

SIMULAÇÕES DE DESEMPENHO E DO BALANÇO ENERGÉTICO ENTRE GERAÇÃO FV E CARGA, COM DIFERENTES CONFIGURAÇÕES DE SFCRs, NO CENTRO DE TECNOLOGIA DA ELETRONORTE, EM BELÉM

Renata Torres Farias – retorres_86@hotmail.com

Luis Blasques – blasques@ifpa.edu.br

André Cavalcante do Nascimento – andre.nascimento@ifpa.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará – IFPA

André Luís Costa França – andre.franca@eletronorte.gov.br

Eletrobras Eletronorte

Resumo. *As instituições que atuam no setor elétrico brasileiro estão cada vez mais atentas à necessidade de diversificação da matriz elétrica nacional e, para tal, veem as fontes renováveis como potenciais soluções para a redução da dependência brasileira da fonte hídrica, e para a redução de impactos ambientais. A possibilidade de conexão de sistemas de geração distribuída (GD), de até 1 MW de capacidade instalada, às redes de distribuição, trazida pela Resolução 482, despertou o interesse na Eletrobras Eletronorte em utilizar o prédio que abriga o seu Centro de Tecnologia como laboratório real para estudos de sistemas fotovoltaicos (FV) atuando como GD e, também, tornar o prédio energeticamente autossustentável. A partir deste interesse surge a proposta do presente trabalho, que é a busca por soluções diferenciadas de projeto FV, contemplando diferentes possibilidades de integração arquitetônica, configurações distintas de sistemas e estudo de desempenho baseado em dados efetivamente medidos, de recurso solar e de carga. A ideia é, a partir das simulações, elaborar um projeto que possa ser executado com características diferenciadas, não apenas como uma instalação de GD típica, já alvo de diversos estudos há alguns anos no país, mas como um laboratório que contemple, em um único espaço, múltiplas possibilidades de estudos na área de sistemas FV, amplamente monitoradas, além de contribuir para a capacitação do corpo técnico da empresa na área. As simulações aqui apresentadas indicam que um sistema FV que otimize a ocupação de áreas, no prédio e em seu entorno, tem capacidade instalada suficiente para suprir aproximadamente 77 % da carga média anual do Centro de Tecnologia, com estimativas de desempenho obtidas a partir de dados medidos e de cálculos que consideram os impactos do tipo de instalação, temperatura de célula, eficiência dos inversores, dentre outras.*

Palavras-chave: *Geração Distribuída com Sistemas Fotovoltaicos, Análise de Desempenho, Integração Arquitetônica.*

1. INTRODUÇÃO

O Centro de Tecnologia da Eletronorte, fundado em 1983 então sob a denominação de Laboratório Central, está localizado em Miramar, na cidade de Belém/PA, sob as coordenadas 1,41° S e 48,49° O. Tem como missão a realização de serviços especializados e a elaboração e execução de projetos de pesquisa e desenvolvimento, buscando ser um referencial, no setor elétrico, nestas áreas. Para cumprir com esta missão, e entendendo a importância atual em buscar conhecimento teórico e prático em novas fontes renováveis de energia, o Centro de Tecnologia objetiva investir no estudo e no desenvolvimento de aplicações de sistemas de geração distribuída (GD), a partir da fonte eólica, biomassa e solar, esta última sendo o tema do presente trabalho, que são os sistemas fotovoltaicos conectados à rede (SFCR).

Buscando realizar pesquisas diferenciadas das desenvolvidas em outros centros de pesquisa da região, a Eletronorte foca os estudos em integração arquitetônica e simulações de desempenho de SFCRs. Assim, propõe que o prédio que abriga o Centro seja utilizado como laboratório real para avaliação de sistemas fotovoltaicos (FV) em diferentes configurações e tipos de instalação. O prédio, de mais de 16 mil m² de área, tem características adequadas para a instalação de SFCRs, pois é predominantemente horizontal, com somente 3 pavimentos, e possui bastante área, de cobertura, fachadas e em seu entorno, com pouco ou nenhum sombreamento, para abrigar os geradores FV.

Os estudos em desenvolvimento para subsidiar a efetiva instalação do SFCR do Centro de Tecnologia são baseados em dados reais, medidos, de recurso solar e de carga, em possibilidades de integração arquitetônica ao próprio prédio e às áreas de estacionamento em seu entorno, e em diferentes estratégias de configuração de sistemas. A partir destas premissas, as análises de desempenho são realizadas considerando-se a influência da temperatura de célula, da eficiência do inversor e do tipo de instalação no desempenho do sistema, validados por modelos matemáticos cuja eficácia vem sendo comprovada por inúmeros estudos disponíveis na literatura.

Por fim, a estimativa da energia gerada a partir dos dados medidos e da análise de desempenho permite a avaliação do balanço energético entre geração FV e carga, para estudo do impacto da instalação do sistema no consumo médio de energia do prédio. A potência instalada estimada de todo o SFCR, de 570,25 kWp, é adequada ao perfil de consumo do Centro e está enquadrada nos requisitos impostos pela Resolução 482 (ANEEL, 2012), uma vez que é menor que a

demanda contratada da unidade consumidora, de 700 kW. As análises indicam que um sistema com capacidade instalada igual à demanda contratada poderia suprir praticamente toda a demanda do prédio, inclusive a verificada nos horários de ponta.

