

DESENVOLVIMENTO DE MODELO MATEMÁTICO PARA DESCRIÇÃO DA EFICIÊNCIA c.c./c.a. DE INVERSORES UTILIZADOS EM SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE

Giuliano Arns Rampinelli – giuliano.rampinelli@satc.edu.br

Faculdade SATC, Grupo de Pesquisas em Energia Solar

Arno Krenzinger – arno.krenzinger@urfgs.br

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Laboratório de Energia Solar

Faustino Chenlo Romero – faustino.chenlo@ciemat.es

Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica

Resumo. Para realizar uma simulação confiável de um sistema fotovoltaico é fundamental conhecer as características elétricas e térmicas de cada componente e desenvolver modelos matemáticos que descrevam o funcionamento do sistema. Este trabalho apresenta um modelo matemático para descrição do comportamento da eficiência c.c./c.a. de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos e que foi obtido a partir de resultados de ensaios experimentais. O modelo matemático apresentado pode ser utilizado em programas computacionais de simulação. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) onde foram utilizados dez modelos de inversores de três fabricantes e no Laboratório de Energia Solar Fotovoltaica do Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT) onde foram utilizados sete modelos de inversores de cinco fabricantes. A partir da comparação entre as curvas medidas e as curvas teóricas de cada característica elétrica e térmica previstas pelo modelo matemático proposto foram determinados coeficientes que representam cada inversor medido e que devem ser inseridos no banco de dados do software.

Palavras-chave: Energia Solar, Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, Inversor, Modelos Matemáticos.

1. INTRODUÇÃO

A avaliação de um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser realizada mediante um sistema de monitoramento de longa duração ou um sistema de monitoramento de curta duração (Dávilla et. al., 2004). Um software é uma ferramenta de auxílio para simulação, dimensionamento, caracterização e análise de sistemas fotovoltaicos. O monitoramento experimental depende de equipamentos de medidas e tempo para execução da análise do sistema, enquanto que um software tem a capacidade de realizar diversas simulações de diferentes configurações. Entretanto, para realizar uma simulação que retorne dados confiáveis é necessário desenvolver um software baseado em modelos matemáticos validados e obtidos a partir de ensaios específicos.

O inversor c.c./c.a. converte a potência em corrente contínua proveniente do sistema fotovoltaico em potência em corrente alternada que em condições normais (qualidade aceitável) será injetada na rede elétrica. O desenvolvimento da tecnologia eletrônica de potência permitiu considerável incremento na eficiência de conversão c.c./c.a., conjuntamente com um aumento de confiabilidade e redução de custos (Cruz, 2009). Historicamente, os sistemas fotovoltaicos, isolados da rede ou conectados à rede, de pequenas potências utilizam inversores monofásicos. Entretanto, em aplicações conectadas à rede, os inversores monofásicos, por injetarem corrente em uma única fase da rede, produzem desequilíbrio entre as fases. Por motivo de estabilidade recomenda-se conectar uma potência máxima de 4,6 kW, com 10 % de tolerância, em uma fase para evitar uma maior assimetria entre as fases da rede elétrica (Photon, 2010/3). Para potências maiores que 5 kW são necessários vários inversores monofásicos para garantir uma distribuição simétrica entre as três fases da rede (Photon, 2010/3).

Os inversores apresentam diferentes circuitos de conversão de energia e opções de transformadores. Cada topologia possui características próprias, implicando em vantagens e desvantagens umas em relação às outras (Urbanetz, 2010; Kjaer et al., 2005). A eficiência c.c./c.a. do inversor é definida (IEC 61683) como a razão entre a energia elétrica na saída do inversor e a energia elétrica na entrada do inversor. A eficiência c.c./c.a. é dependente principalmente da potência que está operando o inversor em um dado instante em relação à sua potência nominal. A tensão c.c. também afeta a eficiência c.c./c.a., embora essa seja uma dependência muitas vezes desconsiderada nos modelos matemáticos mais simples que representam o comportamento elétrico do inversor. A eficiência c.c./c.a. também tem dependência com a temperatura, embora seja recomendável desconsiderar essa dependência para não aumentar a complexidade do modelo matemático. Testes realizados nos laboratórios da Sandia (*Sandia National Laboratories*) mostram que a eficiência c.c./c.a. não tem dependência considerável com a temperatura (King et al., 2007). Os modelos matemáticos de inversores, geralmente, determinam a eficiência de conversão c.c./c.a. utilizando parâmetros associados às diferentes perdas elétricas e térmicas que decorrem do processo de conversão.

2. DESCRIÇÃO DOS ENSAIOS ELÉTRICOS DE INVERSORES

Os ensaios experimentais foram divididos em duas etapas. A primeira etapa do trabalho foi desenvolvida no Labsol da UFRGS. Para os ensaios específicos de inversores foram utilizados dez modelos diferentes de inversores, sendo cinco de tecnologia *SMA*, três de tecnologia *Fronius* e dois de tecnologia *Mastervolt*. A Tab. 1 apresenta as principais características técnicas dos inversores utilizados nos ensaios desenvolvidos no Labsol/UFRGS (Kreutzmann e Welter, 2005). A segunda etapa do trabalho foi desenvolvida no Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Para realização dos ensaios elétricos de inversores foram utilizados sete modelos de inversores monofásicos de diferentes fabricantes, sendo três inversores de tecnologia *SMA* e um inversor dos seguintes fabricantes: *Ingeteam*, *Fronius*, *Sunways* e *Xantrex*. A Tab. 2 apresenta algumas características elétricas dos inversores utilizados nos ensaios de eficiência de conversão c.c./c.a. em diferentes tensões c.c. de entrada (Kreutzmann e Welter, 2005).

