



## **PROPOSTA DE UM DISPOSITIVO PARA MEDIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO PROGRAMA ATPDRAW VIA ROTINA MODELS**

**Rodolfo Quadros** (rodolfoquadross@gmail.com)

Universidade Federal de Mato Grosso - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia

**Bismarck Castillo Carvalho** (bcc@ufmt.br)

Universidade Federal de Mato Grosso - Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia

**RESUMO:** Este artigo apresenta a modelagem de um medidor de grandezas elétricas segundo as definições da IEEE Std 1459-2010, via rotina models, no programa atpdraw. Para verificar e validar o modelo do medidor foi utilizado o modelo de uma carga não linear desenvolvida em trabalho referenciado, da qual já existem os valores reais das grandezas elétricas, levantados experimentalmente. Os trabalhos foram desenvolvidos no ambiente do programa atpdraw por meio de uso da linguagem models, própria do programa. Esta linguagem possui uma estrutura padrão de desenvolvimento. A lógica do algoritmo proposto inicia pela leitura das variáveis de entrada, na sequência são realizados os cálculos, cujos resultados são plotados na forma de gráficos. Os resultados obtidos com o medidor desenvolvido no simulador foram condizentes com os dados reais de referência utilizada, o que possibilita a validação do mesmo. Desta forma, a ferramenta desenvolvida possibilita a realização de estudos e análises de qualidade de energia elétrica.

**Palavras-chave:** ATPDraw. Models. Medidor de energia.

## **MOTION FOR A DEVICE FOR MEASURING THE ELECTRICITY PROGRAM BY ATPDRAW ROUTINE MODELS**

**ABSTRACT:** This paper presents the modeling of a meter of electrical quantities to IEEE Std 1459-2010 settings via routine models in ATPDraw program. To verify and validate the meter model was used to model a non-linear load developed in the referenced work, which already are the actual values of the electrical, raised experimentally. The work was developed in the program ATPDraw environment through use of models language own program. This language has a standard development framework. The logic of the proposed algorithm starts by reading the input variables, following calculations are performed, the results are plotted as graphs. The results obtained with the developed measuring in the simulator were consistent with the real data used for reference that enables validation. Thus, the developed tool enables the studies and quality analysis of electric power.

**Keywords:** ATPDraw. Models. Power Meter.

## 1\_INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de equipamentos com novas tecnologias tem empregado o uso da eletrônica de potência, dos quais destacam-se os sistemas de conversão de energia, os quais dependem de dispositivos semicondutores de potência (AKAGI, 2002).

A eletrônica de potência é uma área do conhecimento considerada estratégica para o desenvolvimento industrial e social dos povos. Esta ciência é dedicada aos estudos dos conversores estáticos de energia elétrica, que são constituídos por elementos passivos e ativos (BARBI, 2006).

Nos sistemas elétricos, a transferência de potência de uma fonte para uma carga pode ser controlada pela variação da tensão de alimentação, por meio de dispositivos eletromecânicos, tais como transformadores com tap's variáveis ou reguladores de tensão. De outro lado, tem-se os dispositivos semicondutores com vantagens em termos de tamanho, custo, eficiência e possibilidade de controle automático no processo (AHMED, 2000).

Os circuitos que empregam a eletrônica para conversão de energia, requerem de dispositivos semicondutores de potência, técnicas que empregam condução e o bloqueio do sinal elétrico (RASHID, 1999).

Os conversores eletrônicos usam dispositivos de comutação para controlar e converter o fluxo de energia elétrica, de um formato para outro (DC-DC, AC-DC, DC-AC, AC-AC e AC-DC-AC). Com isso, a eletrônica de potência, se torna parte integrante dos sistemas de energia modernos (SZCZÉSNIAK e KANIEWSKI, 2015).

Com o intuito tornar o uso da energia elétrica mais eficiente, os conversores de energia que utilizam eletrônica vem se massificado nos sistemas elétricos, porém, esta inserção, segundo Nunes (2007) e Paredes (2011), tem sido causadora de perturbações, as quais aumentam a distorção nas formas de onda de tensão e corrente nos sistemas elétricos.