2. DADOS DE RECURSO SOLAR

O conhecimento do recurso solar disponível no local de instalação de um sistema de geração FV é de fundamental importância no seu dimensionamento e para simulações de desempenho. Os dados utilizados neste trabalho foram obtidos de uma estação meteorológica compacta, instalada no Centro de Tecnologia da Eletronorte, em Belém/PA, com registro de dados a partir do dia 11 de novembro de 2014. Os sensores presentes na estação medem valores instantâneos de velocidade e direção do vento, irradiância solar nos planos horizontal e vertical (leste), medidas por meio de dois piranômetros, temperatura ambiente e umidade do ar, e os enviam ao equipamento registrador de dados, que integraliza os valores, e os armazena, em intervalos de 5 minutos.

As principais variáveis utilizadas para o desenvolvimento do presente trabalho são a irradiância solar, a velocidade do vento e a temperatura ambiente, conforme apresentado mais adiante. Em função da grande quantidade de dados, apenas a título ilustrativo é aqui mostrado o gráfico da Fig. 1, que ilustra bem algumas das análises realizadas ao longo do trabalho. O gráfico apresenta duas curvas de irradiância, referentes ao dia típico do período de um ano, uma no plano horizontal e outra no plano vertical, medidos pela estação instalada no Centro de Tecnologia da Eletronorte.

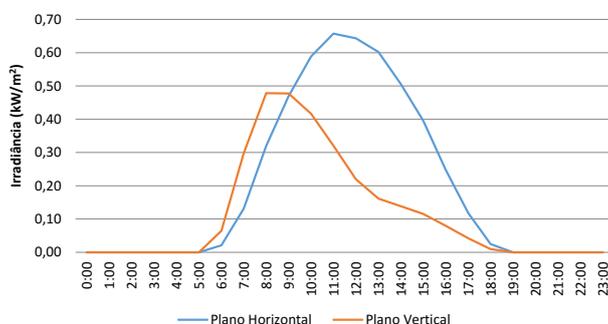


Figura 1- Curvas de irradiância, referentes ao dia típico do período de um ano, nos planos horizontal e vertical.

Analisando os gráficos observa-se, primeiramente, o potencial consideravelmente maior disponível no plano horizontal, característica de locais situados em regiões de latitudes próximas a zero, caso da cidade de Belém. O fato do piranômetro vertical estar voltado ao leste justifica o potencial levemente superior verificado no início da manhã, na curva vermelha. O valor médio de pico no plano horizontal é de aproximadamente $0,64 \text{ kW/m}^2$, verificado em horário próximo às 11:00 h; já no plano vertical ele é de $0,48 \text{ kW/m}^2$, verificado entre 8 e 9:00 h.

As médias diárias da irradiação global, nos planos horizontal e vertical, para todos os meses do ano, podem ser vistas na Fig. 2. Verifica-se que o mês de março foi aquele que apresentou menores médias, em ambos os planos, e que os meses de julho e agosto apresentaram as maiores médias, respectivamente para o plano vertical e horizontal. Este também é um comportamento esperado para Belém, que apresenta maior potencial solar no segundo semestre.

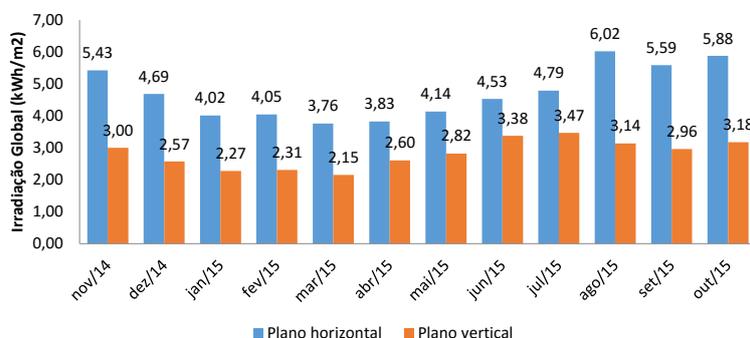


Figura 2- Médias diárias da irradiação nos planos horizontal e vertical.

3. PROJETO DO SFCR DO CENTRO DE TECNOLOGIA

Com base em uma avaliação arquitetônica das possibilidades de integração de sistemas FV à edificação (Nascimento *et al.*, 2014), e visando à otimização da capacidade instalada, adequando-a à demanda energética do

prédio, foram projetados 10 subsistemas que compõem o sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) do Centro de Tecnologia da Eletronorte. Os subsistemas estão divididos em função da integração arquitetônica (Cobertura, Fachada e Estacionamento), dos ângulos azimutal (γ) e de inclinação (β) (NE, SO e NO), e de suas conexões aos inversores (numerais). A Fig. 3 apresenta imagem 3D com duas vistas superiores dos subsistemas da cobertura, estacionamento e fachadas. Os dados completos dos dez subsistemas, que totalizam 570,25 kWp de capacidade instalada, distribuída em 2.281 módulos fotovoltaicos de 250 Wp de potência, cada, podem ser vistos na Tab. 1.