Tabela 1 – Dados de potência elétrica c.c. e c.a. dos inversores que foram ensaiados no Labsol/UFRGS.

Fabricante	Modelo	Potência c.c. (W)		Potência c.a. (W)		Topologia (Transformador)
		Máxima	Nominal	Máxima	Nominal	
<i>SMA</i>	<i>SB 700U</i>	1000	780	700	700	Baixa frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 1100E</i>	1210	1100	1100	1000	Baixa frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 2100</i>	2450	2000	2100	1900	Baixa frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 2500</i>	3000	2480	2500	2300	Baixa frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 3800U</i>	4800	4040	3800	3800	Baixa frequência
<i>Fronius</i>	<i>IG 15</i>	2000	1400	1500	1300	Alta frequência
<i>Fronius</i>	<i>IG 20</i>	2700	1940	2000	1800	Alta frequência
<i>Fronius</i>	<i>IG 30</i>	3600	2690	2650	2500	Alta frequência
<i>Mastervolt</i>	<i>QS 2000</i>	1800	1700	1725	1600	Alta frequência
<i>Mastervolt</i>	<i>QS 3200</i>	2950	2750	2750	2600	Alta frequência

Tabela 2 – Dados de potência elétrica c.c. e c.a. dos inversores que foram ensaiados no LESF/CIEMAT.

Fabricante	Modelo	Potência c.c. (kW)		Potência c.a. (kW)		Topologia (Transformador)
		Máxima	Nominal	Máxima	Nominal	
<i>Ingeteam</i>	<i>Ingecon Sun 2,5</i>	3,3	3,3	2,7	2,5	Baixa frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 1100U</i>	1,21	1,2	1,1	1,0	Baixa frequência
<i>Fronius</i>	<i>IG 30</i>	3,6	2,69	2,65	2,5	Alta frequência
<i>Sunways</i>	<i>NT 4000</i>	3,4	3,4	3,3	3,3	Sem transformador
<i>Xantrex</i>	<i>GT 3.0</i>	3,4	3,4	3,3	3,3	Alta frequência
<i>SMA</i>	<i>SB 3300TL</i>	3,44	3,44	3,3	3,0	Sem transformador
<i>SMA</i>	<i>SB SWR 2000</i>	2,1	2,1	2,0	1,8	Baixa frequência

3. MEDIDA E ANÁLISE DOS ENSAIOS ELÉTRICOS DE INVERSORES

As principais características elétricas de inversores para conexão à rede são: eficiência de conversão c.c./c.a., eficiência do SPMP, fator de potência e distorção harmônica (Girbau et al., 2004). O modelo matemático desenvolvido foi obtido mediante realização de ensaios específicos com diferentes tecnologias de inversores. Este trabalho desenvolve, a partir de ensaios elétricos, uma modelagem matemática do comportamento da eficiência c.c./c.a. de inversores utilizados em SFCR e adota inicialmente o modelo matemático de Jantsch et al. (1992) para descrição da eficiência de conversão c.c./c.a. de inversores. A eficiência é medida em toda faixa de potência admissível pelo inversor resultando em uma curva de eficiência em função da potência relativa. A partir do ajuste entre os pontos medidos e a curva teórica prevista pelo modelo matemático adotado são obtidos os coeficientes de potência.

A Fig. 1 apresenta a curva de eficiência de conversão c.c./c.a. medida dos inversores *SMA Sunny Boy 700U* e *SMA Sunny Boy 1100E* e o ajuste da curva descrita pelo modelo matemático teórico. A forma das curvas de eficiência c.c./c.a. segue o comportamento esperado. O ajuste entre a curva descrita a partir do modelo matemático adotado e a curva medida apresenta coeficiente de determinação R^2 maior que 0,9 para todos os inversores ensaiados. Em geral, a partir de 30 % da potência nominal, a eficiência c.c./c.a. já é da ordem de 90 % e os máximos valores de eficiência são obtidos em potências relativas entre 0,5 e 0,8. A eficiência diminui para potências menores, pois todos os equipamentos têm um consumo elétrico mínimo cuja proporção com a potência convertida aumenta para baixas potências. A eficiência europeia e a eficiência californiana (Photon, 2010/3) diferem nos valores de potência considerados e nos respectivos fatores multiplicadores e comumente são adotadas como médias representativas para níveis de irradiância média e alta, respectivamente. A Tab. 3 apresenta os coeficientes obtidos a partir do ajuste entre os pontos medidos e a curva teórica prevista pelo modelo matemático e a Tab. 4 apresenta a eficiência dos inversores ensaiados para cada valor de potência definido na eficiência europeia e na eficiência californiana.

