PRIMEIRO SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE ELÉTRICA HOMOLOGADO PELA COPEL

Jair Urbanetz Junior – urbanetz@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Eletrotécnica
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Tiago Chinvelski – tiago@elco.eng.br
ELCO Engenharia de Montagem LTDA
Carla Adriane Fontana Simão – carla.simao@pr.senai.br
Lilian Machado Moya Makishi – lilian.makishi@fiepr.org.br
Federação das Indústrias do Estado do Paraná – Observatórios Sesi/Senai/IEL

Resumo. *Atualmente, a principal característica do sistema elétrico brasileiro é a utilização de grandes usinas, centralizando a geração de energia elétrica, com o transporte desta através de extensas redes de transmissão e distribuição acarretando em grandes perdas. Nesse sentido, tem surgido uma nova opção, denominada geração distribuída, na qual os geradores são situados próximos dos consumidores, oferecendo para as concessionárias um meio de aumentar a disponibilidade de energia localmente, eliminando o inconveniente do transporte desta para os centros consumidores. Os Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFVCRs) tem grande aplicação no ambiente urbano como geradores de energia elétrica junto ao ponto de consumo. São facilmente integrados à edificação, não necessitando de área adicional, visto que são normalmente instalados sobre a cobertura da edificação. Possuem elevada confiabilidade e operam de forma limpa e silenciosa. A empresa ELCO, situada em Curitiba, possui o primeiro sistema fotovoltaico homologado no Paraná pela concessionária local de energia (COPEL) dentro dos requisitos estabelecidos pela Resolução Normativa n° 482/2012 da ANEEL. Nesse sentido, o presente trabalho buscou analisar, ao longo de doze meses de operação do SFVCR, sua eficácia através da avaliação do seu desempenho segundo alguns índices conhecidos como índices de mérito, que são: Yield; Performance Ratio; e Fator de Capacidade. Como resultado a geração de energia elétrica se mostrou em conformidade com os valores esperados e os índices obtidos para o SFVCR instalado em Curitiba apresentaram valores compatíveis com sistemas instalados em outras localidades brasileiras.*

Palavras-chave: *Sistemas Fotovoltaicos, Homologação do Sistema FV, Índices de Mérito, Geração Distribuída*

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica tem tomado um papel vital na sociedade atual. A maioria das atividades humanas está vinculada a essa forma de energia, sejam elas no ambiente de trabalho, doméstico, ou até mesmo nos momentos de lazer. Desde o simples ato de acender uma lâmpada até o acionamento automático de uma indústria. A sociedade criou uma forte dependência à energia elétrica.

Face a essa crescente demanda por energia elétrica surgiu a necessidade da criação de fontes geradoras desse tipo de energia. Em contrapartida a esse cenário surgiu também o desafio de gerar energia elétrica com o menor impacto ambiental possível, o que tornou o desenvolvimento das fontes alternativas de energia algo estratégico e imprescindível. As fontes alternativas de energia são formas de geração de energia elétrica que visam complementar a geração principal. No caso do Brasil, a geração principal se concentra nas grandes hidrelétricas e as fontes que auxiliam essa geração são compostas pelas térmicas, nucleares e eólicas. A fonte solar começa a aparecer no cenário nacional.

Embora no Brasil a aplicação da energia solar ainda seja incipiente comparada a outros países da Europa, Japão e Estados Unidos, essa fonte geradora de energia elétrica apresenta grande potencial de crescimento. Principalmente após a publicação da Resolução n° 482, pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em abril de 2012. O que se constituiu em um marco regulatório no país, impulsionando o desenvolvimento dessa tecnologia e trazendo benefícios para a sociedade como um todo, uma vez que, essa resolução autoriza a micro e minigeração de energia elétrica para consumo próprio a partir de fontes renováveis, podendo esses sistemas, serem conectados as redes elétricas de baixa tensão. Dessa forma, estabeleceu-se no Brasil uma política similar ao sistema *net metering*, aqui denominado de sistema de compensação, onde o investidor em sistemas fotovoltaicos quando possuir excedente de energia pode injetar esse excedente na rede elétrica da concessionária e, acumular créditos de energia para consumir em outro momento, não havendo remuneração pela energia, apenas o acúmulo de créditos, que deverão ser utilizados em um prazo de até 36 meses (ANEEL, 2012).