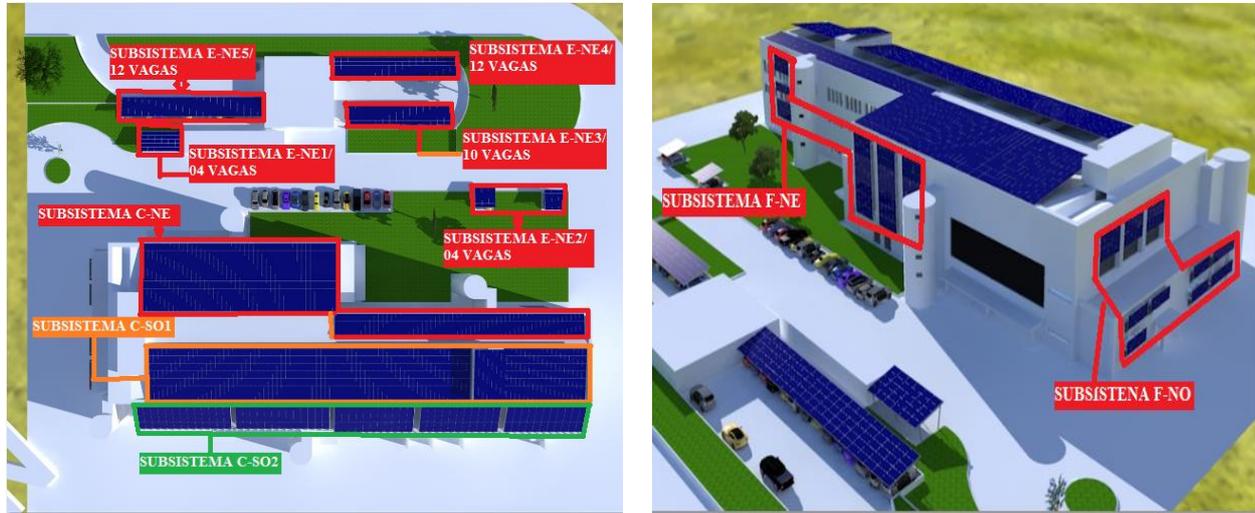


Figura 3- Vista dos subsistemas da cobertura, estacionamento e fachada.

Tabela 1- Dados técnicos de todos os subsistemas que compõem o SFCR.

Sub-sistema	$\gamma(^{\circ})$	$\beta(^{\circ})$	Qtde. Módulos	Potência (kWp)	Qtde. Strings	Qtde. Inversores	Potência (kW)	Marca/Modelo Inversor
C-NE	-154	6	560	140	40	10	12	Fronius 150 V-3
C-SO1	26	6	690	172,5	30	15	10	WEG SIW500 ST010
C-SO2	26	32	500	125	50	10	12	Fronius 150 V-3
F-NO	117	90	69	17,25	4	1	15	WEG SIW500 ST015
F-NE	-154	90	135	33,75	9	3	10	Fronius 120 V-3
E-NE1	-154	6	30	7,5	2	1	7	Fronius 80 V-3
E-NE2	-154	6	30	7,5	2	1	7	Fronius 80 V-3
E-NE3	-154	6	75	18,75	4	1	17	WEG SIW500 ST017
E-NE4	-154	6	90	22,5	9	3	7	SMA SunnyBoy 7000US
E-NE5	-154	6	102	25,5	6	3	8	WEG SIW500 ST008
Total	--	--	2.281	570,25	156	48	511,0	--

A configuração de cada subsistema é projetada para que se adequem os níveis de tensão e corrente das *strings* às entradas de cada inversor, de forma a otimizar o desempenho do sistema. Além disso, como o SFCR completo, quando efetivamente instalado, também terá caráter de pesquisa, foram propostos sistemas diferentes, tanto na integração arquitetônica quanto na sua configuração, com cada subsistema possuindo diferentes tipos de inversores, do tipo *string* aos centrais. Os diagramas de conexão de cada subsistema podem ser vistos na Fig. 4.

4. ANÁLISE DE DESEMPENHO DO SISTEMA

As estimativas de geração FV de todos os subsistemas são fundamentalmente baseadas nos valores de irradiação obtidos da estação instalada, corrigidos para o plano do gerador de cada subsistema, e no PR (*Performance Ratio*), estimado considerando todas as perdas envolvidas em cada subsistema, com destaque para as perdas por temperatura de célula, as mais significativas neste caso, e que são avaliadas em função de diferentes parâmetros. As subseções seguintes apresentam em detalhes a correção dos valores de irradiação e as estimativas do PR e da energia FV gerada.

