

ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO APLICADO A CONDOMÍNIOS UTILIZANDO O COMPARTILHAMENTO DE ENERGIA COM A REDE

Jorge Stang Coan – jorgecoan@yahoo.com.br

Aline Cristiane Pan – aline.pan@puccrs.br

Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Faculdade de Física

Resumo. *O presente trabalho avalia a implementação de um estacionamento fotovoltaico conectado à rede elétrica, utilizando o sistema de compartilhamento da energia produzida com a rede, de acordo com a resolução 482 da ANEEL. Um estacionamento para 40 veículos foi proposto e coberto com 300 módulos fotovoltaicos, na qual sua aplicação destina-se a um condomínio residencial fictício, podendo ser aplicado também a resorts ou universidades. O sistema é destinado à produção de energia elétrica para o consumo do próprio condomínio, na qual o excedente de energia é compartilhado entre as residências do condomínio, por meio da rede da concessionária e também para o carregamento de baterias de veículos elétricos no próprio estacionamento. A produção de energia do estacionamento fotovoltaico proposto ficou em 108.490 kWh/Ano, cobrindo uma área de 500 m². O que resulta em uma energia produzida de 216,98 kWh/m² por ano com uma produtividade de 1.391 kWh/kWp, utilizando a tecnologia das células de silício multicristalino, mostrando que é possível produzir energia por meio da irradiação solar em um único sistema fotovoltaico, distribuir esta energia em demais unidades consumidoras e carregar a bateria de veículos elétricos no próprio estacionamento.*

Palavras-chave: *Energia Solar Fotovoltaica, Estacionamento Fotovoltaico, Conexão à Rede Elétrica*

1. INTRODUÇÃO

Com os impactos ambientais provocados pela emissão de CO₂ e a escassez de recursos fósseis, a humanidade tende a buscar alternativas para substituir estas fontes poluentes e com recursos limitados, pela produção de energia elétrica de forma limpa e renovável. Sendo estas alternativas encontradas na produção de energia através das águas em pequenas centrais hidrelétricas, do vento em energia eólica, de biomassa e biocombustíveis em termelétricas e por meio do Sol em energia térmica e fotovoltaica. Sendo que a conversão fotovoltaica possui potencial a ser explorado em toda a extensão do planeta (Tomalsquim, Mauricio, 2016).

A energia solar utilizada para a conversão fotovoltaica vem crescendo rapidamente em todo o mundo. Do ano de 2004 até 2014 saltou de 2,6 GWp para 177 GWp em capacidade mundial de produção de energia. Este crescimento se deu por meio dos incentivos e subsídios promovidos por países europeus, como Alemanha e Espanha. Atualmente os países Asiáticos estão com fortes incentivos para o crescimento da tecnologia fotovoltaica. Os três países que possuem maiores investimentos atualmente em energia fotovoltaica são China, Japão e Estados Unidos. Já os três que figuram entre os maiores produtores de energia são Alemanha, China e Japão (REN21, 2015). Segundo o próprio *Renewables 2015 - Global Status Report*, ao final do ano de 2014, o percentual da energia produzida em todo o mundo proveniente de sistemas fotovoltaicos era de 0,9%. Ainda distante das demais fontes de energia, porém em um forte crescimento exponencial (REN21, 2015).

No Brasil esta evolução possui uma dinâmica diferente. Em 1994 a energia fotovoltaica começou a ser implantada no Brasil, com o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM). Este programa tinha o objetivo de atender comunidades remotas, onde o custo de extensão da rede se tornava elevado. Foram instalados mais de 5 MWp de sistemas fotovoltaicos isolados da rede (*OFF GRID*) em cerca de 7.000 comunidades brasileiras. E em 1995 a Companhia Hidro Elétrica do São Francisco (Chesf) foi a primeira concessionária a instalar um sistema conectado à rede (Abinee, 2012).

No ano de 2012, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a resolução normativa 482/2012, na qual abriu a possibilidade residências, comércios, indústrias, produzirem sua própria energia e se conectarem com a rede de distribuição, emprestando o excedente da energia produzida para a concessionária de energia, possibilitando reaver esta energia, durante o período de 36 meses consecutivos (Resolução ANEEL 482, 2012). Em 2015, esta resolução foi aprimorada com a publicação da resolução 687/2015 da ANEEL. Atualmente o Banco de Informação de Geração da ANEEL (BIG) registra mais de 21.865 kWp instalados, distribuídos em 2.593 unidades de geração distribuída de energia fotovoltaica em todo o Brasil (BIG – ANEEL, 2016).

Em meio a esta abertura no Brasil, para a produção de energia própria por meio de fontes renováveis, a produção de energia por meio da conversão fotovoltaica vem ao encontro da produção de energia elétrica de forma sustentável, pois é uma fonte de energia limpa, renovável, inesgotável, abundante e disponível gratuitamente para todos. Podendo ser produzida em telhados de residências, comércios, indústrias, edifícios, assim como em coberturas de estacionamento de veículos.