Os conversores estáticos CA-CA que usam da eletrônica, são geralmente caracterizados como cargas do tipo não linear, onde o sinal da corrente elétrica, não tem a mesma forma de onda da tensão de alimentação.

Estas cargas de características não lineares têm sido temáticas de estudos para identificação dos possíveis impactos, de forma direta ou indireta, quanto ao fluxo de potência reativa oriunda de cargas não lineares, notadamente, em projetos de eficiência energética. Da mesma forma, avaliou-se o impacto no faturamento da energia elétrica e possibilidades de compensação de energia reativa em cargas lineares (BEUTER, 2015).

Ainda na temática das cargas não lineares, este trabalho tem por objetivo modelar no programa ATPDraw, um medidor de grandezas elétricas com uso da teoria de potências estabelecida na norma IEEE Std 1459/2010, bem como também utilizar uma modelagem de lâmpada fluorescente compacta (LFC), apresentado por Beuter (2015) e os resultados de laboratório apresentado de um conjunto de lâmpadas. Esta carga é classificada como não linear, no trabalho de Beuter (2015) e os dados do laboratório são usados neste trabalho para a validação da modelagem do medidor de energia.

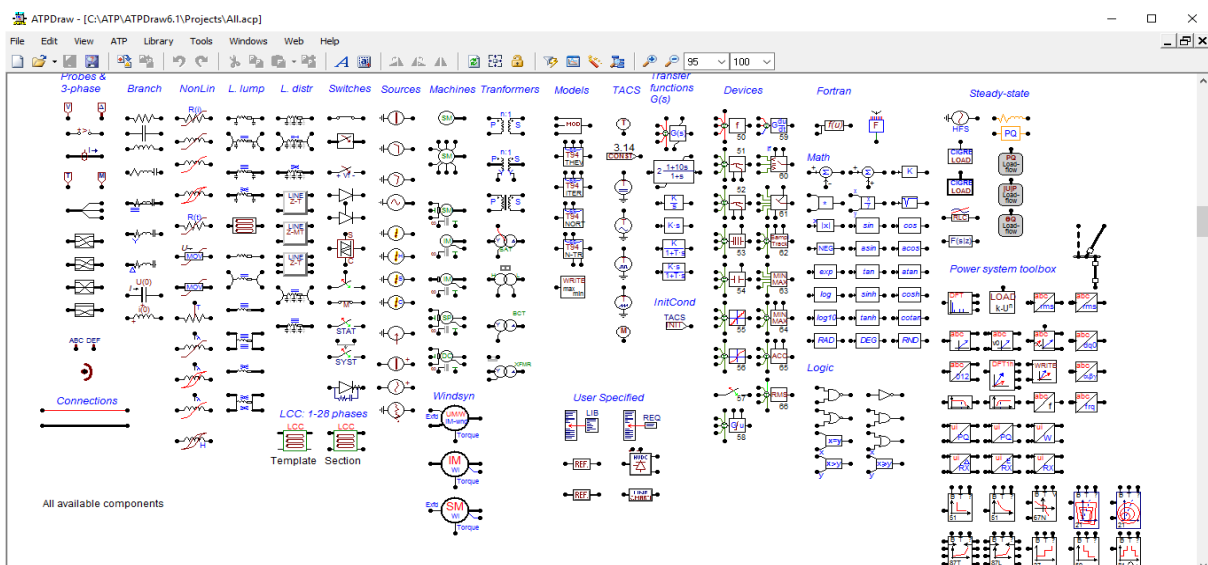
## 2 MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1 Materiais

Para modelagem computacional do medidor, no programa ATPDraw foi utilizada a versão 6.1. As modelagens na interface do programa ocorrem por pré-processamento gráfico, na plataforma MS-Windows por meio de biblioteca própria disponibilizada, que é formada por componentes empregados para medir grandezas elétricas, verificar funções de saída, bem como os modelos disponibilizados (PRIKLER e HØIDALEN, 2009).

Na Figura 1 estão ilustrados os ícones disponíveis na biblioteca própria do ATP Draw, que consiste de: fontes, chaves, linhas de transmissão, cabos, maquinas elétricas, modelos de rotinas MODELS e TACS. Desta forma, o usuário, através da interface, pode desenvolver novos modelos, podendo ser um sistema de controle ou componentes com características não lineares, por exemplo.