4.1 Correção dos dados de recurso

Como os dados de irradiação são medidos nos planos horizontal e vertical, e os geradores FV de todos os subsistemas projetados estão instalados ou com uma determinada inclinação ou, no caso das fachadas, com ângulo

azimutal diferente do ângulo em que o piranômetro vertical da estação está disposto, é necessário, para uma correta análise de desempenho dos sistemas, que os dados de irradiação sejam corrigidos para estas novas disposições. Neste trabalho os dados são corrigidos por meio do *software* Radiasol, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (LABSOLAR-UFRGS, 2015). A Tab. 2 apresenta os valores de irradiação médios diários corrigidos, para o ano, para cada subsistema.

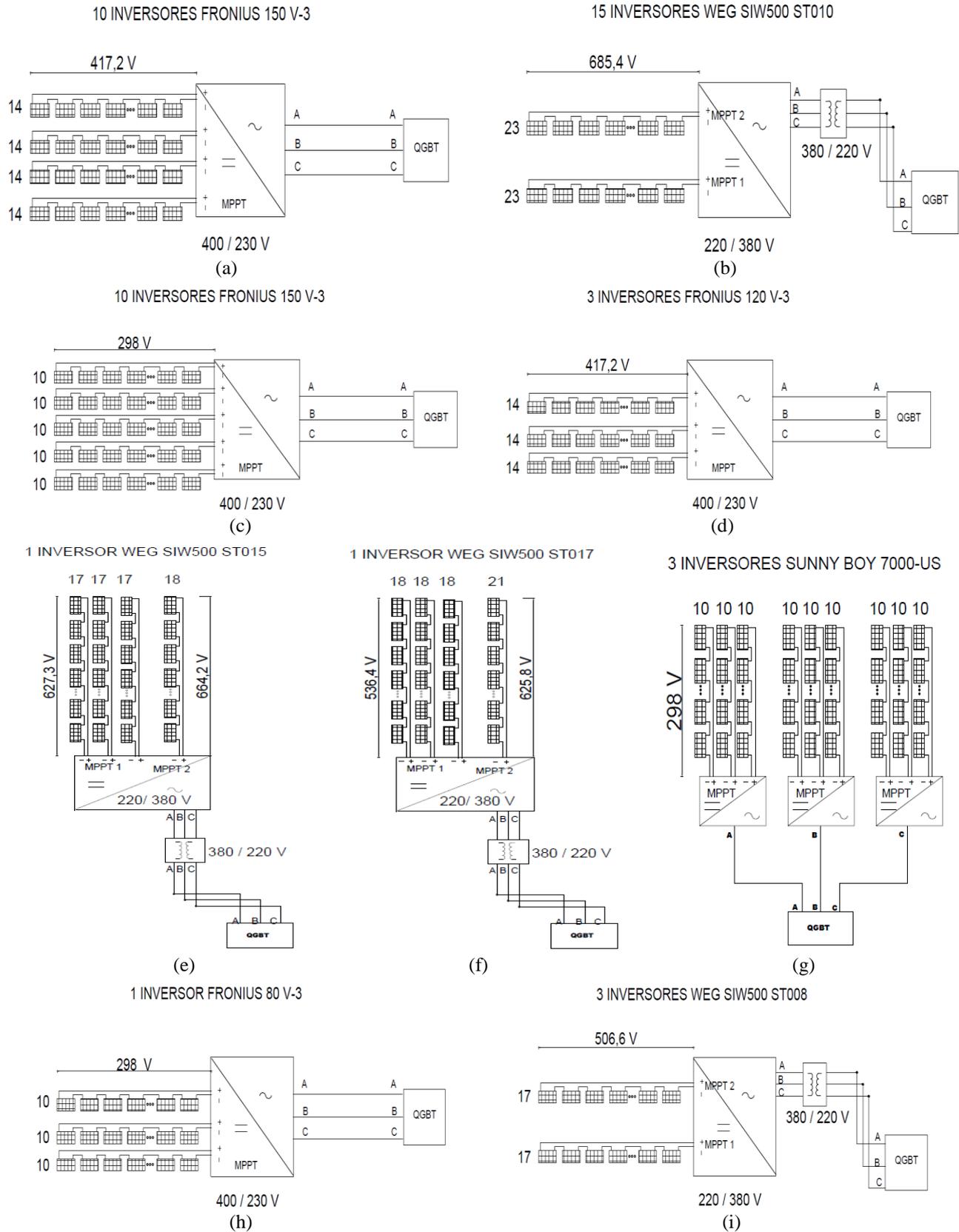


Figura 4- Diagramas de conexão dos subsistemas: (a) C-NE, (b) C-SO1, (c) C-SO2, (d) F-NE, (e) F-NO (f) E-NE3 (g) E-NE4 (h) E-NE1 e E-NE2, (i) E-NE5.

Tabela 2- Dados médios de irradiação diária corrigidos, por ano, para todos os subsistemas.

