

## Introdução ao PLECS

Revisão de circuitos em corrente alternada

V4.4, outubro de 2020

### Preparação

O circuito usado neste trabalho é o retificador monofásico de meia onda que se apresenta na Figura 2. O circuito é constituído por uma fonte sinusoidal alternada ( $V_{in}$  com valor de pico  $120\sqrt{2}$  - 50 Hz), um díodo ideal e uma resistência ( $R$  de  $300 \Omega$ ).

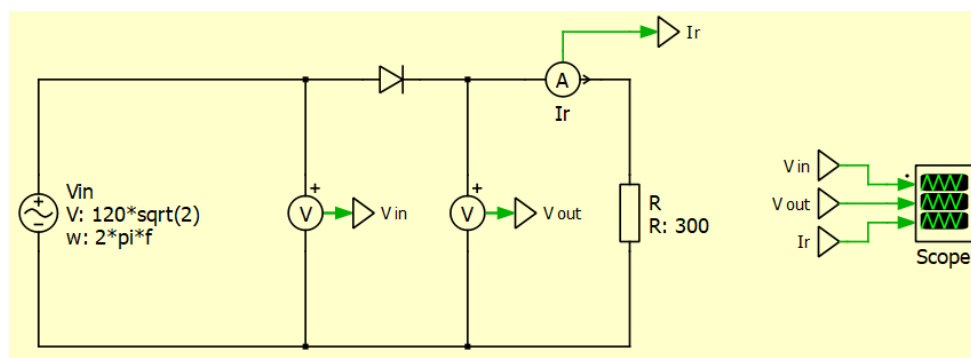


Figura 1 - Circuito elétrico da montagem retificadora monofásica em meia ponte.

- Desenhe as formas de onda e calcule o valor mínimo, máximo médio e eficaz das formas de onda indicadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Caracterização das variáveis do circuito.

	Mínimo	Máximo	Valor médio	Valor eficaz
<b>Vin</b>				
<b>Vout</b>				
<b>Ir</b>				

- Calcule o valor da potência ativa, potência aparente e fator de potência na fonte. Embora a carga seja resistiva, o fator de potência é diferente de 1. Porquê?

Tabela 2 – Caracterização de potências e fator de potência.

	P	S	FP
<b>Fonte de entrada</b>			

## PARTE I – Simulação

### Introdução

A parte I deste guião pretende introduzir a ferramenta de simulação PLECS e rever conceitos de circuitos em corrente alternada (CA). O circuito a estudar é o retificador monofásico de meia onda que se apresenta na Figura 2.

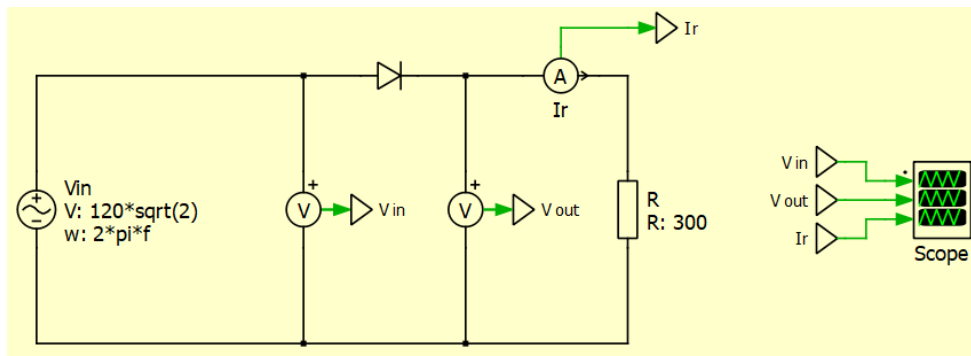


Figura 2 - Circuito elétrico da montagem retificadora monofásica de meia onda.

O circuito é constituído por uma fonte alternada ( $V_{in}$  com valor de pico  $120\sqrt{2}$  - 50 Hz), um díodo ideal, uma resistência ( $R$  de  $300 \Omega$ ), voltmetros ( $V_{in}$ ,  $V_{out}$ ), amperímetro ( $I_r$ ) e um osciloscópio (*Scope*). Dentro do osciloscópio, as principais características são definidas em "File » *Scope parameters*". A ligação entre o sistema de medida e o osciloscópio é efetuado por meio de "tags" designadas de "from"/"goto". O processo para montar o circuito é apresentado no ponto seguinte.