Figura 1 – Tela do programa ATPDraw com ícones da biblioteca



Fonte: Própria

A rotina TACS possibilita modelagens de sistemas de controle no domínio do tempo, via módulos do programa. Esta rotina possui módulos como: função de transferência, funções algébricas (somadores, multiplicadores), funções lógicas (E, OU), fontes de sinais, chaves, bloco de entrada e saída de sinal programados em FORTRAN (FILHO e PEREIRA 1996).

A rotina MODELS dentro do programa ATPDraw pode ser entendida como um algoritmo de programação que possibilita a modelagem e simulação de sistemas, tanto no domínio do tempo quanto no domínio da frequência (DUBÉ, 1996).

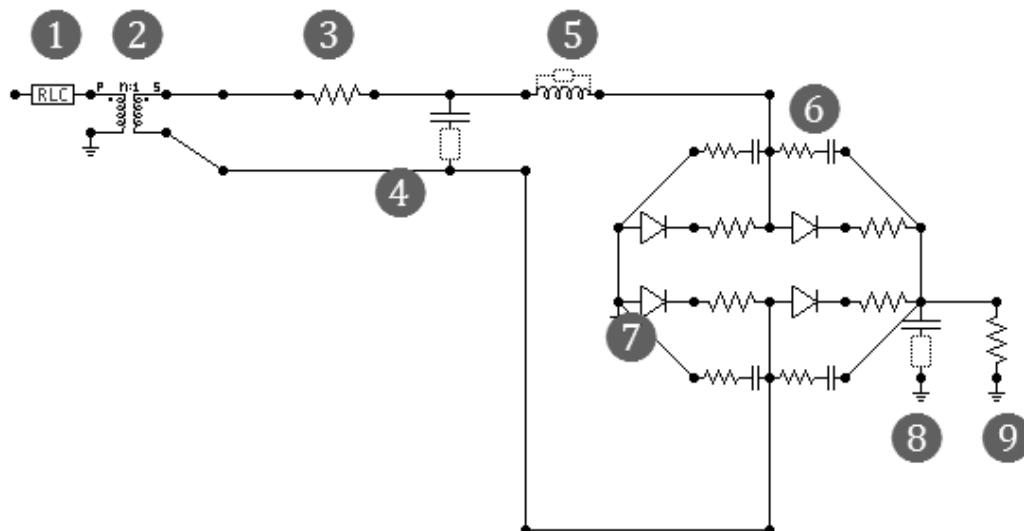
A rotina MODELS utiliza as ferramentas disponibilizadas no programa, as quais são interativas e possibilitam estudos e análises. Nesta rotina o usuário tem a possibilidade de controle e interação com a programação, via interface que é gerada conforme as entradas adicionadas na rotina.

## 2.2 Método

Para a implementação do modelo da carga não linear (lâmpada fluorescente compacta), inicialmente foram selecionados todos os itens necessários dentro da biblioteca do programa ATPDraw por meio de ícones e posteriormente foi realizada a montagem consiste em conectar os componentes. O circuito da Figura 2 foi modelado utilizando os seguintes itens:

1. Conjunto RLC de entrada:  $R=0,001\Omega$ ,  $L=0,0001$  mH e  $C=0\mu\text{F}$ ;
2. Transformador isolador:  $n=1$  e  $\text{BRANCH}=1$ ;
3. Resistor:  $R=0,00001\Omega$ ;
4. Capacitor (tipo CAP\_RS):  $C=1\mu\text{F}$  e  $Ks=0.15$ ;
5. Indutor:  $L=0,00004$  mH e  $Kp=7.5$ ;
6. Conjunto Resistor Capacitor:  $R=33\Omega$  e  $C=0.01\mu\text{F}$ ;
7. Diodos:  $Vig = 0\text{V}$ ,  $Ihold = 0\text{A}$ ,  $Tdeion = 0\text{s}$  e  $\text{CLOSED}=1$ ;
8. Capacitor aterrado (tipo CAP\_RS):  $C=25\mu\text{F}$  e  $Ks=0.15$ ;
9. Resistor aterrado:  $1350\Omega$ .