	C-NE/E-NE 1,2,3,4,5 ($\gamma=26^\circ / \beta=6^\circ$)	C-SO1 ($\gamma=-154^\circ / \beta=6^\circ$)	C-SO2 ($\gamma=-154^\circ / \beta=32^\circ$)	F-NO ($\gamma=-63^\circ / \beta=90^\circ$)	F-NE ($\gamma=26^\circ / \beta=90^\circ$)
Ano	4,81 kWh/m ² .dia	4,75 kWh/m ² .dia	4,28 kWh/m ² .dia	2,57 kWh/m ² .dia	2,18 kWh/m ² .dia

Como esperado, as correções mantêm a acentuada discrepância entre os dados dos subsistemas da cobertura e do estacionamento, em relação aos de fachada. Em média os dados dos primeiros são 48 % maiores que os de fachada.

4.2 Estimativas de PR

O *Performance Ratio* (PR), grandeza que avalia o rendimento global de um sistema FV, é calculado pela Eq. (1), em valores decimais, e considera as principais perdas que influenciam na eficiência do sistema (Blasques, 2015).

$$PR = 1 - (p_{temp} + p_{outras} + (1 - \eta_{inv})) \quad (1)$$

Os termos p_{temp} e p_{outras} referem-se, respectivamente, às perdas por temperatura e a todas as demais perdas do sistema, como as devidas à falta de manutenção, na fiação dos circuitos c.c. e c.a., dentre outras. O termo η_{inv} refere-se à eficiência do inversor, sendo obtida a partir dos valores de catálogo dos equipamentos. As perdas por temperatura são, em geral e especialmente em regiões de clima equatorial, caso de Belém, as mais significativas dentre todas as perdas. A partir dos dados medidos de temperatura ambiente, a temperatura da célula pode ser estimada por meio de modelos matemáticos que as relacionam com a irradiação, a velocidade de vento, o tipo de instalação, entre outros fatores (Ferreira *et al.*, 2014). As diferentes formas de instalação do gerador FV afetam a temperatura de operação da célula. Geradores instalados próximos ao telhado tendem a apresentar temperaturas de célula mais elevadas em comparação a de geradores instalados em estruturas abertas, o que pode acarretar em perdas significativas.

Um modelo térmico para a determinação da temperatura de célula (T_c), proposto por King *et al.* (2004) e que tem se mostrado bastante adequado a diferentes configurações de instalação, com as superfícies do módulo expostas ou não à circulação de ar, e a diferentes tipos de encapsulamento do módulo, é dado pelas Eq. (2) e (3).

$$T_m = G \{ e^{a+bVv} \} + T_a \quad (2)$$

$$T_c = T_m + \frac{G}{G_{ref}} \Delta T \quad (3)$$

A temperatura da superfície posterior do módulo (T_m) é determinada em função da irradiação solar (G), da temperatura ambiente (T_a), da velocidade do vento (Vv), e de dois coeficientes (a e b), determinados empiricamente e apresentados na Tab. 3. A temperatura de célula (T_c) é então determinada em função de G_{ref} , irradiação de referência (1.000 W/m²) e ΔT , também dado na Tab. 3, que estima a diferença entre T_c e T_m .

Tabela 3- Variáveis utilizadas no cálculo da temperatura de célula (King *et al.*, 2004).

Tipo de Encapsulamento	Instalação	a	b	ΔT (°C)
Vidro/Célula/Folha de Polímero	Estrutura aberta	-3,56	-0,0750	3
Vidro/Célula/Folha de Polímero	Próximo ao telhado	-2,81	-0,0455	0

Para o sistema em estudo, a temperatura de célula é calculada pelas Eq. (2) e (3) a partir dos dados de irradiação, temperatura ambiente e velocidade de vento medidos, e ainda associando cada subsistema a um dos tipos de instalação constantes da Tab. 3. As perdas por temperatura são, então, calculadas utilizando-se o coeficiente de perdas de potência com a temperatura (α_{pot}), obtidas do catálogo dos módulos (-0,46%/°C para o módulo considerado no projeto), com cada °C de diferença entre a temperatura de célula real e a padrão (25 °C) representando um valor de perda, calculado a partir da Eq. (4). Considerando estas perdas (variando a cada instante de acordo com os dados medidos), a eficiência do inversor de cada subsistema e as demais perdas, p_{outras} , consideradas iguais a 0,03 (3 %), os valores médios do PR para cada subsistema são obtidos e apresentados na Tab. 4.

$$p_{temp} = \frac{|\alpha_{pot}| \cdot (T_c - 25^\circ C)}{100} \quad (4)$$

Tabela 4- Valores médios do PR de cada subsistema e do sistema completo.

	C-NE	C-SO1	C-SO2	F-NO	F-NE	E-NE1	E-NE2	E-NE3	E-NE4	E-NE5	SISTEMA
PR	0,82	0,84	0,87	0,91	0,87	0,86	0,86	0,89	0,87	0,89	0,87

Analisando os dados da Tab. 4 verifica-se uma razoável variação nos valores de PR entre os subsistemas, resultado da variação das perdas por temperatura em função do tipo de instalação. Os subsistemas com menores PR são aqueles instalados próximos ao telhado (os da cobertura), enquanto que os demais apresentam instalação aberta, mesmo os das fachadas, pois a estratégia arquitetônica adotada, fachada ventilada, confere um valor considerável de afastamento dos módulos às paredes, permitindo circulação de ar e reduzindo a temperatura em sua superfície posterior (Nascimento *et al.*, 2014). Outras variações de PR são devidas às diferentes eficiências dos inversores de cada subsistema.

