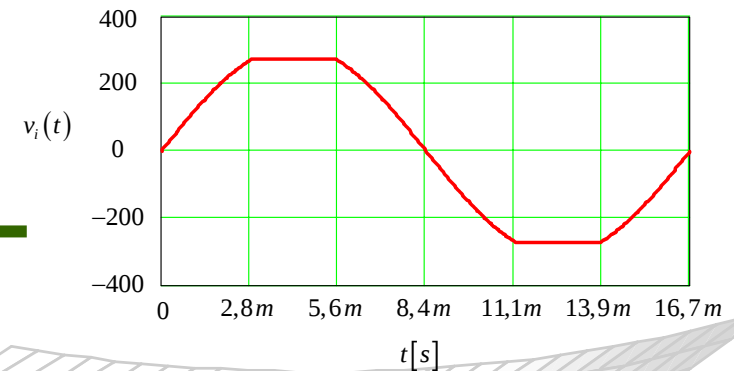
Relação de Transformação de T_1

$$\Delta^+ = \frac{v_{i_max}(t)}{v_{i_nom}(t)} - 1 \quad \Delta^- = 1 - \frac{v_{i_min}(t)}{v_{i_nom}(t)}$$

$$N_1^- = \frac{1 - \Delta^-}{\Delta^-} \cdot D_{max}$$

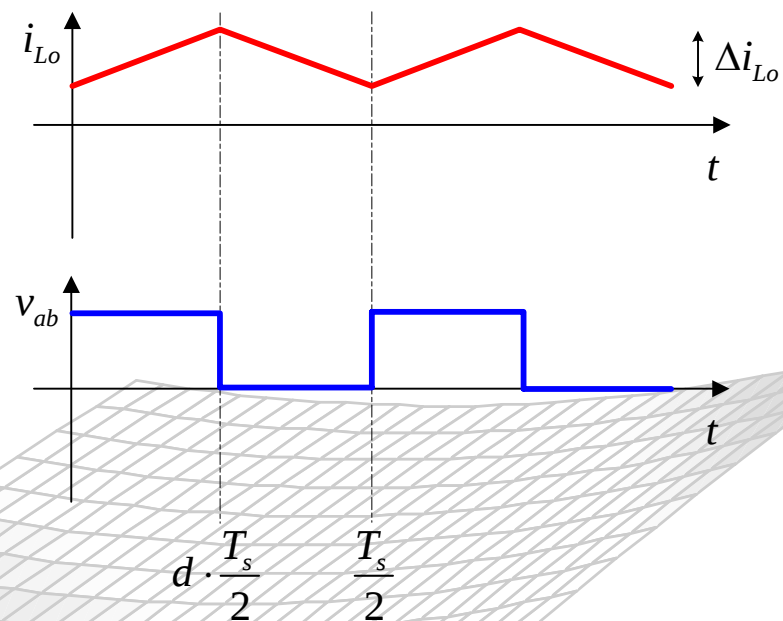
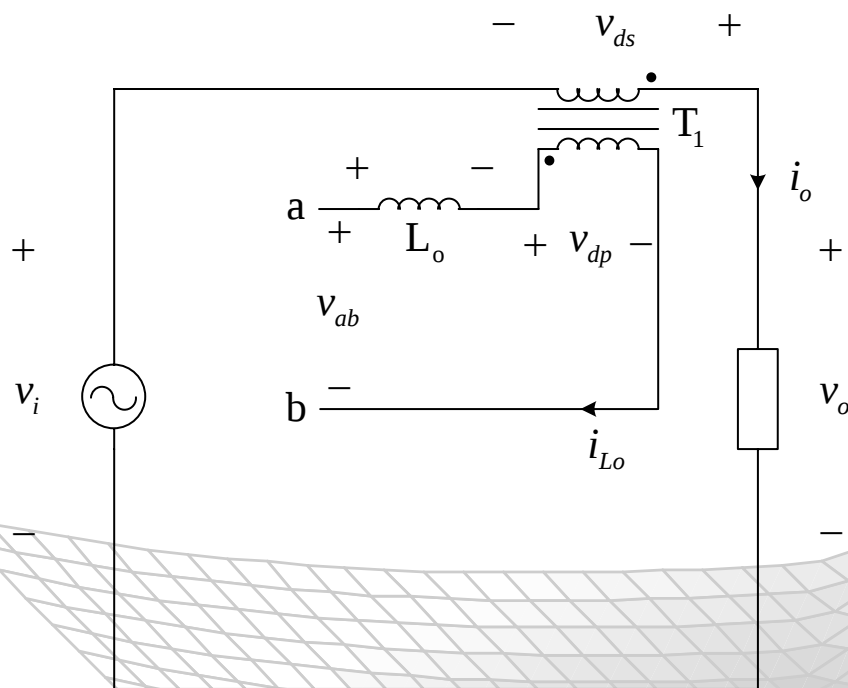
$$N_1^+ = \frac{1 + \Delta^+}{\Delta^+} \cdot D_{min}$$

Anexo II



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ondulação de Corrente – 3 níveis



$$\Delta i_{L_o}(t) = \frac{v_{L_o}(t)}{2 \cdot L_o \cdot F_s} \cdot d(t)$$

$$v_{L_o}(t) = \begin{cases} v_i(t) - (v_i(t) - v_o(t)) \cdot N_1 & \text{se } d(t) \leq 0 \\ v_i(t) - (v_o(t) - v_i(t)) \cdot N_1 & \text{se } d(t) \geq 0 \end{cases}$$

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ondulação de Corrente – 3 níveis

$$\Delta i_{Lo}(t) = \frac{v_o(t)}{L_o \cdot F_s} \cdot \overline{\Delta i_{Lo}(t)} \quad d_{max}(t) = \text{raízes} \left(\frac{d(\overline{\Delta i_{Lo}(t)})}{d(d(t))} = 0 \right)$$

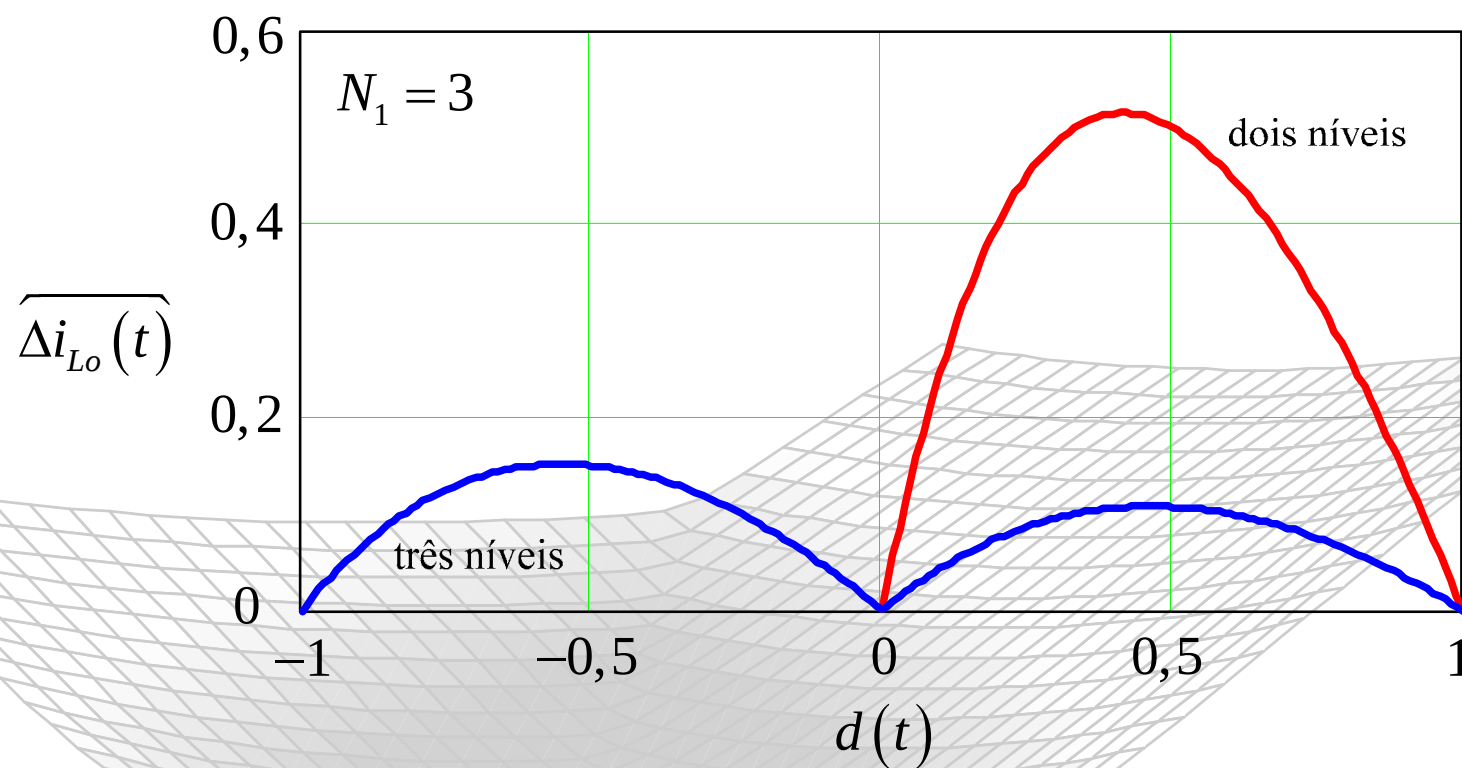
$$\overline{\Delta i_{Lo}(t)} = \left| \frac{d(t)}{2} \cdot \frac{N_1}{N_1 + d(t)} \cdot \begin{cases} 1 + d(t) & \text{se } d(t) \leq 0 \\ 1 - d(t) & \text{se } d(t) \geq 0 \end{cases} \right|$$

$$d_{max}^a(N_1) = -N_1 + \sqrt{N_1^2 - N_1} \quad \text{se } d(t) \leq 0$$

$$d_{max}^b(N_1) = -N_1 + \sqrt{N_1^2 + N_1} \quad \text{se } d(t) \geq 0$$

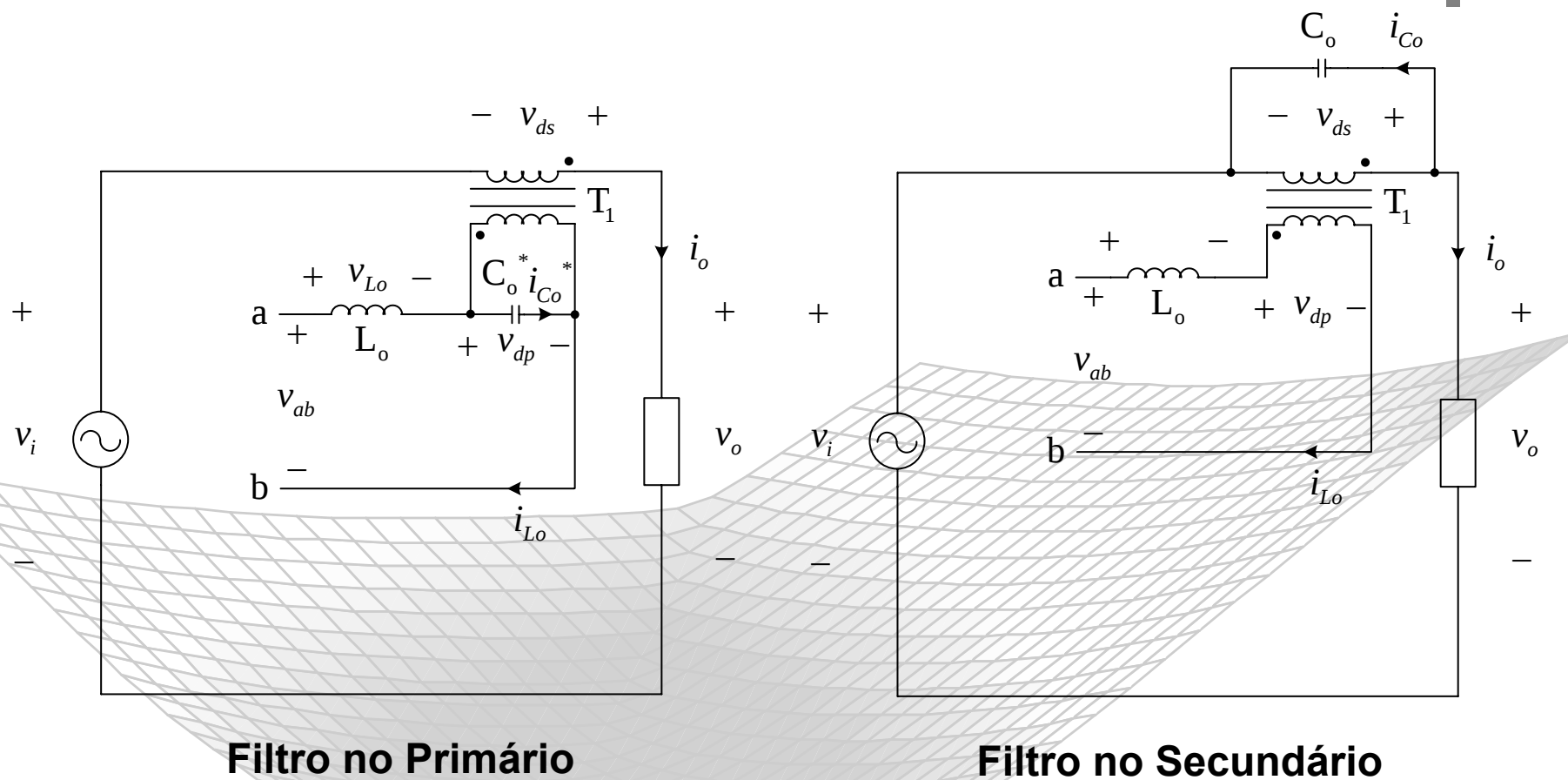
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ondulação de Corrente – 2 níveis versus 3 níveis



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ondulação de Tensão



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

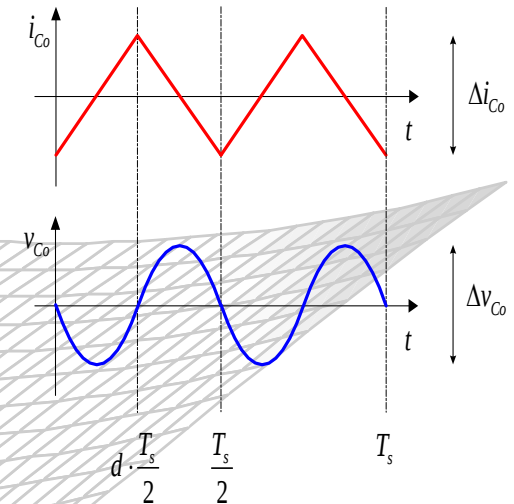
Ondulação de Tensão

$$i_{Co}(t) = \Delta i_{Lo}(t) \longrightarrow i_{Co}(t) = \frac{4}{\pi^2} \cdot \Delta i_{Lo}(t) \cdot \cos(\omega_s \cdot t)$$

$$v_{Co}(t) = i_{Co}(t) \cdot X_{Co} = i_{Co}(t) \cdot \frac{1}{2 \cdot \omega_s \cdot C_o}$$

$$v_{Co}(t) = \frac{4}{\pi^2} \cdot \Delta i_{Lo}(t) \cdot \cos\left(\omega_s \cdot t - \frac{\pi}{2}\right) \cdot \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot F_s \cdot C_o}$$

$$v_{Co}(t) = \frac{\Delta i_{Lo}(t)}{\pi^3 \cdot F_s \cdot C_o} \cdot \cos\left(\omega_s \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

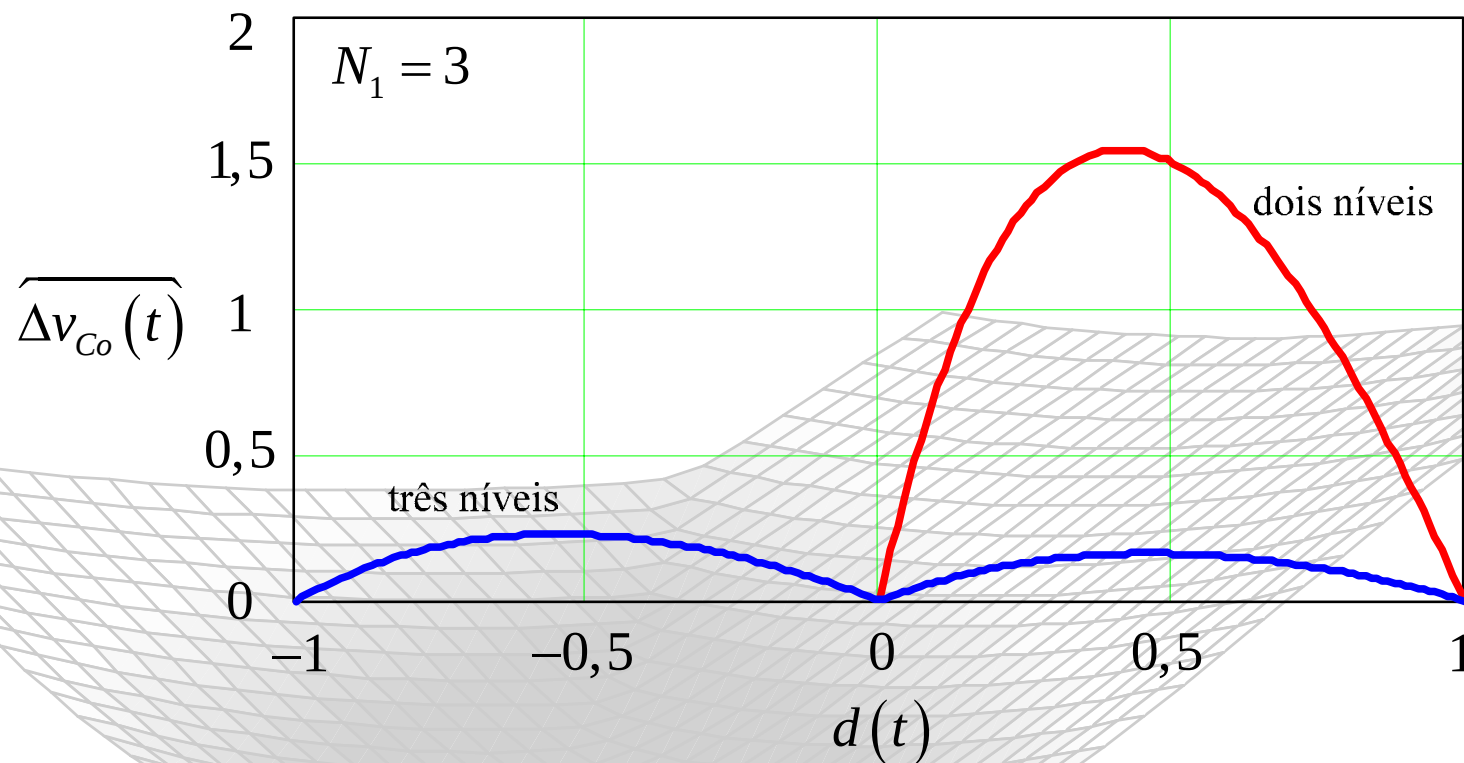


$$\Delta v_{Co}(t) = \frac{4 \cdot \Delta i_{Lo}(t)}{\pi^3 \cdot F_s \cdot C_o} \Bigg|_{2 \text{ níveis}}$$

$$\Delta v_{Co}(t) = \frac{2 \cdot \Delta i_{Lo}(t)}{\pi^3 \cdot F_s \cdot C_o} \Bigg|_{3 \text{ níveis}}$$

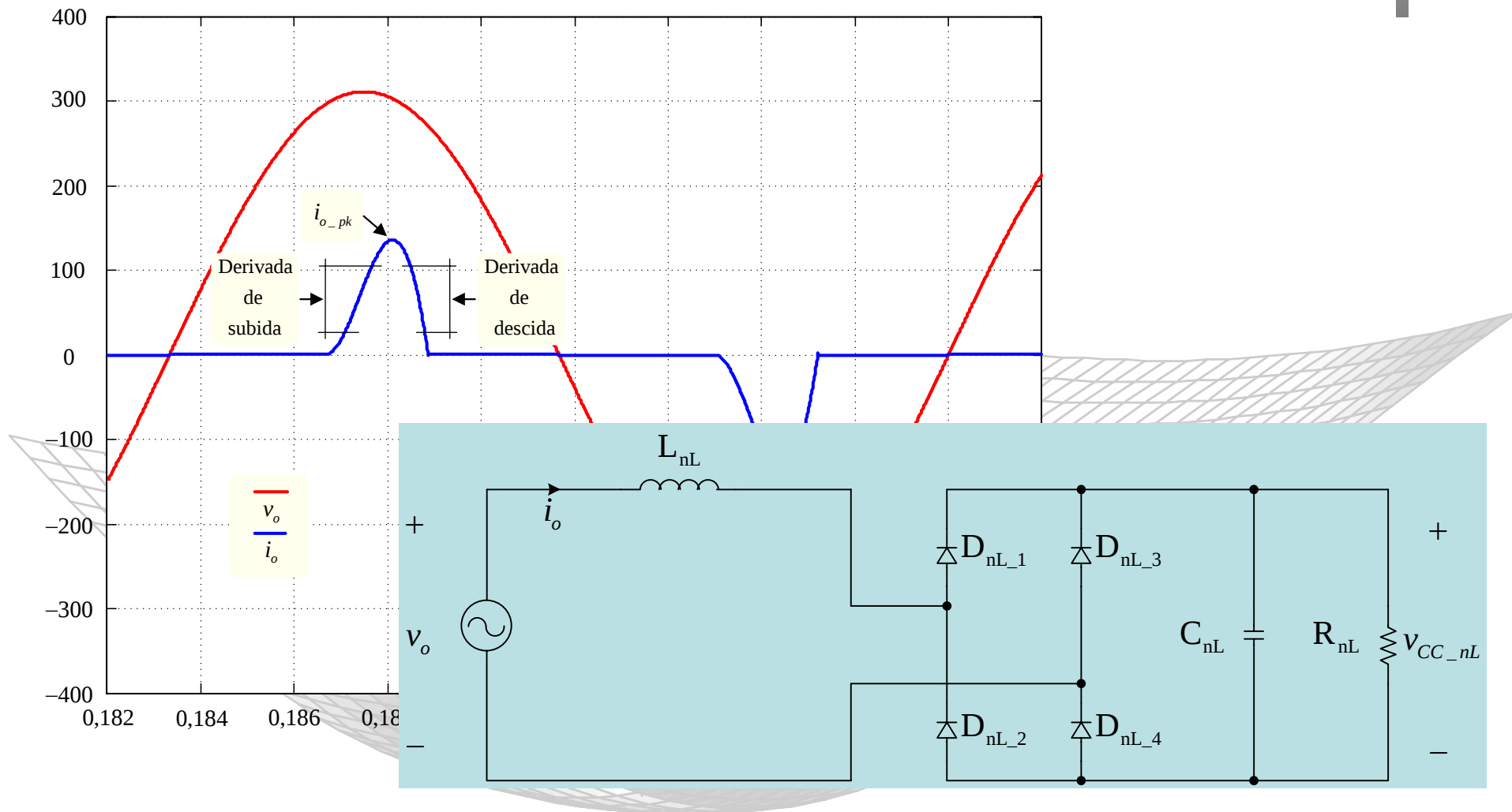
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Ondulação de Tensão – 2 níveis versus 3 níveis



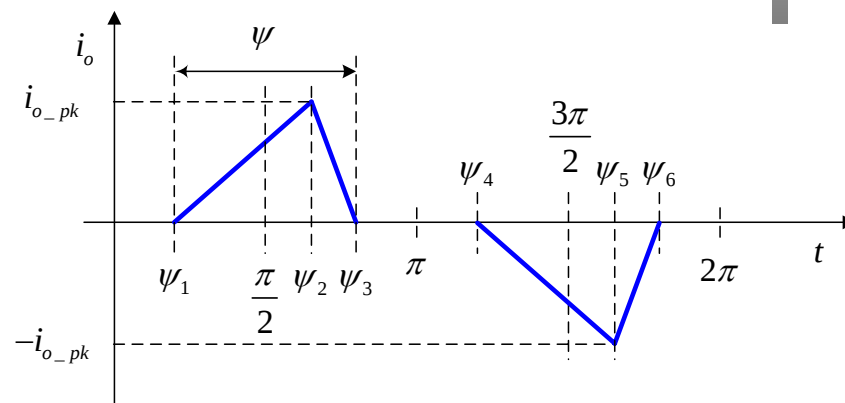
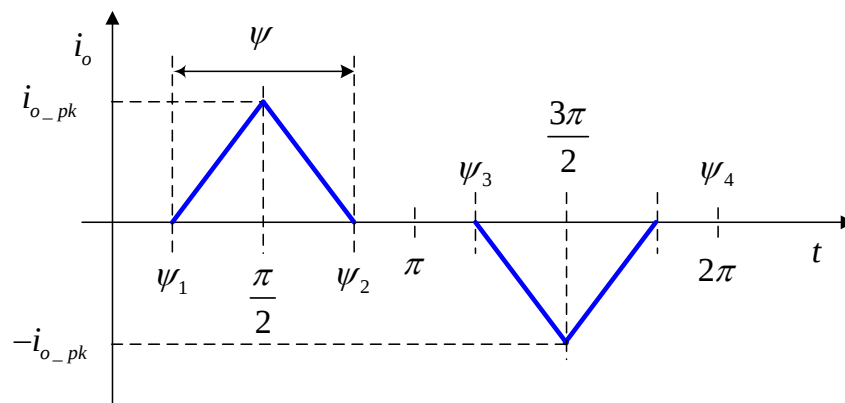
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Modelagem da Carga Não-Linear

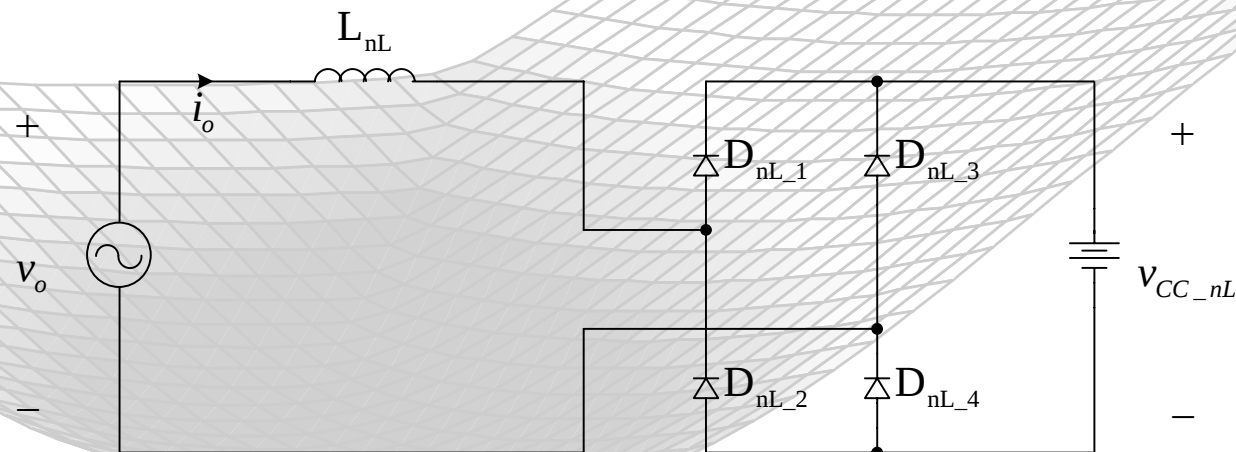


Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Modelagem da Carga Não-Linear – Modelo Simples