Em locais onde a presença de veículos é grande, os estacionamentos tendem a ser constituídos de grandes áreas, devido ao tamanho que os veículos ocupam e também da área necessária para a manobra e circulação. Estas áreas, possuindo alguma cobertura para proteção contra chuva e irradiação do Sol, ou simplesmente sendo descobertas, tornam-se locais interessantes para a implantação de estacionamentos fotovoltaicos. Ao aproveitamento de áreas que somente são destinadas para alocar veículos pode-se agregar a função de produção de energia elétrica, sem prejudicar a função de abrigar os veículos. Esta produção de energia por meio do estacionamento pode ser destinada a um único consumidor e também pode ser repartida em demais unidades consumidoras. Porém, cada unidade consumidora pode ter sua produção própria de energia, exclusivamente em função de sua necessidade de consumo (Resolução ANEEL 687, 2015). Desta forma, é possível produzir energia limpa para o abastecimento tanto para as unidades consumidoras destes empreendimentos de grande porte e também de veículos movidos a motores elétricos.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a implementação de um estacionamento fotovoltaico conectado à rede elétrica, no sistema de compartilhamento da energia produzida com a rede. Este sistema utiliza uma área destinada à cobertura de veículos em condomínios residenciais, universidades e/ou resorts, com a finalidade de produzir energia elétrica para o uso comum, para demais unidades consumidoras presentes nestas áreas e também para suprir o carregamento das baterias de veículos elétricos.

2. CONDOMÍNIO, NORMATIVAS E CONSTITUIÇÃO DO ESTACIONAMENTO

2.1 O Condomínio

Um condomínio residencial pode ser caracterizado pelas unidades consumidoras de energia, genericamente pelas residências, pela área comum (que envolve a iluminação das ruas, bombas, sistemas de segurança e monitoramento) e pelas demais unidades consumidoras que não estão ligadas a área comum do condomínio. O estacionamento fotovoltaico pode ser destinado aos veículos de visitantes, veículos de prestadores de serviços e/ou aos veículos de todos os moradores.

A comparação de um condomínio com universidades e *resorts*, se assemelha pela quantidade de pessoas convivendo em uma grande área delimitada, na qual consomem a energia por meio de vários pontos (unidades consumidoras) independentemente uma das outras. Esta comparação é apresentada na Tab. 1, na qual pode-se verificar, que um estacionamento fotovoltaico poderá se adaptar a todas estas opções.

Tabela 1 – Comparação das unidades consumidoras

Empreendimento	Área Comum	Unidades Consumidoras Principais	Unidades Consumidoras Secundárias	Estacionamento Fotovoltaico
Condomínio	Iluminação das ruas, sistema de monitoramento e segurança	Residências	Salão de Festas, Academia, Quadras esportivas	Estacionamento de Visitantes, Prestadores de Serviços ou Moradores
Universidade	Iluminação das ruas, sistema de monitoramento e segurança	Prédios, Setores, Laboratórios	Empresas Terceirizadas	Veículos de alunos, funcionários, docentes
Resort	Iluminação das ruas, sistema de monitoramento e segurança	Dormitórios, Restaurantes, Auditórios, Áreas de Lazer	Empresas Terceirizadas	Estacionamento de Clientes e Funcionários

2.2 Resolução 482/2012 e 687/2015 da ANEEL

No Brasil até o ano de 2012, a maioria dos sistemas fotovoltaicos instalados era do tipo autônomo, ou seja, sistema que não são diretamente interligados à rede de distribuição. Neste modo, a energia produzida era toda armazenada em banco de baterias. A partir de 17 de Abril de 2012, entrou em vigor no Brasil, a Resolução Normativa N°482/2012 da ANEEL, a qual veio para impulsionar a geração distribuída. A resolução veio proporcionar a micro e mini produtores de energia, a possibilidade de se conectar diretamente com a rede de distribuição, compartilhando a energia produzida (Resolução ANEEL 482, 2012). Ela abriu portas para produtores de energia elétrica de forma hidráulica, solar, eólica, biomassa ou geração qualificada, pudessem se conectar a rede de distribuição. Sendo classificadas até 100 kW, como microgeração e de 101 kW até 1.000 kW como minigeração, estes produtores operam no sistema de compensação de energia, na qual a energia ativa (W) é injetada na rede de distribuição, funcionando como empréstimo gratuito para a concessionária. Havendo excedente de energia, este torna-se um crédito com validade de utilização de 36 meses, este excedente de crédito pode também ser repassado a outra Unidade Consumidora na qual possua o mesmo CNPJ ou CPF (Resolução ANEEL 482, 2012). Porém, houve a necessidade de revisar esta normativa. Em 24 de Novembro de 2015, entrou em vigor a Resolução Normativa 687/2015 na qual alterou em alguns pontos a Resolução 482/2012.