4.3 Estimativa de energia gerada

A energia gerada (E_G) é o parâmetro mais importante em uma análise de qualquer sistema de geração de eletricidade. Através da Eq. (5), que relaciona a potência instalada do sistema (P_{inst}), a irradiação incidente no plano de captação no instante i (G_i) e o PR, no mesmo instante i , obtêm-se os valores da estimativa da energia produzida em um determinado período de tempo, que depende de n e pode ser horário, diário, mensal ou anual.

$$E_G = \sum_{i=1}^n P_{inst} \cdot G_i \cdot PR_i \quad (5)$$

Considerando a equação acima em base mensal, a Tab. 5 apresenta valores estimados da energia gerada por cada subsistema e pelo sistema completo.

Tabela 5- Estimativas da energia produzida, mensal e anual, em MWh, e produtividade do sistema ($yield$, Y_F).

MÊS	C-NE	C-SO1	C-SO2	F-NO	F-NE	E-NE1	E-NE2	E-NE3	E-NE4	E-NE5	SISTEMA
Jan	13,50	18,21	14,42	0,97	1,35	0,77	0,77	2,00	2,34	2,71	57,03
Fev	12,57	16,42	12,53	0,91	1,28	0,72	0,72	1,86	2,18	2,52	51,71
Mar	13,75	17,94	12,17	1,08	1,57	0,79	0,79	2,04	2,38	2,76	55,27
Abr	13,37	15,92	10,54	1,02	1,80	0,76	0,76	1,98	2,32	2,69	51,16
Mai	14,02	17,18	10,44	1,26	2,29	0,80	0,80	2,08	2,43	2,82	54,12
Jun	15,72	18,43	10,57	1,27	2,54	0,91	0,91	2,37	2,77	3,21	58,70
Jul	16,22	19,67	11,43	1,49	2,61	0,94	0,94	2,44	2,86	3,32	61,93
Ago	20,07	24,27	14,93	1,51	2,56	1,19	1,19	3,09	3,61	4,19	76,61
Set	19,23	23,47	14,63	1,48	2,47	1,14	1,14	2,96	3,46	4,01	73,98
Out	18,40	23,49	17,94	1,32	1,58	1,08	1,08	2,80	3,27	3,80	74,75
Nov	17,13	23,07	18,24	1,13	1,20	1,00	1,00	2,61	3,05	3,53	71,95
Dez	15,25	20,68	16,65	1,05	1,39	0,88	0,88	2,28	2,66	3,09	64,81
TOTAL	189,22	238,75	164,51	14,49	22,62	10,99	10,99	28,49	33,32	38,66	752,03
Y_F (kWh/kWp)	1.351,6	1.384,1	1.316,1	840,0	670,2	1.465,3	1.465,3	1.519,5	1.480,9	1.516,1	1.318,8

Os subsistemas da cobertura, por apresentarem maior capacidade instalada, produzem mais energia, e os de fachada, em função dos menores níveis de irradiância incidentes no plano vertical, são os que apresentam menor produtividade. Os subsistemas do estacionamento, ao contrário, são os que apresentam maior produtividade, pois além de estarem dispostos com ângulos de inclinação e azimutal quase ideais, também têm menores perdas por temperatura por estarem instalados em estruturas abertas.

5. BALANÇO GERAÇÃO FV x CARGA

Um dos diferenciais do presente trabalho é a análise de um sistema projetado com base em dados mais realistas possíveis. Assim, além da energia efetivamente gerada, é importante avaliar o balanço entre esta geração FV e a carga no prédio, fundamental para se conhecer a parcela de carga que vai ser diretamente suprida pelo SFCR, e a parcela exportada à rede. Para este estudo, também com a intenção de utilizar dados reais, são utilizados dados efetivamente medidos na subestação do prédio, no período de 7 dias, extrapolando-os para os 12 meses do ano a partir da análise das faturas de energia elétrica, destes mesmos 12 meses, do Centro de Tecnologia da Eletronorte.

5.1 Curva de carga

Analisando-se o arquivo de dados com as medições de carga efetivamente realizadas no prédio e as faturas de energia do período de outubro de 2014 a setembro de 2015, pôde-se traçar as curvas de carga do Centro de Tecnologia da Eletronorte para os 12 meses do ano. A Fig. 5 mostra a curva de carga de um dia típico útil e um não útil, resultando

em consumo total de 88,01 MWh no mês de setembro de 2015. Nota-se que nos dias úteis há uma maior demanda no período entre 9 e 15:00 h, devido à operação praticamente a plena carga do sistema de climatização, com um leve declínio entre 11 e 13:00 h, horário de almoço. Nos dias não úteis a demanda mantém-se muito mais baixa e praticamente constante, como esperado. Por esta razão a análise considera estas duas curvas, para que se avalie a quantidade de energia FV injetada na rede nos dias não úteis.