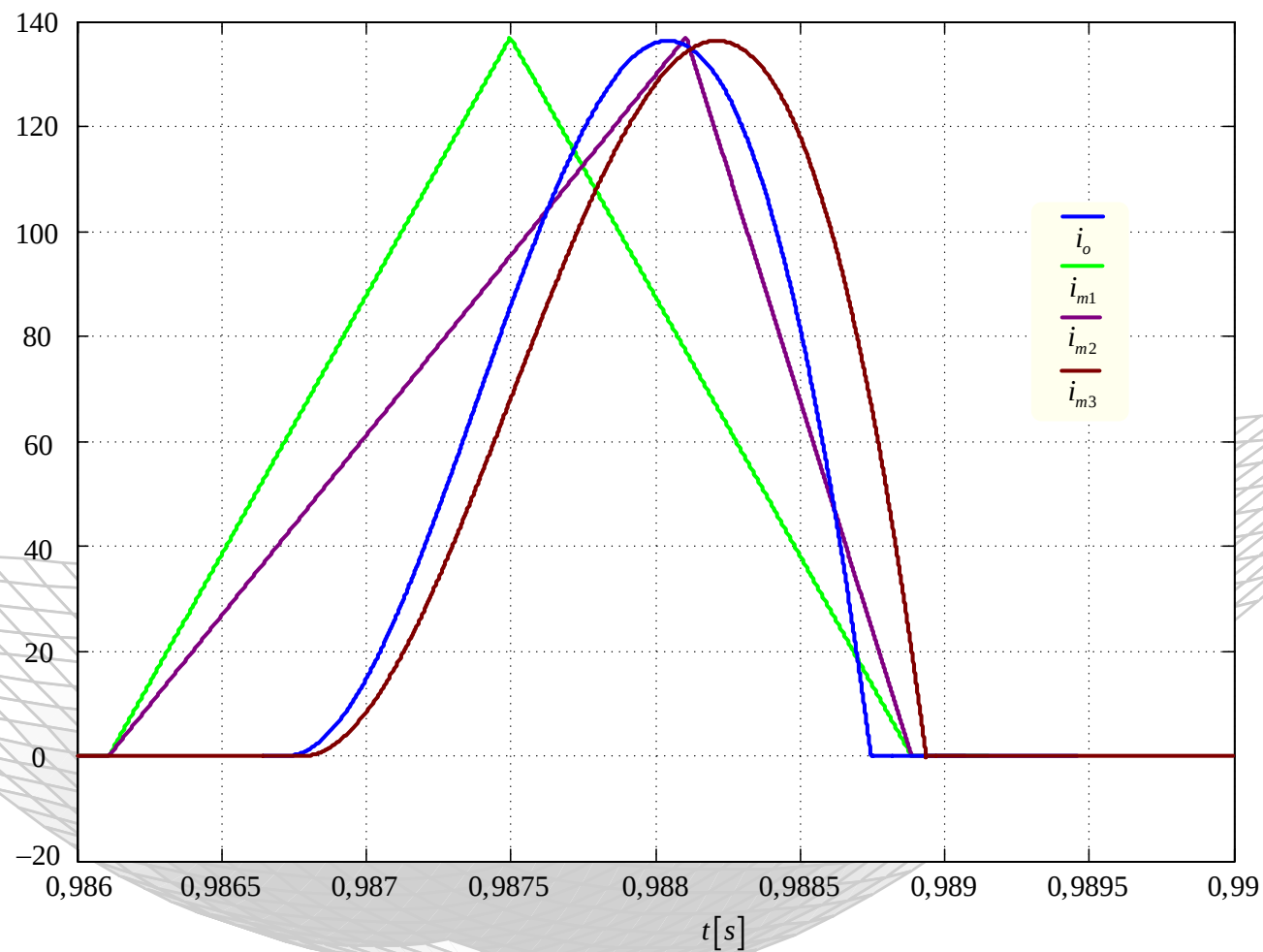


Relações
Empíricas

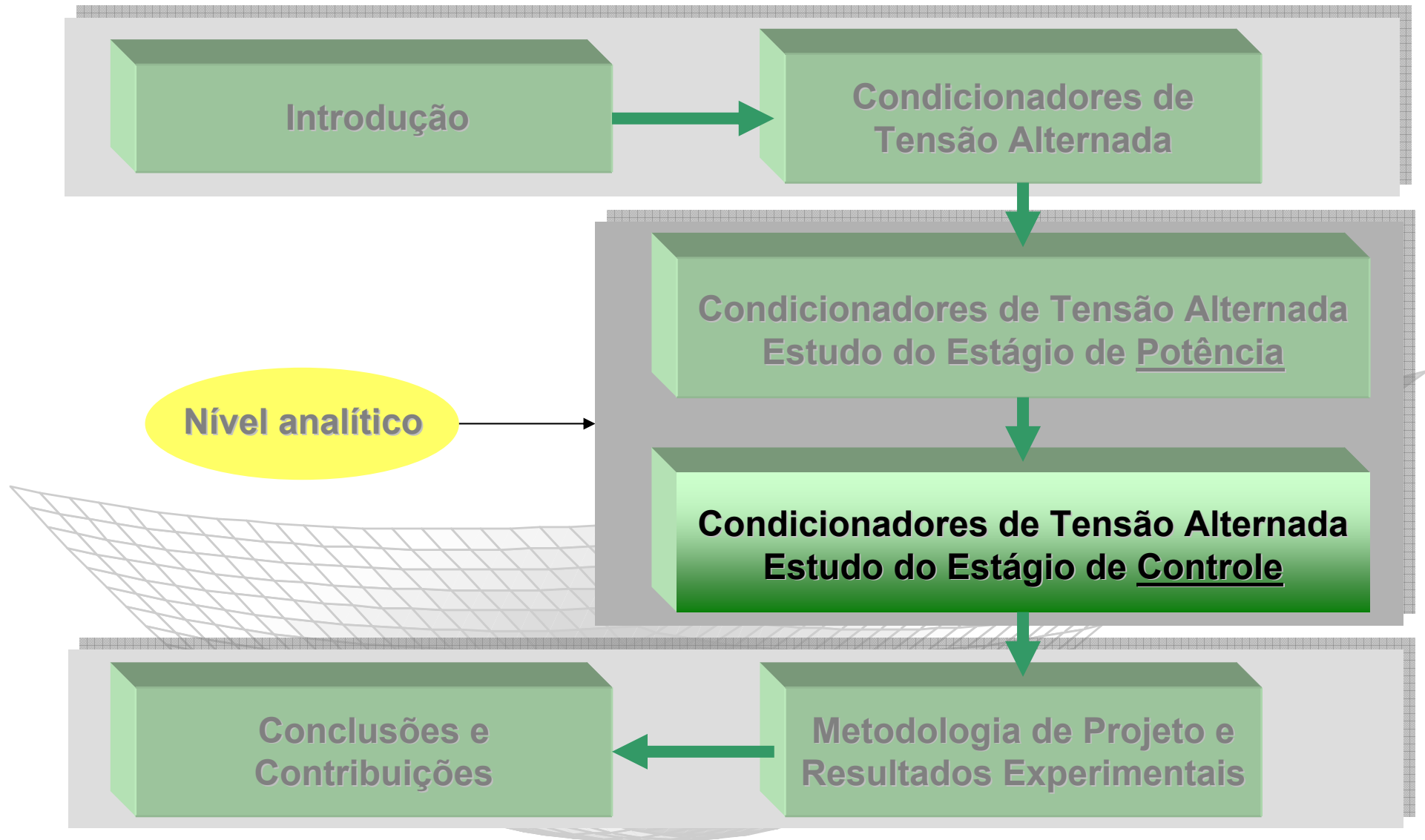


Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Potência

Modelagem da Carga Não-Linear – Comparativo

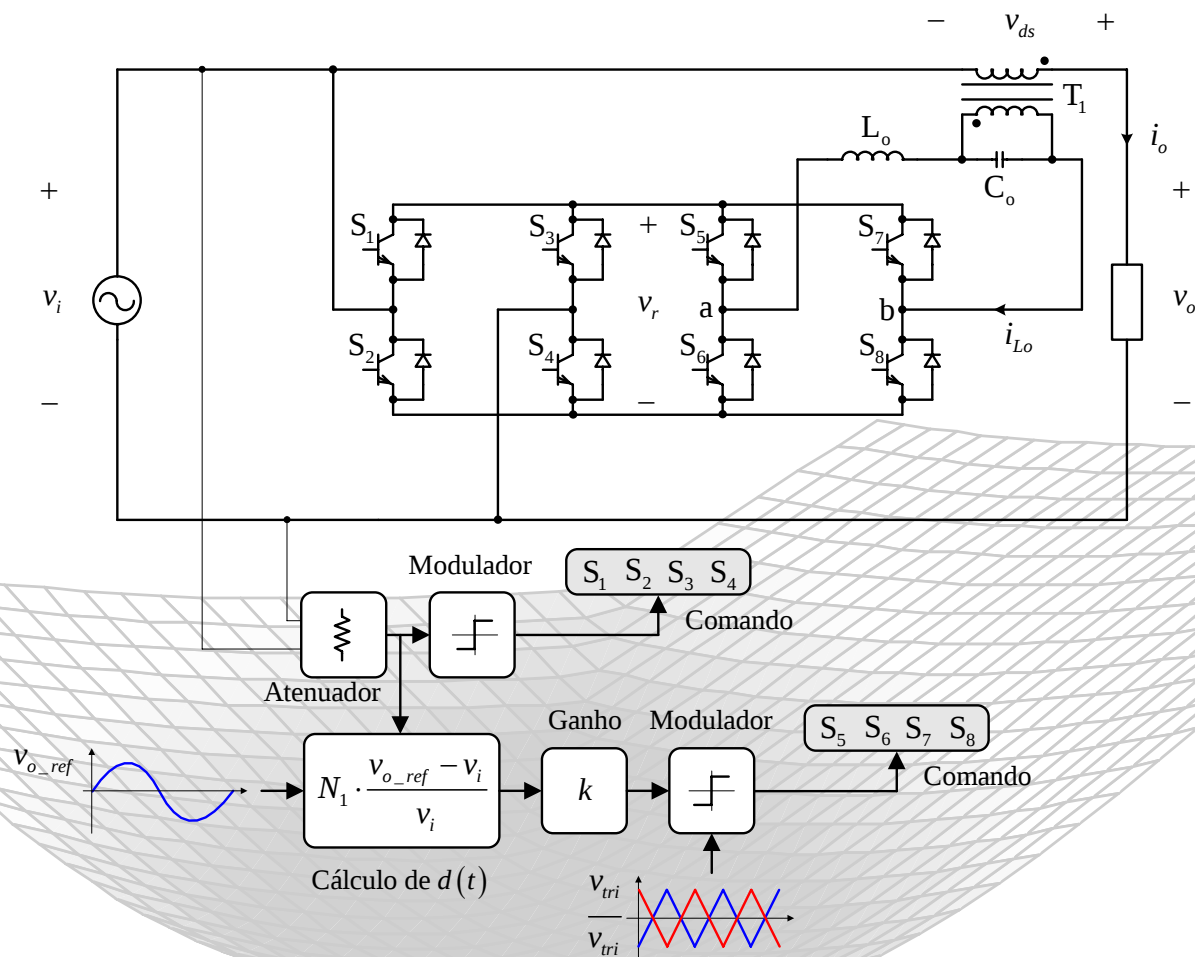


Parte 4/6



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

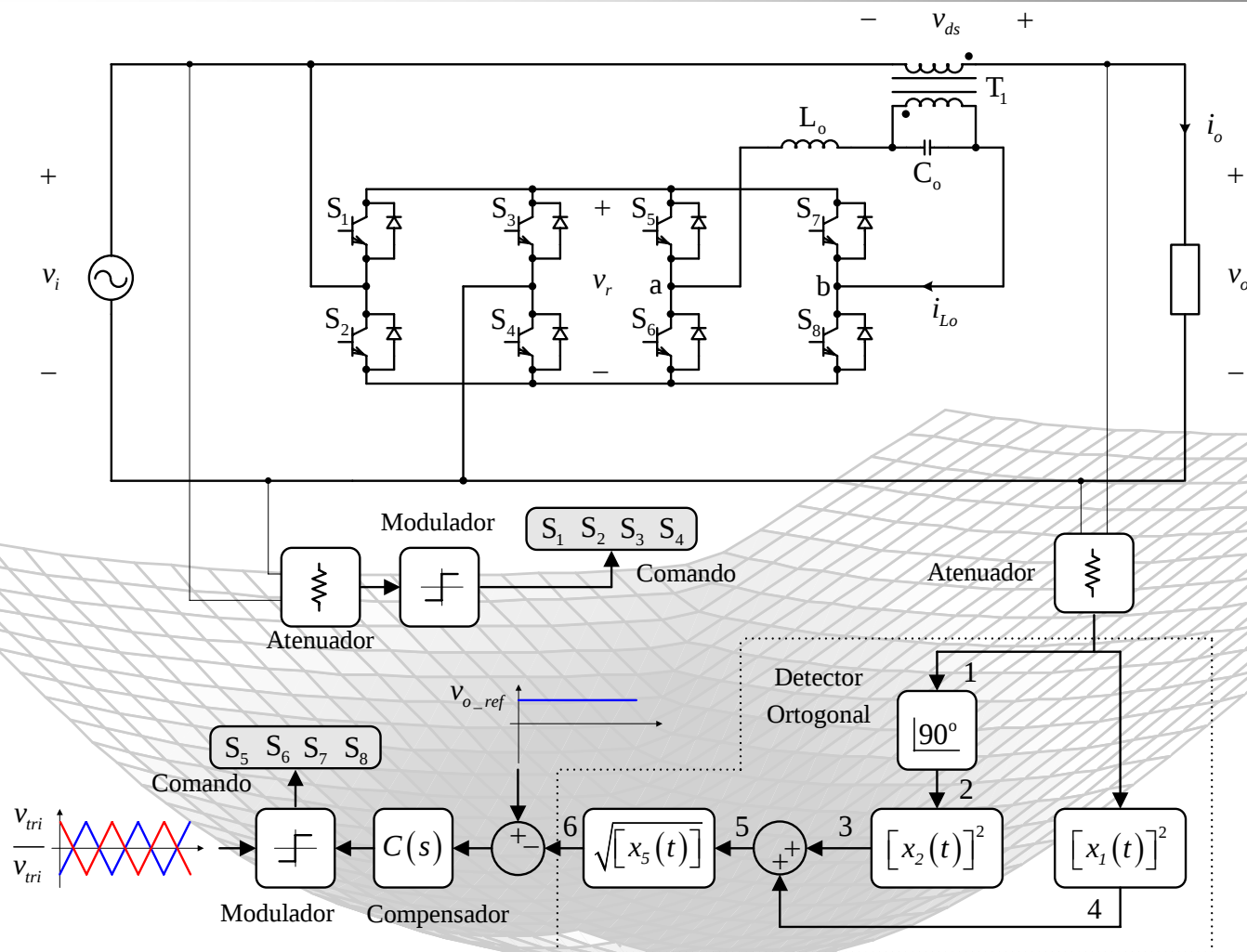
Técnicas de Controle da Tensão de Saída



Pré-Alimentação

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

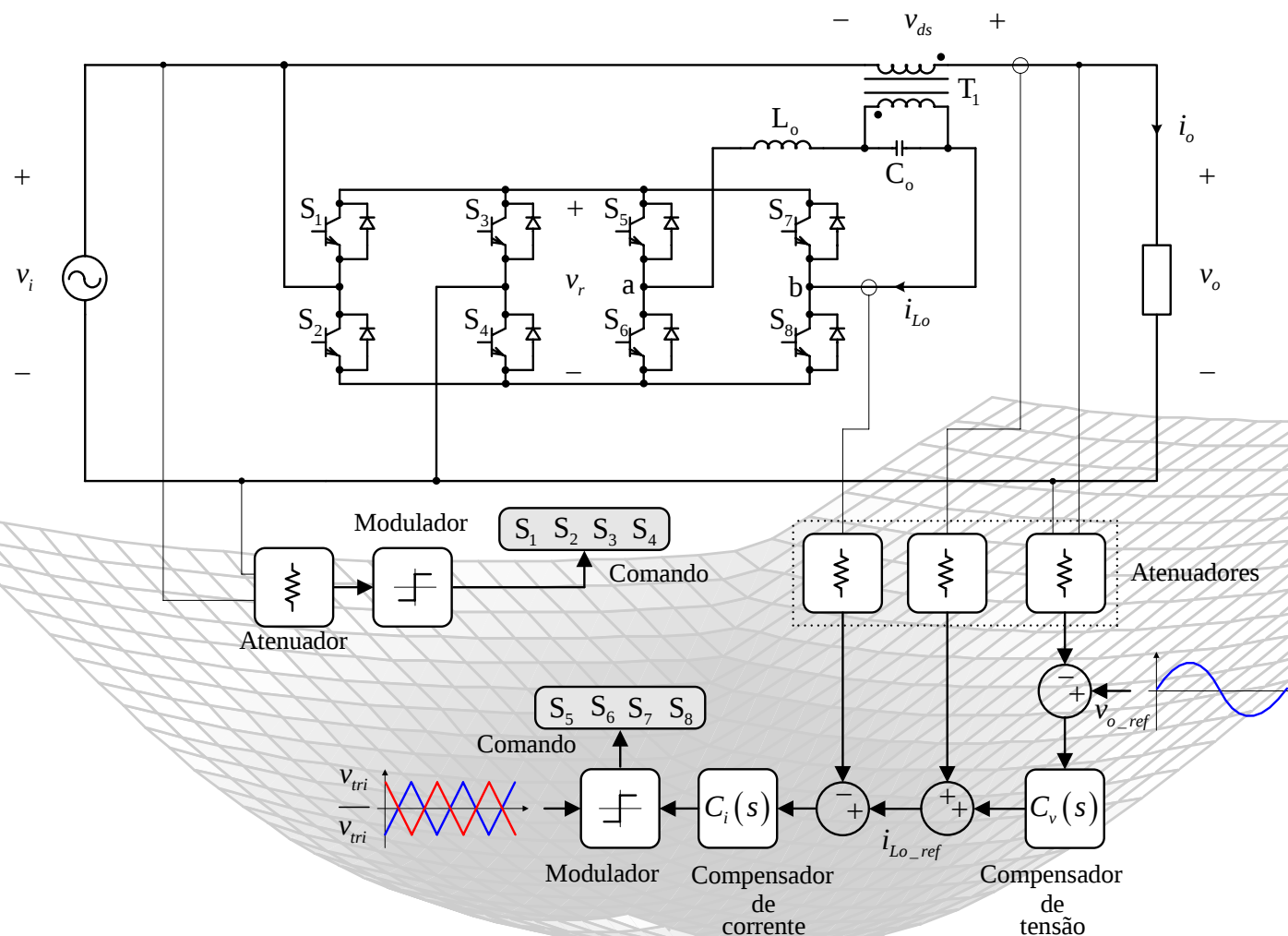
Técnicas de Controle da Tensão de Saída



**Detecção
Ortogonal**

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

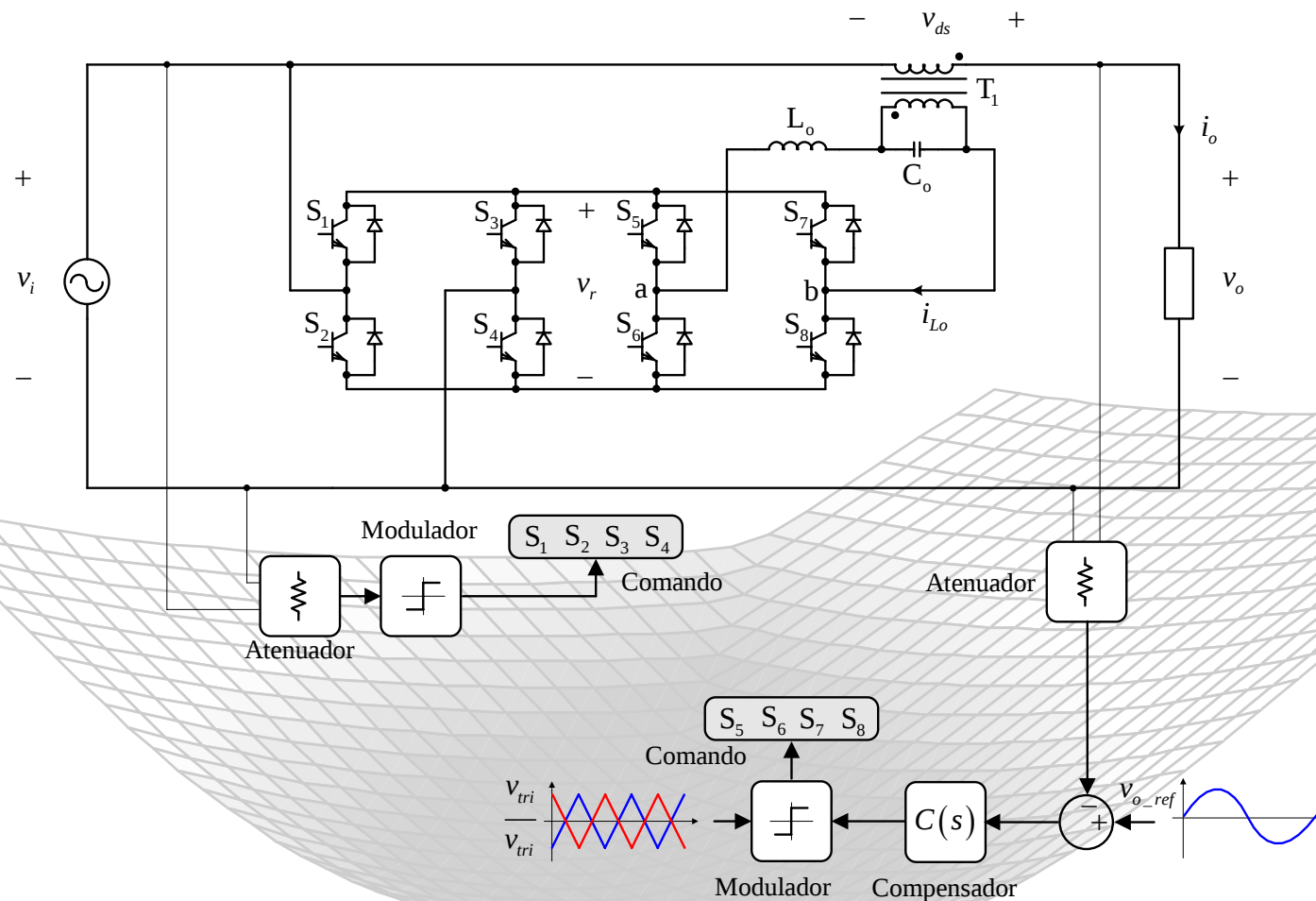
Técnicas de Controle da Tensão de Saída



Modo Corrente

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

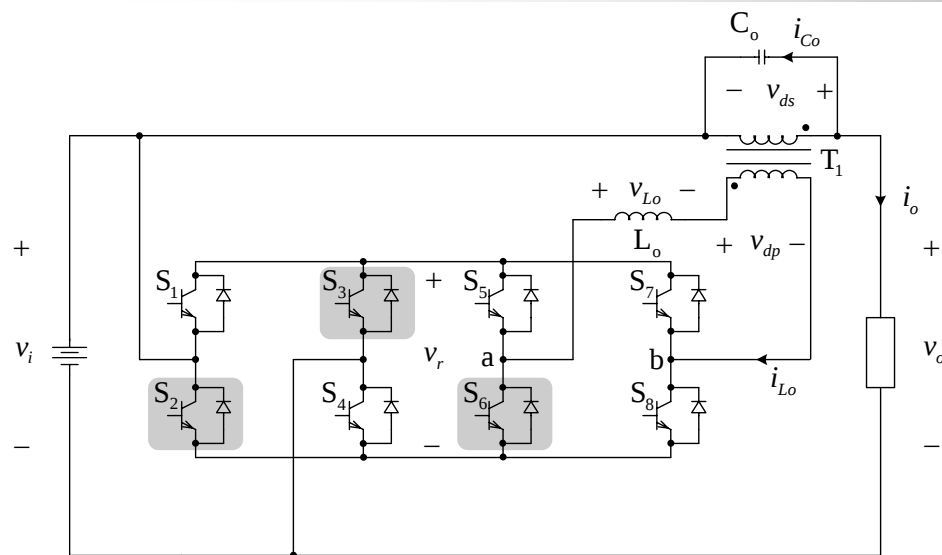
Técnicas de Controle da Tensão de Saída



**Realimentação
Instantânea**

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Ideal

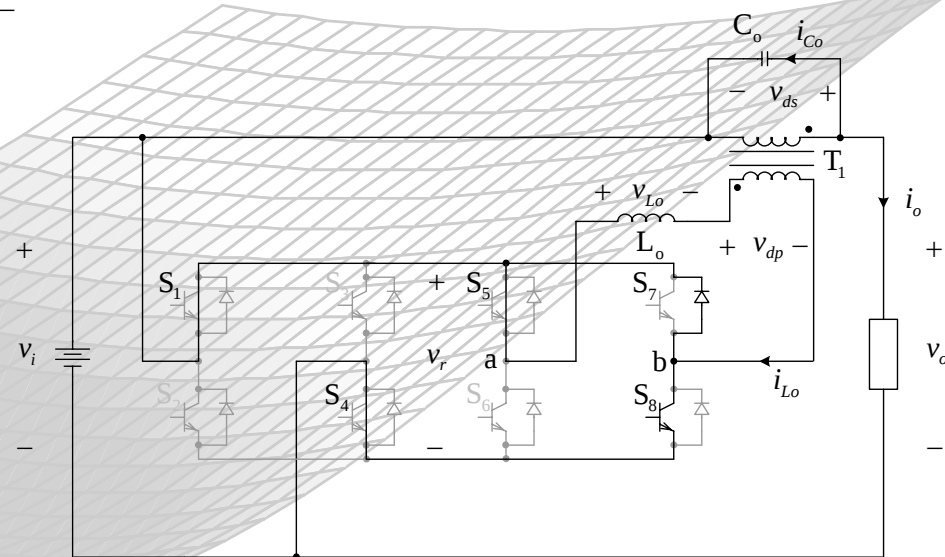


Anexo I

Modelagem do
Conversor CA-CA

Operação no semiciclo positivo

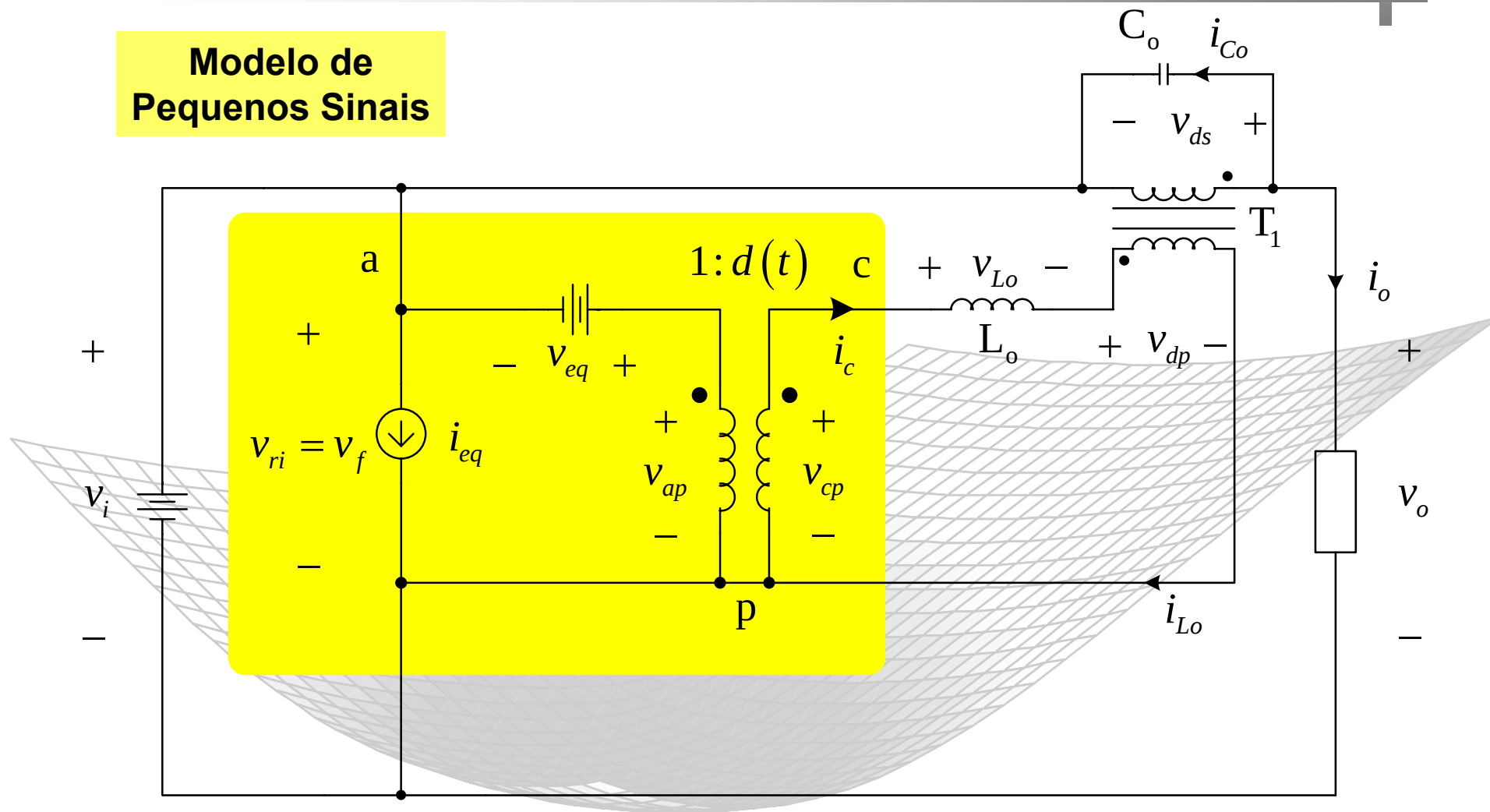
Circuito simplificado



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

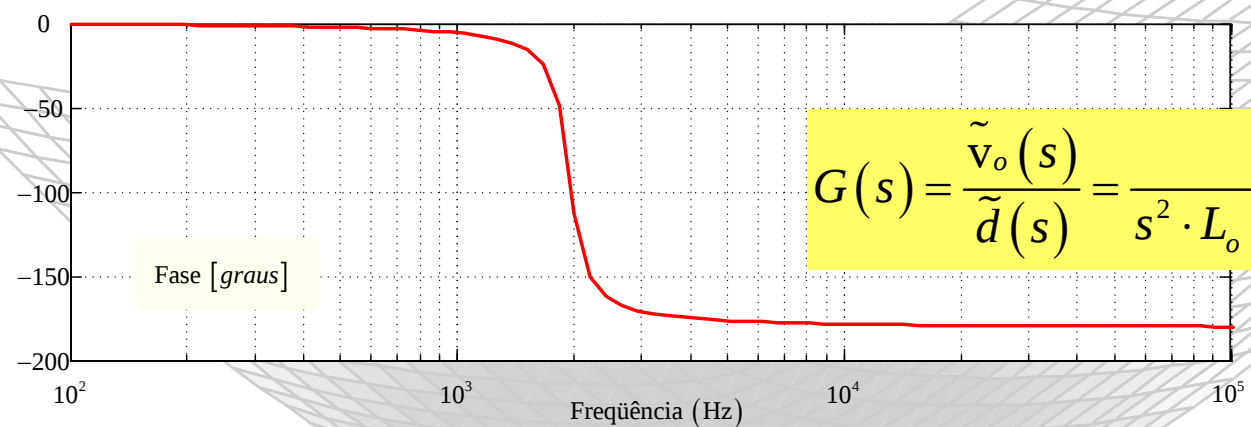
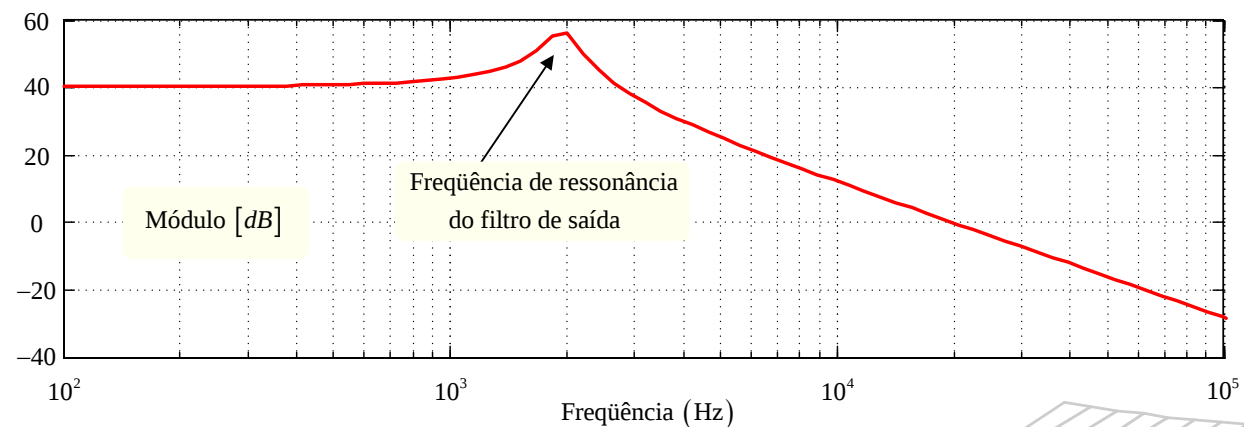
Estudo do Controle para o Condicionador Ideal