### Criar e executar o modelo no PLECS

- 3) Uma vez criado um modelo novo no PLECS uma janela de fundo amarela fica disponível para se adicionar os componentes mencionados previamente.
- 4) A ação de adicionar componentes inicia-se pela procura do componente desejado na biblioteca ("Window » *Library Browser*" conforme a Figura 3) e, por conseguinte, deve-se copiar ou arrastar o componente para o circuito.

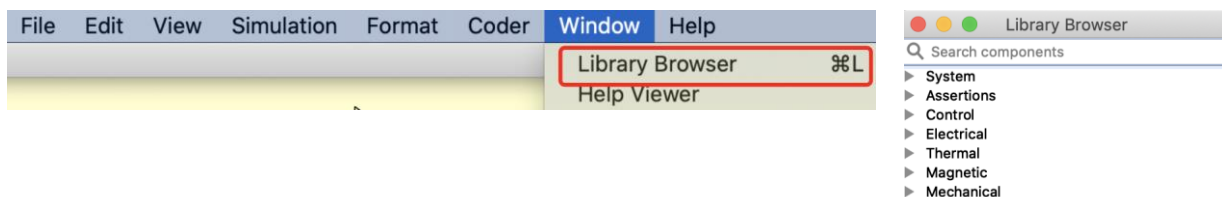


Figura 3 - Adicionar componentes ao modelo.

- 5) Para quantificar corretamente a corrente elétrica e a tensão a polaridade dos equipamentos deve ser respeitada. Particular atenção deve ser tomada em conta na "seta" do amperímetro e no sinal "+" do voltmetro.

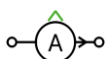


Figura 4 - Símbolo elétrico do amperímetro.



Figura 5 - Símbolo elétrico do voltmetro.

- 6) Para adicionar várias janelas de medição no osciloscópio (*scope*), com o botão direito do rato deve-se clicar no fundo de um osciloscópio e clicar em adicionar gráfico acima ou abaixo (ver Figura 6). Se existirem múltiplos gráficos, clicando com o 2º botão pode-se remover um gráfico ou até alterar a espessura/cor das curvas apresentadas.

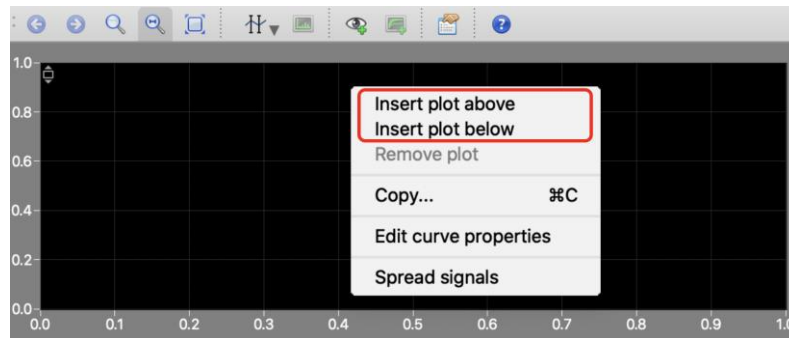


Figura 6 - Modificar número de gráficos num osciloscópio.

- 7) Após adicionar os componentes no modelo, deve-se configurar os parâmetros de simulação em “*Simulation >> Simulation parameters*” (ver Figura 7). Os parâmetros de simulação mais importantes são definidos no separador “*solver*” (ver Figura 8), tais como, “*Start time*” e “*Stop time*”. Defina o parâmetro “*Solver*” como “*RADAU (stiff)*” de modo a utilizar um método numérico com melhores propriedades de estabilidade na resolução de sistemas de equações. O parâmetro “*Refine factor*” permite controlar o número de pontos usados para representar as formas de onda. Caso as ondas não estejam representadas de forma suave é aconselhável o ajuste deste parâmetro “*Refine factor*” ao invés do parâmetro “*Max step size*”. Os valores dos restantes parâmetros devem ser usados por omissão, já que são os adequados para a maior parte das aplicações.