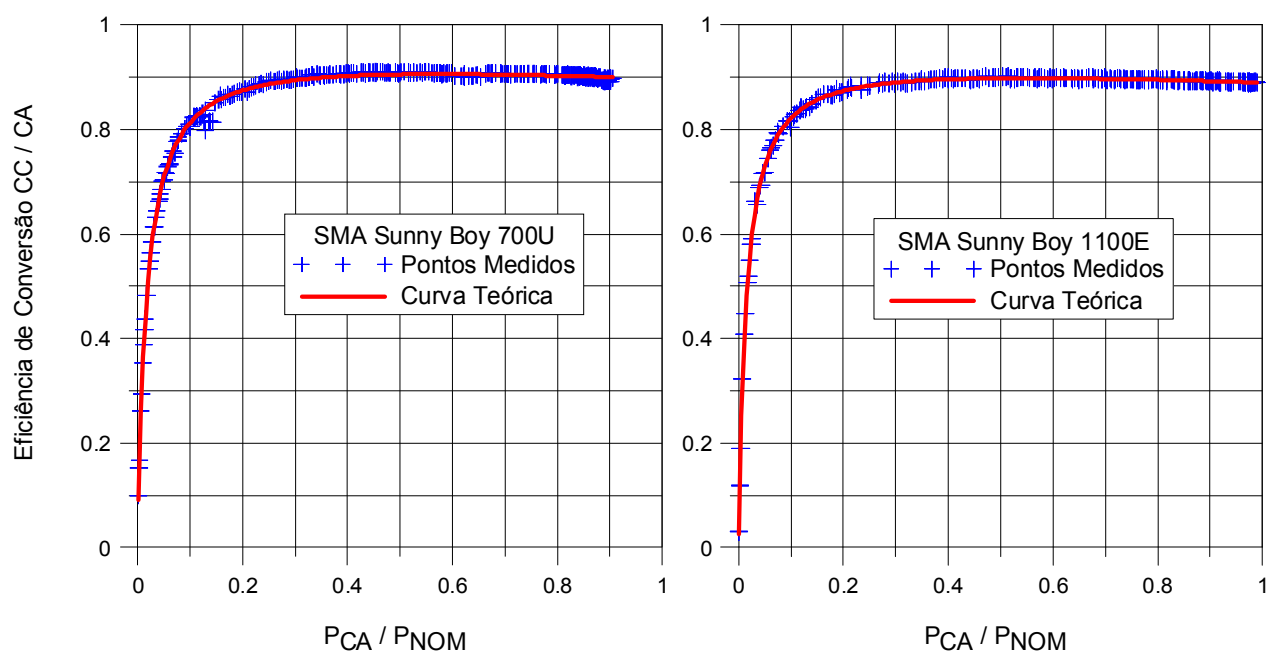


Figura 1 – Curva de eficiência de conversão c.c./c.a. dos inversores *SMA Sunny Boy 700U* e *SMA Sunny Boy 1100E*.

Tabela 3 – Coeficientes de potência do modelo matemático da eficiência c.c./c.a..

Fabricante	Modelo	K_0	K_1	K_2	R^2
SMA	SB 700U	0,0185	0,0393	0,0562	0,99
SMA	SB 1100E	0,0154	0,0562	0,0519	0,99
SMA	SB 2100	0,0139	0,0395	0,0465	0,99
SMA	SB 2500	0,0042	0,0327	0,0635	0,91
SMA	SB 3800U	0,0187	0,0368	0,044	0,99
Fronius	IG 15	0,0209	0,0895	-0,0113	0,97
Fronius	IG 20	0,0349	0,057	0,0218	0,99
Fronius	IG 30	0,0205	0,0438	0,0477	0,95
Mastervolt	QS 2000	0,0164	0,0696	0,0199	0,99
Mastervolt	QS 3200	0,0201	0,0606	0,0366	0,98

Tabela 4 – Eficiência dos inversores ensaiados para cada valor de potência definido na eficiência europeia e na eficiência californiana.

Modelo	5%	10%	20%	30%	50%	75%	100%
SB 700U	70,8	81,3	87,4	89,4	90,5	90,4	89,7
SB 1100E	73,1	82,2	87,4	89,0	89,8	89,6	89,0
SB 2100	75,7	84,5	89,4	90,9	91,6	91,4	90,9
SB 2500	89,2	92,5	93,7	93,8	93,2	92,0	90,8
SB 3800U	70,7	81,4	87,7	89,9	91,2	91,3	90,9
IG 15	66,3	77,0	83,9	86,5	88,8	90,1	90,9
IG 20	56,9	71,0	80,9	84,7	87,8	89,2	89,7
IG 30	68,6	79,7	86,5	88,7	90,1	90,3	89,9
QS 2000	71,5	80,9	86,5	88,4	89,8	90,3	90,4
QS 3200	68,2	79,0	85,5	87,8	89,3	89,6	89,5

A eficiência de conversão c.c./c.a. é dependente principalmente da potência que está operando o inversor em um dado instante. Entretanto a tensão c.c. de entrada também afeta a eficiência de conversão c.c./c.a. do inversor. Para analisar a influência da tensão c.c. de entrada no comportamento da eficiência c.c./c.a. dos inversores utilizados em SFCR foram realizados ensaios elétricos de inversores monofásicos de potência nominal até 5 kW.