Modelo de Pequenos Sinais



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

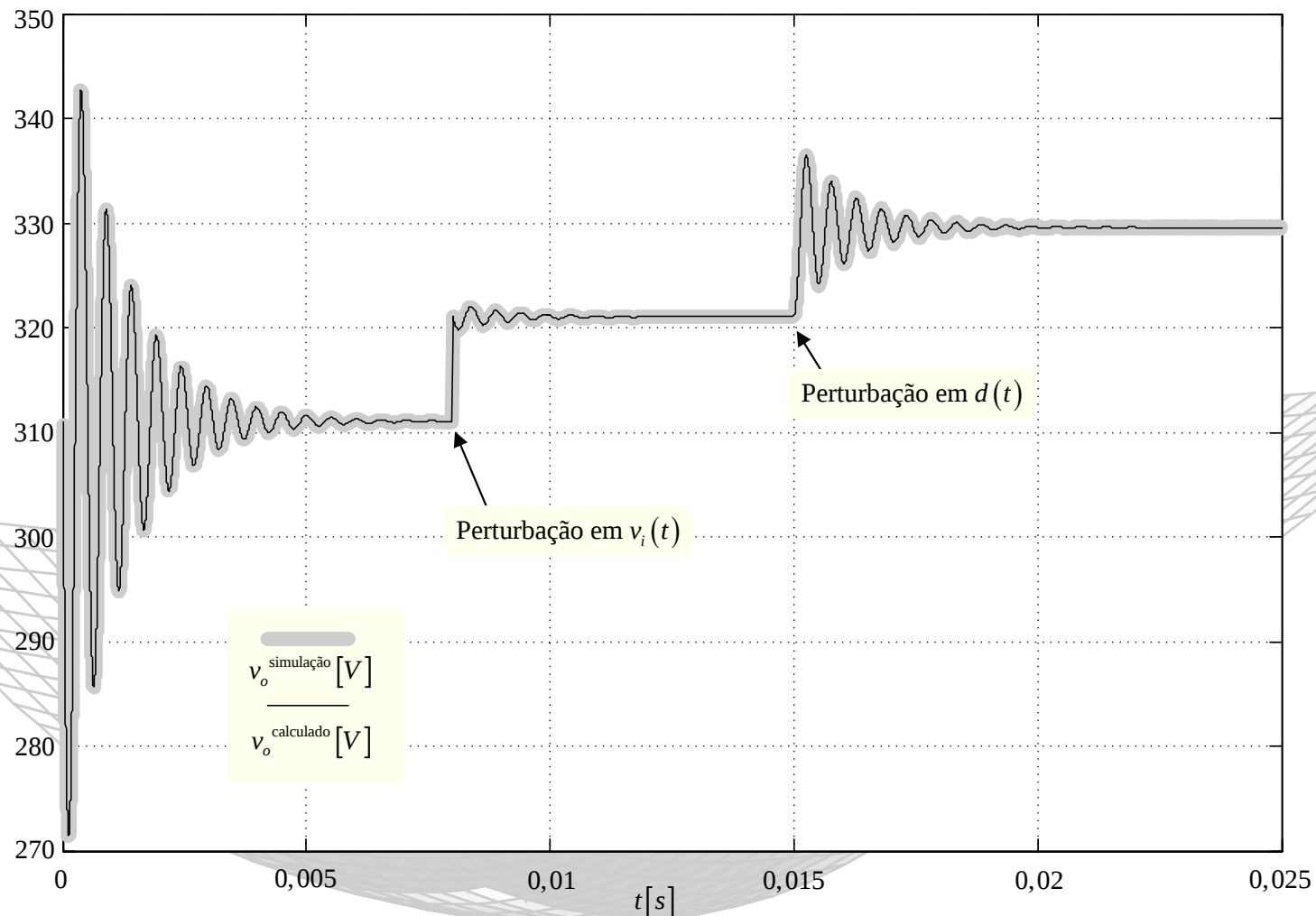
Estudo do Controle para o Condicionador Ideal



$$G(s) = \frac{\tilde{v}_o(s)}{\tilde{d}(s)} = \frac{R_o \cdot v_i(s) \cdot N_1}{s^2 \cdot L_o \cdot C_o \cdot R_o + s \cdot L_o + R_o \cdot N_1^2}$$

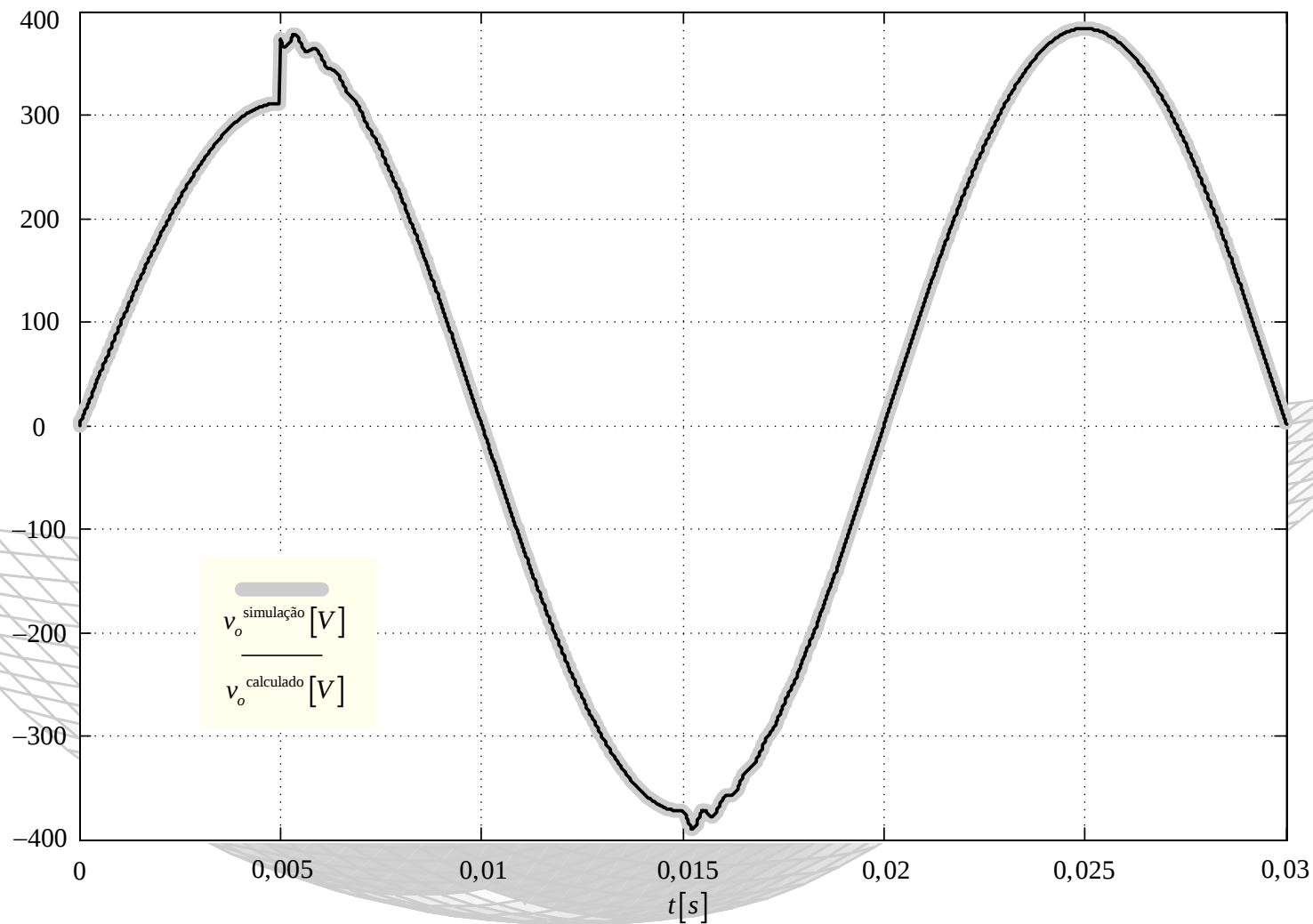
Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Ideal



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

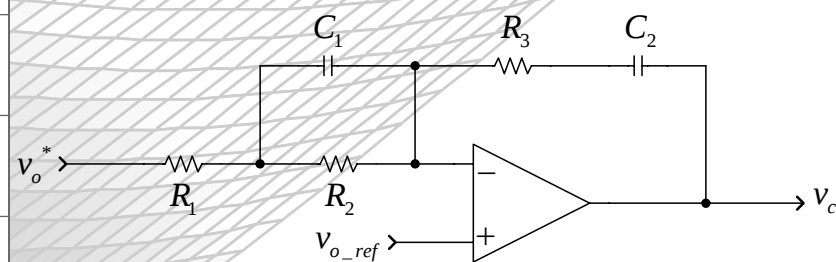
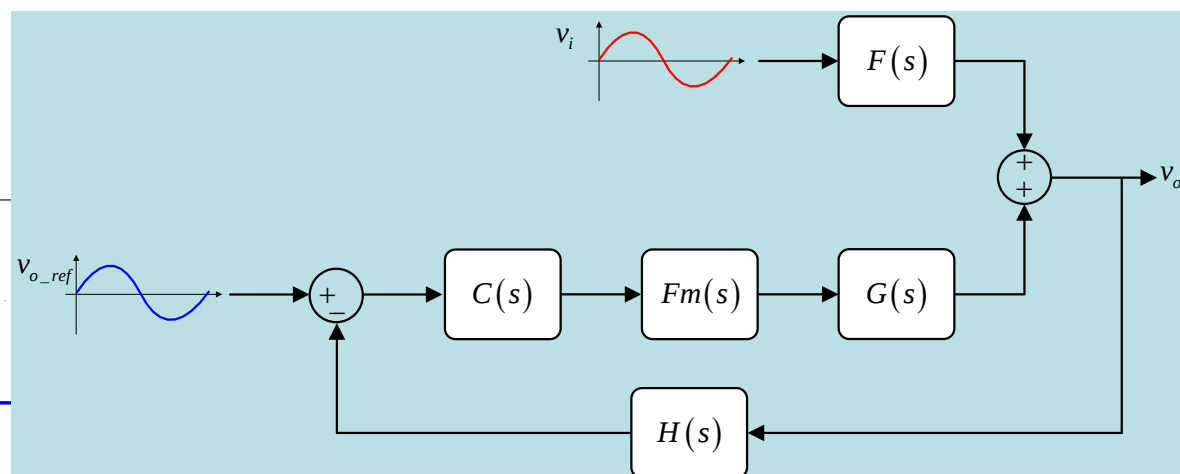
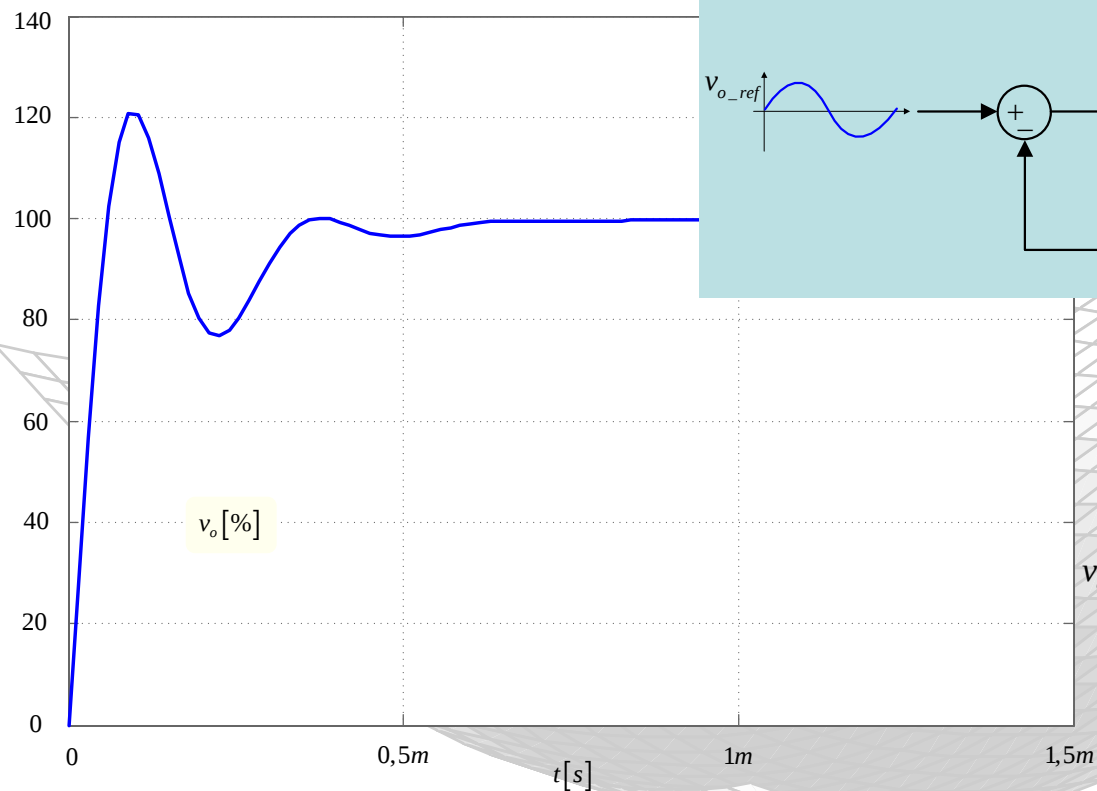
Estudo do Controle para o Condicionador Ideal



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Ideal

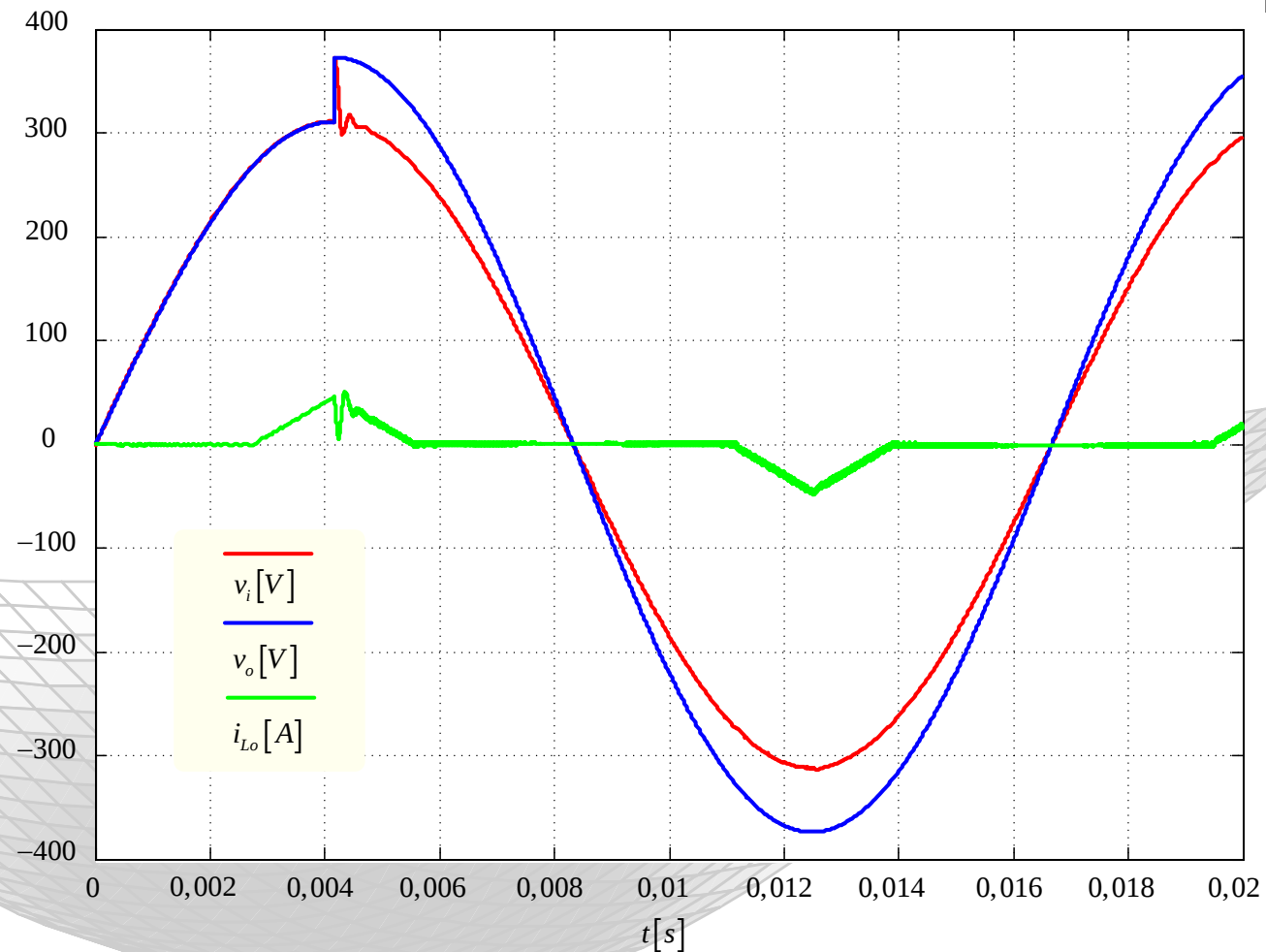
Resposta ao Degrau da FTMF(s)



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Ideal

Simulação

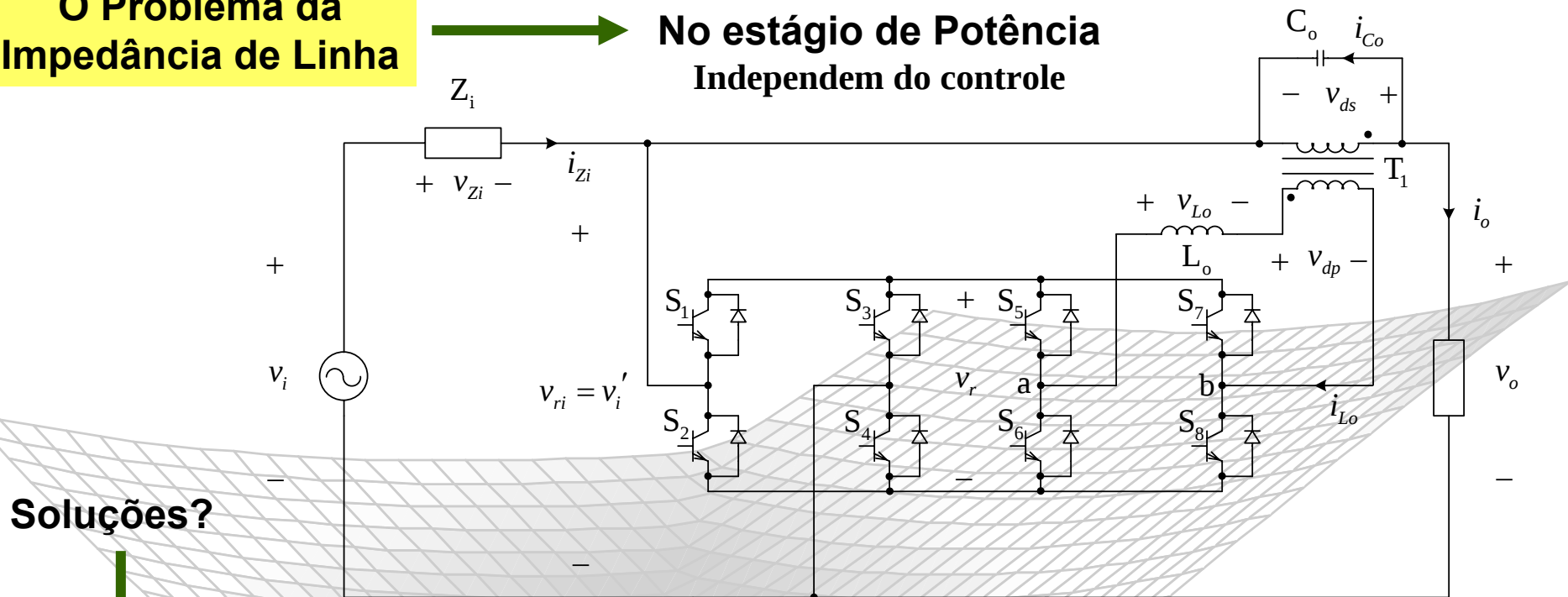


Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real

O Problema da
Impedância de Linha

→ No estágio de Potência
Independem do controle



Soluções?

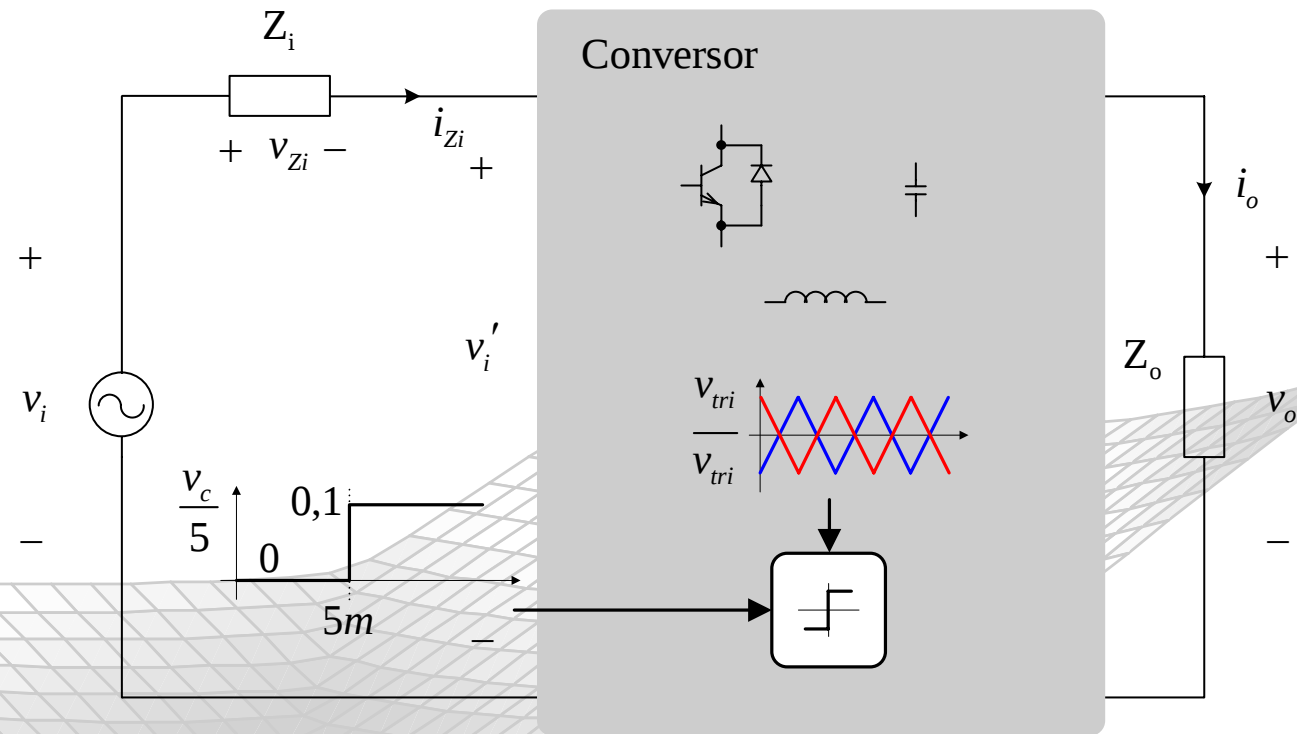
- Capacitor na saída;
- Capacitor no barramento;
- Filtro de entrada.

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real

Entendimento Físico
do Zero na $G(s)$

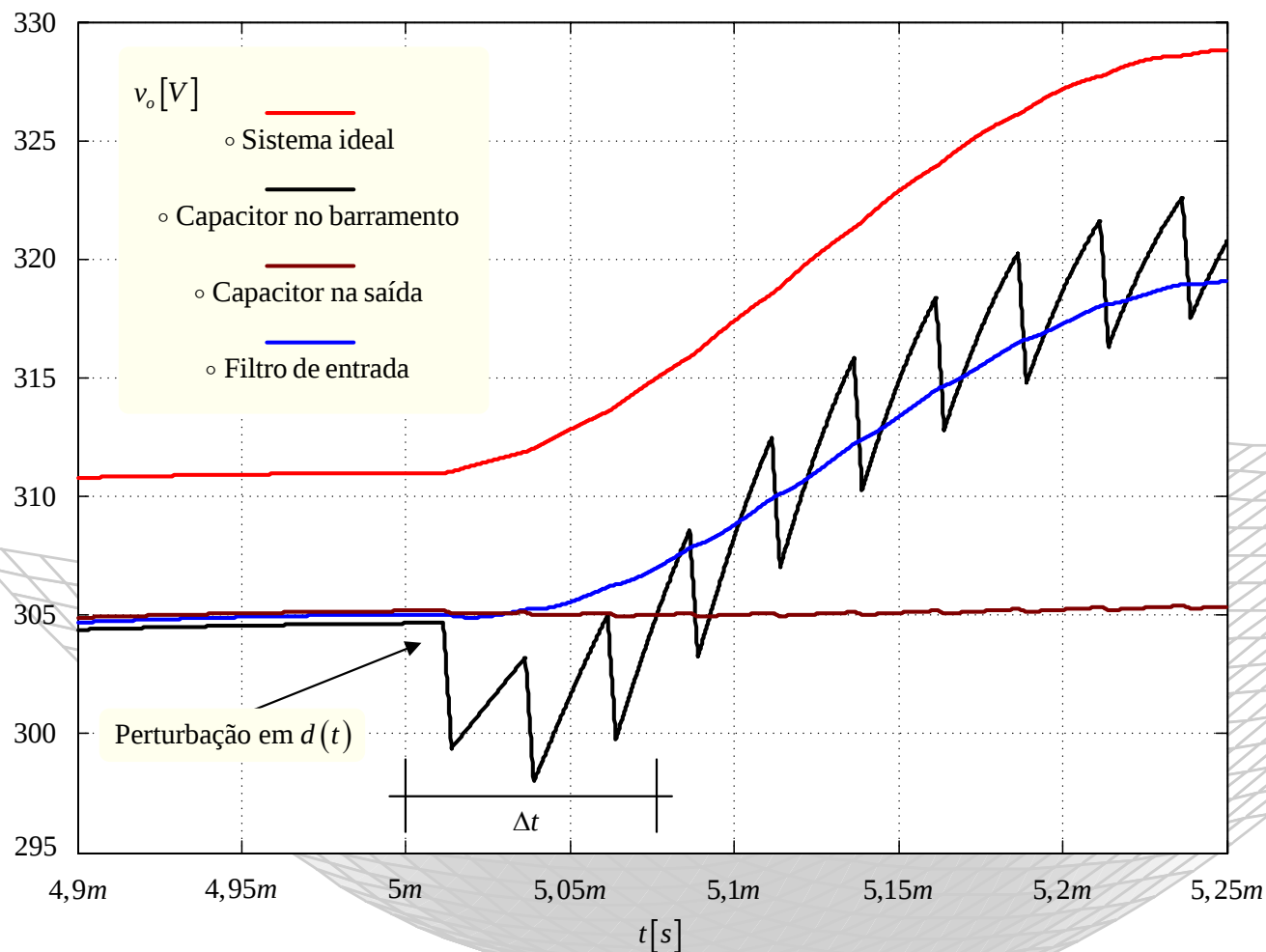
Zero no lado
direito no plano
complexo



$$G(s) = \frac{\tilde{v}_o(s)}{\tilde{d}(s)} = \frac{v_i(s)}{N_1} \cdot \frac{R_o \cdot N_1^2 - Z_i(s) \cdot \left(s^2 \cdot L_o \cdot C_o \cdot \left(\frac{N_1 + d(s)}{N_1} \right) + s \cdot C_o \cdot R_o \cdot N_1 \cdot d(s) + (N_1 + d(s))^2 \right)}{s^2 \cdot L_o \cdot C_o \cdot R_o + s \cdot L_o + R_o \cdot N_1^2 + Z_i(s) \cdot \left(s^2 \cdot L_o \cdot C_o + s \cdot C_o \cdot R_o \cdot d(s)^2 + (N_1 + d(s))^2 \right)}$$

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real



**Entendimento Físico
do Zero na $G(s)$**

Melhor solução?