A nova resolução trouxe mudanças para beneficiar a expansão de micro e minigeração de energia no Brasil. Expandiu de 36 para 60 meses o tempo para utilizar o crédito de energia ativa (Wh) compartilhado com a concessionária; aumentou de 1 para 5 MWp a potência instalada máxima a ser conectada na rede de distribuição a fim de compartilhar a energia produzida (Resolução ANEEL 687, 2015); e também criou novas modalidades para o sistema de compensação de energia:

- empreendimento de múltiplas unidades consumidoras → destinado a edifícios na qual se deseja compartilhar a energia produzida com demais unidades consumidoras;
- geração compartilhada → destinado a criação de cooperativas na qual a energia produzida é dividida entre unidades consumidoras constantes dentro da mesma área de concessão da concessionária de energia;
- autoconsumo remoto → destinado a empresas que desejam dividir a energia produzida.

2.3 Constituição do Estacionamento Fotovoltaico

Um estacionamento fotovoltaico é constituído pelos módulos fotovoltaicos, estrutura de sustentação dos módulos fotovoltaicos, inversores de frequência, *string box* (quadro de conexão e proteção dos circuitos de corrente contínua), cabos, conectores, sistema de aterramento, sistema de para-raios.

Os módulos fotovoltaicos são constituídos de um conjunto de células fotovoltaicas, associadas em série e paralelo para se obter uma tensão e uma corrente elétrica (respectivamente), em níveis que sejam tecnicamente compatíveis com os inversores. Além das células fotovoltaicas, os módulos possuem os condutores metálicos que coletam a energia de cada módulo e conduzem até a parte posterior do módulo, onde está presente a caixa de conexão. Nesta caixa de conexão possuem os diodos de *by pass*, que possuem a função de conduzir a energia quando alguma célula é sombreada, evitando o aquecimento e a baixa da produção de energia. Da mesma caixa de conexão, saem os cabos para a interligação com outros módulos através dos conectores. Os módulos são conectados em séries e/ou em paralelo formando as *strings* (circuitos de corrente contínua) até os inversores (CRESESB, 2014).

Para que os módulos fotovoltaicos façam a cobertura do estacionamento, é necessária uma estrutura para a função de sustentação mecânica dos módulos fotovoltaicos. Esta estrutura é feita da forma que todo o veículo seja coberto, a uma altura que não interfira na entrada, saída e manobra do veículo. A estrutura proporciona o abrigo de chuva e de incidência solar no veículo. Alguns fabricantes confeccionam estas estruturas em alumínio ou de ferro galvanizado, com tratamento anti-corrosivo. Esta estrutura deve suportar os possíveis esforços provocados pelo vento, pela massa (peso) dos módulos fotovoltaicos e também pelas expansões e contrações térmicas (Ruther, Ricardo, 2004). Ela necessita ser instalada em cima de uma fundação de concreto que suporte toda a massa da estrutura e dos módulos.

Os inversores transformam a energia produzida pelos módulos, de corrente contínua para corrente alternada, sendo assim possível a conexão com a rede do empreendimento e também compartilhar com a rede da concessionária. Certos fabricantes possuem os inversores com Grau de Proteção (IP – Invólucro de Proteção) 65 ou maior, na qual possuem proteção contra a entrada de poeira no equipamento e proteção contra jatos de água. O IP é um número de dois dígitos onde o primeiro dígito corresponde proteção contra penetração de partes sólidas e o segundo contra líquidos, e quando maior o dígito, maior a proteção. Assim é possibilitada a instalação dos inversores juntamente com o estacionamento sem a preocupação com as ações do tempo, provocando a penetração de água e pó nos inversores (SMA Solar Technology, 2016).

A *string box* é uma caixa de proteção elétrica, que protege o inversor de possíveis problemas elétricos ocorridos nos módulos. Nela há fusíveis que fazem a proteção contra sobrecarga, curto-circuito e corrente reversa dos módulos; Dispositivo de Proteção Contra Surtos (DPS) que faz a proteção contra surtos e descargas atmosféricas e chave seccionadora do circuito (ABB, 2016).

Os cabos de conexão entre os módulos e os inversores são cabos especiais, que possuem uma isolação que suporte a incidência da irradiação solar e temperaturas de até 120°C (PRYSMIAN, 2016).

Os conectores são específicos para o uso fotovoltaico, também sendo propícios para suportar a ação da chuva e sol, sendo eles de grande utilidade para agilizar a conexão dos módulos e também prevenir que sejam conectados de forma errada (CRESESB, 2014).

O sistema de aterramento deve interligar todos os módulos, estruturas metálicas, inversores, a fim de proteger contra possíveis fugas de corrente para a carcaça dos mesmos. Esta interligação é conectada a uma malha de aterramento (MAMEDE FILHO, João, 2010).

O para-raios serve para proteção contra descargas atmosféricas na estrutura metálica. Ele serve de caminho para levar a descarga atmosférica até o solo para a dissipação (MAMEDE FILHO, João, 2010).

Para sistemas fotovoltaicos maiores que 75 kWp, a energia compartilhada com a rede da concessionária deverá ser por meio do sistema de média tensão. Neste caso, é necessário possuir um cubículo de média tensão contendo transformador elevador para distribuir esta energia em média tensão para a concessionária. Deverão estar presentes também disjuntor de baixa tensão, transformador de corrente, medidor de energia, para raio, chave fusível, modem GPRS (para uso da concessionária), relés de proteção digital. Sendo o sistema inferior a 75 kWp, este é conectado diretamente na baixa tensão, contendo apenas disjuntor de baixa tensão (Resolução ANEEL 687, 2015).

3. ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO

3.1 Especificação do Sistema Fotovoltaico

Um estacionamento fotovoltaico fictício foi proposto, para ser analisada a implementação deste em um condomínio ou empreendimento similar. A análise se dá em um estacionamento fotovoltaico supostamente situado na

cidade de Porto Alegre/RS. Determina-se que este estacionamento possua 40 vagas, onde poderá abrigar 40 veículos no estacionamento de um salão de festas do condomínio, estacionamento de prestadores de serviços, ou até mesmo vagas exclusivas dos moradores. É considerado um valor padrão para as dimensões da vaga, de 2,5 m de largura por 5,0 m de comprimento. Assim, abrangendo uma área total de 500 m².

Os módulos fotovoltaicos são produzidos comercialmente em diversos tamanhos, eficiências e materiais. Para este caso, foi adotado um modelo de fabricante bastante utilizado comercialmente no Brasil, sendo o modelo CS6X-260P do fabricante Canadian. A Tab. 2 mostra as principais características do módulo utilizado. A escolha deste módulo é devida as dimensões serem de um valor padrão muito utilizado, por ser um modelo bem difundido em todo o mundo, com eficiência da célula no mesmo nível dos demais concorrentes de renome. No Brasil, estes módulos são bem comercializados, devido ao seu custo/benefício ser interessante. Têm-se a facilidade de se encontrar módulos de reposição, em uma possível futura expansão ou substituição de módulos possivelmente danificados. Com as dimensões dos módulos fotovoltaicos, de 1,64 m (comprimento) x 0,98 m (largura), é possível cobrir o estacionamento com 300 módulos fotovoltaicos, dispostos conforme mostra a Fig. 1.

Tabela 2 – Características do Módulo Fotovoltaico Canadian CS6X-260P
Fonte: www.canadiansolar.com/downloads.html

Características do Módulo Fotovoltaico Canadian CS6X-260P			
Características Padrão (STC)			
Descrição	Valor	Unidade	
Potência nominal máxima (P _{max})	260	W	
Tensão de operação (V _{mp})	30,4	V	
Corrente máxima de operação (I _{mp})	8,56	A	
Tensão de circuito aberto (V _{oc})	37,5	V	
Corrente de curto circuito (I _{sc})	9,12	A	
Eficiência do Módulo	16,16	%	
Temperatura de operação	-40 ~ 85	°C	
Máxima tensão do sistema (IEC)	1000	V	
Tolerância de potência	0 ~ +5	W	
Características Mecânicas			
Descrição	Valor	Unidade	
Tipo de célula	Policristalina		
Número de células	60	un.	
Dimensão do módulo	1638x982x40	mm	
Peso	18	kg	
Diodos de passagem	3	un.	
Cabo	4	mm ²	
Conectores	2	MC4	

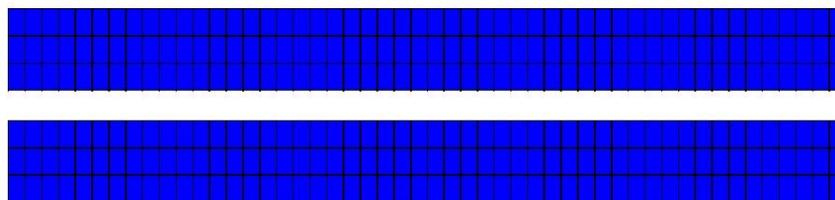


Figura 1 – Vista superior da cobertura do estacionamento com 300 módulos fotovoltaicos

Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, tanto dos módulos quanto do inversor, foi utilizado o Software SMA Sunny Design, do fabricante SMA Solar Technology (SMA, 2016). O Software SMA Sunny Design possui um banco de dados de vários módulos fotovoltaicos, incluindo o CS6X-260P, na qual facilita o dimensionamento do sistema fotovoltaico. Para o dimensionamento, foram inseridos dados do local da instalação, que é em Porto Alegre/RS, temperaturas mínimas (2°) e máximas (35°) (PREFEITURA DE PORTO ALEGRE, 2016), e a tensão de conexão da rede que foi de 380/220 V_{ca}, conforme Fig. 2.

A orientação da inclinação dos módulos é para o norte verdadeiro, devido que a localização da cidade de Porto Alegre está situada no hemisfério sul. Por meio de simulações com o ângulo de inclinação, chegou-se ao ângulo de inclinação de 24° como o melhor ângulo para a produção de energia neste local. A Tab. 3 mostra os resultados da simulação para encontrar o ângulo de maior produção anual de energia, e a Fig. 3 mostra o software com o ajuste do ângulo de inclinação e a direção do azimute.