As curvas de eficiência c.c./c.a. dos inversores *Sunways NT 4000* e *SMA Sunny Boy 3300TL* em diferentes tensões c.c. são apresentadas, respectivamente, na Fig. 2 e na Fig. 3. A Tab. 5 e a Tab. 6 apresentam, respectivamente, a eficiência c.c./c.a. dos inversores *Fronius IG 30* e *SMA Sunny Boy 3300TL* em diferentes tensões c.c. e para diferentes níveis de carregamento.

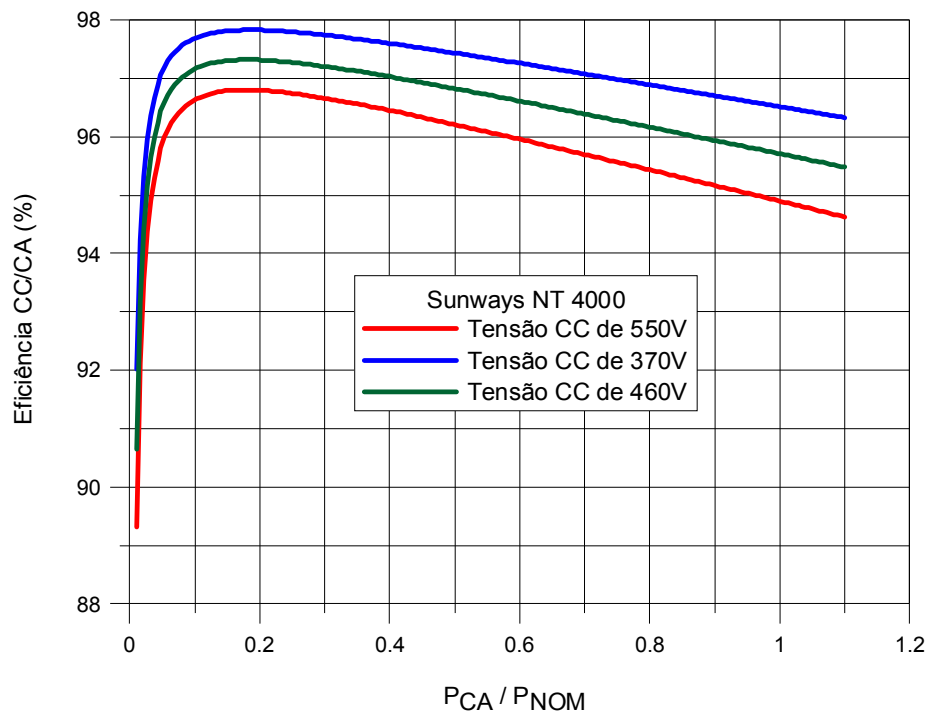


Figura 2 – Curva de eficiência de conversão c.c./c.a. do inversor *Sunways NT 4000* em diferentes tensões.

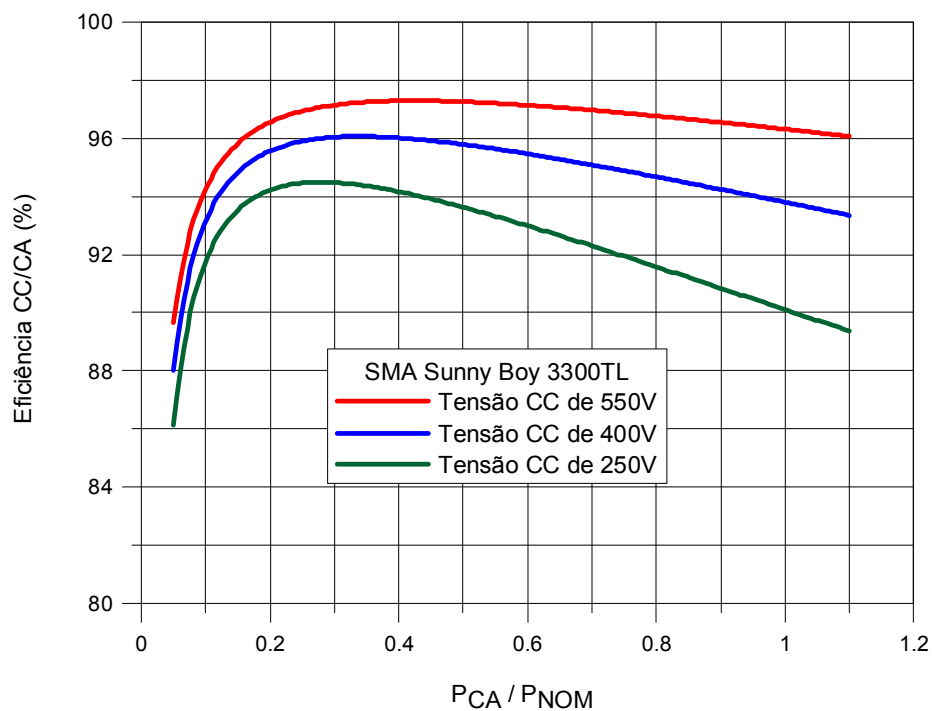


Figura 3 – Curva de eficiência c.c./c.a. do inversor *SMA Sunny Boy 3300TL* em diferentes tensões c.c. de entrada.