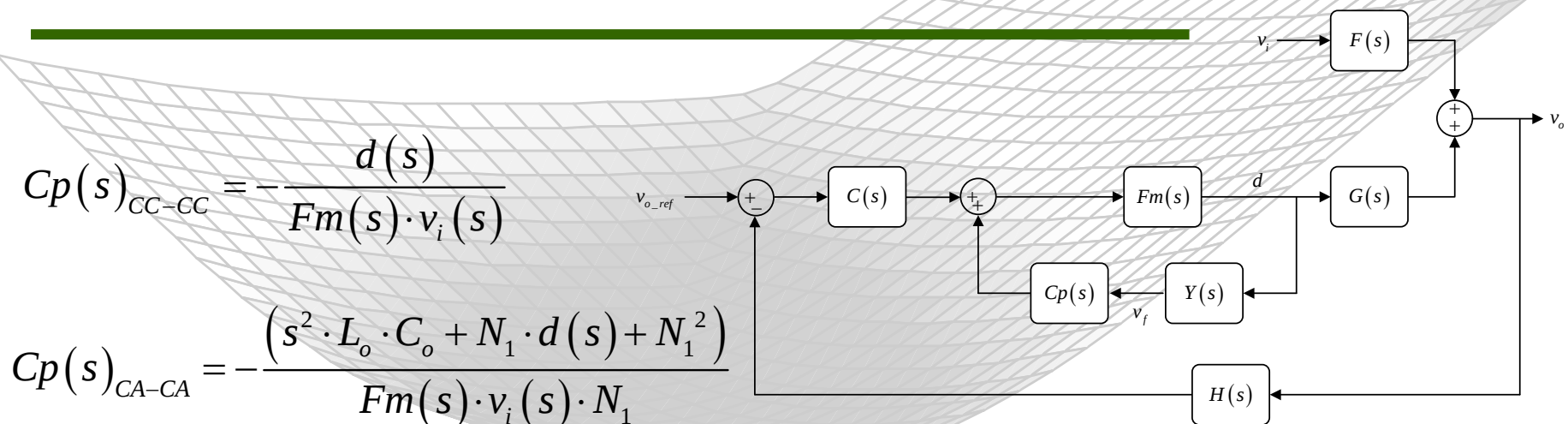
Filtro de entrada

Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real

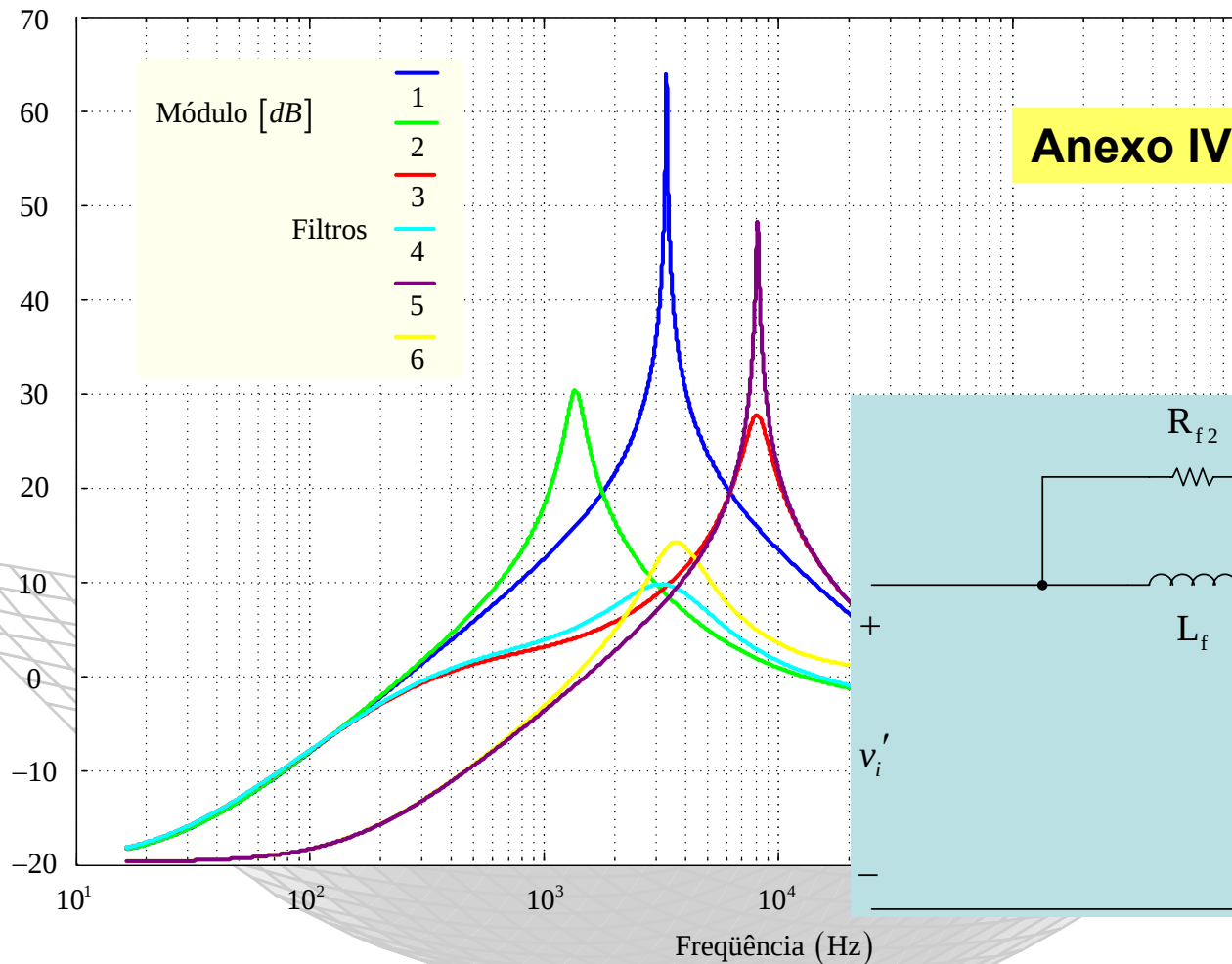
Algumas soluções da literatura

- Filtros de entrada em conversores CC-CC;
- Pré-alimentação para o conversor Buck CC-CC;
- Eliminação do zero em conversores Boost CC-CC;
- Interação entre filtro e pré-reguladores de fator de potência;

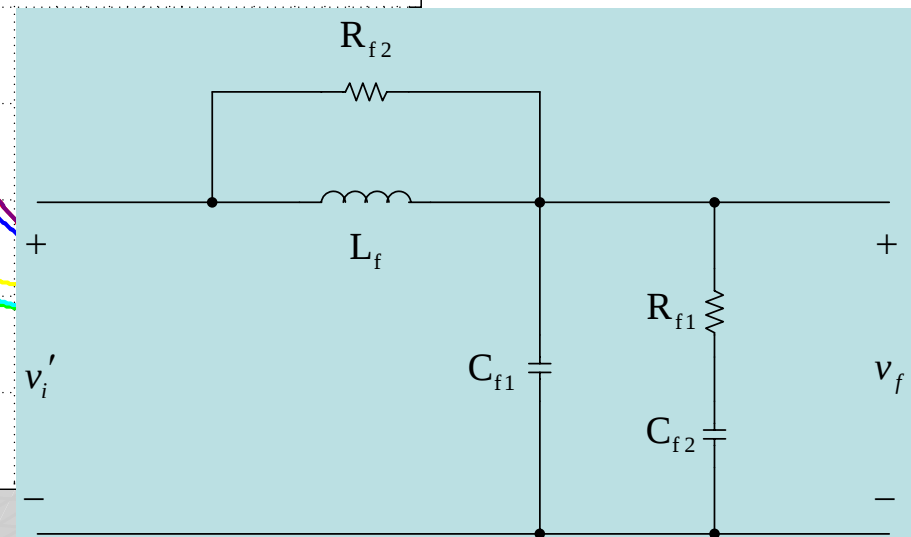


Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real



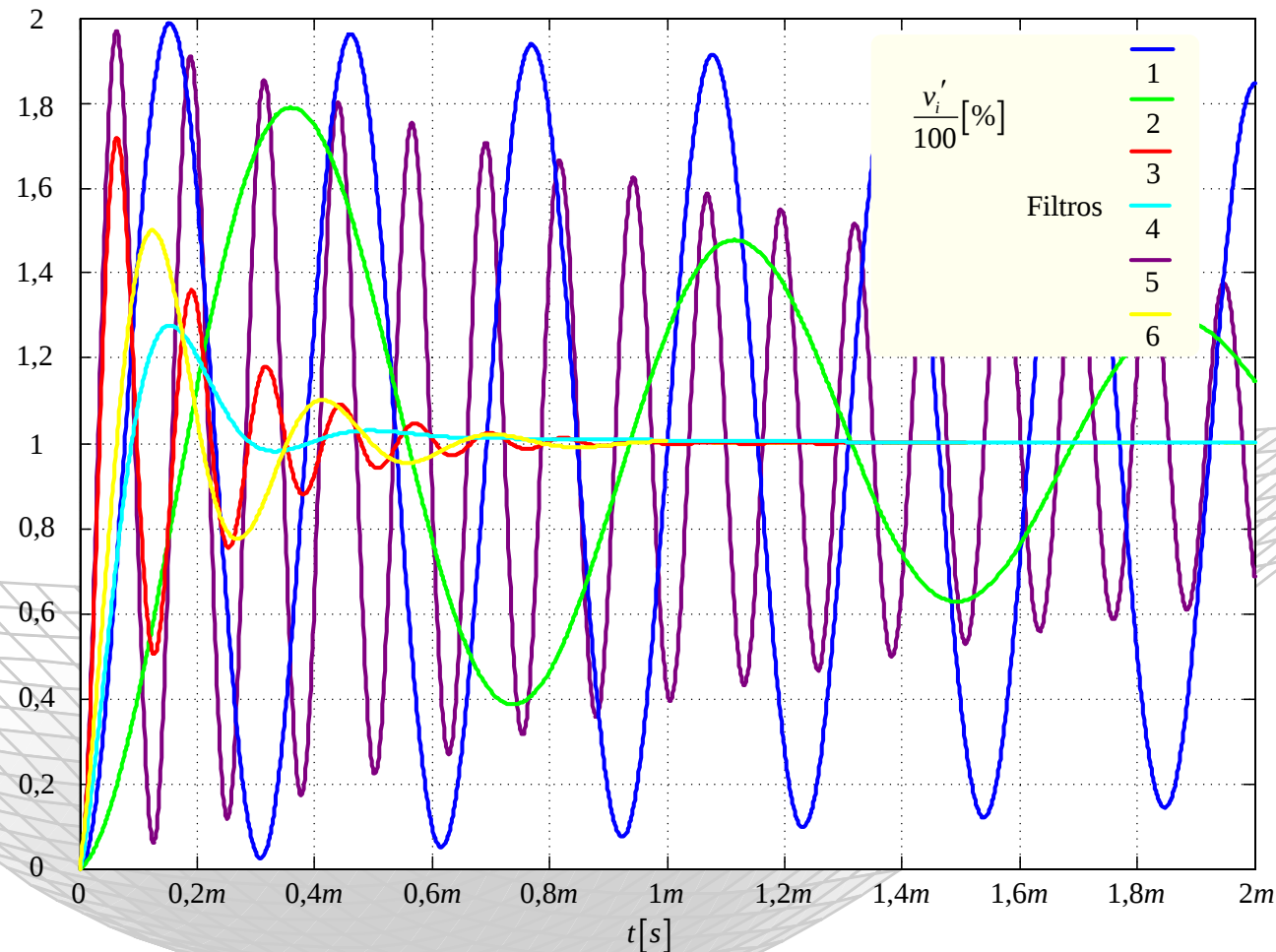
Anexo IV – Filtros de Entrada



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real

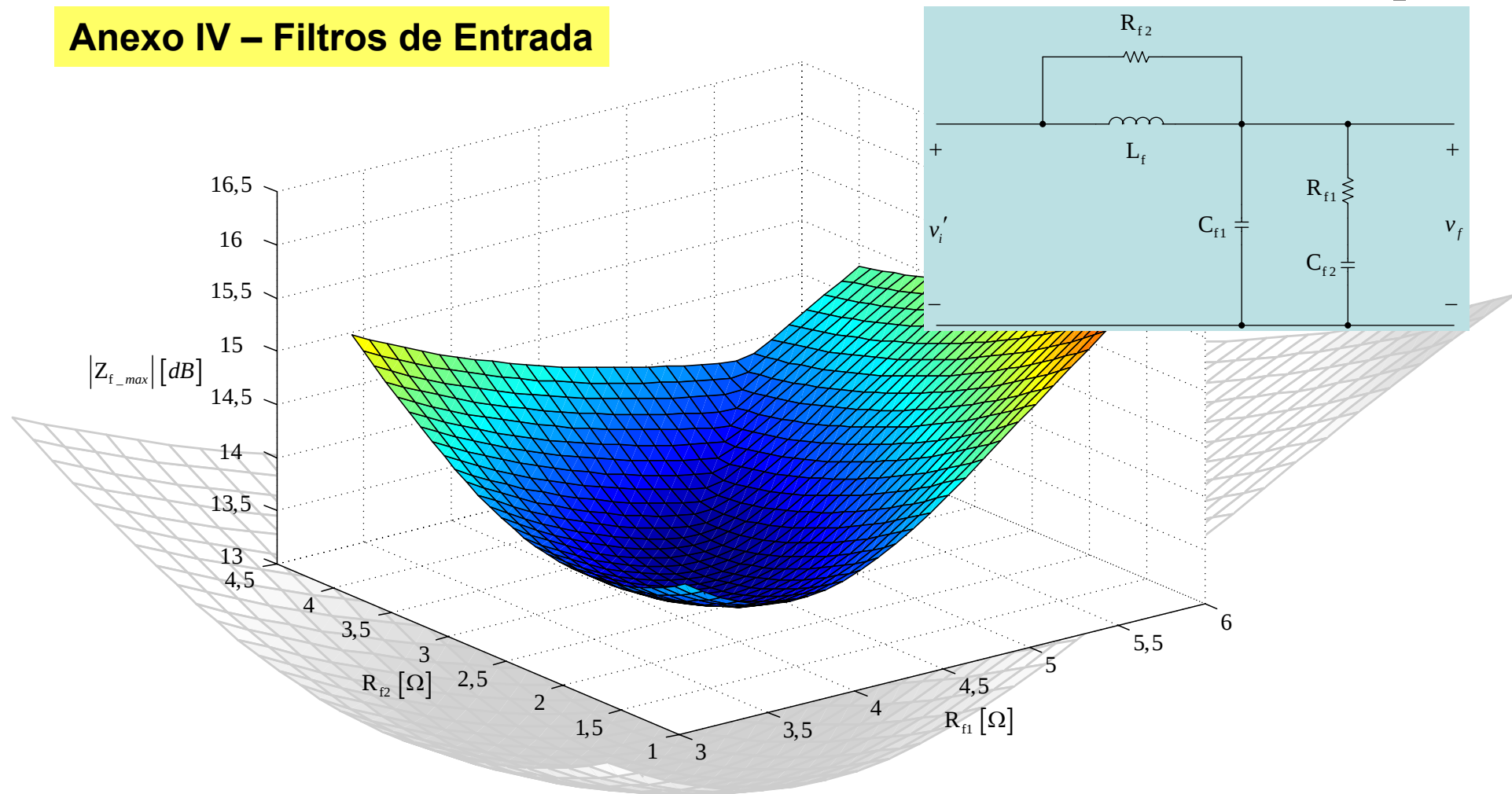
Anexo IV Filtros de Entrada



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real

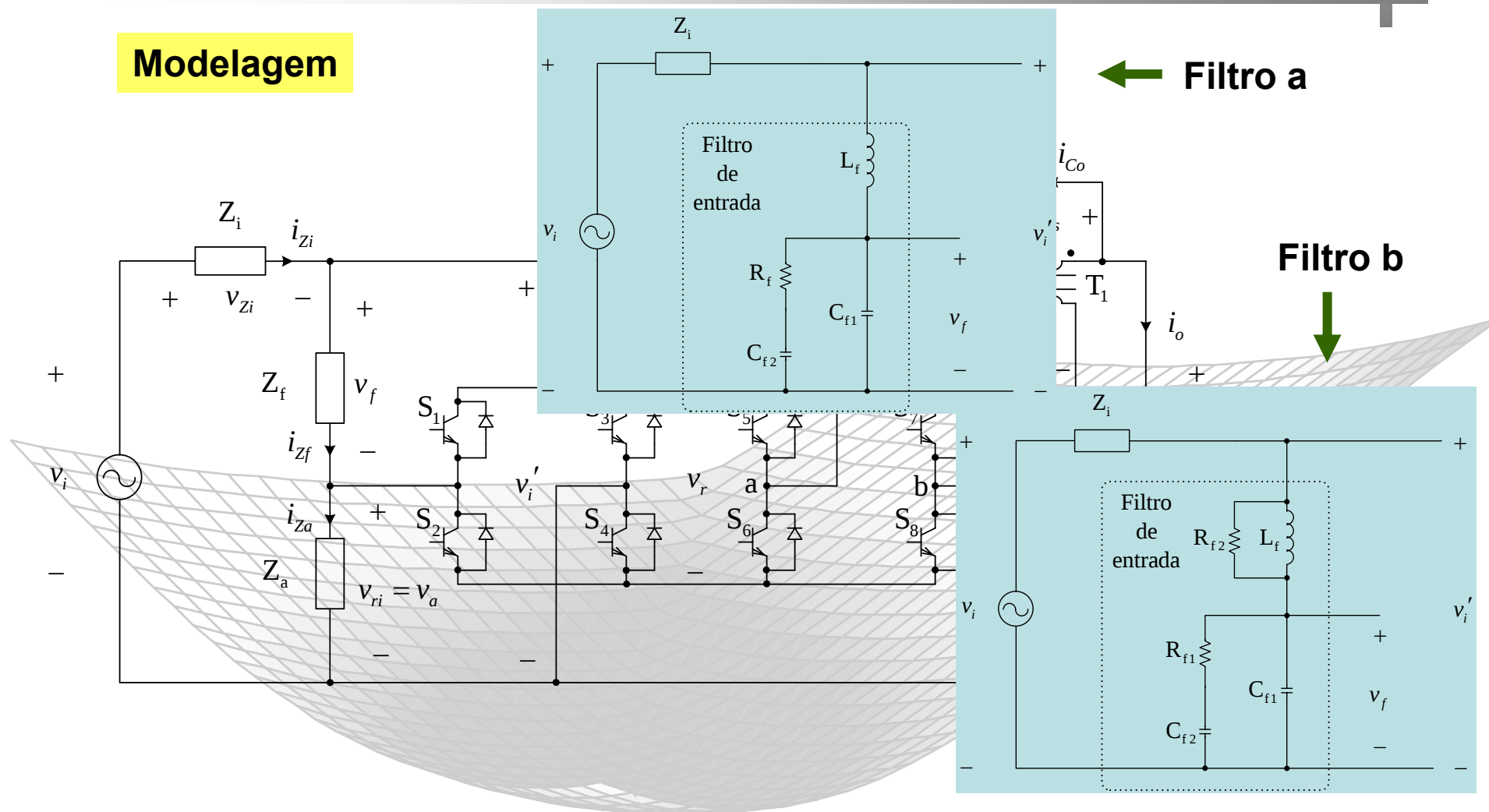
Anexo IV – Filtros de Entrada



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real com Filtro

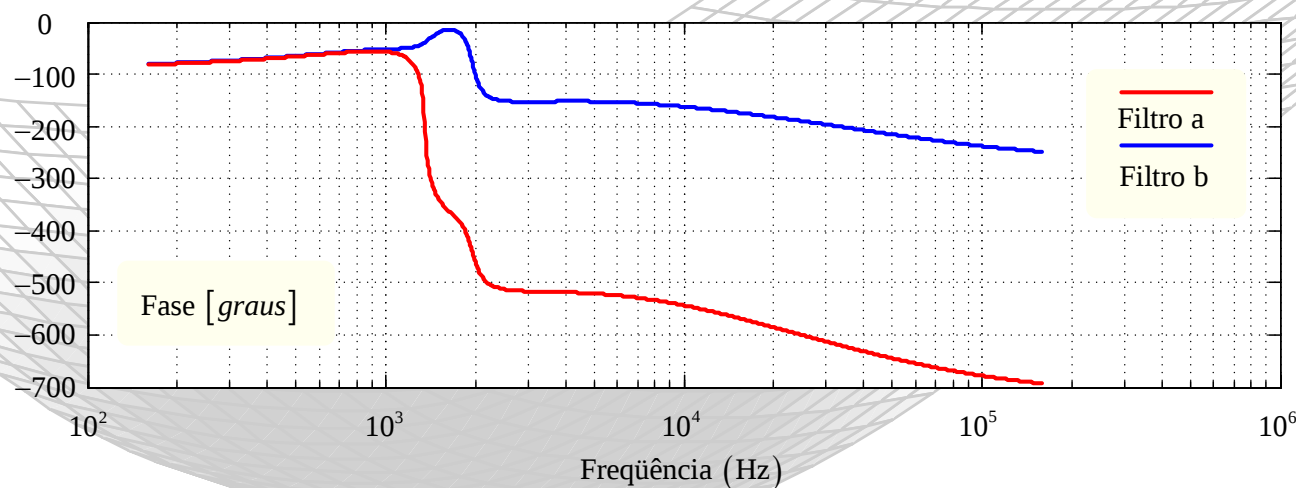
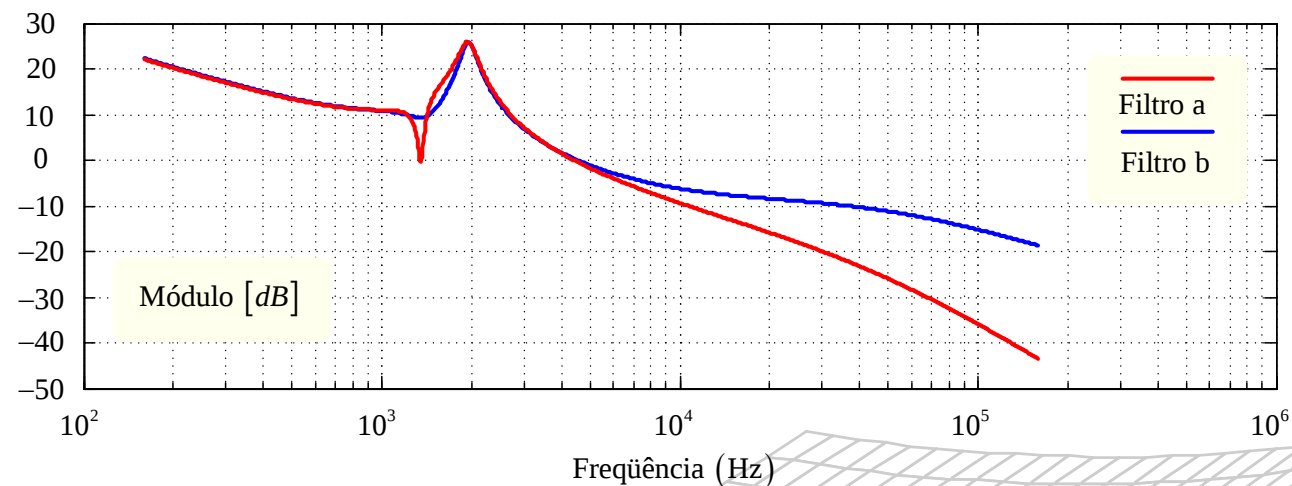
Modelagem



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

Estudo do Controle para o Condicionador Real com Filtro

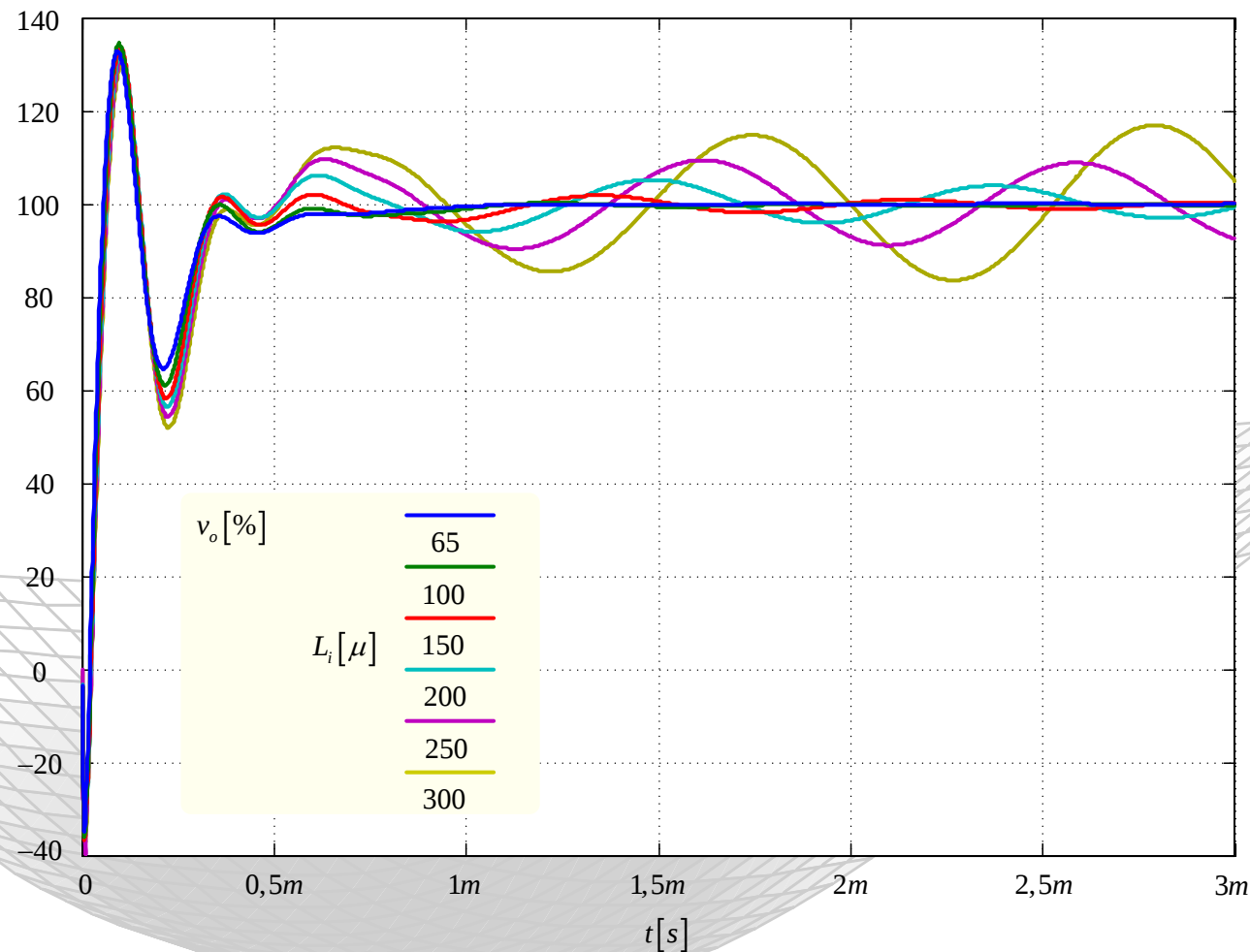
FTLA(s)



Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

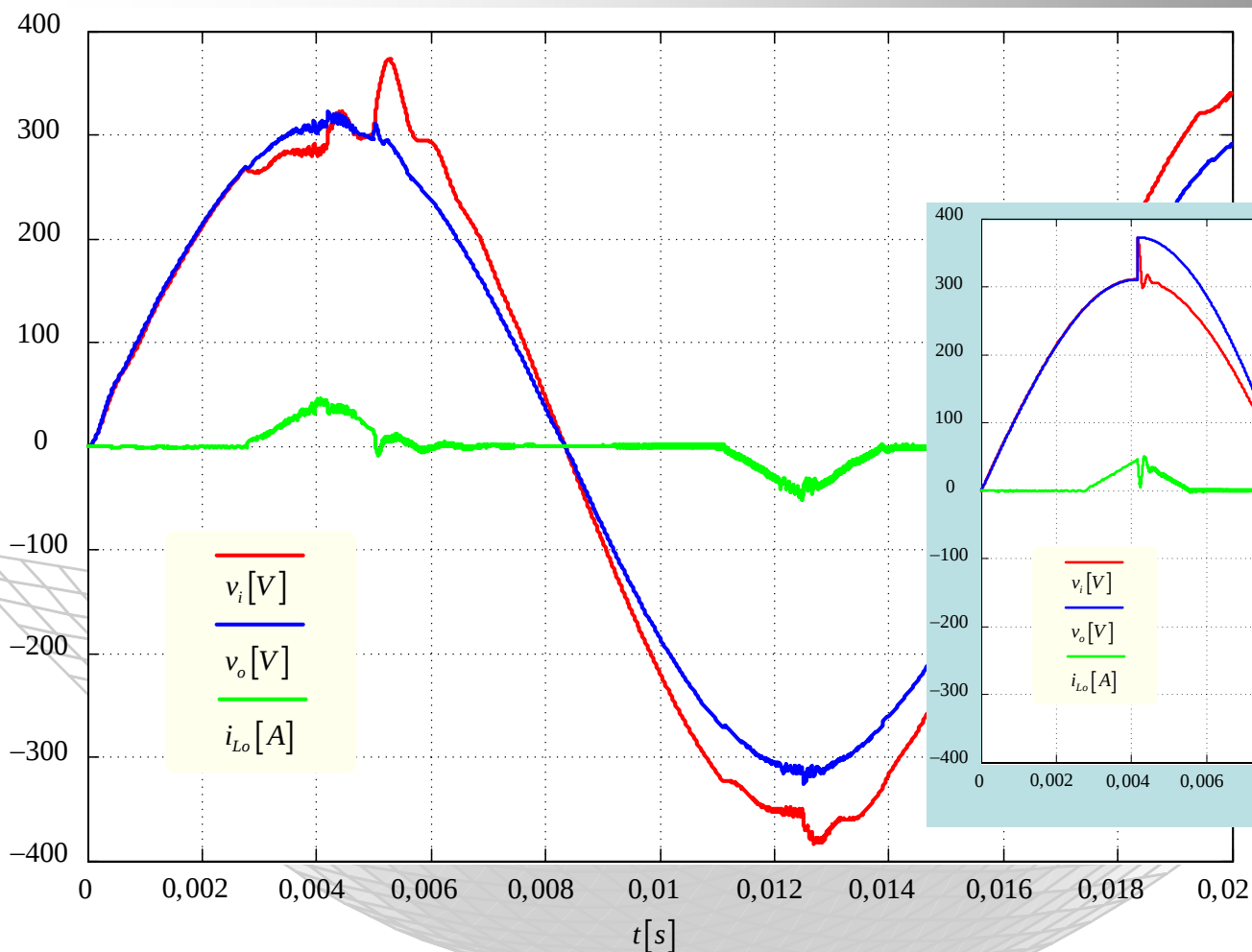
Estudo do Controle para o Condicionador Real com Filtro

FTMF(s)

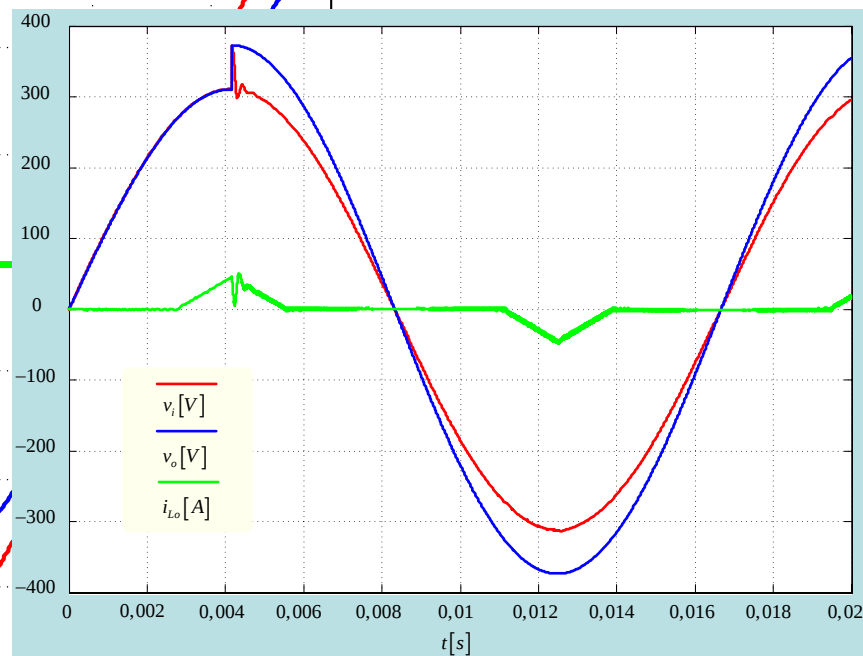


Condicionador de Tensão Alternada - Estudo do Estágio de Controle

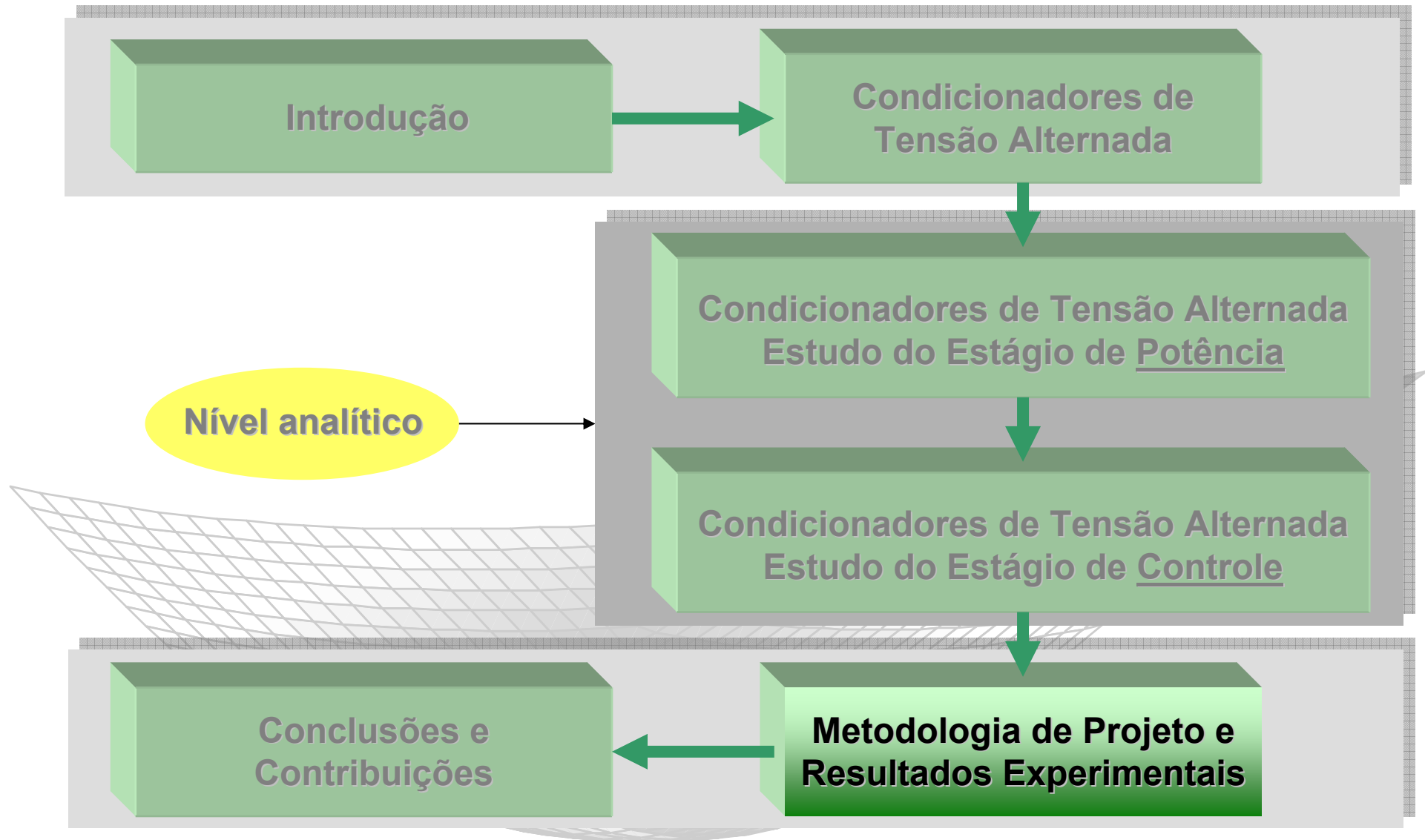
Estudo do Controle para o Condicionador Real com Filtro



Simulações



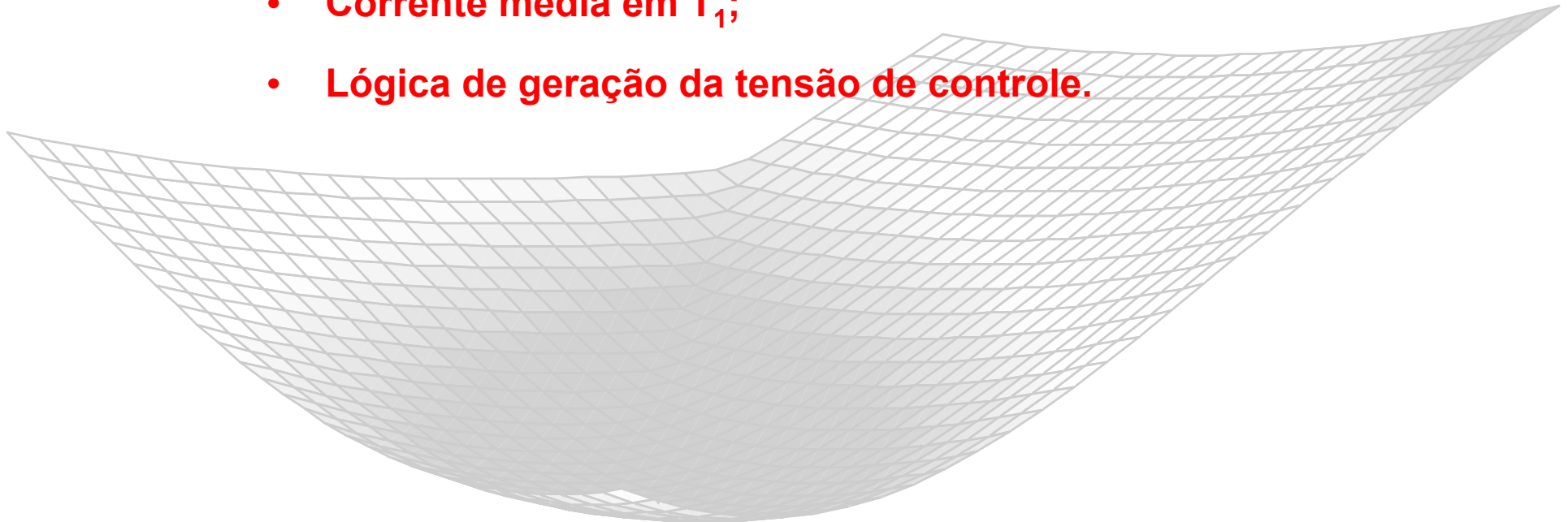
Parte 5/6



Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

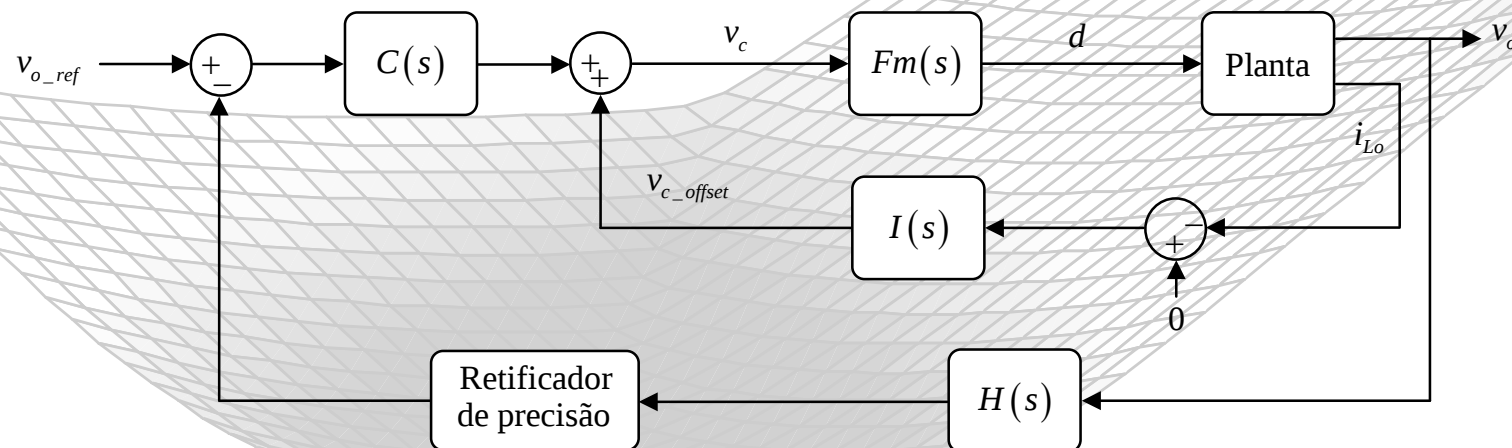
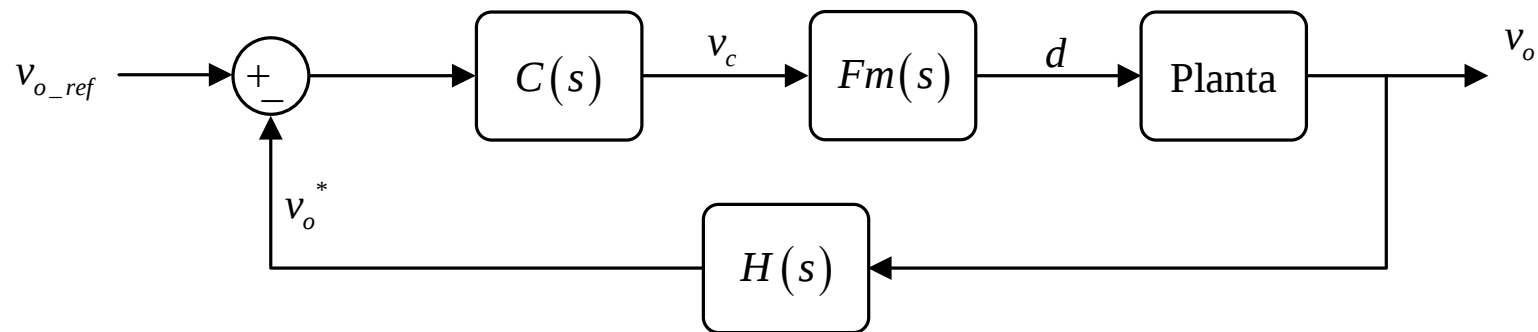
Metodologia de Projeto

1. Projeto do Estágio de Potência
2. Projeto dos Circuitos de Comando e Controle
 -
 - Corrente média em T_1 ;
 - Lógica de geração da tensão de controle.



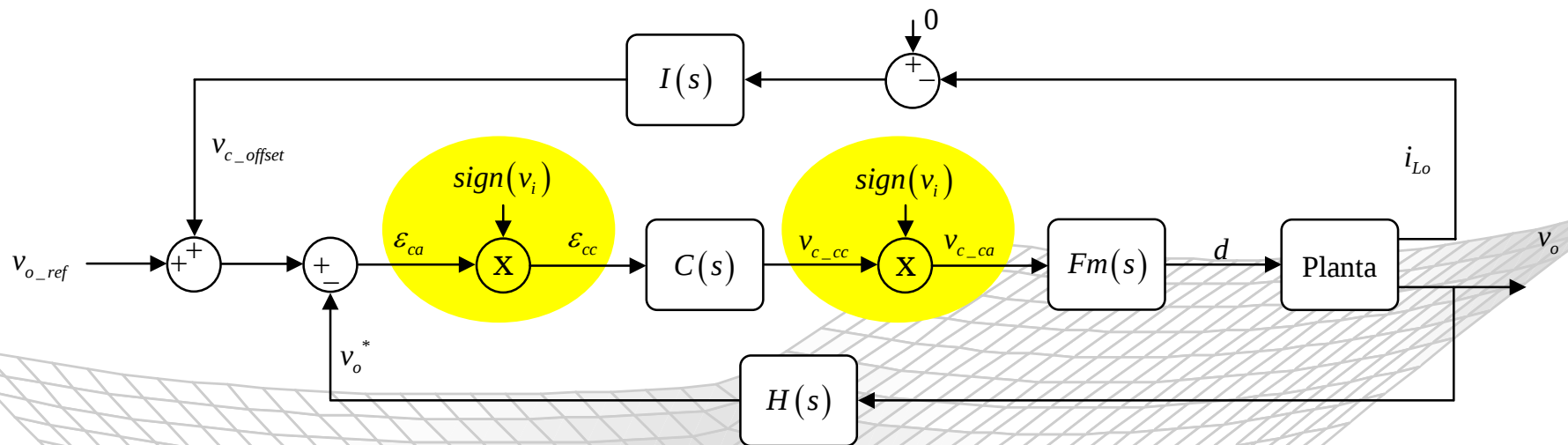
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Metodologia de Projeto – Valor Médio no Primário de T1



Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

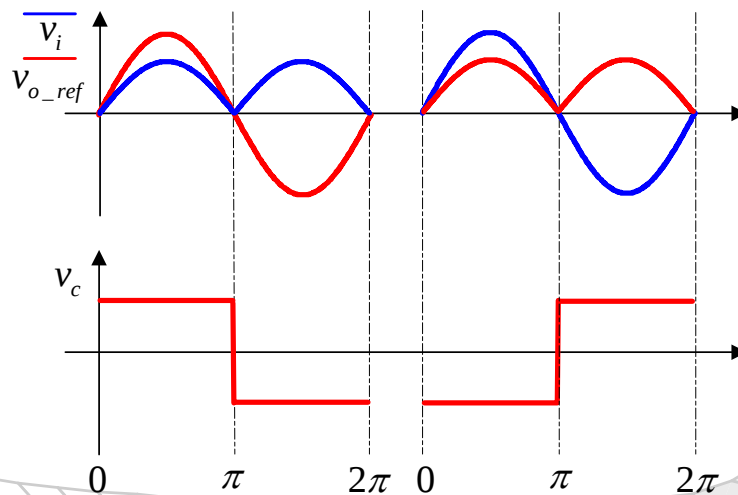
Metodologia de Projeto – Valor Médio no Primário de T1



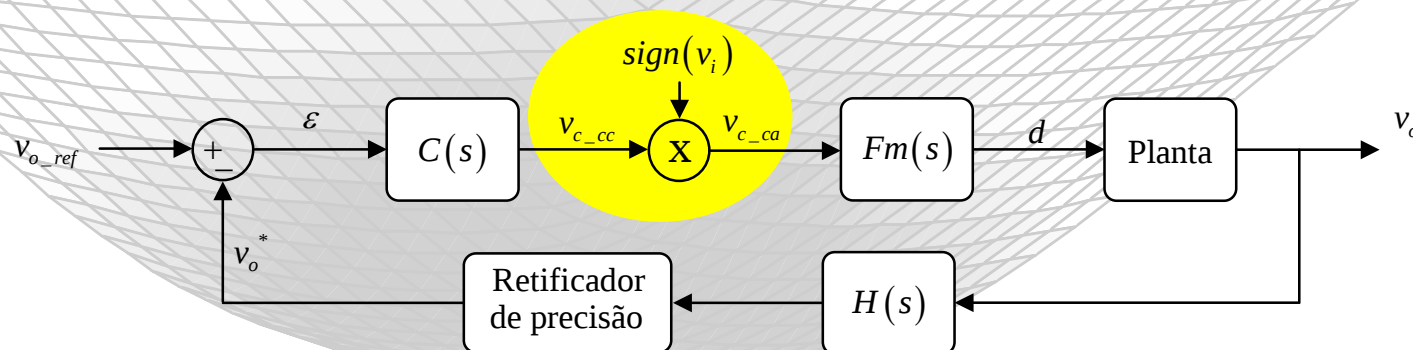
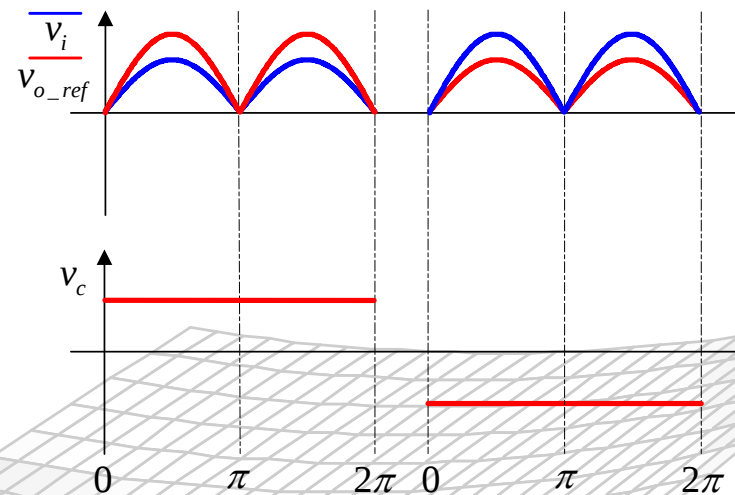
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Metodologia de Projeto – Lógica de Geração da Tensão de Controle

Referência senoidal

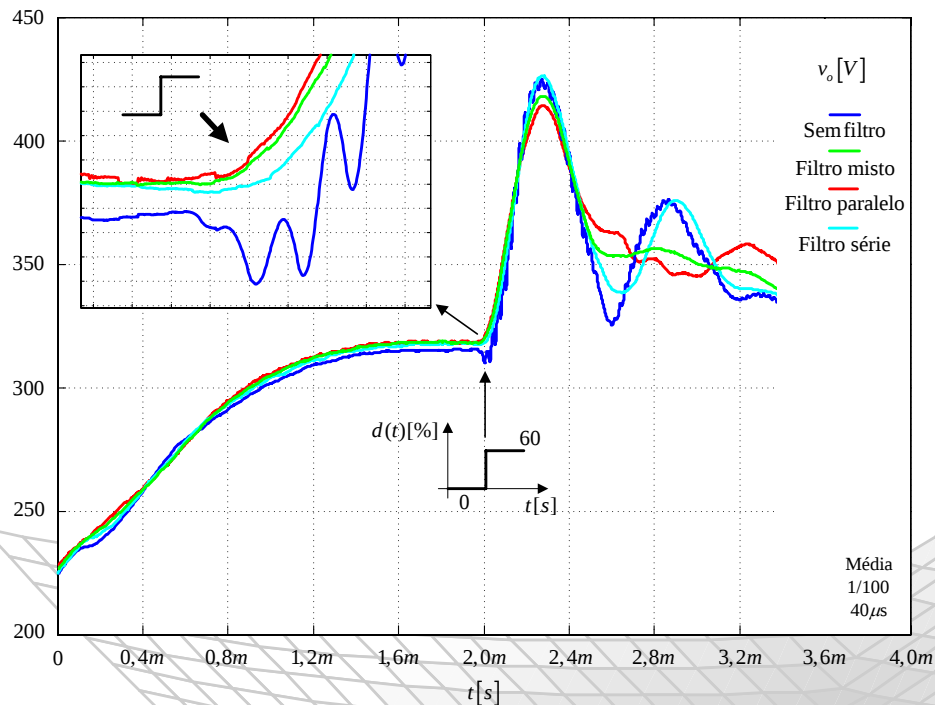


Referência senoidal retificada



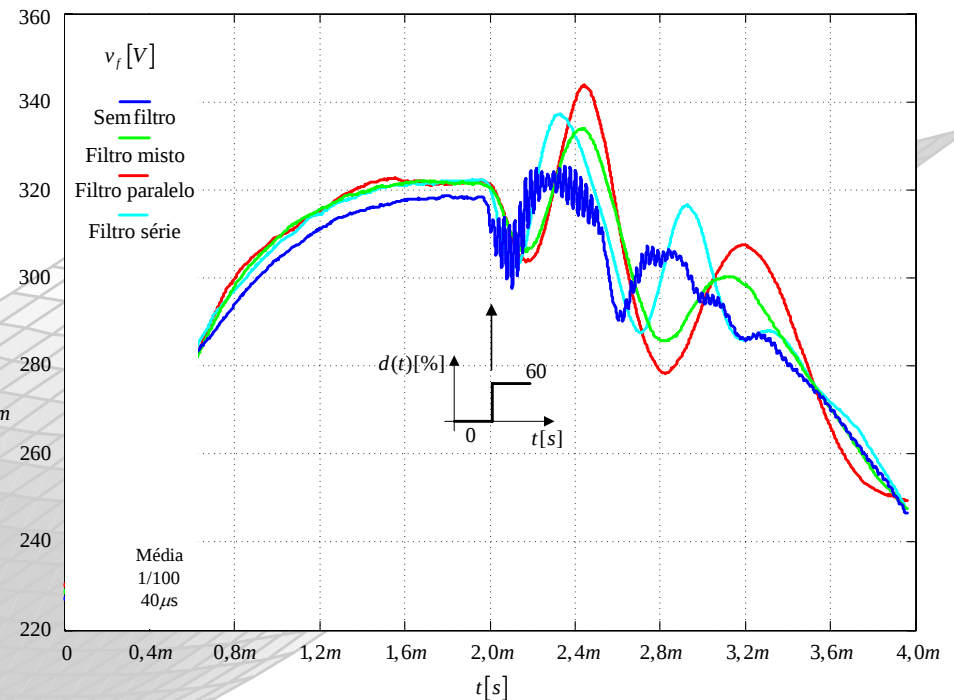
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Teste dos Filtros de Entrada