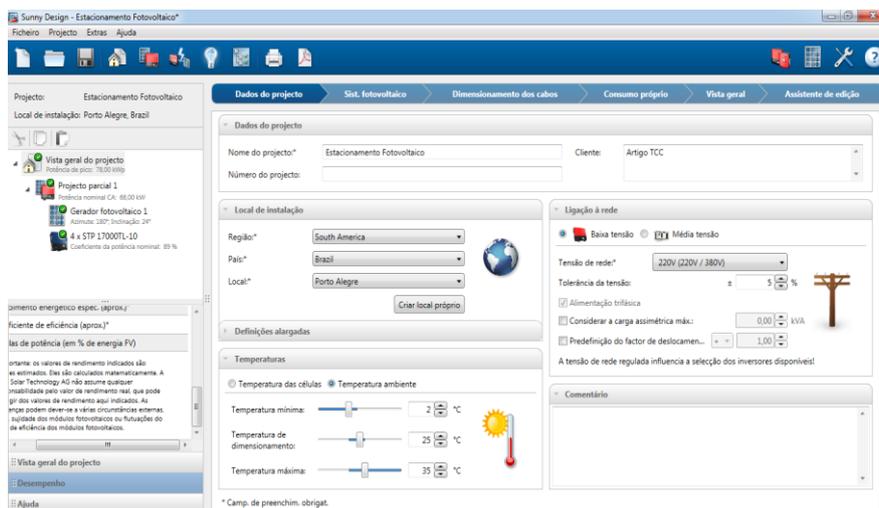


Figura 2 – Dados para dimensionamento do Sistema Fotovoltaico
 Fonte: Software SMA Sunny Design

Tabela 3 – Simulações do Ângulo dos Módulos
 Fonte: Software SMA Sunny Design

Ângulo (°)	Energia Produzida Anual (kWh/Ano)	Energia Produzida Mensal (kWh/Mês)	Produtividade (kWh/kWp)
0	101580	8465	1302
1	102160	8513	1310
2	102710	8559	1317
3	103220	8602	1323
4	103720	8643	1330
5	104190	8683	1336
6	104640	8720	1342
7	105060	8755	1347
8	105460	8788	1352
9	105840	8820	1357
10	106180	8848	1361
11	106510	8876	1365
12	106800	8900	1369
13	107080	8923	1373
14	107330	8944	1376
15	107550	8963	1379
16	107750	8979	1381
17	107930	8994	1384
18	108080	9007	1386
19	108210	9018	1387
20	108310	9026	1389
21	108400	9033	1390
22	108450	9038	1390
23	108480	9040	1391
24	108490	9041	1391
25	108470	9039	1391
26	108430	9036	1390
27	108360	9030	1389
28	108270	9023	1388
29	108150	9013	1387
30	108010	9001	1385
31	107840	8987	1383
32	107640	8970	1380
33	107420	8952	1377
34	107170	8931	1374
35	106900	8908	1371
36	106610	8884	1367
37	106280	8857	1363
38	105930	8828	1358
39	105560	8797	1353
40	105160	8763	1348
41	104730	8728	1343
42	104270	8689	1337
43	103790	8649	1331
44	103280	8607	1324
45	102750	8563	1317

Porto Alegre está situada a 30° de latitude sul. Na prática o ângulo de inclinação, na maior produção de energia dos módulos, fica próximo ao ângulo da latitude do local. Analisando a Tab. 3, verifica-se que a diferença de produção anual de energia entre a disposição dos módulos de 24° para 30° é de 0,44%. Isso mostra que a diferença de produção de energia anual, é insignificante. Assim com o ângulo de inclinação, é possível determinar a altura do estacionamento. Do lado mais baixo (situado na orientação Norte) com 2,5 m de altura e o lado mais alto (situado na orientação o sul), devido à angulação de 24° fica com 4,51 m de altura, conforme Fig. 4.

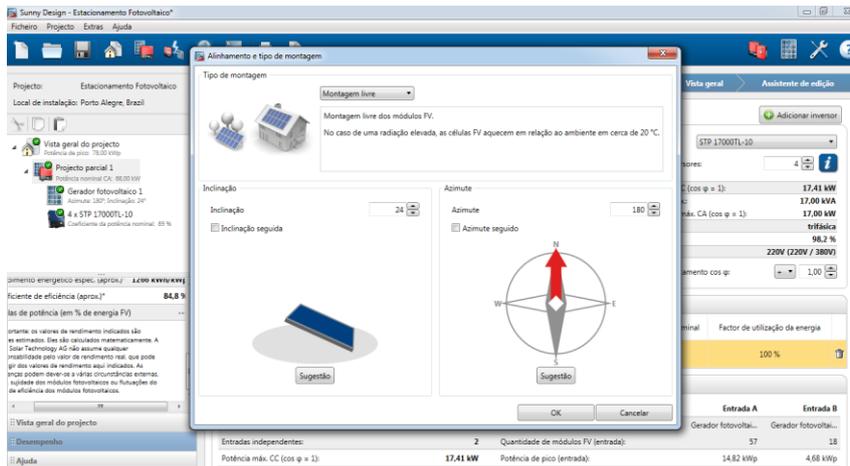


Figura 3 – Ângulo de inclinação e direção do Azimute
Fonte: Software SMA Sunny Design