Tabela 5 – Eficiência c.c./c.a. do inversor *Fronius IG 30* em diferentes tensões c.c. de entrada e em diferentes níveis de carregamento.

P_{CA}/P_{NOM}	160 V	220 V	280 V	370 V
5 %	85,3	88,8	89,6	90,8
10 %	89,5	91,5	92,5	91,7
20 %	91,6	92,8	94,0	92,4
30 %	92,2	93,2	94,2	92,7
50 %	92,3	93,5	94,2	93,1
75 %	92,0	93,5	93,8	93,6
100 %	91,6	93,3	93,4	94,1

Tabela 6 – Eficiência c.c./c.a. do inversor *SMA Sunny Boy 3300TL* em diferentes tensões c.c. de entrada e em diferentes níveis de carregamento.

P_{CA}/P_{NOM}	250 V	400 V	550 V
5 %	86,3	88,0	89,6
10 %	91,8	93,2	94,3
20 %	94,2	95,6	96,5
30 %	94,5	96,0	97,1
50 %	93,7	95,8	97,2
75 %	92,6	94,9	96,8
100 %	90,4	93,8	96,3

Este trabalho propõe uma modificação no modelo de Jantsch et. al. (1992), inserindo coeficientes dependentes da tensão. O modelo matemático de Jantsch et al. (1992) que descreve a curva de eficiência c.c./c.a. de inversores tem elevada correlação com as curvas medidas experimentalmente, entretanto o modelo considera a eficiência apenas como função da potência relativa. Como a tensão c.c. também influencia no comportamento das curvas de eficiência de inversores, o modelo matemático foi modificado para considerar a eficiência como função da potência relativa e da tensão c.c. de entrada, substituindo os coeficientes originais K_0 , K_1 e K_2 por combinações lineares e novos coeficientes (Eq. 1).

$$\eta_{inv} = \frac{\frac{P_{CA}}{P_N}}{\frac{P_{CA}}{P_N} + \left((K_{0VCC0} \pm S_0 \cdot V_{CC}) + (K_{1VCC0} \pm S_1 \cdot V_{CC}) \frac{P_{CA}}{P_N} + (K_{2VCC0} \pm S_2 \cdot V_{CC}) \left(\frac{P_{CA}}{P_N} \right)^2 \right)} \quad (\text{Eq. 1})$$

onde: P_N é a potência nominal do inversor; P_{CA} é a potência de saída do inversor; K_{0vcc} , K_{1vcc} , K_{2vcc} são coeficientes lineares de tensão e S_0 , S_1 , S_2 são coeficientes angulares de tensão.

Os coeficientes K_0 , K_1 e K_2 do modelo matemático que considera a eficiência de conversão c.c./c.a. apenas como função da potência apresentam valores absolutos para cada inversor e podem ser chamados de coeficientes de potência. Entretanto o modelo matemático modificado apresenta os coeficientes de potência como valores variáveis dependentes da tensão c.c. de entrada a que o inversor está submetido. Cada coeficiente de potência é descrito por dois coeficientes de tensão, denominados de coeficiente linear de tensão e coeficiente angular de tensão. A Fig. 4 apresenta o comportamento dos coeficientes de potência K_0 , K_1 e K_2 em função da tensão c.c. de entrada dos inversores *Ingeteam Ingecon Sun 2,5* e *Xantrex GT 3.0*. Os coeficientes de tensão são determinados a partir do ajuste entre a curva teórica, que neste caso é linear, e os coeficientes de potência determinados em diferentes tensões c.c. de entrada.

A partir da determinação dos coeficientes de tensão, que representam o comportamento dos coeficientes de potência em função da tensão c.c., do modelo matemático teórico proposto é possível desenvolver mapas de eficiência de conversão c.c./c.a. em função da tensão c.c. e da potência relativa. A eficiência é determinada, a partir do modelo matemático, em cada ponto de tensão c.c. e potência relativa. Os mapas de eficiência permitem avaliar os intervalos de tensão c.c. e potência relativa em que os inversores possuem maiores ou menores eficiências, ou seja, de forma simples os mapas permitem a visualização do comportamento dinâmico da eficiência de inversores em função da tensão c.c. e da potência relativa. A Fig. 5 apresenta o mapa de eficiência do inversor *Ingeteam Ingecon Sun 2,5* em função da tensão c.c. e da potência relativa. A análise do mapa de eficiência mostra que os maiores valores de eficiência são obtidos em tensões da ordem de 300 V e em potências relativas entre 30 % e 70 % enquanto que os menores valores de eficiência são obtidos em tensões da ordem de 120 V.