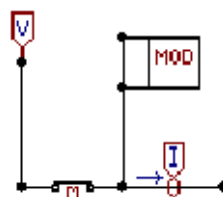
Figura 2 - Modelagem de lâmpada fluorescente compacta



Fonte: Beuter (2015)

A implementação do modelo e simulação do medidor de grandezas elétricas com a teoria IEEE 1459/2010 foi adotado na rotina MODELS. O circuito do medidor foi modelado utilizando os seguintes itens: Probe\_Voltage, Probe\_Current, SWMEAS e MODEL:DEFAULT. A montagem consiste em conectar os componentes. Na Figura 3 é ilustrado o circuito do medidor de grandezas.

Figura 3 – Modelo de medidor de grandezas elétricas, de acordo com as definições da IEEE 1459-2010



Fonte: Própria

A programação do medidor foi elaborada utilizando 18 equações extraídas da IEEE Std 1459-2010, conforme a seguir:

- Tensões e correntes:

$$v_H = V_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} V_h \text{sen}(h\omega t - \alpha_h) \quad (V) \quad \text{Tensão não senoidal} \quad (1)$$

$$i_H = I_0 + \sqrt{2} \sum_{h \neq 1} I_h \text{sen}(h\omega t - \beta_h) \quad (A) \quad \text{Corrente não senoidal} \quad (2)$$

- Potências aparentes, ativas e reativas;

$$P_1 = V_1 I_1 \cos \theta_1 \quad (W) \quad \text{Potência ativa fundamental} \quad (3)$$

$$Q_1 = V_1 I_1 \text{sen} \theta_1 \quad (VAR) \quad \text{Potência reativa fundamental} \quad (4)$$

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (VA) \quad \text{Potência aparente fundamental} \quad (5)$$

$$P_H = V_0 I_0 + \sum_{h \neq 1} V_h I_h \cos \theta_h \quad (W) \quad \text{Potência ativa harmônica} \quad (6)$$

$$P = P_1 + P_H \quad (W) \quad \text{Potência ativa} \quad (7)$$

$$S = VI \quad (VA) \quad \text{Potência aparente} \quad (8)$$

$$S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (VA) \quad \text{Potência aparente não fundamental} \quad (9)$$

$$N = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (VAR) \quad \text{Potência não ativa} \quad (10)$$

$$D_i = S_1 (THD_i) \quad (VAR) \quad \text{Potência de distorção de corrente} \quad (11)$$

$$D_v = S_1 (THD_v) \quad (VAR) \quad \text{Potência de distorção de tensão} \quad (12)$$

$$D_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2} \quad (VAR) \quad \text{Potência de distorção harmônica} \quad (13)$$

$$S_H = S_1 (THD_v) (THD_i) \quad (VA) \quad \text{Potência aparente harmônica} \quad (14)$$

- Distorções totais de tensão e corrente;

$$DTT = THD_v = \frac{V_H}{V_1} = \sqrt{\left(\frac{V}{V_1}\right)^2 - 1} \quad \text{Distorção total de tensão} \quad (15)$$

$$DTI = THD_i = \frac{I_H}{I_1} = \sqrt{\left(\frac{I}{I_1}\right)^2 - 1} \quad \text{Distorção total de corrente} \quad (16)$$

- Fator de potência fundamental e fator de potência.

$$P_{F1} = \cos \theta_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad \text{Fator de potência fundamental} \quad (17)$$

$$P_F = \frac{P}{S} \quad \text{Fator de potência} \quad (18)$$

A programação na linguagem MODELS seguiu a estrutura padrão, conforme Quadro 1. Também foi utilizada uma rotina dentro da estrutura para calcular o conteúdo harmônico por meio da decomposição de Fourier, seguindo o modelo do manual do usuário de PRIKLER e HØIDALEN (2009).