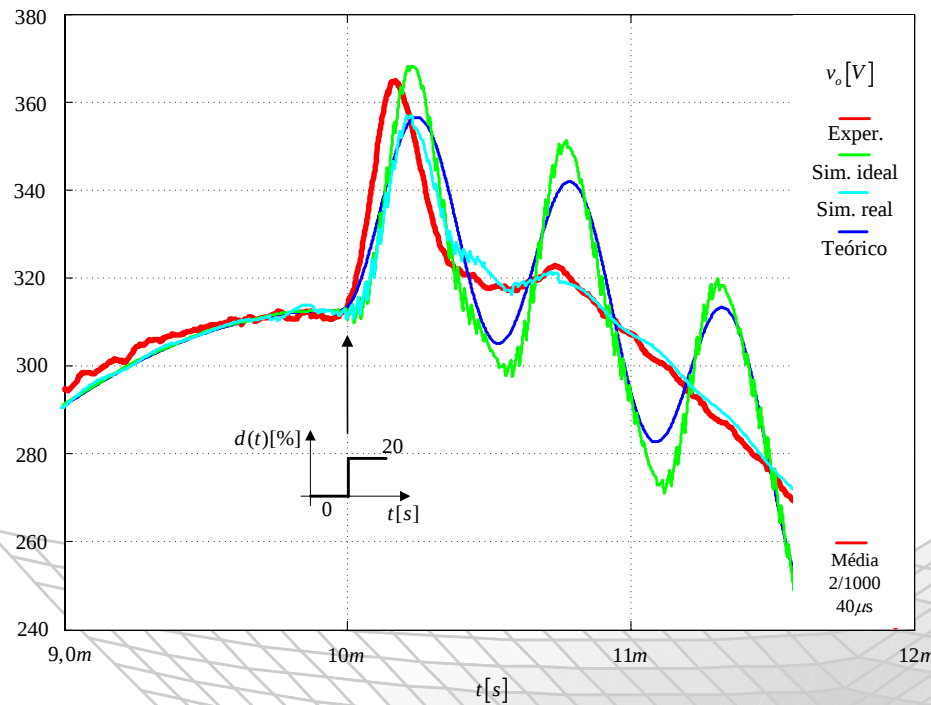
Tensão na saída do conversor

Tensão de entrada do retificador



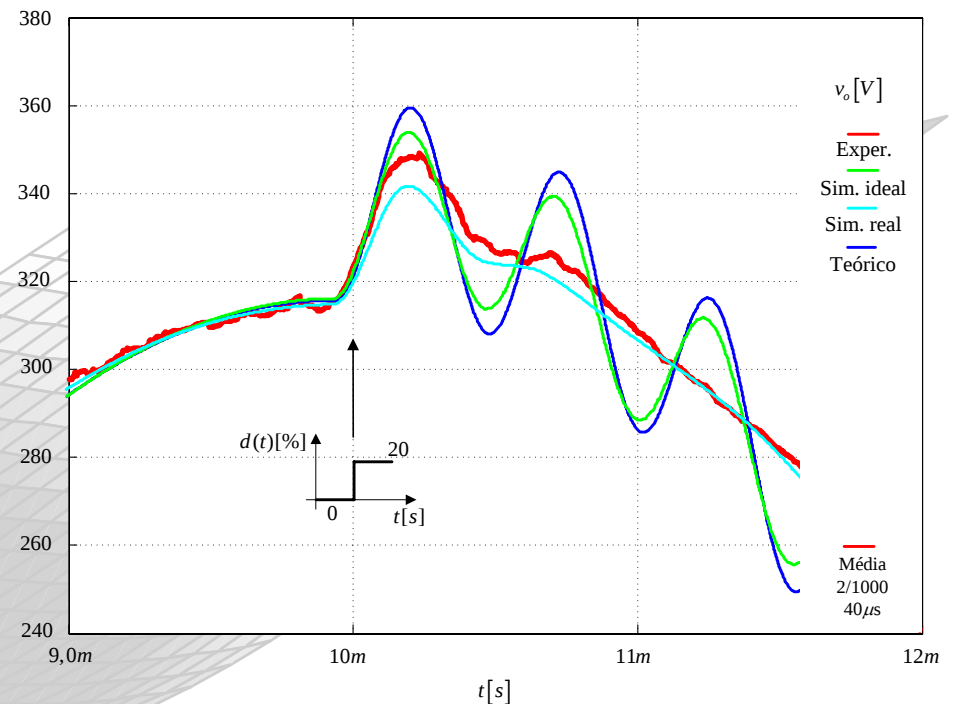
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Teste dos Filtros de Entrada



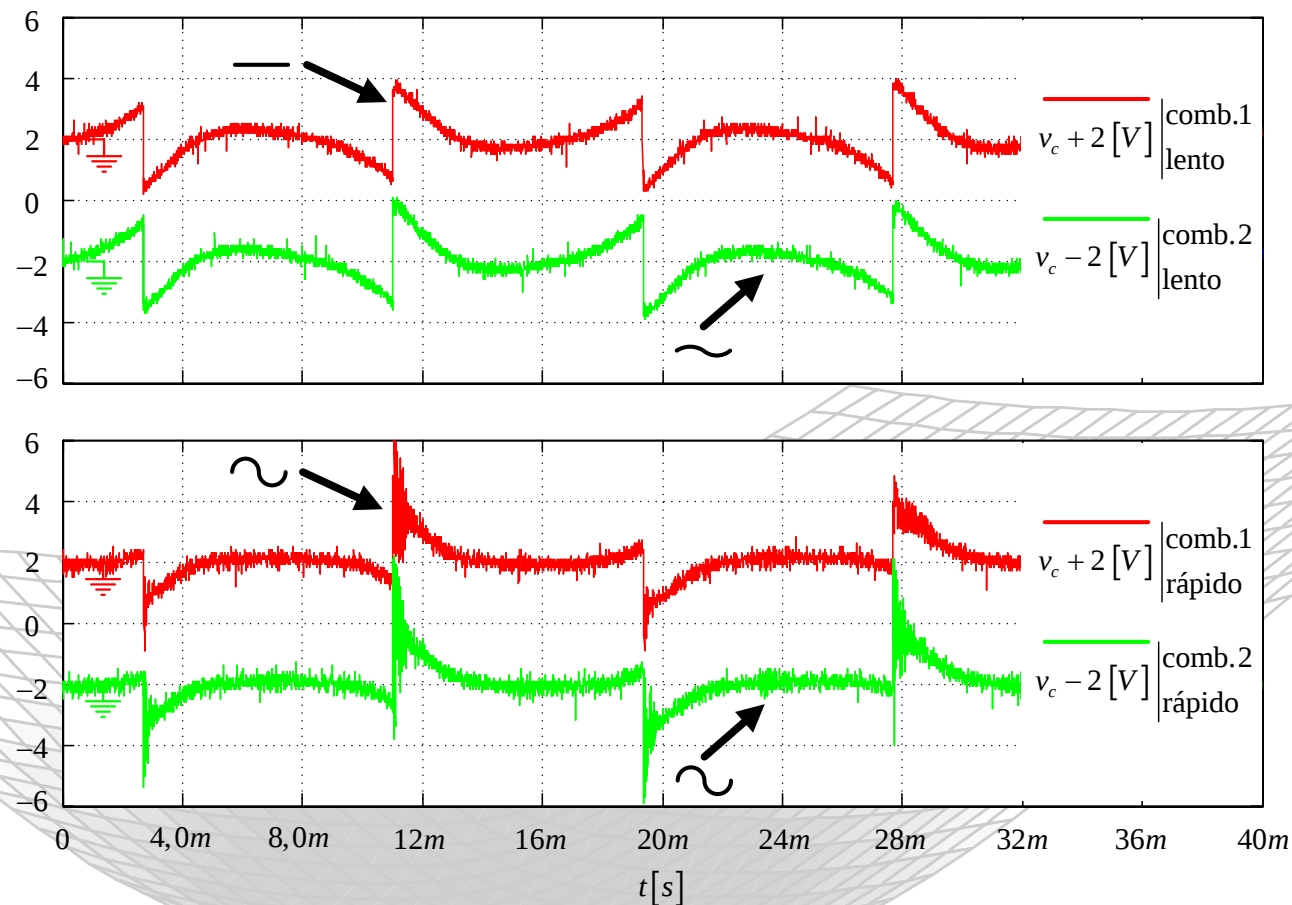
Conversor Sem filtro

Conversor Com filtro



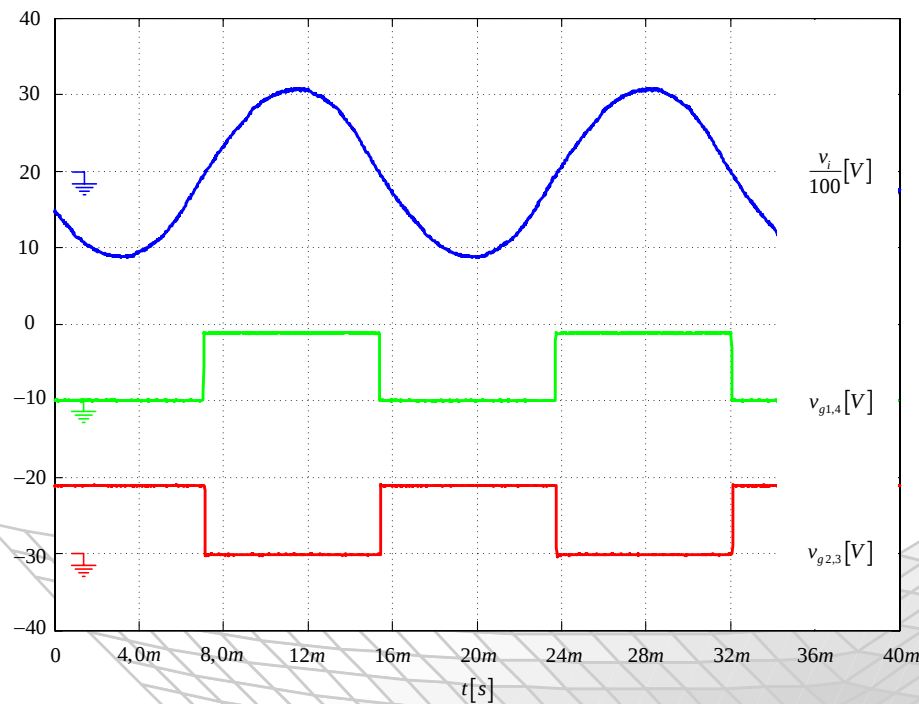
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Verificação da Estabilidade



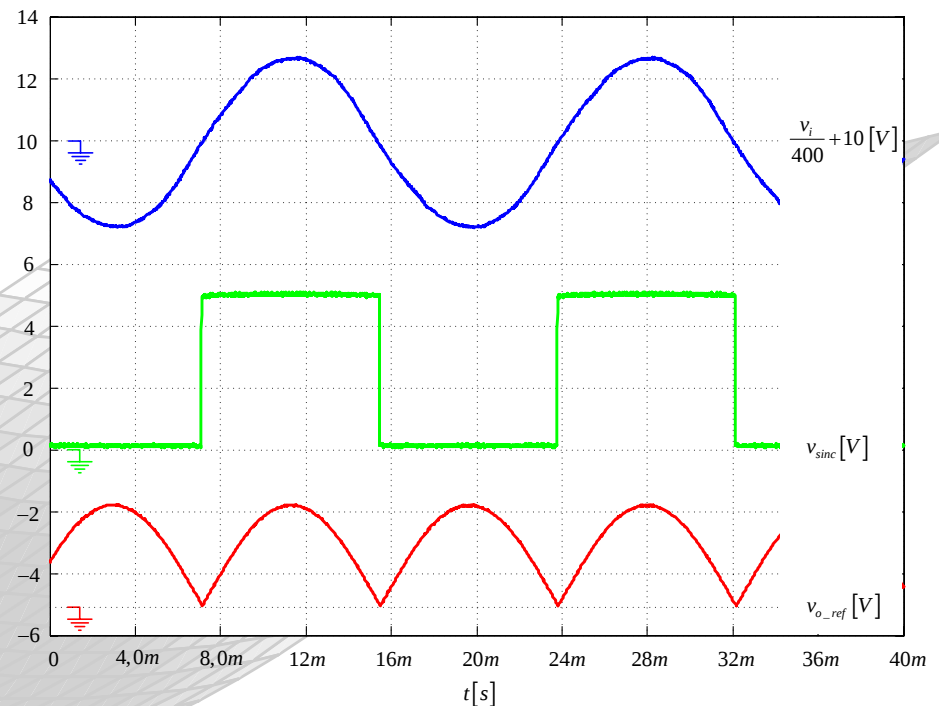
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Comando e Controle



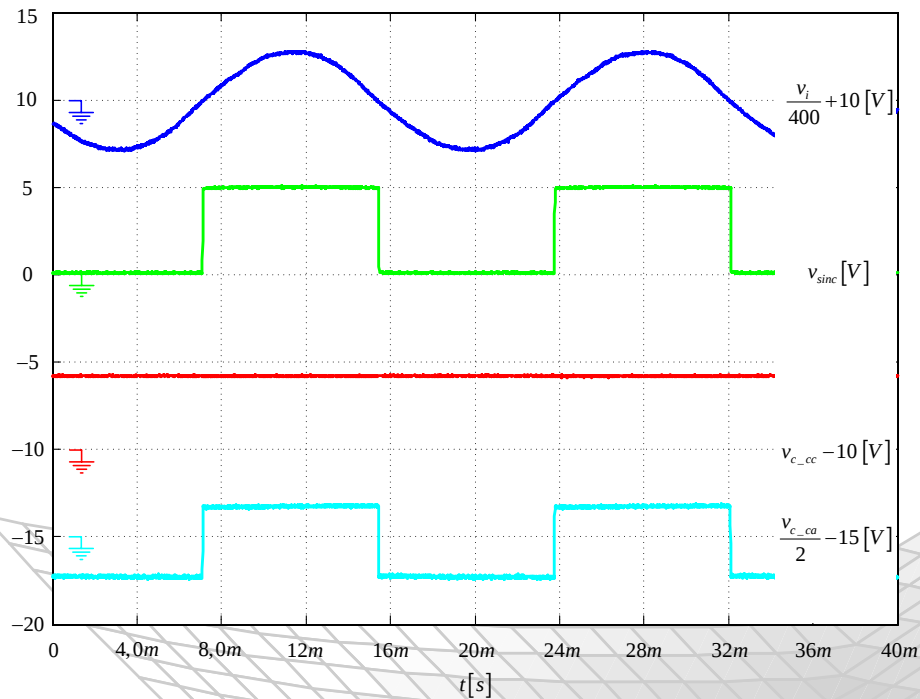
Comando do retificador

Sincronismo e referência



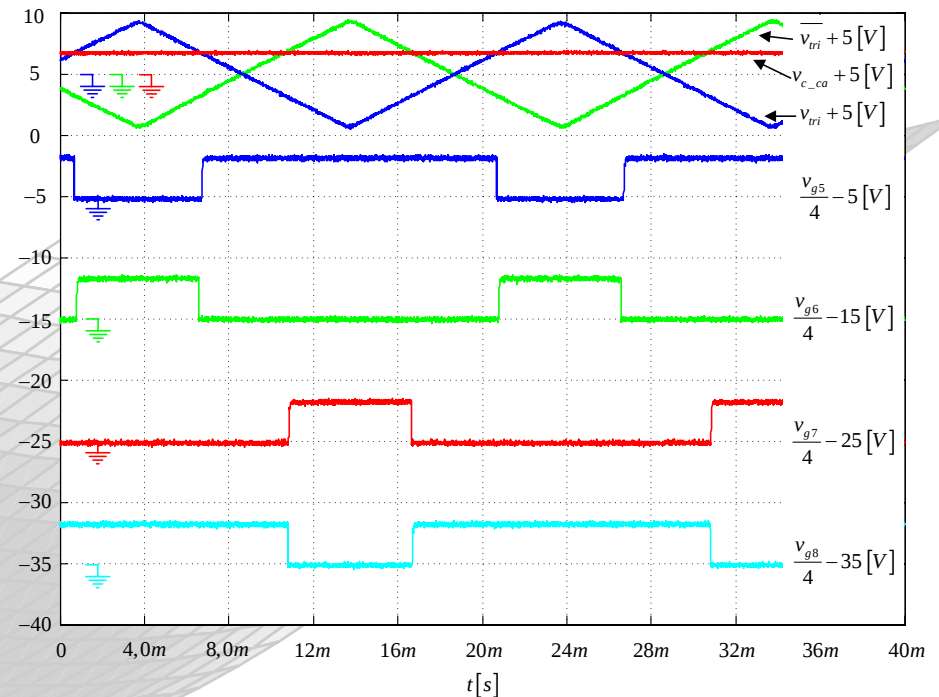
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Comando e Controle



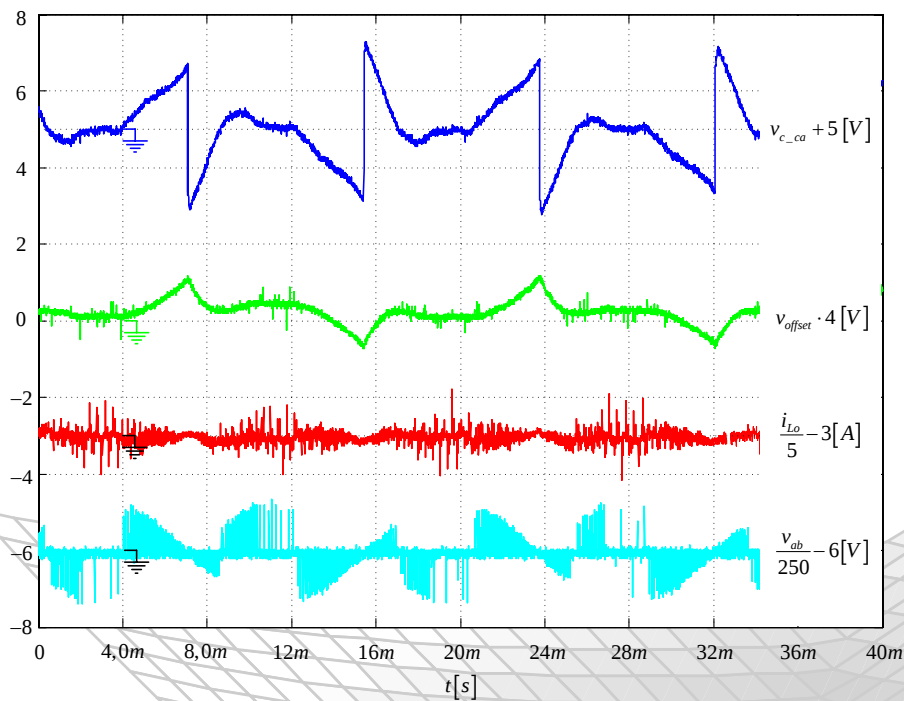
Sincronismo e controle

Comando do inversor



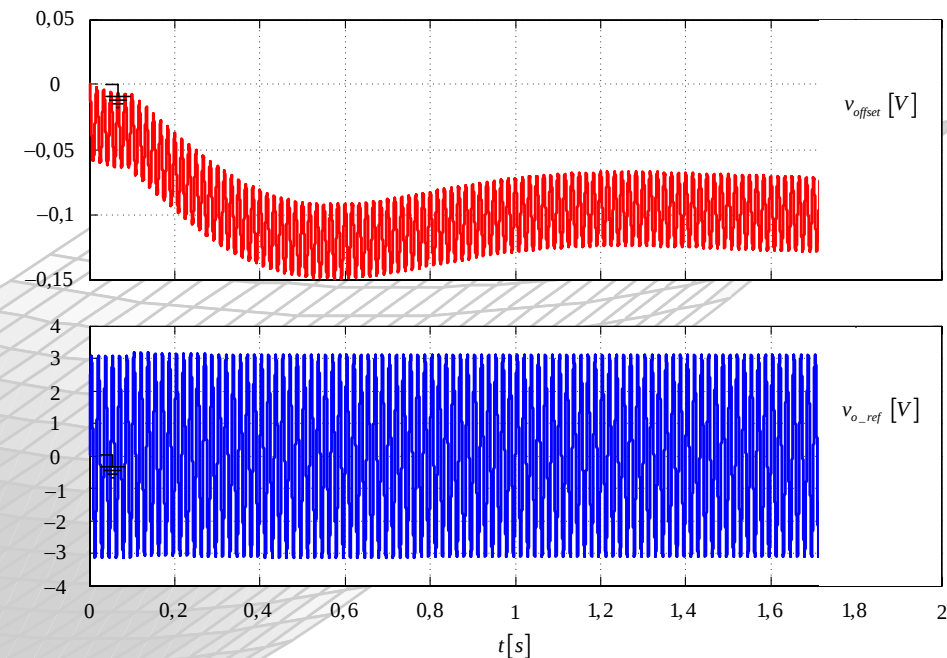
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Comando e Controle



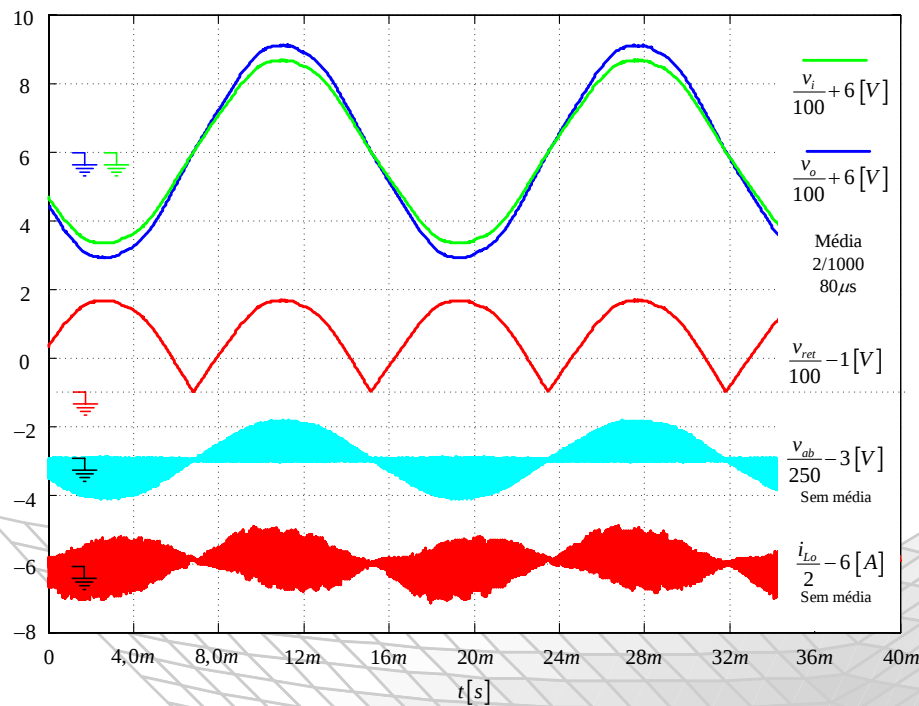
**Malha de compensação
de valor médio**

**Simulação de compensação de
valor médio somado na referência**



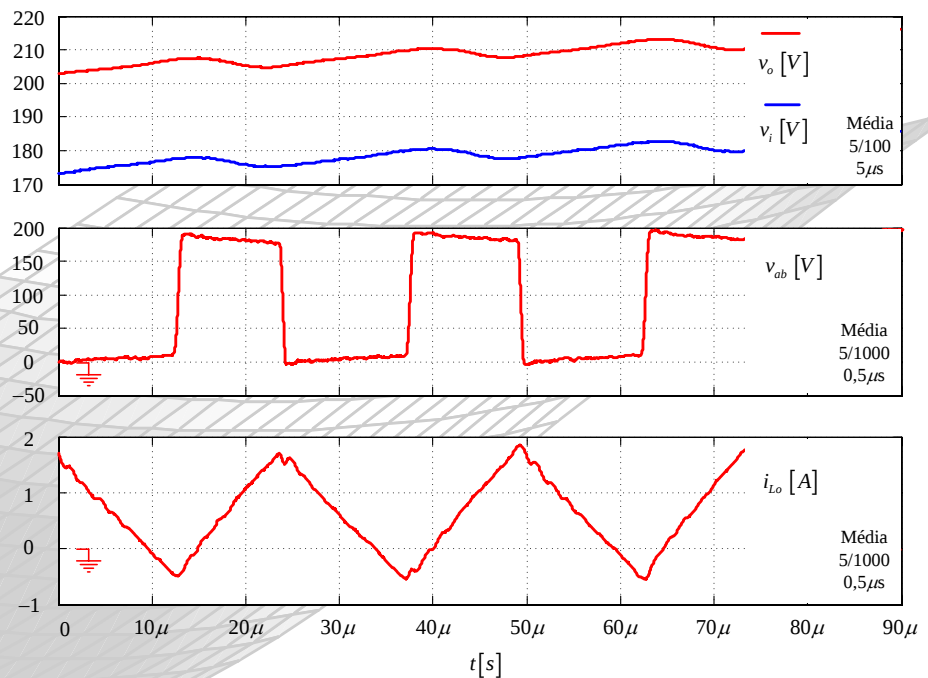
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Ondulação de Corrente e Tensão



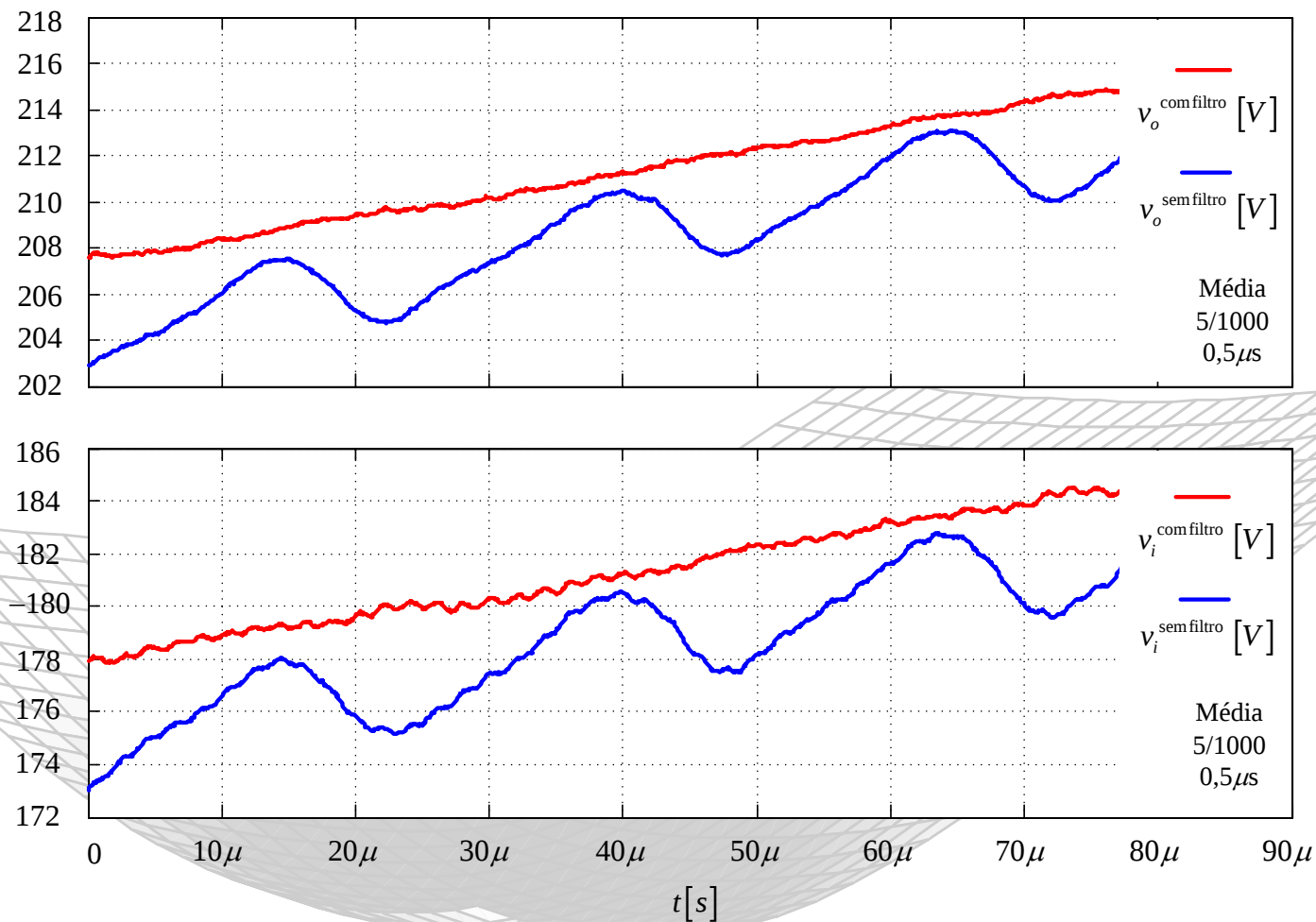
Principais formas de onda

Detalhe no semiciclo positivo



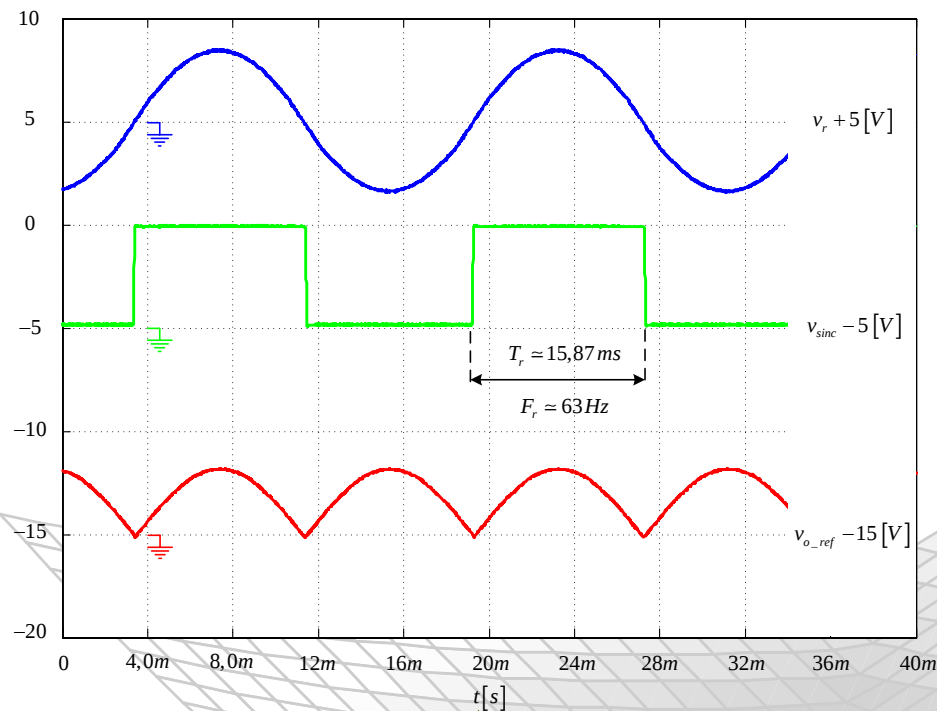
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Ondulação de Corrente e Tensão