Em adequação aos requisitos exigidos na Resolução n° 482 da ANEEL, a Companhia Paranaense de Energia (COPEL) lançou a Norma Técnica – NTC 905100 – Manual de Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da COPEL

(COPEL, 2012), com o intuito de prever a operação em paralelo de unidades geradoras com o sistema elétrico de distribuição da COPEL.

A primeira instalação de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica no Paraná, seguindo a Resolução n° 482, foi homologada pela COPEL no dia 02 de outubro de 2013. A ligação do sistema foi feita em Curitiba na sede da empresa ELCO Engenharia de Montagens.

A ELCO Engenharia de Montagens Ltda., fundada em 1977, trabalha principalmente com instalações eletromecânicas industriais. Mas desde 2011 passou a desenvolver tecnologia, produtos e soluções direcionados às formas alternativas de geração de energia, e soluções para um desenvolvimento mais sustentável através da criação de uma Diretoria de Desenvolvimentos em Energias Alternativas. A partir de então montou, com recursos próprios, um laboratório para experimentos e monitoração dos sistemas de geração, através da instalação de um gerador híbrido (conjunto eólico e solar) de 2,5kW, um sistema solar fotovoltaico de 8,64kWp conectado em paralelo com a rede da concessionária de energia, e uma estação meteorológica para aquisição dos dados climáticos do local, e com isso obtém informações que agregam no desenvolvimento de pesquisas e projetos para se tornar referência em soluções de micro e mini geração distribuídas. Todas as instalações e informações deste laboratório estão disponíveis e são utilizadas frequentemente por professores e alunos para o desenvolvimento de trabalhos científicos.

Esta instalação representa um marco para os trabalhos que vem sendo realizados para incentivar o uso de sistemas de energias renováveis, principalmente de micro e mini geração. Um mercado que está se consolidando no Brasil e que deve crescer muito nos próximos anos. No estado do Paraná o assunto é pauta do trabalho Rotas Estratégicas para o futuro da indústria Paranaense – *Roadmapping* de Energia 2015, que entre as cinco visões de futuro propostas pelos especialistas do setor energético, estabelece a visão de futuro "Referência em geração distribuída de energias renováveis" (SENAI, 2007). De maneira geral esta visão tem como perspectiva o desenvolvimento de tecnologias, a implementação de inovações, bem como o provimento de soluções, produtos e serviços de ponta em geração distribuída. Dentre as ações propostas, os especialistas acreditam necessário investir em P&D&I para geração distribuída e sensibilizar a iniciativa privada sobre os novos negócios em geração distribuída (SENAI, 2007).

2. SISTEMAS FOTOVALTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (SFVCR)

Os sistemas fotovoltaicos integrados às edificações e interligados à rede elétrica são vantajosos à concessionária elétrica local, no sentido de que podem aliviar picos de consumo na rede, aumentando assim a vida útil do sistema de transmissão e distribuição e adiando os grandes investimentos e longos prazos de instalação envolvidos na construção de centrais elétricas convencionais.

Um SFVCR é basicamente composto de um painel FV, que converte a energia do sol em energia elétrica em corrente contínua, e um inversor, que converte a corrente contínua em corrente alternada, com tensão e frequência compatíveis com a rede elétrica da concessionária ao qual o sistema está interligado. As principais vantagens desse tipo de sistema são: elevada produtividade; ausência de banco de baterias e desligamento automático no caso de falta de energia da rede, evitando o fenômeno de ilhamento (Urbanetz Jr, 2010).

Os SFVCRs são uma forma de geração distribuída, pois contribuem com a disponibilidade de energia junto ao ponto de consumo. Dispensam o uso de banco de baterias, pois a potência gerada é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é absorvido pela rede elétrica, que a disponibiliza para outros consumidores.

2.1 Sistema Fotovoltaico da Empresa ELCO

O SFVCR da ELCO possui uma potência total de 8.640Wp (36 módulos Bosch de tecnologia de silício monocristalino, modelo C-SiM60EU30117). O arranjo fotovoltaico encontra-se distribuído em três inversores Xantrex modelo GT 3.3 de 3.300W de potência nominal. Cada inversor está ligado a 12 módulos fotovoltaicos em série de 240Wp cada. A área ocupada na cobertura da edificação para esse arranjo é de 52m^2. As Fig. 1 e 2 ilustram os painéis fotovoltaicos e os inversores do SFVCR.

Figura 1 – Vista frontal do arranjo fotovoltaico da ELCO.

Figura 2 – Inversores do SFVCR da ELCO.