A Fig. 6 apresenta o mapa de eficiência do inversor *SMA Sunny Boy 1100U* em função da tensão c.c. e da potência relativa. A análise do mapa de eficiência mostra que os maiores valores de eficiência são obtidos em tensões da ordem de 300 V e em potências relativas entre 10 % e 30 % enquanto que os menores valores de eficiência são obtidos em tensões da ordem de 150 V. Os maiores valores de eficiência, independentemente da tensão c.c. de entrada, são obtidos em potências relativas menores que 50 %. O processo inverso também é válido e pode ser usado como ferramenta para uma finalidade específica, ou seja, a partir do mapa de eficiência c.c./c.a. de um inversor é possível a obtenção dos coeficientes de tensão do modelo matemático teórico proposto para serem inseridos em um banco de dados de um software ou ainda, a partir de curvas de eficiência em diferentes tensões c.c. fornecidas por fabricantes de inversores é possível conhecer o comportamento da variação dos coeficientes de potência em função da tensão c.c. e desenvolver o mapa de eficiência c.c./c.a. que apresenta o comportamento dinâmico do inversor em função da tensão c.c. e da potência relativa. A partir do ajuste entre as curvas fornecidas pelo fabricante e previstas pelo modelo matemático são determinados os coeficientes de potência em cada tensão c.c., fornecendo assim informações sobre o comportamento dos mesmos em função da tensão c.c. e consequentemente, a determinação dos coeficientes de tensão

do modelo matemático proposto no trabalho e o desenvolvimento do mapa de eficiência destes inversores em função da tensão c.c. e do nível de carregamento.

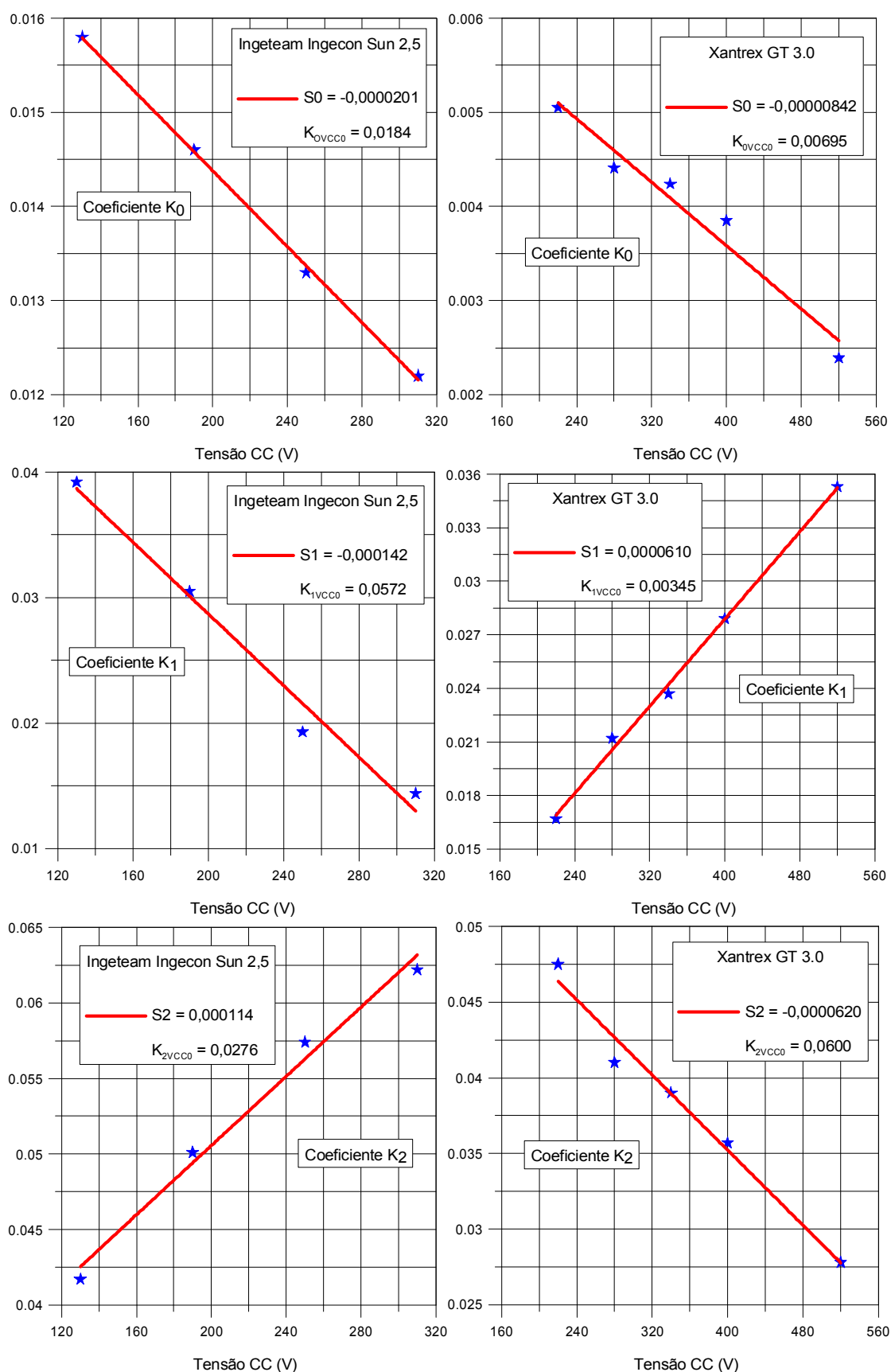


Figura 4 – Variação do coeficiente K_0 , do coeficiente K_1 e do coeficiente K_2 em função da tensão c.c. de entrada dos inversores *Ingeteam Ingecon Sun 2,5* e *Xantrex GT 3.0*.