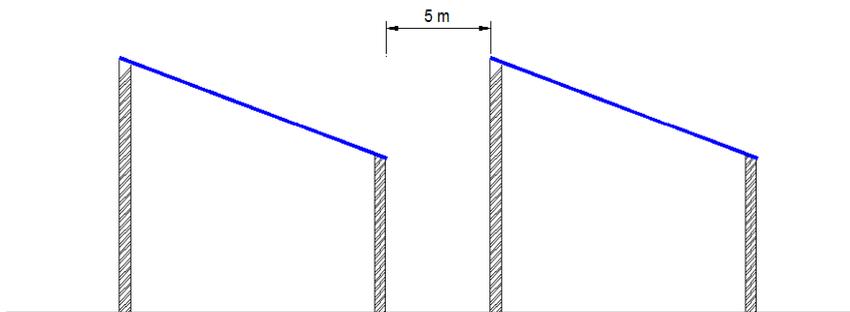


Figura 4 – Vista lateral do estacionamento fotovoltaico

Entre as duas coberturas dos estacionamentos, é necessário uma distância na qual uma cobertura não acabe provocando sombra na outra. Esta distância é calculada com a Eq. (1):

$$d = Fe(h_{ob} - h_i) \quad (1)$$

na qual ela leva em consideração: d = distância mínima entre as coberturas dos estacionamentos [m]; Fe = fator de espaçamento; h_{ob} = altura do obstáculo [m]; h_i = altura do obstáculo [m];

$$d = 2,5(4,51 - 2,5) = 5,02 \text{ m}$$

Assim, a distância entre os estacionamentos fica em torno de 5 m (CRESESB, 2014).

Para a escolha do inversor, o software leva em conta a quantidade de módulos do sistema a ser projetado. Ele faz a comparação dos inversores, levando em consideração a eficiência do inversor através da curva de eficiência, em relação com a potência produzida pelos arranjos fotovoltaicos. Portanto, através do software foi verificado que 4 inversores de 17 kW teriam uma melhor eficiência no sistema, devido a suas características em relação as características do arranjo fotovoltaico. Na Fig. 7, segue a avaliação do dimensionamento efetuado pelo Software SMA Sunny Design, pela escolha do inversor STP 17000TL-10.

O desempenho global do sistema considera todas as perdas ocorridas no sistema. Para o sistema dimensionado o desempenho global é alcançado no valor de 86,2%, na qual corresponde à relação entre rendimento real e o rendimento nominal do sistema.

Os trezentos módulos fotovoltaicos estão distribuídos nos quatro inversores, ficando com 75 módulos em cada inversor. Cada inversor possui quatro entradas de Seguidores de Potência Máxima (MPPT), na qual em cada um destas entradas é conectado uma *string*. Nestas *strings* estão conectados 18 ou 19 módulos (em três entradas estão conectados 19 módulos e em uma está conectado 18 módulos), como ilustrado na Fig. 5. Cada conjunto de módulos de um painel funciona independentemente do outro. O sistema eletrônico do inversor faz com que ocorra a máxima transferência de potência produzida pelos módulos fotovoltaicos. O inversor analisa a curva da corrente/tensão (I/V) do módulo e por meio de um sistema eletrônico analisa a produção de cada conjunto (*string*) ligado ao MPPT (CRESESB, 2014). Os módulos de cada *string* são conectados em série. Assim, a tensão é somada e a corrente permanece a mesma em todos os módulos. Entre a *string* constituída pelos módulos e o inversor, fica a *string box*. Nela há uma chave seccionadora para interromper o circuito, fusíveis para cada *string*, e Dispositivos de Proteção Contra Surtos (DPS) para cada *string*.



Figura 5 – Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico
 Fonte: Software SMA Sunny Design

Os inversores, por sua vez, irão transformar a energia recebida de cada *string* em corrente contínua, mesmo possuindo tensões e correntes diferentes, para corrente alternada com a frequência de 60 Hz. Na saída de cada inversor há um quadro de proteção com disjuntores termomagnéticos. A partir da saída dos quadros de proteção de cada inversor, os circuitos são conectados todos em um único ponto para a distribuição da energia. Este ponto deve ser o barramento principal no quadro de distribuição principal da rede de energia. Neste ponto a energia irá abastecer todos os circuitos ligados a este barramento, como as cargas consumidoras e as fontes para o carregamento dos veículos elétricos.