Quadro 1 - Sequência da estrutura de programação

MODEL	--Início da programação e nome da models--
INPUT	-- declaração das variáveis--
DATA	--dados das variáveis--
VAR	--variáveis--
INIT	--condição inicial das variáveis em t = 0s--
ENDINIT	--finaliza as condições iniciais--
EXEC	--início da rotina a ser executada--
ENDEXEC	--fim da rotina de execução--
ENDMODEL	--fim da programação--
RECORD	--função para plotar dados de interesse na janela de plot--

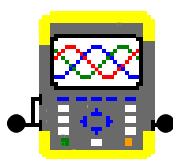
Fonte: Própria

Simplificadamente, o algoritmo do medidor na MODELS possui a seguinte lógica:

- 1) Inicialização das variáveis, a partir dos dados de entrada fornecidos pelo usuário: frequência da rede e número de harmônicas consideradas;
- 2) Decomposição dos sinais de tensão e corrente pela série de Fourier, até a 51° ordem harmônica;
- 3) Cálculo das distorções totais de tensão e corrente;
- 4) Cálculo da tensão e corrente considerando sinal senoidal e sinal distorcido;
- 5) Cálculo das potências ativa com sinal senoidal e com sinal distorcido usando os componentes harmônicos até a 51° ordem;
- 6) Cálculo da potência reativa com sinal senoidal e com sinal distorcido, usando os componentes harmônicos até a 51° ordem;
- 7) Cálculo da potência aparente para sinal senoidal e sinal distorcido;
- 8) Cálculo do fator de potência e fator de potência fundamental;
- 9) Por fim é realizada a plotagem das grandezas utilizando a função “record” a qual possibilita visualizar na tela de plot as grandezas inseridas nesta função.

A modelagem da lâmpada fluorescente compacta e do medidor de energia foram “transformados” em ícones representativos para simplificar a sua utilização nos trabalhos de simulação, para tanto, lançando mão da ferramenta Compress Group, conforme são ilustrados nas Figuras 4 e 5.

Figura 4 - Medidor



Fonte: Própria

Figura 5 - Lâmpada Fluorescente compacta



Fonte: Própria

Com as modelagens concluídas, iniciou-se as simulações e verificações das grandezas elétricas no ponto de conexão entre a carga (LFC) e fonte de alimentação, que foi configurada com tensão nominal de 127 V e frequência de 60 Hz.

Para validação da modelagem, foi realizada comparação de resultados obtidos na simulação, com dados de medição em laboratório, com auxílio do analisador de qualidade de energia FLUKE 434 e dados do fabricante das lâmpadas usadas nas medições, as quais possuem as seguintes características elétricas Beuter (2015):

- Potência nominal: 20W
- Corrente: 242mA
- Tensão: 120-127V
- Frequência: 50-60Hz
- THD (%)  $\leq$  150
- F.P.:  $>0,5$

Na Figura 6 apresenta-se o resultado de medições realizado com 30 lâmpadas fluorescente compactas, de 20 watts, 10 lâmpadas por fase. Também na Figura 6 são apresentados dados de potências, considerando sinal distorcido, indicado pela função **FULL** do analisador de energia.

Figura 6 – Tela do analisador qualidade de energia Fluke 434 com grandezas das LFC

Power & Energy				
FULL 0:00:29				
	L1	L2	L3	Total
kW	0.20	0.20	0.20	0.60
kVA	0.34	0.34	0.34	1.02
kVAR	÷ 0.27	÷ 0.27	÷ 0.27	÷ 0.82
PF	0.59	0.60	0.59	0.59
DPF	0.89	0.89	0.91	0.90
A <sub>rms</sub>	2.7	2.7	2.7	
	L1	L2	L3	
V <sub>rms</sub>	125.41	127.03	127.03	
08/12/14 10:30:09		120V 60Hz 3Ø WYE		EN50160
		ENERGY	TREND	

Fonte: Beuter (2015)

Beuter (2015) também apresenta no apêndice B, resultados de laboratório, com medições de uma única LFC. Tendo como valores colhidos, via analisador de energia as seguintes potências:

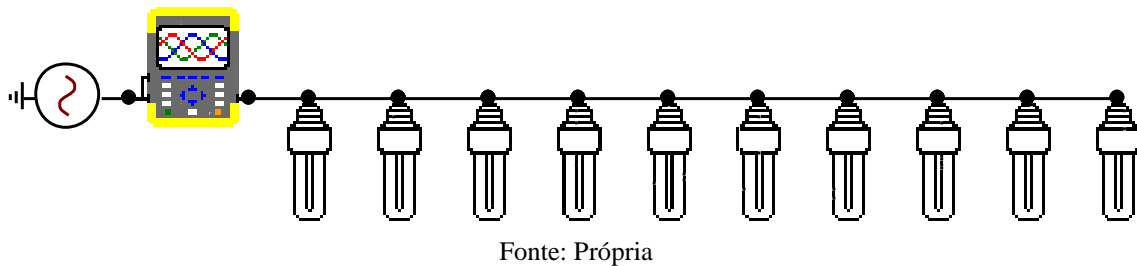
- Potência ativa 20,44 W
- Potência reativa 27,60 Var
- Potência aparente 34,36 VA