3. HOMOLOGAÇÃO DO SISTEMA DA ELCO DE ACORDO COM A RESOLUÇÃO 482 DA ANEEL

No dia 17 de abril de 2012 a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) emitiu a Resolução Normativa n° 482 que estabeleceu as diretrizes para o sistema de compensação de energia, e as regras para que os consumidores acessem o sistema de distribuição de energia da concessionaria através de geração própria por fonte eólica, solar, biomassa ou co-geração, qualificada em até 1MW. Esta Resolução também estabeleceu um prazo de 240 dias para as distribuidoras emitirem as normas técnicas para entrada em vigor deste tipo de instalação.

Nesse sentido, na busca pelo desenvolvimento de soluções na área de energias renováveis e sustentabilidade, a ELCO iniciou, em junho de 2012, a instalação de um sistema solar para atender ao estabelecido em abril, a fim de gerar conhecimento e acompanhar as novidades do setor. Assim, em dezembro de 2012 quando a Norma de Acesso à Rede de Distribuição da COPEL foi emitida, as instalações já estavam concluídas e pode-se dar entrada ao processo de homologação das instalações. Nesse momento foram entregues projetos executivos e demais documentos exigidos, iniciando um processo de parceria entre ELCO e COPEL para a troca de informações e o aprimoramento do processo envolvendo esta área.

Os grandes desafios para a homologação foram com relação à certificação dos inversores pela COPEL por ser uma atividade nova e que teve que ser estruturada, e muito importante, pois envolve questões de segurança da rede de distribuição, assim como a qualidade da energia que é de responsabilidade da concessionária.

Outro entrave esteve ligado a licença ou dispensa de licença ambiental, exigida pela Norma da COPEL, pois os órgãos ambientais responsáveis não estavam preparados pra receber esse tipo de projeto, sendo necessário, dessa forma, uma série de encontros com os responsáveis pelo setor. O tempo de emissão dessa dispensa demorou 30 dias.

No início de outubro de 2013 todos estes processos estavam concluídos, e então foi realizada a instalação do medidor eletrônico de quatro quadrantes na ELCO, para a medição da energia consumida assim como a medição gerada pela ELCO e injetada na rede da COPEL. Acompanhada deste medidor foi instalado um rádio transmissor para acompanhamento remoto das informações.

A partir deste momento, junto com a assinatura dos termos entre ELCO e COPEL, o sistema foi considerado homologado e apto a operar normalmente dentro das características de micro geração no sistema de compensação de

energia. Ressaltando que o a instalação fotovoltaica já estava operando normalmente desde o início de 2013, com o consentimento da COPEL.

A primeira fatura de energia com as informações de créditos de energia foi emitida somente em dezembro, pois foram necessários alguns ajustes internos nos sistemas da concessionária. Assim o processo todo, desde a entrada do projeto na COPEL até a emissão da primeira fatura se estendeu por um ano.

4. DESEMPENHO DO SFVCR DA EMPRESA ELCO

A análise do desempenho do SFVCR da ELCO se baseia nos valores de energia gerada durante doze meses de operação e nos valores de irradiação obtidos a partir do banco de dados disponibilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação A807, localizada na região metropolitana de Curitiba (INMET, 2013). Como o piranômetro do INMET está instalado na posição horizontal, é utilizado o programa RADIASOL para determinar a irradiação que efetivamente incide sobre o painel FV da ELCO, visto que este se encontra inclinado a 20º, e com desvio azimutal em relação ao norte geográfico de 32º para oeste. O programa RADIASOL é disponibilizado pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS, 2012). A partir da energia gerada e da irradiação incidente, são apresentados os índices de mérito do SFVCR em análise, estes índices são: *Yield* (produtividade); *Performance Ratio* (taxa de desempenho) e Fator de Capacidade.

4.1 Energia Gerada pelo SFVCR da empresa ELCO

Durante o período de doze meses o sistema gerou 8,6MWh. A Tab. 1 apresenta os valores de energia gerados em cada mês de operação.

Tabela 1 – Geração de Energia Elétrica do SFVCR da ELCO em 2013.