O excedente de energia irá passar pelo quadro de medição, na qual está presente o medidor da concessionária de energia. Neste ponto é contabilizada a energia que está sendo transferida para a rede, na qual se transformará em crédito para o consumidor. Em seguida, esta energia passa pelo transformador de potência e é entregue na rede de distribuição da concessionária de energia. O diagrama da Fig. 6 ilustra a conexão desde os módulos fotovoltaicos até a rede da concessionária de energia

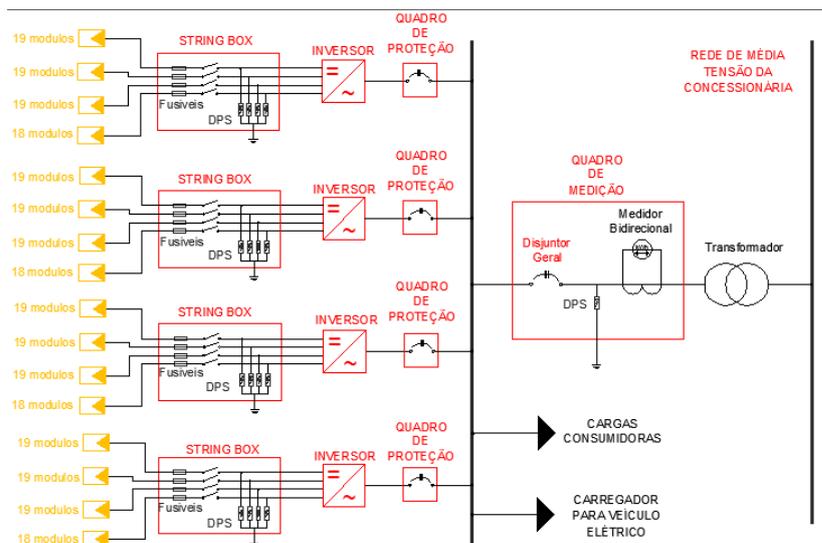


Figura 6 – Diagrama Elétrico Unifilar do Sistema Fotovoltaico Dimensionado

3.2 Energia Elétrica Produzida

Através das considerações adotadas no item 3.1, o software SMA Sunny Design calculou uma estimativa de produção anual de 108.490 kWh/Ano, com um valor médio mensal de 9041 kWh/Mês.

Esta energia está disponível para toda a rede na qual o estacionamento fotovoltaico está conectado, para as fontes que carregam os veículos elétricos e ao final do ciclo de faturamento da concessionária, o excedente que foi enviado para a rede, será dividido entre as unidades consumidoras cadastradas para receber esta energia.

3.3 Compartilhamento da Energia e Conexão com a Rede

A energia produzida pelos módulos fotovoltaicos pode não ser totalmente consumida instantaneamente pelas cargas consumidoras, havendo a necessidade de compartilhar esta energia excedente com a rede da concessionária. Isso se deve ao fato de que o sistema fotovoltaico está conectado à unidade consumidora do condomínio. Assim a energia que não for consumida nesta unidade consumidora, irá para a rede da concessionária e a partir daí é que ela será distribuída para as demais unidades consumidoras cadastradas.

O sistema fotovoltaico deverá compartilhar a energia com a rede da concessionária em média tensão devido que o sistema é constituído de 78 kWp de carga instalada, no qual ultrapassa os 75 kW para ser caracterizada como microgeração, assim se enquadrando como minigeração distribuída. Neste caso, a resolução 687 (Resolução ANEEL 687, 2015) estabelece que a energia deva ser compartilhada com a rede de média tensão, na qual o produtor deverá possuir um transformador elevador para esta distribuição. O transformador elevador, o disjuntor de baixa tensão, transformador de corrente (TC), medidor de energia, para-raios, chave fusível, modem GPRS, relés de proteção digital, já necessariamente fazem parte de um sistema de distribuição atendido em média tensão.

Adicionalmente com a microgeração é prevista a necessidade de elemento de interrupção acionado por comando e/ou proteção, proteção de sub e sobretensão, proteção de sub e sobrefrequência, relé de sincronismo para sincronizar com a mesma frequência da rede, sistema de anti-ilhamento e o medidor de energia deverá ser de quatro quadrantes. Com exceção do medidor de energia, os demais equipamentos já se encontram presentes nos inversores de frequência.

Para compartilhar a energia com as demais unidades consumidoras, a modalidade desta produção de energia será como Geração Compartilhada, na qual deverá ser informado para a concessionária o percentual de produção a ser destinado para determinado consumidor e sua respectiva Unidade Consumidora (UC). Assim a cada mês, a concessionária irá destinar o percentual de crédito estabelecido em cada fatura de cada unidade consumidora. Se este percentual não for utilizado totalmente por esta unidade consumidora, ele ficará como crédito para o próximo mês, tendo uma validade de 60 meses.

3.4 Veículos Elétricos e Ponto de Recarga

Em 26 de Outubro de 2015, o Governo Federal publicou a resolução nº 97 da Câmara de Comercio Exterior (CAMEX) na qual ela reduz de 35% para 0% o imposto de importação sobre veículos elétricos e híbridos (CAMEX, 2015), assim incentivando as montadoras a comercializarem veículos elétricos no país. No Brasil, algumas montadoras já estão anunciando a vinda de veículos elétricos para comercialização no mercado nacional. Inclusive a montadora BMW possui já desde 2014 dois modelos sendo comercializados, o BMW i3 e BMW i8.