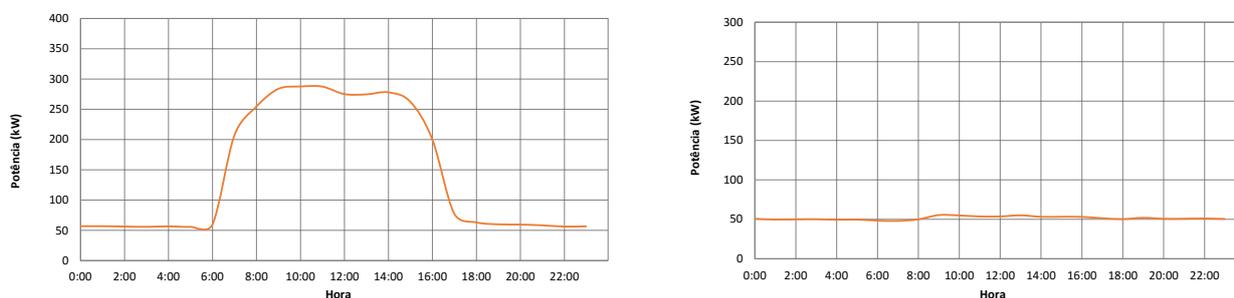


Figura 5- Curva de carga para um dia típico do mês de setembro de 2015, para um dia útil, à esquerda, e um não útil.

5.2 Balanço energético

Com o intuito de avaliar o balanço energético entre geração FV e carga, plota-se, em um mesmo gráfico de dia típico, útil e não útil, as curvas de carga e as curvas de geração. As curvas de carga são as mesmas já apresentadas na Fig. 5, para o mês de setembro. As curvas de geração são, então, plotadas para o mesmo mês. A geração FV mensal para o SFCR completo é de 73,98 MWh, menor, portanto, que o consumo, de 88,01 MWh, conforme apresentado anteriormente. A Fig. 6 mostra a curva típica diária de geração e consumo para o mês de setembro.

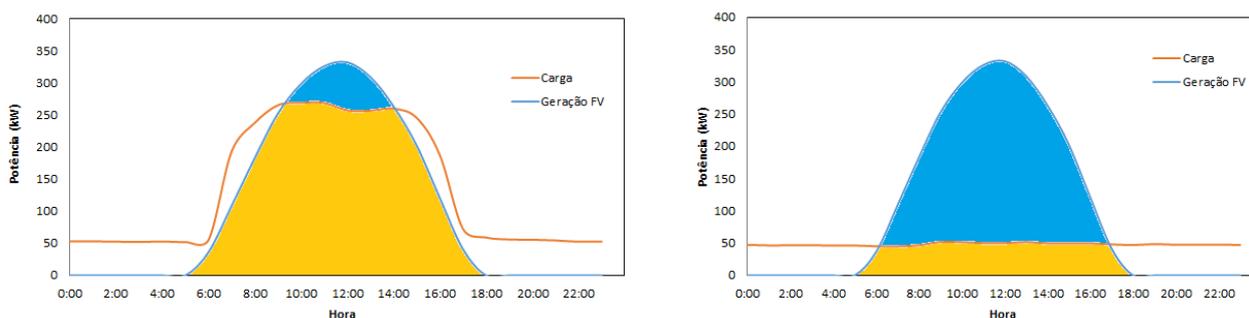


Figura 6- Curvas de geração e carga para um dia típico do mês de setembro de 2015, dia útil (à esquerda) e não útil.

No mês de setembro, um dos de maior potencial solar em Belém, a geração FV supre grande parte do consumo da carga (84 %), havendo excedente no período de pico de geração (parte azul do gráfico), que não é suficiente para suprir a parcela de consumo nos horários em que não há geração FV, mesmo considerando a grande quantidade de energia injetada na rede nos dias não úteis. O balanço final, deste e dos demais meses analisados, é apresentado na Tab. 6.

Tabela 6- Balanço entre geração FV e consumo energético da edificação para o período de um ano (valores em MWh).

Mês	Energia consumida (sem FV)	Energia FV gerada	Energia FV entregue à carga	Energia consumida da rede	Energia Injetada para Compensação
Jan/15	76,17	57,11	43,07	33,10	10,35
Fev/15	85,12	51,78	47,99	37,13	13,04
Mar/15	81,41	55,35	39,99	41,42	11,79
Abr/15	74,82	51,24	38,58	36,24	9,25
Mai/15	74,65	54,21	40,97	33,68	9,74
Jun/15	69,57	58,80	42,74	26,83	12,14
Jul/15	85,10	62,02	51,13	33,97	14,89
Ago/15	79,91	76,74	54,20	25,71	20,06
Set/15	88,01	74,10	57,40	30,61	21,63
Out/14	74,19	74,86	50,43	23,76	19,60
Nov/14	89,52	72,06	56,06	33,46	18,40
Dez/14	102,72	64,91	53,56	49,16	11,35
TOTAL	981,17	752,03	575,97	405,21	172,09

6. CONCLUSÕES

O objetivo principal do trabalho é análise de desempenho de um SFCR com diferentes tipos de instalação e configurações, com base em dados reais e considerando as mais importantes premissas necessárias para a análise.