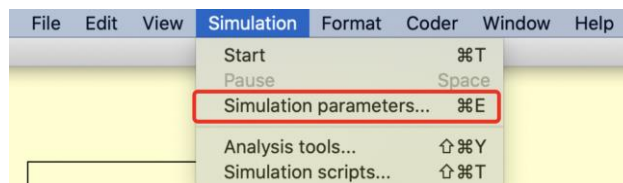


Figura 7 - Acesso aos parâmetros de simulação do modelo PLECS.

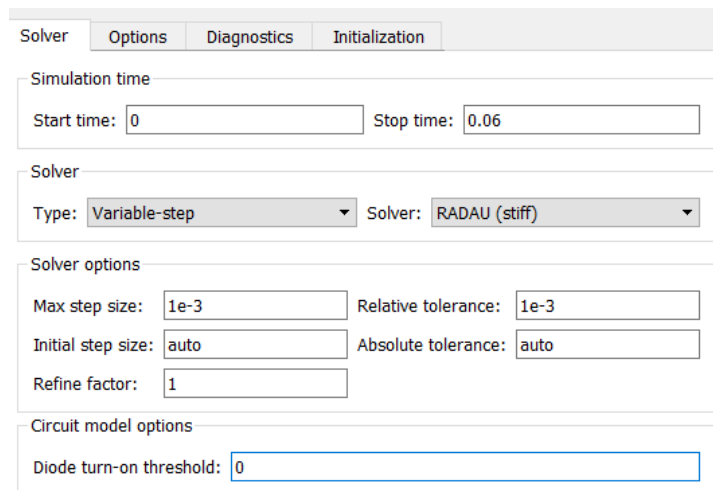


Figura 8 - Parâmetros de simulação a adotar.

- 8) Execute a simulação.
- 9) Tal como se evidencia na Figura 2, o osciloscópio deve ser configurado para apresentar as medidas  $V_{in}$ ,  $V_{out}$  e  $I_r$ . Contudo, se pretender juntar duas ou mais medidas no mesmo gráfico do osciloscópio, deve-se utilizar o componente “*multiplexer*” (procurar na biblioteca de componentes “*Library Browser*”). A título de exemplo, ver a Figura 9.

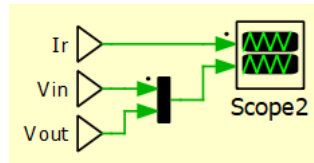


Figura 9 - Unificar várias medidas no mesmo gráfico.

- 10) A visualização e quantificação de medidas é em grande parte realizado no osciloscópio. Assim, após clicar e abrir o osciloscópio, a barra apresentada na Figura 10 deve ser utilizada para configurar os gráficos do osciloscópio, executar medidas (através de cursores) e definir as escalas dos gráficos (propriedades).

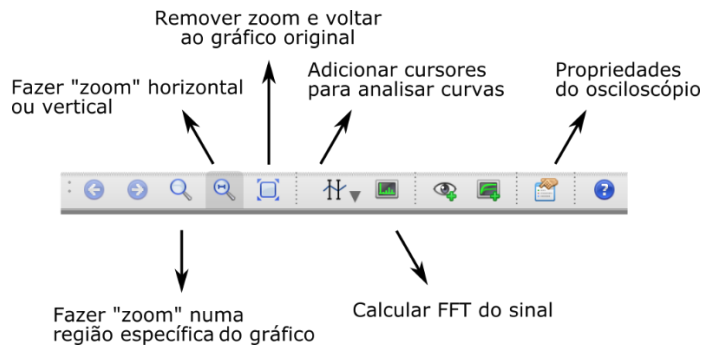


Figura 10 - Descrição dos ícones do osciloscópio.

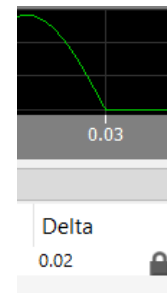


Figura 11 – Bloqueio dos cursores

- 11) Após executar a simulação, deve ativar-se os cursores no osciloscópio.  
12) Posicione os cursores de modo a ficarem espaçados de um período (ou múltiplos inteiros) das formas de onda visualizadas. A forma mais eficaz é definir o valor desejado no campo "Delta" e de seguida bloquear os cursores clicando duas vezes no símbolo do cadeado (Figura 11).  
13) Meça o valor médio, mínimo, máximo e eficaz das formas de onda indicadas na Tabela 3 (ver Figura 12).

Tabela 3 - Caracterização das variáveis medidas no osciloscópio.