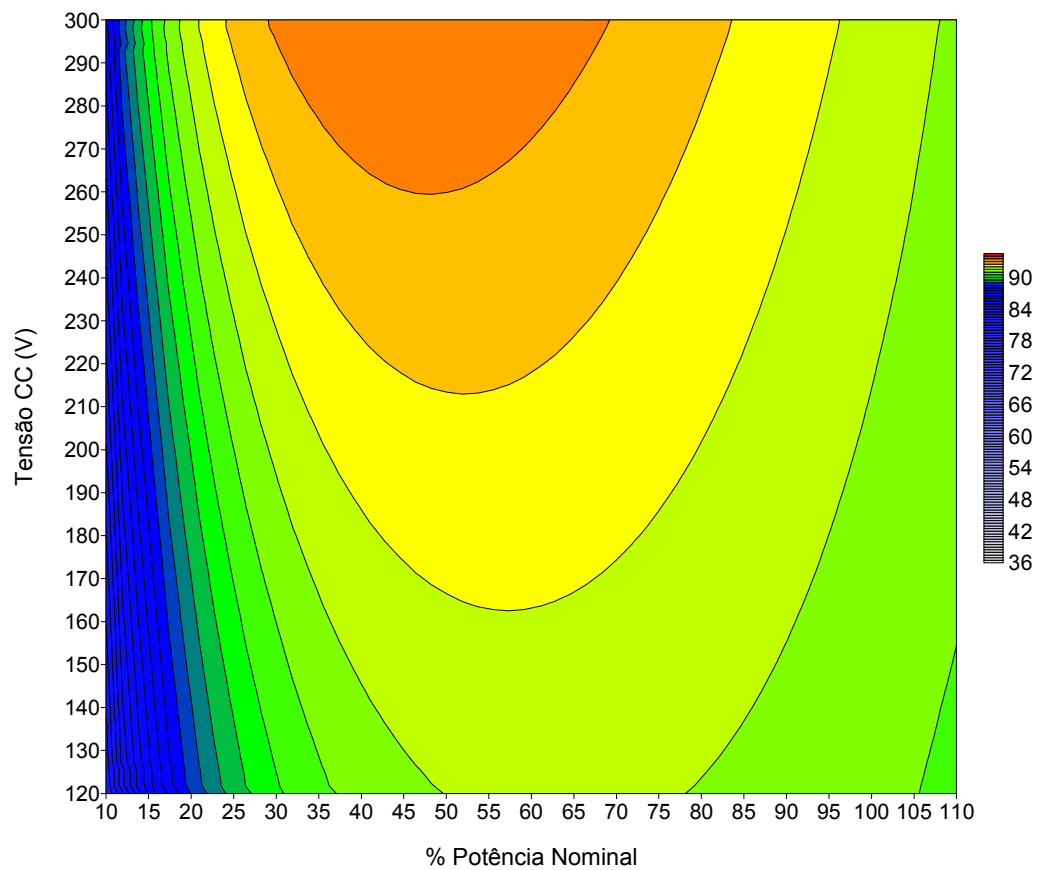


Figura 5 – Mapa de eficiência de conversão c.c./c.a. do inversor *Ingeteam Ingecon Sun 2,5*.