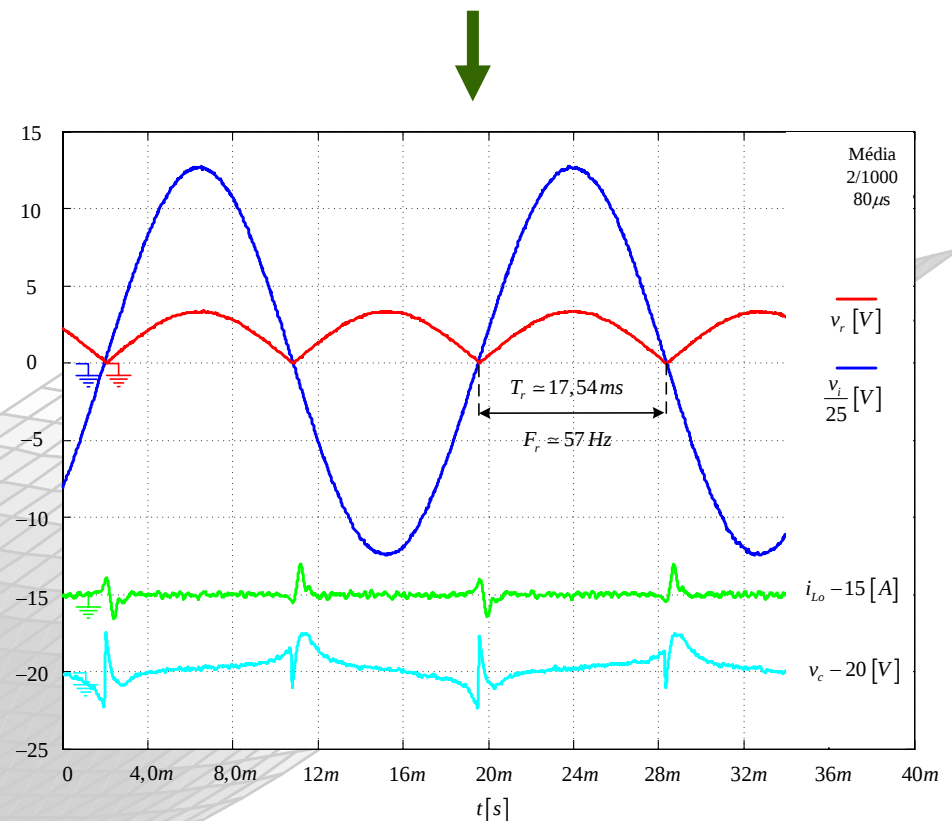
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Variação na Frequência da Rede



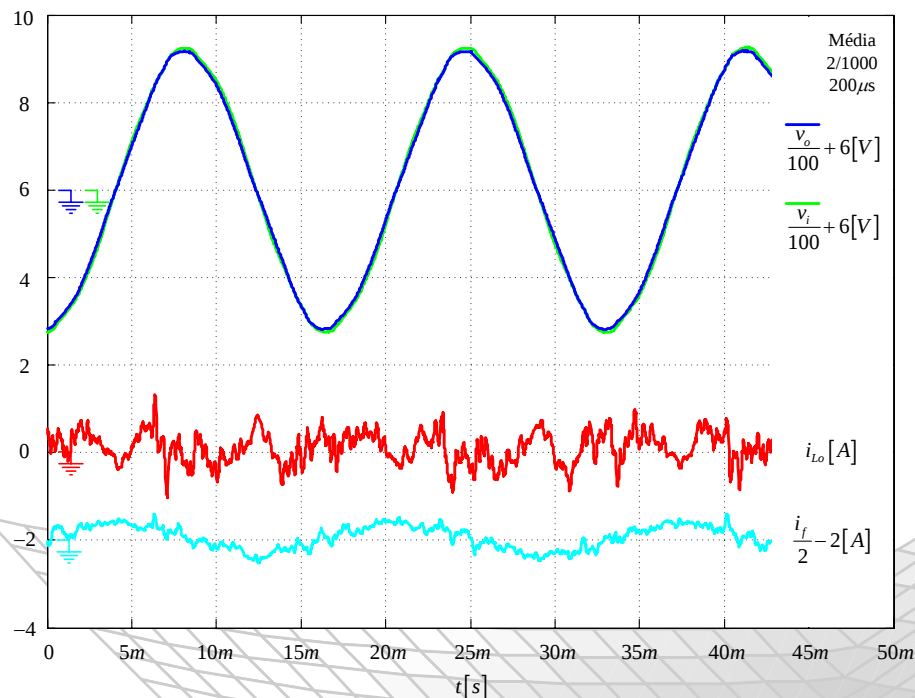
63 Hz – potência desligado

57 Hz – potência ligado



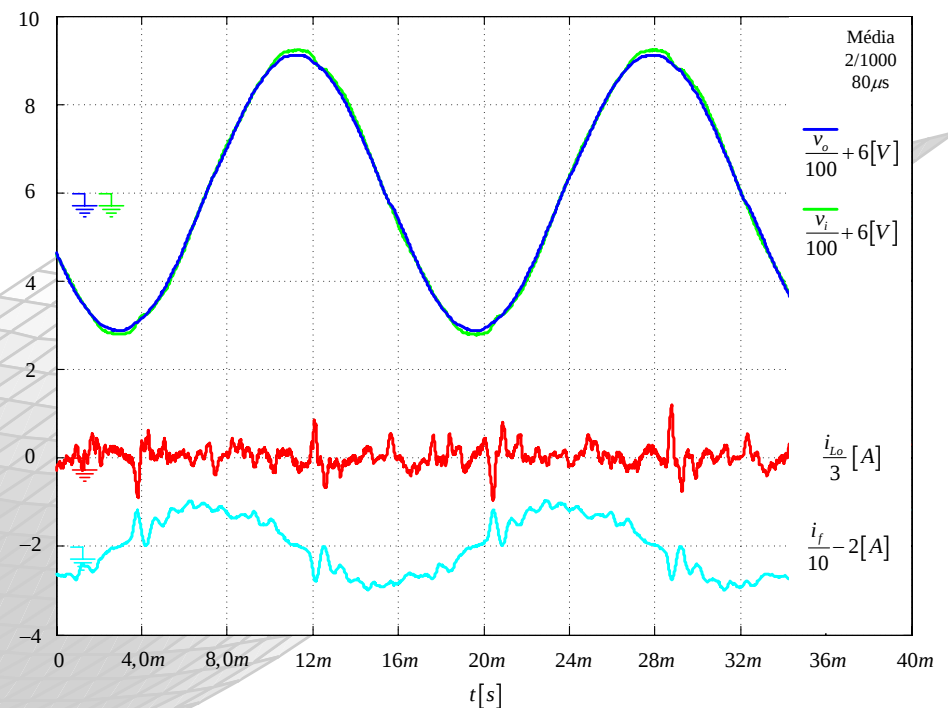
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Operação com Carga Linear



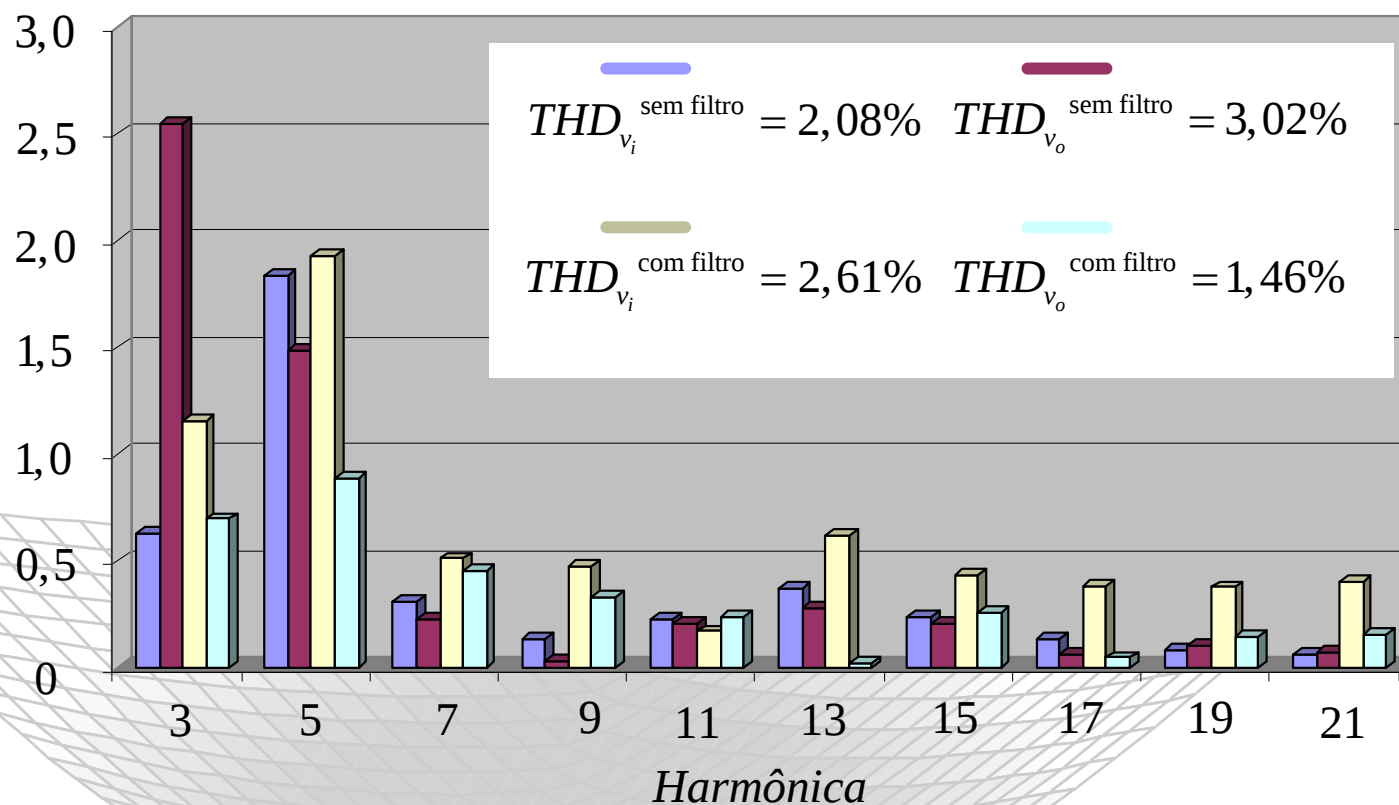
Sem filtro à vazio

Com filtro à vazio



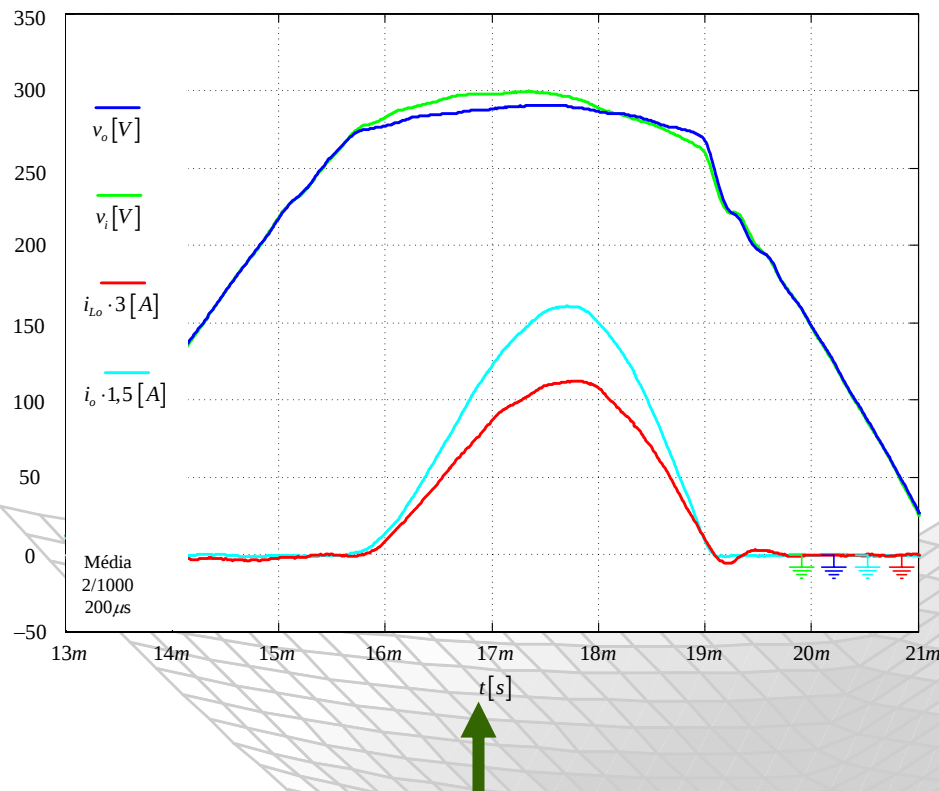
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Operação com Carga Linear



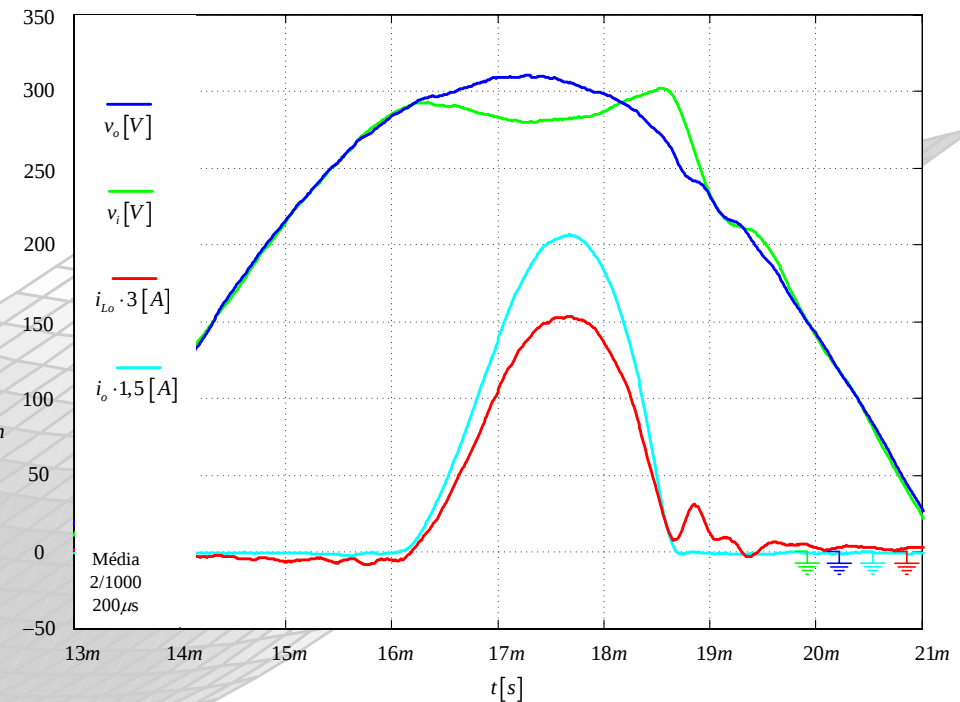
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Operação com Carga Não-Linear



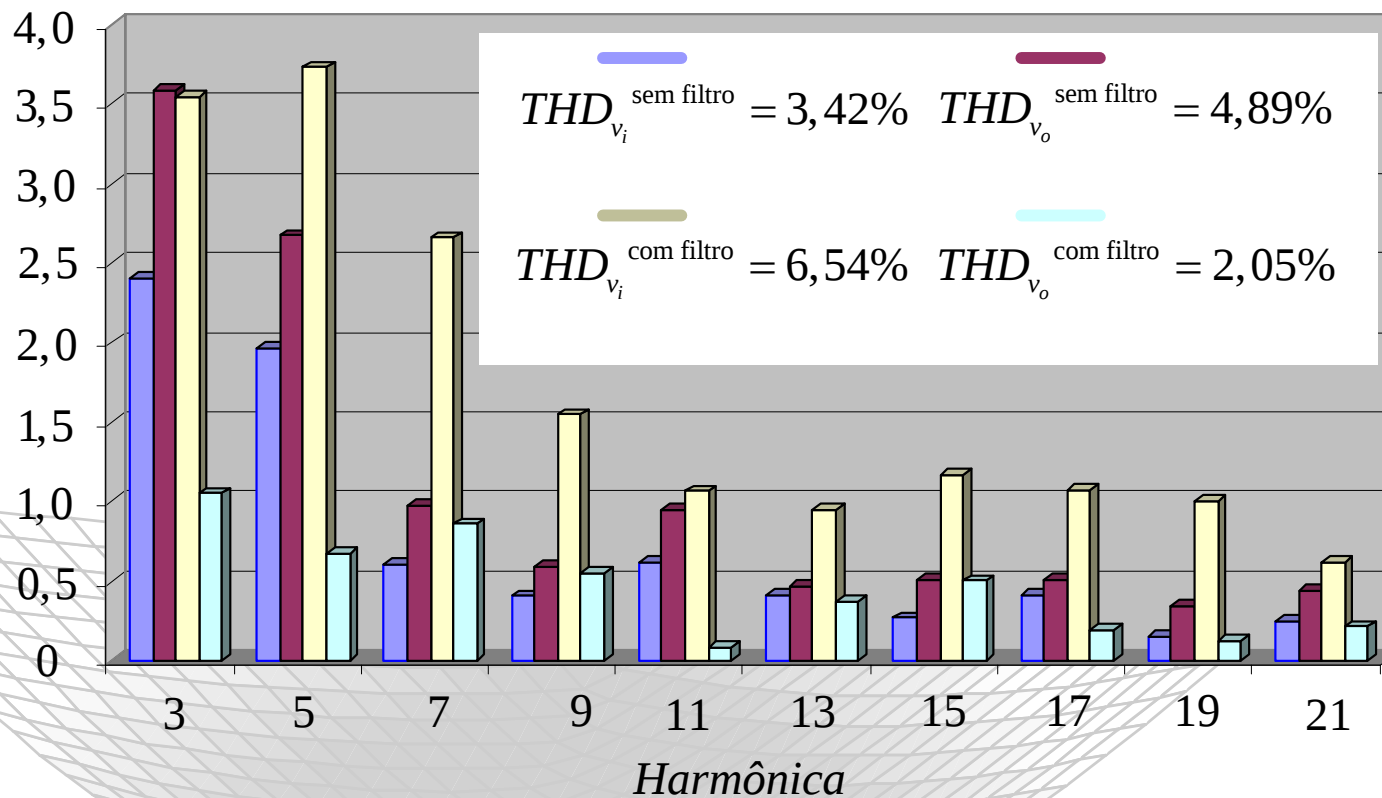
Sem filtro e controlador lento

Com filtro e controlador rápido



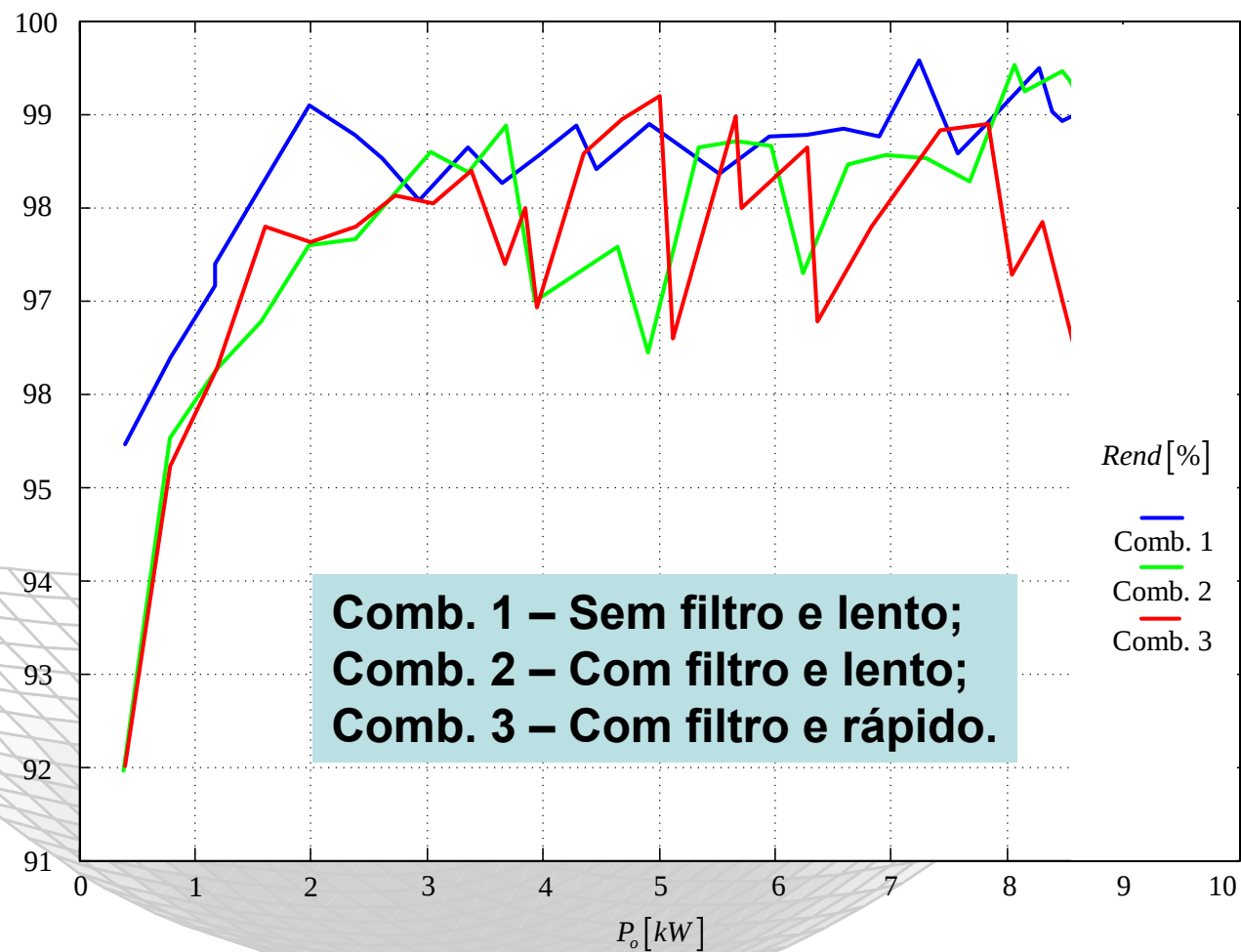
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Operação com Carga Não-Linear



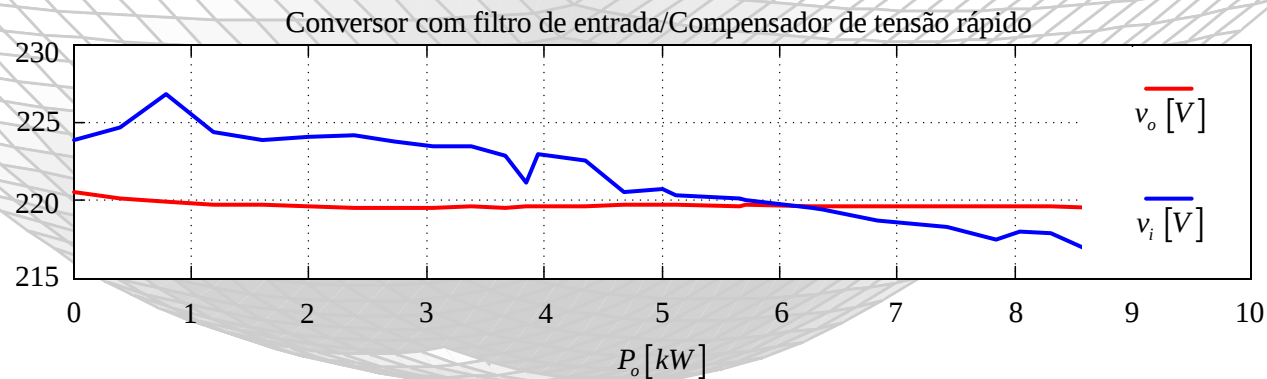
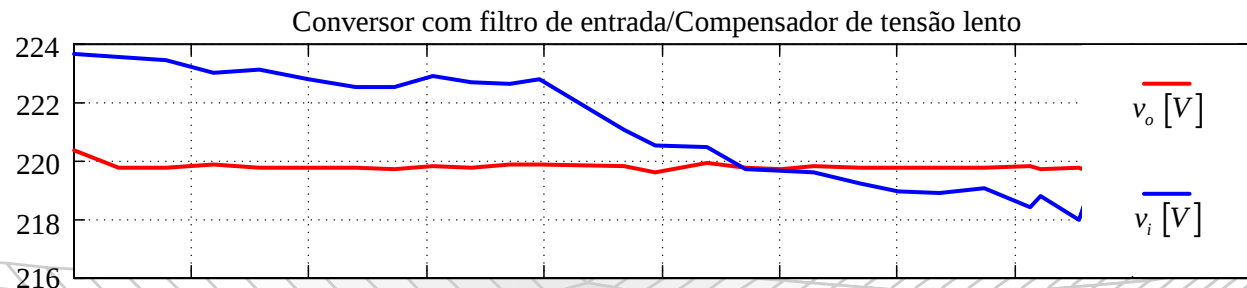
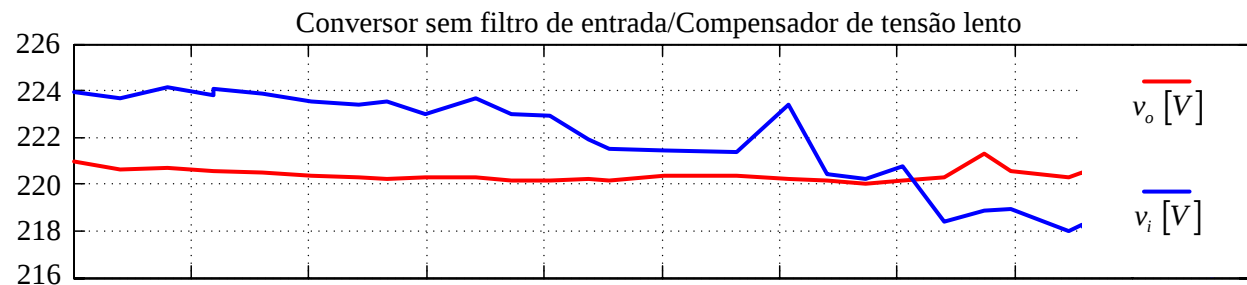
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Rendimento



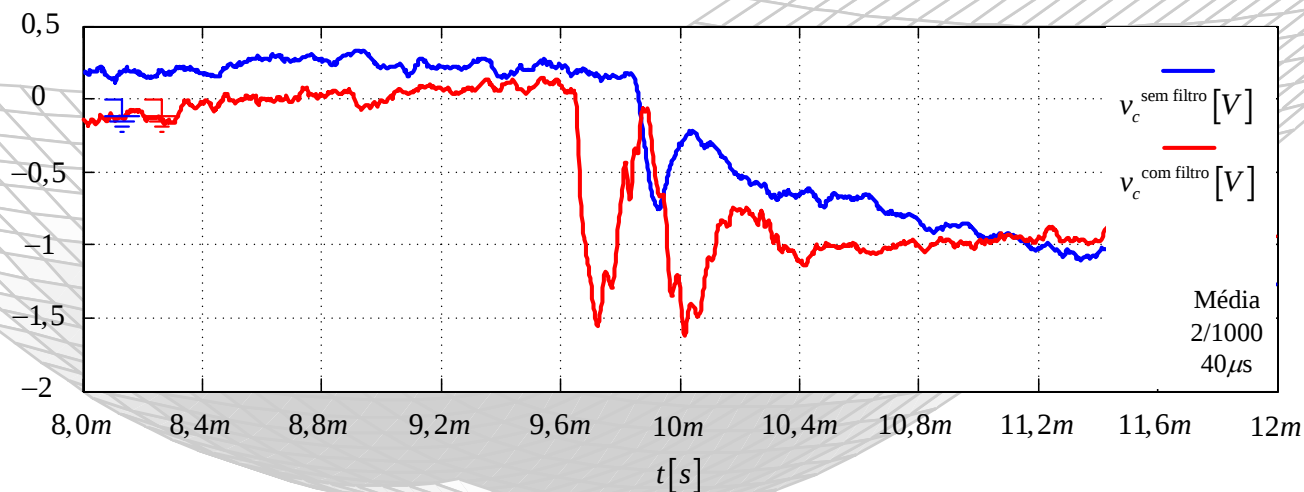
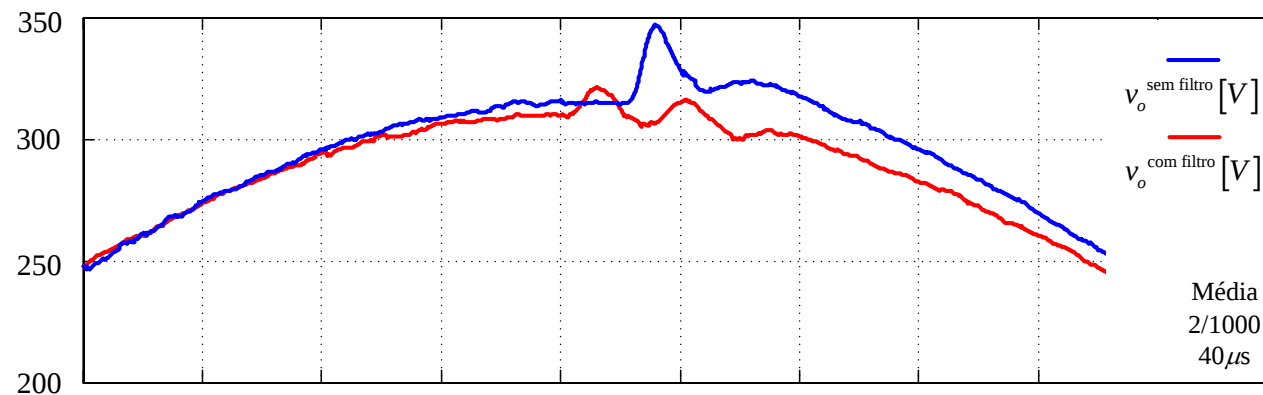
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Regulação