	Min	Max	RMS	Média	THD
<b>Vin</b>					
<b>Vout</b>					
<b>Ir</b>					

- 14) A potência ativa (P) e aparente (S) fornecida pela fonte ao circuito, bem como o respetivo fator de potência não podem ser medidos diretamente pelo simulador, sendo necessário implementar um processo de cálculo destas grandezas.

A Figura 13 é uma possível solução, implementada como um subsistema. O componente "Subsystem" está disponível na biblioteca de componentes. Entrando no subsistema está disponível uma entrada (*signal inport*) e uma saída (*signal outport*). Sendo necessário mais entradas e/ou saídas faça um *copy/paste*.

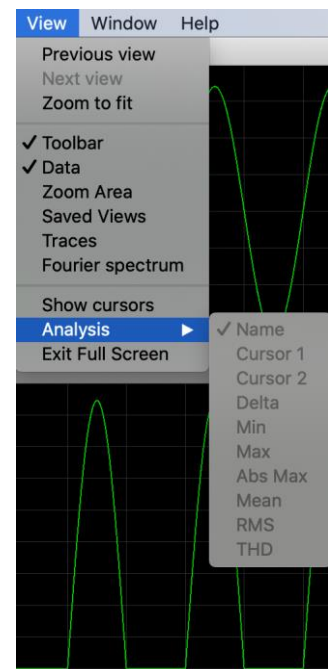


Figura 12 - Medidas no osciloscópio (View >> Analysis).

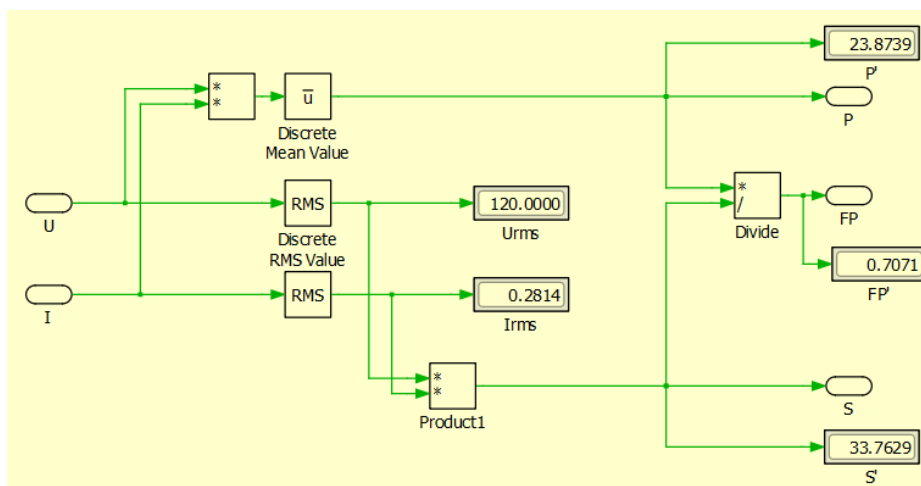


Figura 13 - Circuito proposto para medição de potência ativa, aparente e fator de potência.

Crie o circuito da Figura 13 dentro do subsistema em que:

- O componente "RMS" e "Discrete Mean value" executam uma amostragem discreta dos sinais, pelo que o tempo de amostragem deve ser configurado para "0.02/100", ou seja, um período da rede a dividir por 100, sendo "100" o número de amostras a considerar;
- Os componentes "RMS" devem ter um valor inicial diferente de "0" no sentido de evitar erros de divisão por zero. Sugere-se "1e-3";
- Os resultados podem ser visualizados usando o componente "Display";
- Por fim, fora do subcircuito, é necessário definir as duas entradas Vin e Ir de modo a fazer a medição na fonte. Para isso use as "tags". Pode usar novamente os "Display" para visualizar os resultados fora do subcircuito;
- Registe o valor das potências e fator de potência na Tabela 4.

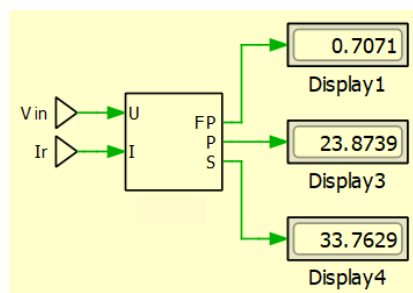


Figura 14 – Aspeto final das ligações do subcircuito.