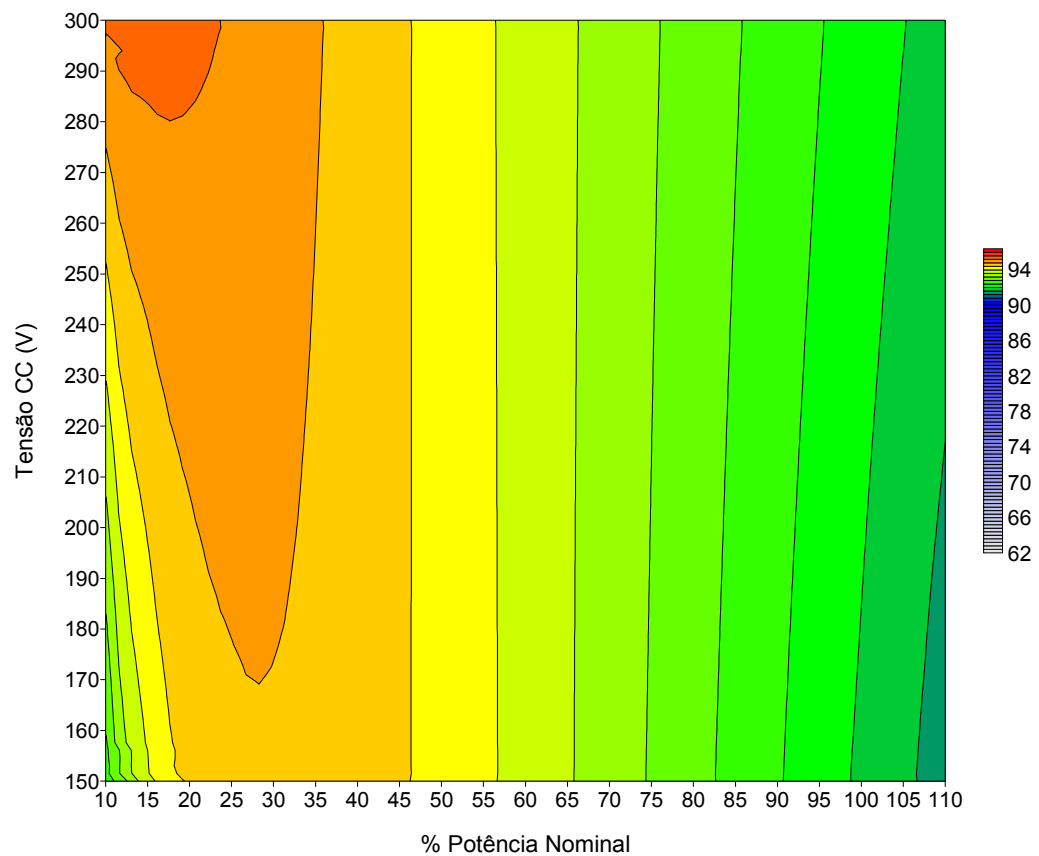


Figura 6 – Mapa de eficiência de conversão c.c./c.a. do inversor *SMA Sunny Boy 1100U*.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo de eficiência c.c./c.a. de inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos conectados à rede a partir de uma abordagem teórica e experimental. Os ensaios experimentais de inversores permitiram a caracterização da eficiência de conversão c.c./c.a. e de sua dependência com a tensão c.c.. A finalidade dos ensaios foi medir e analisar características elétricas de inversores a fim de desenvolver modelos matemáticos teóricos que descrevam estas características. Os ensaios elétricos de inversores indicam que a eficiência c.c./c.a. é característica dependente da potência relativa, mas outras variáveis como a tensão c.c. de entrada podem influenciar nesta característica. As curvas de características elétricas de inversores medidas e as curvas teóricas descritas pelo modelo matemático proposto apresentaram, em geral, coeficientes de determinação R^2 maiores que 0,9 indicando excelente correlação entre pontos medidos e curvas teóricas. As características foram analisadas individualmente e proporcionaram resultados que auxiliaram na compreensão do processo de interação entre o sistema fotovoltaico e o inversor e entre o inversor e a rede elétrica.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), à Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e ao Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT).

REFERÊNCIAS

- Cruz, I. C., 2009. Fundamentos, Dimensionado y Aplicaciones de la Energía Solar Fotovoltaica. Inversores Conectados a red y autónomos. v. 1, cap. 11, pp. 1611-1622.
- Dávila, L.; Castro, M.; Amador, J.; Puerta D., Colmenar, A. 2004. Sistema de Medida para el Modelado y Monitorizado de Generadores Fotovoltaicos Conectados a Red. 12th Congreso Ibérico y 7th Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, pp. 1049-1054.
- Girbau, Z.; Chenlo, F.; Caamaño-Martin, E. 2004. Comparación de dos sistemas FVS distintos conectados a red en la misma localidad. 12th Congreso Ibérico y 7th Congreso Iberoamericano de Energía Solar, Vigo, España, pp. 1031-1036.
- International Electrotechnical Commission (IEC 61683). 2008. Photovoltaic Systems – Power Conditioners – Procedure for Measuring Efficiency.
- Jantsch, M.; Schimidt, H.; Schmid, J. 1992. Results of the Concerted Action on Power Conditioning and Control. 11th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux, Suíça, pp 1589-1593.
- Kjaer, S. B.; Pedersen, J. K.; Fellow, F. B. 2005. A Review of Single-Phase Grid-Connected Inverters for Photovoltaic Modules. IEEE Transactions on Industry Applications, vol 41, n. 5, pp. 1292-1306.
- King, D. L., Gonzalez, S.; Galbraith, G. M.; Boyson, W. E. 2007. Performance Model for Grid-Connected Photovoltaic Inverter. Sandia National Laboratories, Sandia Report.
- Kreutzmann, A., Welter, P. 2005. Market Survey on Inverters for Grid-tied PV Systems. PHOTON International – The Photovoltaic Magazine, vol.4.
- Photon – La Revista de Fotovoltaica. 2010. Investigación y Tecnología: Inversores. Março, pp. 72 – 81.
- Urbanetz, J. 2010. Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia Elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade. Tese de Doutorado, PPGE/UFSC, Florianópolis, Brasil.

DEVELOPMENT OF MATHEMATICAL MODEL OF INVERTERS EFFICIENCY USED IN GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEMS

Abstract. *The accomplishment of a reliable simulation of photovoltaic systems behavior relies on the correct mathematical modeling of its components and their mutual interaction. Such models can be obtained from experimental tests. This paper presents the results for measured DC/AC conversion efficiency, as well as the proposed mathematical model obtained from experimental results. The mathematical model can be used in computer simulation programs. The inverters tests were carried out in two stages: the first stage was performed at Solar Energy Laboratory at UFRGS where it was used ten inverters of different manufacturers. The second stage of the experimental tests was performed at Photovoltaic Solar Energy Laboratory at CIEMAT in Spain. It was used seven inverters of different manufacturers. The input parameters of this model, for different inverters manufactures, were obtained by fitting measured data. These parameters can be inserted in the inverters data base of the simulation software.*

Key words: Solar Energy, Grid Connected Photovoltaic Systems, Inverter, DC/AC Conversion Efficiency, Mathematical Model.