MÊS	TOTAL DE DIAS	TOTAL DE DIAS EM QUE O SISTEMA FICOU DESLIGADO	ENERGIA GERADA (kWh)	TEMPO DE GERAÇÃO (h)
Janeiro	31	9	716	254:38:25
Fevereiro	28	11	537	156:38:35
Março	31	6	592	225:02:53
Abril	30	-	938	315:38:35
Maio	31	-	783	299:32:01
Junho	30	-	576	272:29:36
Julho	31	-	748	301:39:24
Agosto	31	1	822	313:20:06
Setembro	30	1	779	303:20:47
Outubro	31	-	1004	364:35:38
Novembro	30	-	823	330:02:28
Dezembro	10	-	307	127:28:25
TOTAL	**344**	**28**	**8.625**	**3.264:26:53**

4.2 Irradiação Incidente no Painel FV do SFVCR da ELCO

Os valores de irradiação incidentes na estação meteorológica A807 do INMET (plano horizontal) são apresentados na Fig. 3.

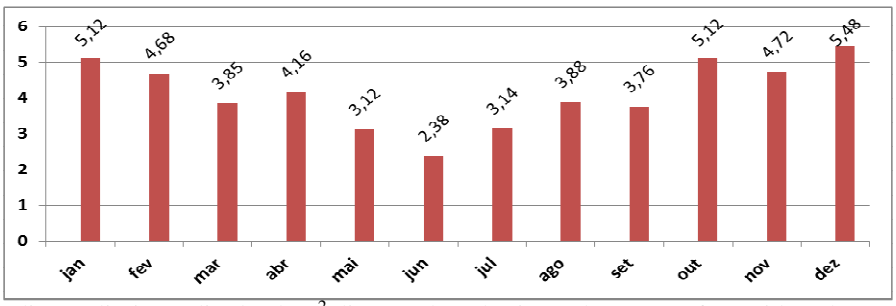

Figura 3 - Irradiação diária média (kWh/m^2.dia) no plano horizontal em 2013 fornecida pela estação A807 do INMET.

No programa RADIASOL foi criada uma estação "ELCO_2013", com os valores de irradiação da Fig. 3. A Fig. 4 apresenta a tela onde foram editados os valores de irradiação no plano horizontal para a localidade onde está instalado o painel FV da ELCO. Ajustando-se a inclinação de 20º e o desvio azimutal de 32º oeste, obtêm-se o gráfico apresentado na Fig. 5 e os valores de irradiação incidentes no plano do painel FV da ELCO são apresentados na Tab. 2.

Figura 4 - Tela de entrada dos dados de irradiação.

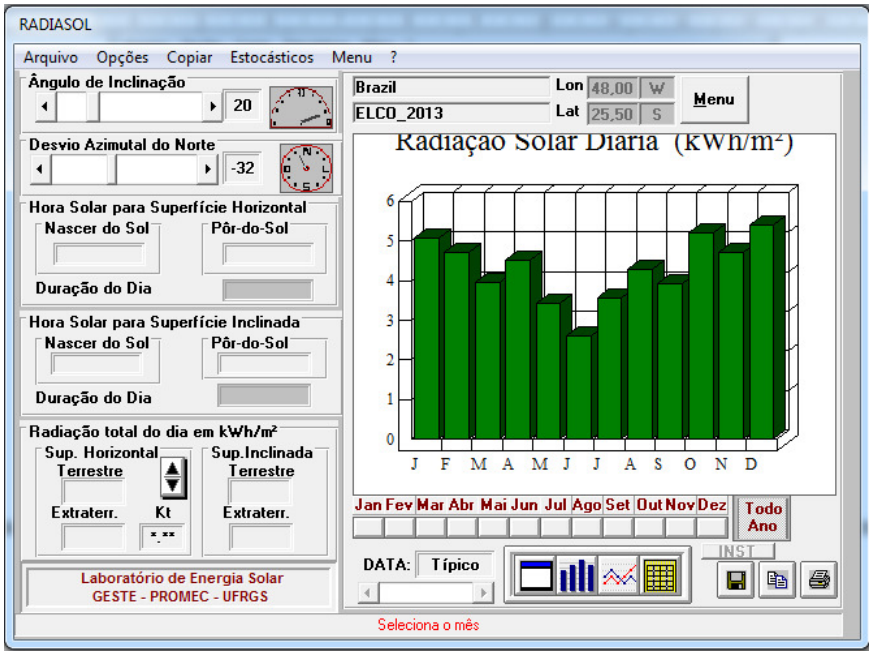

Figura 5 - Tela do RADIASOL com o gráfico de irradiação diária média ao longo do ano no painel FV da ELCO.

Tabela 2 - Irradiação diária média no plano do painel FV obtida pelo programa RADIASOL. (kWh/m².dia).