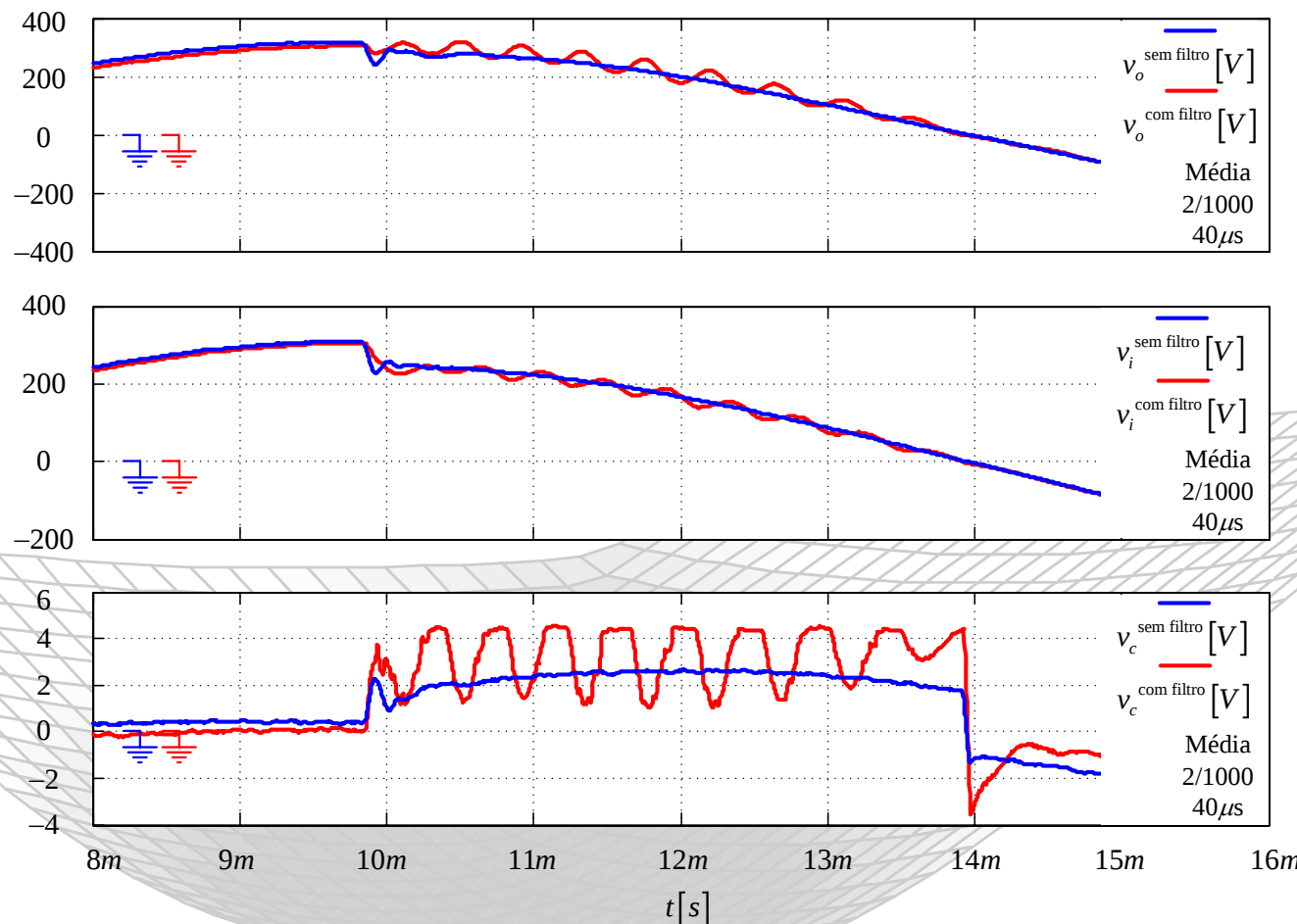
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Transitório na Tensão de Entrada (+10%)



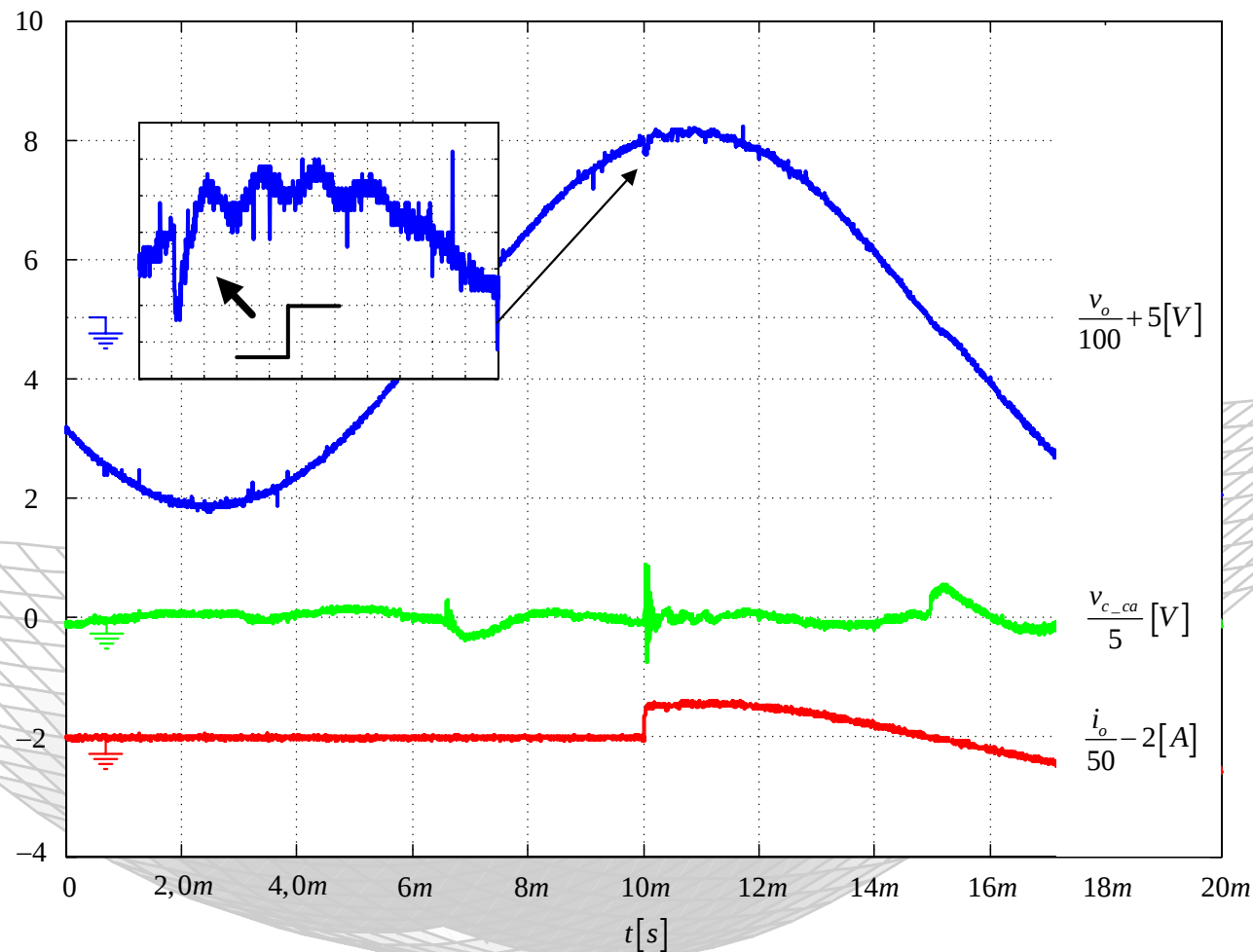
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Transitório na Tensão de Entrada (-20%)



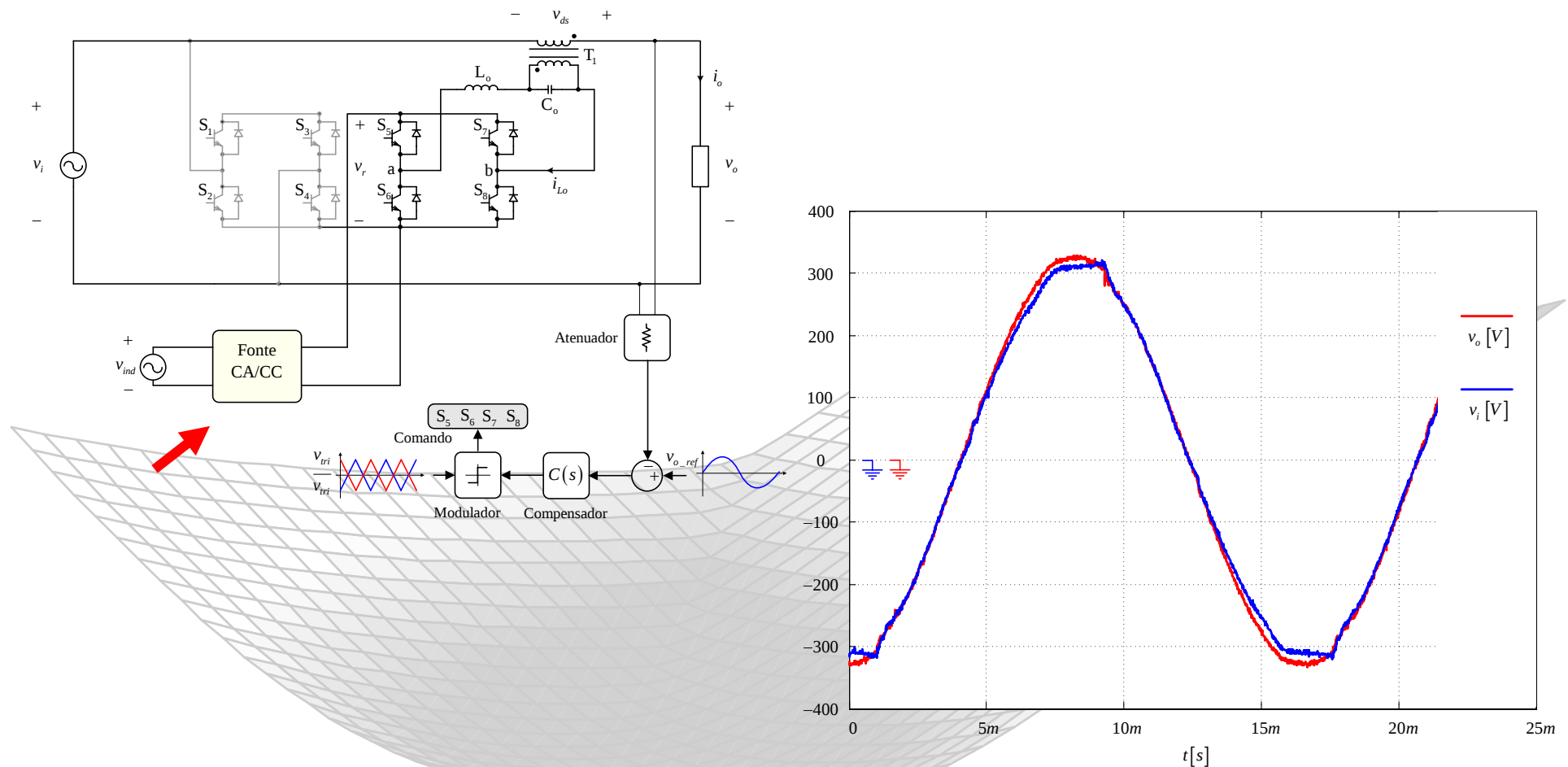
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Transitório de Carga Com Filtro (+50%)



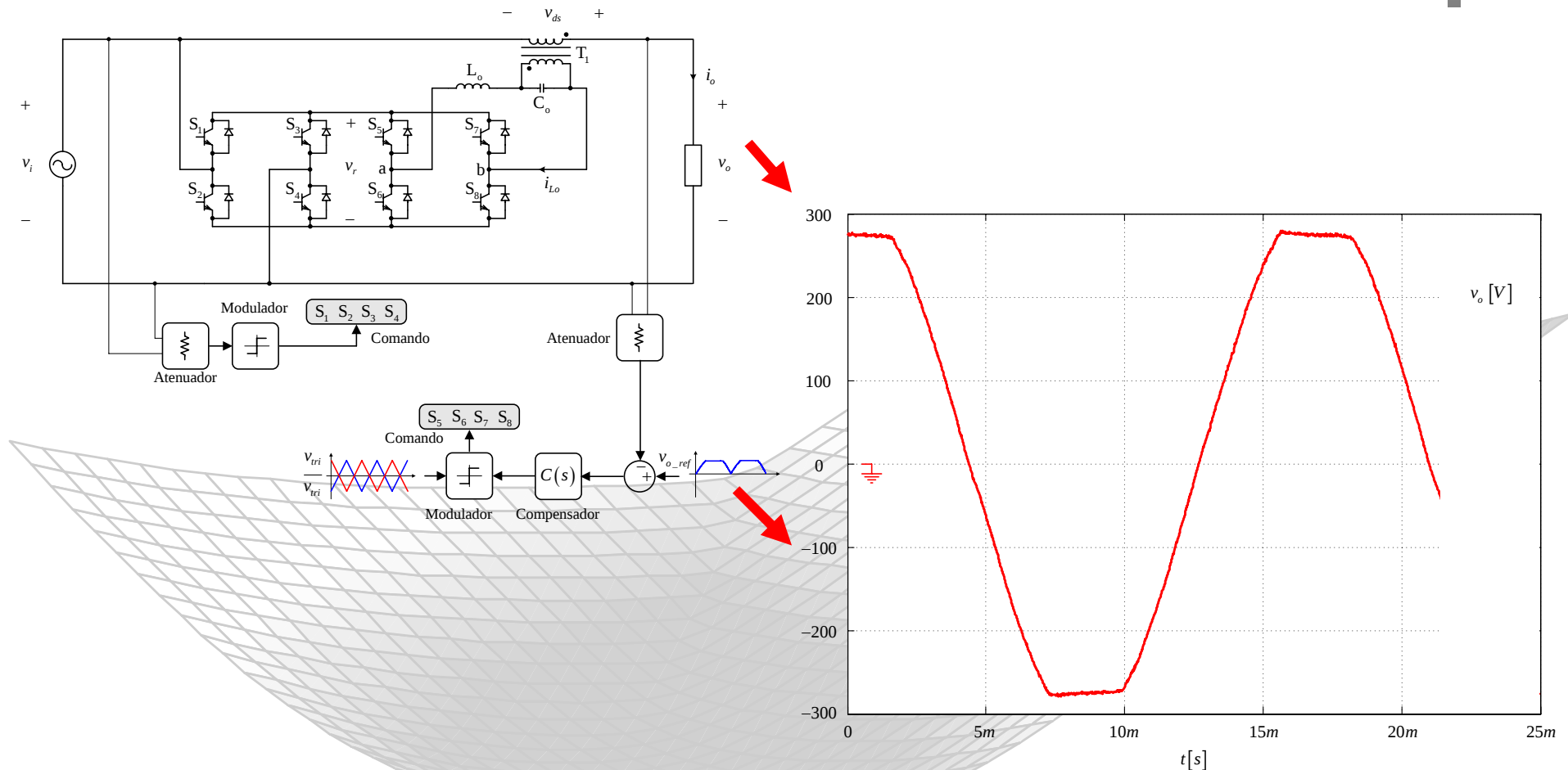
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Alimentação Independente



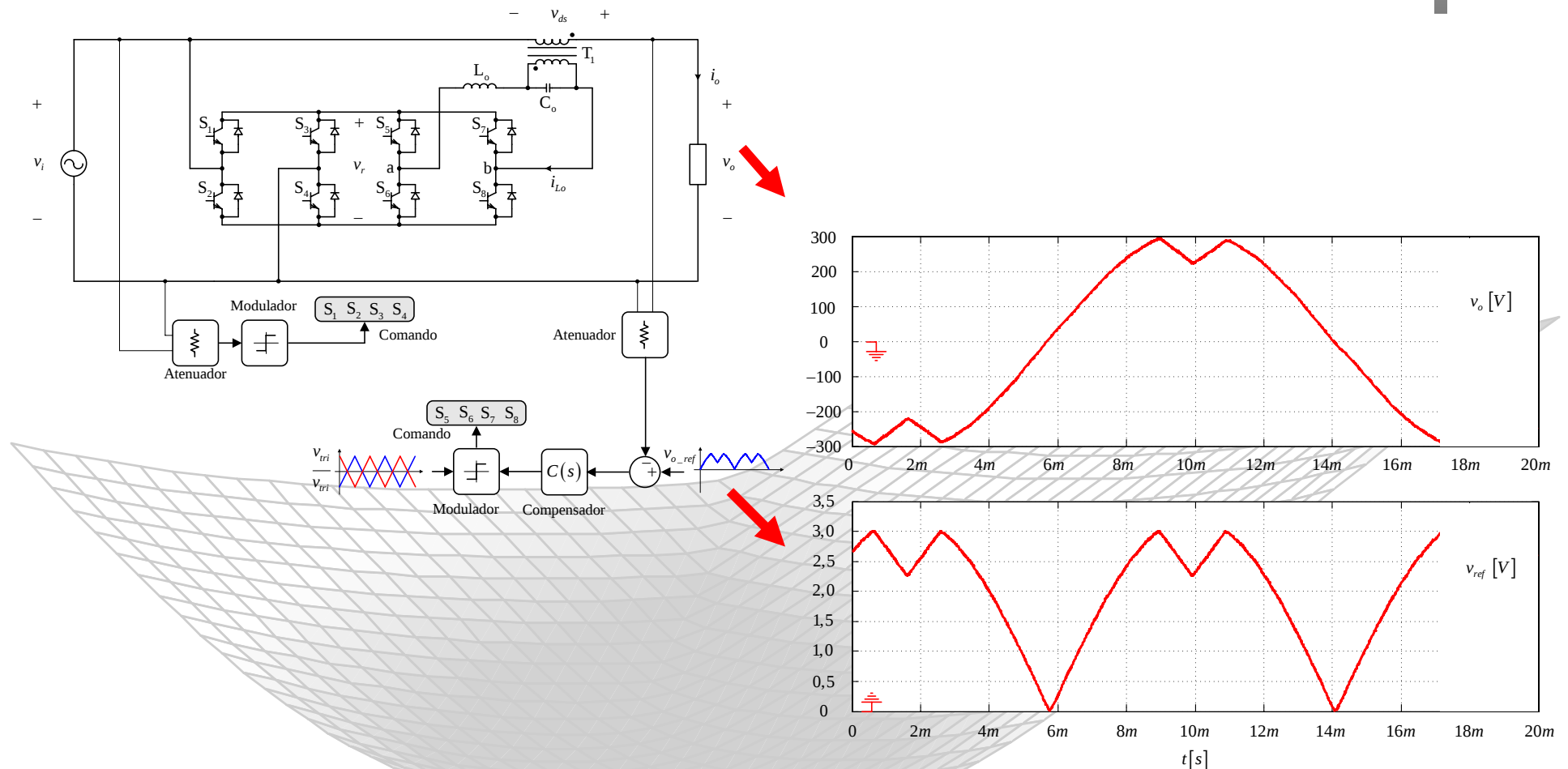
Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Fonte com THD Controlado

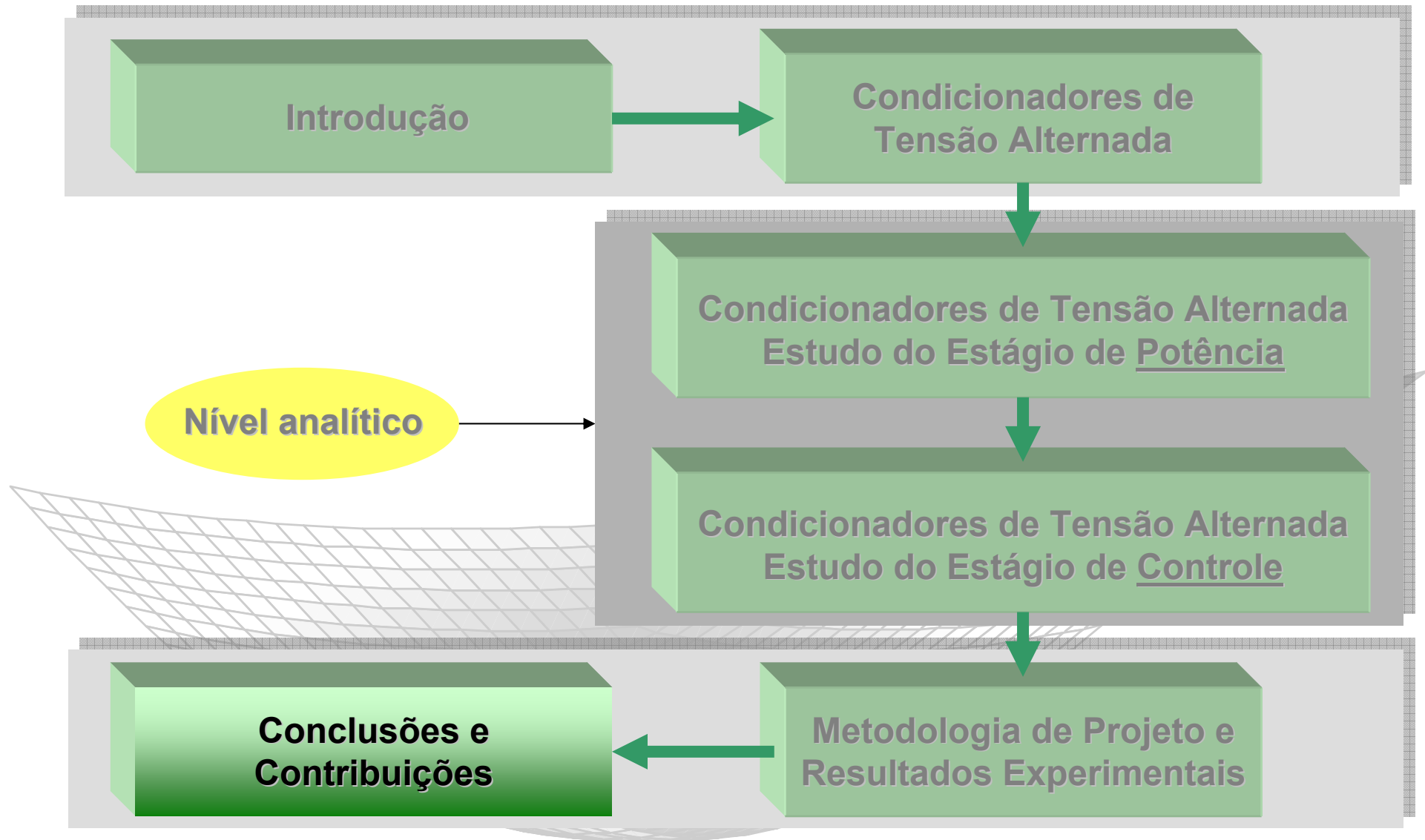


Metodologia de Projeto e Resultados Experimentais

Resultados Experimentais – Forma de Onda Programável



Parte 6/6



Conclusões e Contribuições

Resultados Obtidos

- Implementação de um protótipo de 10 kVA;
- Comprovação experimental das previsões teóricas:
 - metodologia de projeto;
 - controle de valor instantâneo da tensão de saída;
 - operação como estabilizador e filtro ativo;
 - modulação *PWM* retangular;
 - operação com filtro de entrada;
 - operação com carga não-linear e entrada distorcida.
- Formação de base de conhecimento sobre conversores CA-CA;
- Integração de circuitos eletrônicos e outros usos da topologia.

Conclusões e Contribuições

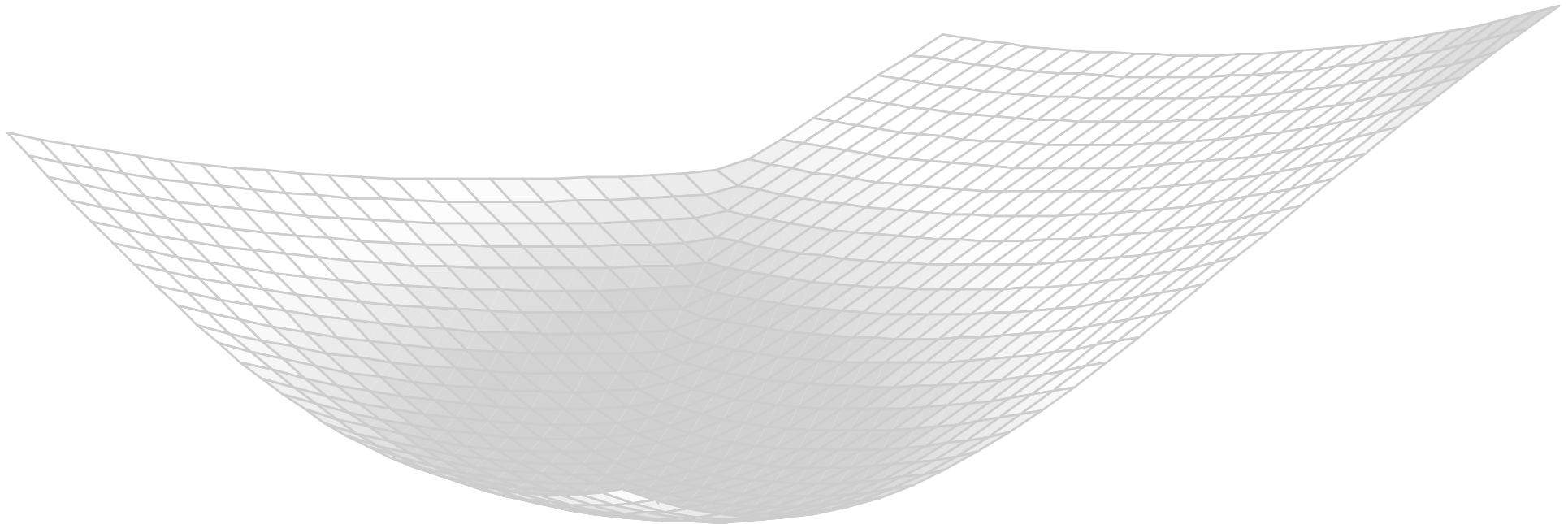
Contribuições da Tese

- Ampla revisão bibliográfica sobre conversão CA-CA;
- Generalização dos compensadores série;
- Introdução de conceitos e definições;
- Estudo completo de um condicionador de tensão alternada;
- Modelagem de conversores CA-CA com impedância de linha;
- Identificação de algumas técnicas de controle da tensão de saída;
- Entendimento físico do zero na função $G(s)$;
- Modelagem da tensão de entrada distorcida;
- Modelagem da carga não-linear;

Conclusões e Contribuições

Contribuições da Tese

- Entendimento das implicações da conversão indireta com *link* direto no controle;
- Metodologia de projeto para operação com cargas não-lineares e tensão de entrada distorcida.



Conclusões e Contribuições

Considerações complementares

- Armazenamento de energia para resolver o problema da impedância negativa na entrada de conversores;
- Conversores com *link* direto → Estabilizadores de tensão;
- Conversores com *link* direto + armazenamento ou + filtro de entrada → imposição de uma referência desejada na saída;
- Para inversores isolados em baixa frequência é necessário o controle do valor médio;
- Modelagem por valores médios instantâneos;
- Proteção do conversor com transformador na saída/entrada;
- Conversores com link otimizado podem ser uma solução.

Conclusões e Contribuições

Continuidade do trabalho

- Customização no estágio de potência;
- Aplicação de técnicas de controle moderno ao conversor;
- Uso direto do controle digital no conversor com filtro de entrada;
- Migração para condicionadores de energia, conformando a corrente de entrada;
- Uso de transformadores de alta frequência no inversor.

**“... Entre o dado empírico e o objeto teórico existe, e sempre existirá,
uma distância que é impossível vencer.”**

Alexandre Koyré, 1982.