### 3\_RESULTADOS

O circuito finalizado em forma de ícones representativos é ilustrado na Figura 7, o qual é composto pela fonte de alimentação, o medidor de energia e dez lâmpadas fluorescentes compactas. Os dados “registrados” são apresentados em forma de gráficos e, complementarmente, em uma tabela resumo com os dados da simulação e dados do trabalho de Beuter (2015).

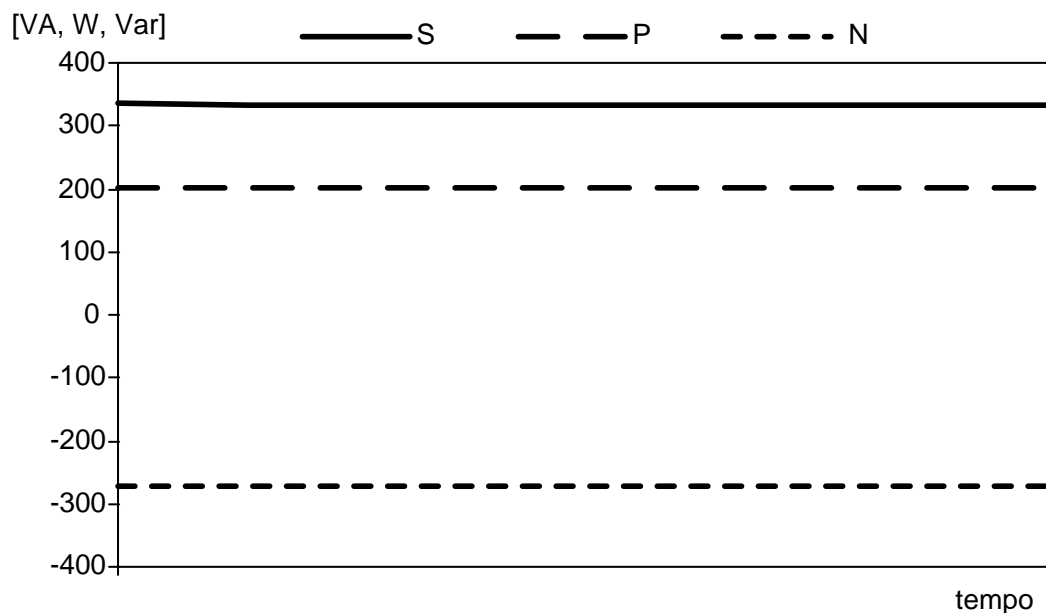
Figura 7 – Circuito finalizado no programa ATPDraw, composto por: fonte, medidor e lâmpadas



Na Figura 8 é ilustrada a plotagem gráfica das potências aparente (S), ativa (P) e não ativa (N) cujos valores obtidos para o conjunto de 10 lâmpadas acionadas em paralelo foram:

- Potência ativa 200,00 W
- Potência reativa -271,50 Var
- Potência aparente 337,00 VA

Figura 8 - Potências elétricas



Fonte: Própria

Na plotagem da potência reativa foi empregado uso da potência não ativa, a qual corresponde a potência reativa do analisador de energia Fluke 434 no modo FULL.