Tabela 4 – Caracterização de potências e fator de potência.

	P	S	FP
<b>Fonte de entrada</b>			

- Análise o conteúdo harmónico da corrente na fonte (neste caso igual à corrente na carga). Para tal, use a ferramenta de cálculo FFT (*Fourier spectrum*) do osciloscópio. Use os cursores para seleccionar um período inteiro (ver ponto 12)) da forma de onda que se pretende calcular a FFT. Registe na Tabela 5 as características dos 3 harmónicos com as amplitudes mais significativas. Note que o valor da componente contínua da corrente corresponde à barra à frequência zero. Com base nestes valores, calcule a THD usando a definição e compare com o valor medido em 13).

Tabela 5 – Caracterização dos harmónicos da corrente na fonte.

	Harmónico 1		Harmónico 2		Harmónico 3	
	Frequência	Amplitude	Frequência	Amplitude	Frequência	Amplitude
<b>Ir</b>						

- 16) Adicione um condensador de 1,1 mF em paralelo com a resistência de carga de acordo com a Figura 15. Execute a simulação. Caso existam problemas de convergência adicione uma resistência em série como diodo ou o condensador.

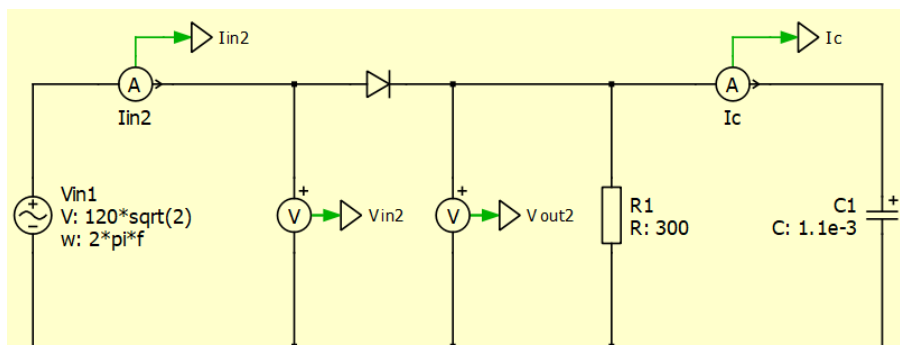


Figura 15 - Circuito elétrico da montagem retificadora monofásica de meia onda (carga RC).

- 17) Após as medidas convergirem para o regime permanente, repita os passos 13) e 14) preenchendo as tabelas seguintes. Analise o impacto de ter adicionado o condensador no circuito.

Tabela 6 - Caracterização das variáveis medidas no osciloscópio (carga RC).

	Min	Max	RMS	Média	THD
<b>Vout2</b>					
<b>Iin2</b>					

Tabela 7 – Medição de potências e fator de potência (carga RC).

	P	S	FP
<b>Fonte de entrada</b>			

### Para responder:

Ao adicionar um condensador na carga:

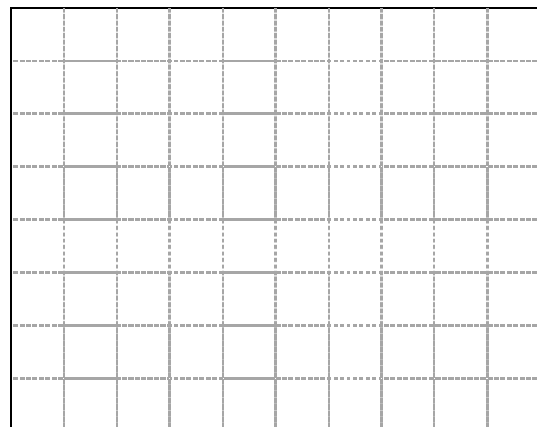
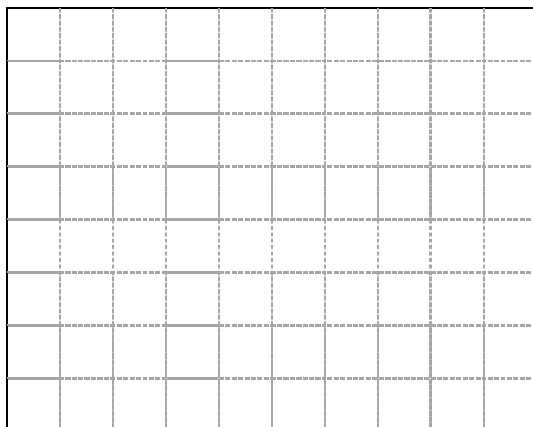
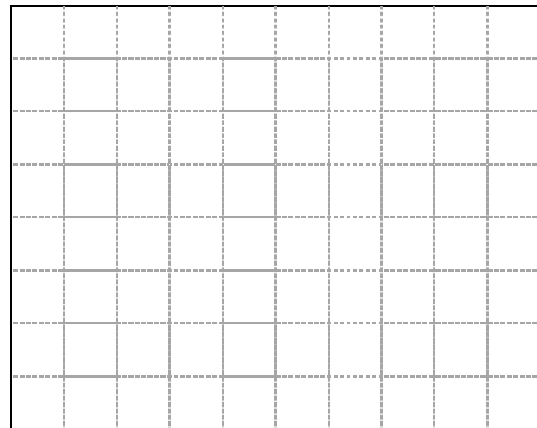
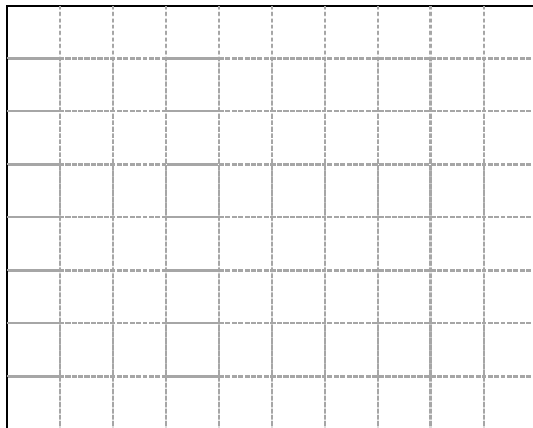
- Como variou a tensão de saída do circuito?
- Como variou a componente fundamental de corrente fornecida pela fonte?
- Como variou o conteúdo harmónico da corrente fornecida pela fonte?
- Como variou a potência ativa, potência aparente e fator de potência medidos na fonte?

## PARTE II – Experimental

Considere o circuito representado na Figura 1 alimentado por uma fonte de tensão sinusoidal 110/190 V a 50 Hz. Na prática, o valor eficaz real da tensão simples é de 120 V.

Monte o circuito da Figura 1 usando para a alimentação uma das fases da bancada e o neutro (módulo ACM400). Use um dos díodos identificados na máscara RNC120. Ajuste o reóstato disponível na bancada para 300  $\Omega$ .

- 1) Visualize as várias formas de onda de tensão do circuito e caracterize os seus valores mínimo e máximo. Para que haja uma referência temporal entre todas as ondas, visualize sempre duas ondas em simultâneo. Use, por exemplo, esta sequência:  $v_i(t)$  e  $v_o(t)$ ,  $v_o(t)$  e  $v_D(t)$ .
- 2) A forma de onda da corrente pode ser visualizada indiretamente usando a resistência disponível no módulo RNC120. A resistência deve ser usada de forma equivalente a um amperímetro, ou seja, deverá ser colocada em série no ramo onde se pretende fazer a medição. Desta forma, a tensão medida aos terminais desta resistência será proporcional à corrente que a atravessa. A introdução desta resistência no circuito não implica alterações significativas no comportamento do circuito devido ao baixo valor da resistência. Coloque adequadamente a resistência de forma a visualizar em simultâneo  $i_o(t)$  e  $v_i(t)$ .
- 3) Meça o valor médio e o valor eficaz da tensão entrada e na carga. Compare com os valores simulados.
- 4) Coloque o condensador disponível na bancada em paralelo com a resistência de carga. **Tenha atenção à polaridade do condensador. O terminal negativo deverá estar ligado ao neutro.** Meça o valor médio e a ondulação de pico a pico da tensão de saída. Compare os valores obtidos com os teóricos e simulados.
- 5) Visualize  $i_i(t)$  e  $v_i(t)$  de forma a confirmar o regime descontínuo da corrente na fonte.



Caracterização das variáveis.

	Mínimo	Máximo	Valor médio	Vac_rms	Valor eficaz
<b>Vin</b>					
<b>Vout</b>					