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2013	5,07	4,70	3,96	4,50	3,44	2,61	3,58	4,28	3,92	5,21	4,71	5,39

4.3 Índices de Mérito do SFVCR da ELCO

Os índices de mérito são utilizados para comparar a operação de sistemas FV localizados em lugares distintos e com diferentes potências nominais (Oliveira, 2002) (Benedito, 2009) (Marion et al, 2005). Para a determinação dos índices de mérito do SFVCR da ELCO os dias em que o sistema FV estava desligado, foram desconsiderados no cálculo, visto que os desligamentos ocorreram propositalmente e não por contingenciamento, desta forma os índices

encontrados aproximam-se mais dos valores que seriam encontrados caso o sistema FV tivesse operado de maneira ininterrupta.

4.3.1 *YIELD* ou produtividade

É a relação entre a energia gerada (kWh) e a potência FV instalada (kWp), normalmente vinculada a um ano de operação, *yield* anual, porém pode ser também considerado o *yield* mensal. A Eq. (1) apresenta a grandeza em questão. A Tab. 3 mostra o *yield* mensal e anual em 2013.

$$Y = \frac{Energia\ Gerada}{Potência\ FV}\left(\frac{kWh}{kWp}\right) \quad (1)$$

Tabela 3 – Yield mensal e anual do SFVCR da ELCO.

Mês	*Yield* 2013 (kWh/kWp)
Janeiro	82,87
Fevereiro	62,15
Março	68,52
Abril	108,56
Maio	90,63
Junho	66,67
Julho	86,57
Agosto	95,14
Setembro	90,16
Outubro	116,20
Novembro	95,25
Dezembro	35,53
ANO	**998,26**

A produtividade de 2013 do SFVCR da ELCO foi relativamente baixo devido ao mesmo ter operado apenas 316 dias no ano, logo, caso o sistema FV tivesse operado durante os 365 dias, a produtividade poderia chegar a cerca de 1.150 kWh/kWp, o que seria um valor muito bom.

4.3.2 *Performance Ratio* ou Taxa de Desempenho

É a relação entre a produtividade (kWh/kWp) e a quantidade de horas de sol a 1.000W/m² incidentes no painel FV, também normalmente vinculada a um ano de operação, *performance ratio* anual, porém, pode ser também considerada a *performance ratio* mensal. Esta grandeza é expressa em porcentagem. A Eq. (2) apresenta a grandeza em questão, e a Tab. 4 apresenta a *Performance Ratio* em 2013.

$$PR = \frac{Yield}{Irradiação/1000}\,(\%) \quad (2)$$

Tabela 4 – *Performance Ratio* mensal e anual do SFVCR da ELCO.

Mês	*PR* (2013)
Janeiro	74,30%
Fevereiro	77,79%
Março	69,21%
Abril	80,42%
Maio	84,98%
Junho	85,14%
Julho	78,01%
Agosto	74,10%
Setembro	79,31%
Outubro	71,95%
Novembro	67,41%
Dezembro	65,92%
ANO	**75,71%**

A taxa de desempenho em 2013, como foi considerado somente os dias em operação no calculo, ficou em um valor anual muito bom, superior a 75%.

4.3.3 Fator de Capacidade

É sua capacidade real de gerar energia em função da energia que ele geraria se operasse em potência nominal durante 24 horas por dia, também expresso em percentual (Oliveira, 2000). A Eq. (3) apresenta a grandeza em questão, e a Tab. 5 o Fator de Capacidade para 2013.

$$FC = \frac{Energia\,Gerada}{Potência\,FV*24*dias}\ (\%) \tag{3}$$

Tabela 5 – Fator de Capacidade mensal e anual do SFVCR da ELCO.

Mês	FC (2013)
Janeiro	15,70%
Fevereiro	15,23%
Março	11,42%
Abril	15,08%
Maio	12,18%
Junho	9,26%
Julho	11,64%
Agosto	13,21%
Setembro	12,95%
Outubro	15,62%
Novembro	13,23%
Dezembro	14,81%
ANO	**13,36%**

O Fator de Capacidade em 2013, também levando em conta somente os dias de operação, ficou superior a 13%, o que é um bom índice.