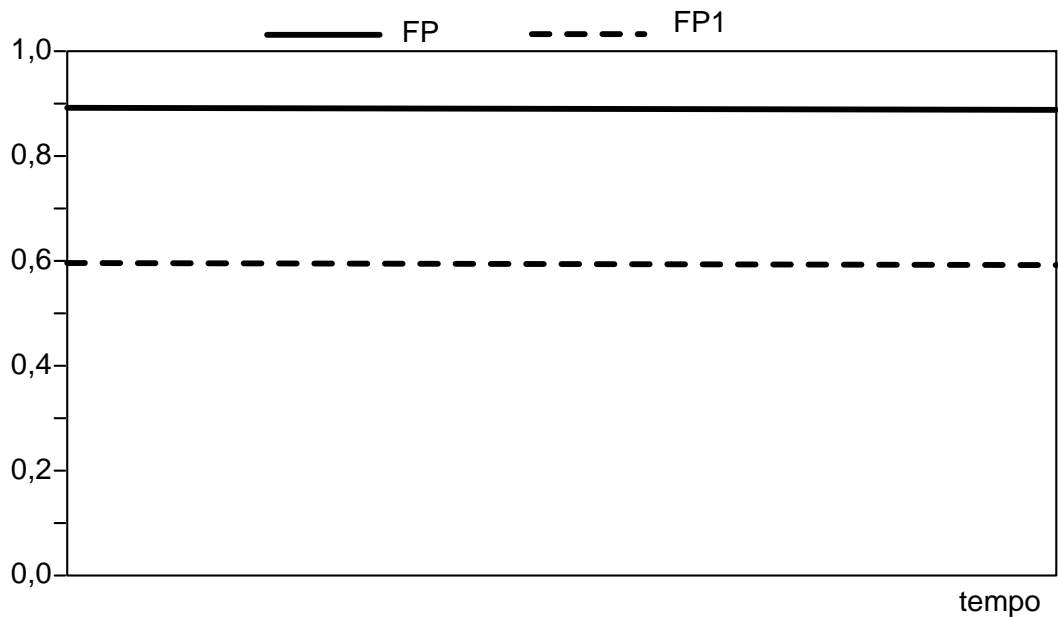
Na Figura 9 são plotados os valores obtidos do fator de potência (FP) e fator de potência fundamental (FP1) cujos valores obtidos na simulação foram:

QUADROS, R.; CARVALHO, B. C. Proposta de um dispositivo para medição de energia elétrica no programa atpdraw via rotina models.



- $FP = 0,59$
- $PF1 = 0,89$

Figura 9 - Fator de potência e fator de potência fundamental

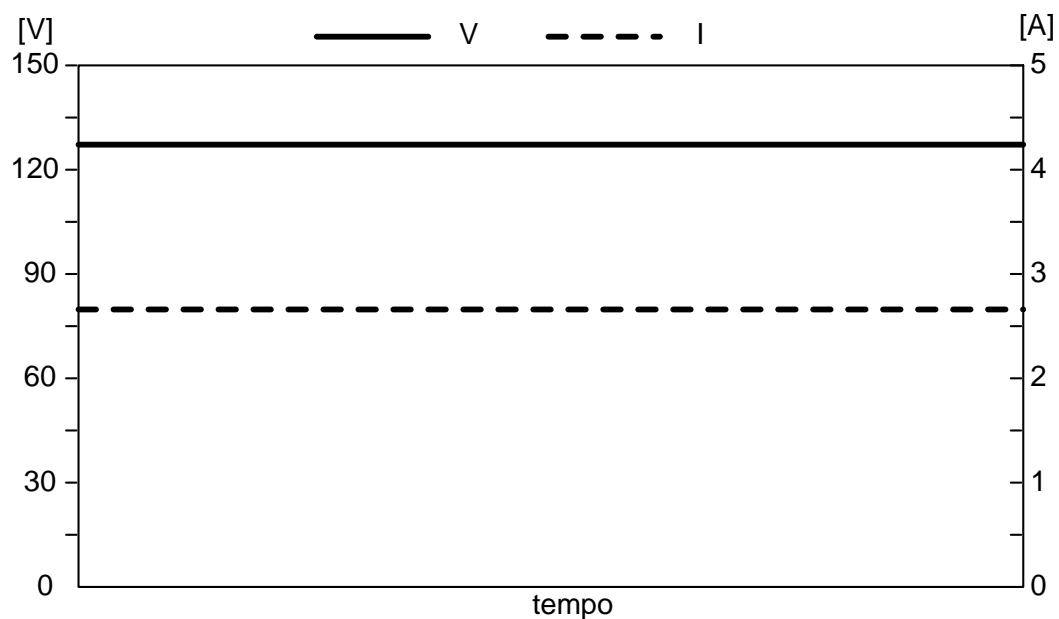


Fonte: Própria

Por fim foram verificados os valores da tensão e corrente elétrica demandados pelo conjunto de LFC. Na Figura 10 está plotado o gráfico de tensão e corrente eficaz, cujos valores colhidos foram:

- Tensão = 127,00V
- Corrente = 2,65 A

Figura 10 - Tensão e corrente elétrica - valor rms verdadeiro.