Em estimativas de geração FV o principal componente de erro, em geral, é a determinação do PR. A análise de dados integralizados em intervalos de 5 minutos, considerando a variação do PR para cada diferente valor de temperatura ambiente e irradiância, medidos, e temperatura de célula, calculada, confere ao estudo um grau de precisão mais elevado que análises que, por exemplo, consideram um único valor de PR, médio, por mês ou por ano para o sistema como um todo. Além disso, considera-se aqui também a eficiência dos diferentes inversores, que também é um fator que influencia de forma mais significativa no PR e deve ser considerado.

Por fim, em tempos atuais, em que a discussão da viabilidade econômica de sistemas FV ainda é bastante presente no Brasil, a correta relação entre a energia FV gerada e o consumo da edificação, este último também com base em dados medidos, permite a avaliação mais detalhada da viabilidade do sistema. Os dados do balanço energético do sistema, expressos na Tab. 6, permitem o conhecimento consideravelmente preciso da parcela mensal de energia FV que supre as necessidades, por posto horário, do prédio, os valores injetados na rede passíveis de receber compensação no mês e, se houver, parcelas excedentes que resultam em créditos de energia para os meses posteriores. Na presente simulação não há casos dessa natureza, nem compensação no posto horário ponta, no próprio mês, nem geração de créditos de energia. Uma análise considerando capacidade do SFCR igual à demanda contratada, de 700 kW, foi realizada, indicando atendimento de 97 % da carga com geração FV. O estudo detalhado da viabilidade econômica do presente sistema é proposta de trabalho futuro, em função da extensão do estudo.

REFERÊNCIAS

- ANEEL, 2012. Resolução Normativa n. 482/2012. Brasília.
- Blasques, L. C. M., 2015. Sistema de Energia Solar Fotovoltaico Conectados à Rede Elétrica: conceitos e aplicações visando à sustentabilidade das edificações, vol. 1. Apostila de curso, Belém.
- Ferreira, A. C., Blasques, L. C. M., Pinho, J. T., 2014. Avaliação de Modelos Matemáticos de Influência da Temperatura no Desempenho Energético de Módulos Fotovoltaicos. V CBENS - V Congresso Brasileiro de Energia Solar, Recife.
- King, D. L., Boyson, W. E., Kratochvill, J. A., 2004. Photovoltaic Array Performance Model. Sandia Report SAND2004-3535, Sandia National Laboratories, California.
- Nascimento, A. C., Blasques, L. C. M., Longo, F. M. V., França, F. R. R., Fonseca, R. L., Vinagre, M. V. A., 2014. Assessment of the Potential Energetic and Architectural Benefits of BAPV Installations in Contemporary Buildings of the Brazilian Amazon Region: Case Study at the Technological Center of Eletrobras Eletronorte. 29th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, Amsterdam.
- LABSOLAR-UFRGS, 2015. “Programa RADIASOL”. Disponível *online* em <http://www.solar.ufrgs.br/#softwares>. Acesso em 13/11/2015.

SIMULATION OF SYSTEM'S PERFORMACE AND ENERGY BALANCE BETWEEN PV GENERATION AND LOAD, WITH DIFFERENT GCPVS CONFIGURATIONS, AT THE TECHNOLOGICAL CENTER OF ELETRONORTE, BELÉM

Abstract. *The organizations that constitute the Brazilian electric sector are aware to the necessity of the national electricity matrix diversification and, to achieve this, they recognize the renewable energy sources as potential solutions to reduce the Brazilian dependence on the hydric source and to mitigate environmental impacts. The possibility of connecting distributed generation (DG) systems, with 1 MWp of peak installed capacity, to the distribution networks, created by Resolution n. 482, motivated Eletrobras Eletronorte to use the building where its Technological Center is installed as a real laboratory for the study of DG photovoltaic (PV) systems, and also converting the Center on an energetic self-sustainable building. The proposal of the present work emerges from this interest, which is the search for alternative solutions of PV projects, contemplating different possibilities of building integration, distinct system's configurations and performance analysis based on measured data of solar resource and load. Based on all the simulations accomplished, the idea is to develop a project that can be executed with particular characteristics, not only as a typical DG installation, which already motivated several studies in Brazil, but acting as a laboratory that has at one single place multiple possibilities to develop studies in the PV area, fully monitored and also contributing to the technical qualification of the company's human resources in the area. The simulations presented in this paper indicate that a PV system that optimizes the area occupation, at the own building and surrounded areas, is able to supply approximately 77 % of the average annual consumption of the Technological Center, with performance analysis made with the support of measured data and calculations that consider the impacts of the installation type, PV cell temperature and inverter efficiency, among others.*

Key words: *Distributed Generation with Photovoltaic Systems, Performance Analysis, Building Integration.*