5. CONCLUSÕES

O SFVCR da ELCO, primeiro sistema homologado pela COPEL no sistema de compensação, atendendo a Resolução 482 da ANEEL e a Norma interna da COPEL, NTC905100, gerou uma média superior a 700kWh/mês neste primeiro ano de operação. O processo de homologação foi lento, porem abriu caminho para que outros processos ocorram com maior agilidade no estado do Paraná.

Quanto aos índices de mérito: *Yield, Performance Ratio* e Fator de Capacidade, considerando-se apenas os dias em que o sistema efetivamente operou, os valores estão adequados. Os valores de irradiação considerados para o calculo do *Performance Ratio*, foram obtidos através da estação meteorológica do INMET (A807), que possui um piranômetro instalado na horizontal, fornecendo os valores de irradiação no plano horizontal, logo, com o uso do programa RADIASOL, obteve-se a irradiação no plano do painel FV da ELCO.

Neste primeiro ano, mesmo considerando apenas os 316 dias de operação, observou-se uma geração de energia elétrica de 8,6MWh; *Yield* anual de 998kWh/kWp, que se tornaria aproximadamente 1.150kWh/kWp caso tivesse operado durante os 365 dias do ano de 2013; *Performance Ratio* médio de aproximadamente 76% e Fator de Capacidade médio superior a 13%, que são bons índices para este tipo de instalação.

O acompanhamento neste primeiro ano de operação do SFVCR da ELCO, mesmo que com alguns desligamentos durante a fase de homologação, confirma ser um sistema de geração de energia elétrica descentralizada, junto ao ponto de consumo, bastante eficaz, contribuindo para disseminar esta forma tão nobre de geração de energia elétrica no ambiente urbano.

REFERÊNCIAS

ANEEL, “ANEEL aprova regras para facilitar a geração de energia nas unidades consumidoras”, Brasília, 2012.

Benedito, R. S., “Caracterização da Geração Distribuída de Eletricidade por Meio de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede, no Brasil, sob os Aspectos Técnico, Econômico e Regulatório”, Dissertação de Mestrado, USP, São Paulo, 2009.

COPEL, “ NTC 905100 – Manual de Acesso de Geração Distribuída ao Sistema da COPEL”, Curitiba, 2012.

INMET, “http://www.inmetro.gov.br/”, 2013.

Marion, B., Adelstein, J., Boyle, K., Hayden, H., Hammond, B., Fletcher, T., Canada, B., Narang, D., Shugar, D., Wenger, H., Kimber, A., Mitchell, L., Rich, G., Townsend, T., “Performance Parameters for Grid-Connected PV Systems”, 31st IEEE Photovoltaics Specialists Conference and Exhibition, Florida, 2005.

Oliveira, S. H. F., “Geração Distribuída de Eletricidade; Inserção de Edificações Fotovoltaicas à Rede no Estado de São Paulo”, Tese de Doutorado, USP, São Paulo, 2002.

SENAI," Rotas Estratégicas para o Futuro da Indústria Paranaense: Roadmapping de Energia-2015". Departamento Regional do Paraná, Curitiba, p. 25-27, 2007.

UFRGS, “Programa RADIASOL”, Laboratório de Energia Solar, 2012.

Urbanetz Jr, J., “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, UFSC, Florianópolis

FIRST GRID CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM HOMOLOGATED BY COPEL

Abstract. *Currently, the main feature of the Brazilian electric system is the use of large plants, centralizing power generatioN , and transport this through extensive transmission and distribution resulting in large losses. In this sense, a new option has emerged, called distributed generation, in which the generators are located near to consumers, offering a means for utilities to increase energy availability locally, eliminating the inconvenience of moving this to the consumer centers. The Grid Connected Photovoltaic Systems has wide application in the urban environment as generators of electricity close to the point of consumption. Are easily integrated into the building, requiring no additional area, which are usually installed on the roof of the building. Have high reliability and operate cleanly and quietly. The ELCO company, located in Curitiba, has homologated the first photovoltaic system in Parana by the local power utility (COPEL) within the requirements established by Resolution 482/2012 of ANEEL. In this sense, the present study aimed to examine, over twelve months of operation the Grid Connected Photovoltaic Systems, its effectiveness through the evaluation of their performance by following some known as indices of merit, which are: Yield, Performance Ratio, and Capacity Factor. As a result the generation of electricity proved in accordance with the expected values and the indices obtained for Grid Connected Photovoltaic Systems installed in Curitiba showed values compatible with systems installed in Brazilian localities.*

Keywords : Photovoltaic Systems , Homologated of the PV System , Indices of Merit, Distributed Generation