Fonte: Própria

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da simulação no ambiente ATPDraw e dados da medição de Beuter (2015) com analisador de energia Fluke 434, cujos resultados mostrados na tela são truncados com duas casas decimais.

Tabela 1 - Resultados do programa ATPDraw e Analisador FLUKE 434

	Programa ATPDraw	Analisador FLUKE 434
V (V)	127,00	127,03
I (A)	2,65	2,70
FP	0,59	0,59
FP1	0,89	0,89
S (VA)	337,00	340,00
P (W)	200,00	200,00
N (VAr)	-271,50	270,00

Fonte: Própria

Observa-se que os resultados do medidor implementado no simulador ATPDraw são condizentes com os do analisador Fluke 434, o permite validar o medidor de energia desenvolvido em linguagem MODELS em ambiente virtual, para verificação de grandezas elétricas e posteriores análises de qualidade de energia elétrica.

#### 4\_ CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo a modelagem, implementação e validação de um medidor de energia elétrica considerando as definições estabelecidas na IEEE Std 1459-2010. Os resultados alcançados via simulador, mostram-se condizentes com os experimentais, portanto, pode-se atestar o adequado desempenho do medido proposto.

O desenvolvimento deste medidor de energia levou em consideração uma sugestão de trabalho futuro apresentado por Beuter (2015) o qual recomendava aprimoramento de medidor de energia virtual no programa ATPDraw, para que também contempla-se a sua utilização perante sinais distorcidos e indicação de potências do tipo reativas capacitivas.

Com o desenvolvimento desta ferramenta virtual é possível verificar outras grandezas descritas nas definições da IEEE Std 1459-2010, para eventuais análises de qualidade de energia elétrica.

## 5\_REFERÊNCIAS

AHMED, A. **Eletrônica de potência**. São Paulo: Ed. Prentice Hall, 2000. ISBN 85-87918-03-6.

AKAGI, H. Prospects of new technologies for power electronics in the 21st century. In: IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exhibition, 2002, Asia Pacific. **Anais...** Asia Pacific: IEEE, 2002. p. 1399-1404.

BARBI, I. **Eletrônica de potência**. Florianópolis: Ed. Do Autor, 2006.

BEUTER, C. H. **Estudo da influência no reativo do barramento de um sistema elétrico utilizando cargas eletrônicas em projetos de eficiência energética**. 2015. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental) Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2015.

DUBÉ, L. **User guide to models in atp**. Neskowin. 1996. 160 p.

FILHO, J. A., PEREIRA, M. P. **Atp alternative transientes program: curso básico sobre a utilização do atp**. 1996. 190 f. Comitê Latino Americano de Usuários do EMTP/ATP, 1996.

IEEE Std 1459-2010. IEEE Standard definitions for the measurement of electric power quantities under sinusoidal, nonsinusoidal, balanced, or unbalanced conditions. New York, 2010. 70 p. ISBN 978-0-7381-6058-0.

NUNES, R. V. **Análise da penetração harmônica em redes de distribuição desequilibradas devido às cargas residenciais e comerciais com a utilização do ATP**. 2007. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

PAREDES, H. K. M. **Teoria de potência conservativa: uma nova abordagem para o controle cooperativo de condicionadores de energia e considerações sobre atribuição de responsabilidades**. 2011. 221f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2011.

PRIKLER, L., HØIDALEN, H. K. **ATPDraw version 5.6 for windows 9x/NT/2000/XP/Vista User Manual**. Norway, 2009. 270 p.

SZCZÉSNIAK, P., KANIEWSKI, J. Power electronics converters without DC energy storage in the future electrical power network. **Electric Power Systems Research**. p. 194-207, 2015. ISSN 0378-7796.