O veículo BMW i3 possui sua bateria constituída de íons lítio. O cabo para o carregamento da bateria permite carregar 80% da carga em um período de 6 a 8 horas. Porém um carregador especial chamado WallBox da própria BMW permite que a carga seja mais rápida, de 3 a 6 horas (BMW, 2016). Ele ainda possui um sistema de recuperação de energia, quando o pé é retirado do acelerador, a energia cinética das rodas do veículo é convertida em energia elétrica com o motor fazendo a função de produtor de energia (gerador), em vez de motor (BMW, 2016). Assim aumentando a autonomia do veículo. A bateria do BMW i3 possui capacidade de 22 kWh, representando uma autonomia de até 160 km rodados. Com a energia produzida diariamente no estacionamento fotovoltaico dimensionado, pode-se carregar totalmente a carga da bateria de aproximadamente 14 veículos por dia. Ou ainda, com a energia produzida diariamente no estacionamento, pode-se percorrer aproximadamente 2.200 km diariamente (BMW, 2016). Assim a energia produzida por meio do sistema fotovoltaico pode abastecer os carregadores, e o próprio estacionamento fotovoltaico ser um ponto de recarga de veículos elétricos. Sendo a energia utilizada nos veículos elétricos, produzida de forma limpa.

4. RESULTADOS

As características do sistema fotovoltaico proposto se assemelham em muitos aspectos na sua forma de configuração básica (módulos, inversores, estrutura metálica, cabos...) com demais estacionamentos fotovoltaicos de outros países. Porém alguns outros aspectos, como tecnologias, gerenciamentos e construção são diferenciados devido à incidência de vento, poeira nos módulos, sombras parciais, características do consumo de energia, e carregamento de baterias no estacionamento.

Rodrigues *et al.*, 2006, descreve um estacionamento fotovoltaico localizado em Portugal. O ângulo de melhor inclinação para produção de energia foi estimado em 30° orientado para o sul. Porém foi reduzido para 15° para

amenizar as ações do vento na estrutura do estacionamento. Este fato deve ser observado em regiões onde a incidência de vento é relevante e também que a estrutura possa suportar rajadas de vento possíveis de se ocorrer no local. Verificando os resultados na simulação, é possível reduzir em alguns graus a inclinação, sem sofrer grandes mudanças significativas na produção de energia.

Outra característica construtiva tem relação com o perfil do consumo de energia da unidade consumidora. Pode-se direcionar as características da produção para melhor adequar-se às características da unidade consumidora. Conforme Premm *et al.*, 2015, a orientação dos módulos fotovoltaicos mais a oeste, faria com que o pico da produção de energia se adiantasse nas horas do dia, coincidindo melhor a produção de energia com o consumo, havendo um menor compartilhamento de energia com a rede. Assim nos estacionamentos fotovoltaicos, pode-se ajustar para que a produção de energia possa atender aos horários de maior consumo, tanto das unidades consumidoras quanto do abastecimento dos veículos elétricos.

A utilização, dos veículos elétricos juntamente nos estacionamentos fotovoltaicos pode trazer outros benefícios, além de carregá-los com energia proveniente da irradiação solar. Honarmand *et al.*, 2014 apresenta um gerenciamento na qual as baterias dos veículos são utilizadas também para fornecer energia para a rede. Isso acontece ao fato de que muitas vezes os veículos podem permanecer nos estacionamentos fotovoltaicos por longas horas com suas baterias já carregadas, assim podem fornecer energia para a rede, no horário de pico de consumo da rede. Isso ajuda a reduzir a demanda de pico da rede, aliviando as demais fontes produtoras de energia. Com este controle de carregamento e descarregamento da bateria é possível utilizar nas residências a energia da rede, quando ela está num período de menor custo e quando no período do dia em que o preço da energia se torna elevado. Assim, a energia pode ser utilizada através do fornecimento da bateria do veículo. Atualmente no Brasil ainda não é possível utilizar este benefício, porém em muitos países no mundo esta modalidade já está disponível.

Além do controle da carga da bateria, o monitoramento do sistema é implementado pelo Bizzarri, *et al*, 2015. Este monitoramento prevê falhas mais críticas, como queima de fusíveis e desconexões de cabos e menores como poeira na superfície dos módulos (esta também provocada pela circulação dos veículos) e sobras provocadas por objetos caídos sobre os módulos. A coleta destas informações é feita com sensores de temperatura na superfície do módulo e anemômetro, e sensor no diodo de bloqueio (mostrando quando um módulo está com problema). O monitoramento ao detectar estas falhas, envia sinais de alerta para o operador do sistema fotovoltaico, que analisa através de um software.

A produção de energia do estacionamento fotovoltaico proposto ficou em 108.490 kWh/Ano, cobrindo uma área de 500 m². O que nos resulta em uma energia produzida de 216,98 kWh/m² por ano com uma produtividade de 1.391 kWh/kWp, utilizando a tecnologia das células de silício multicristalino. Em comparação com a produção de energia de Rodrigues *et al.*, 2006, onde a tecnologia era de silício amorfo, obteve-se a produção de 90 kWh/m², com um rendimento energético de 1.287 kWh/kWp. Pode-se verificar que ambos possuem uma produtividade próxima, porém o silício multicristalino produziu mais energia por m². Além disso, terá uma vida útil maior, devido a qualidade do material utilizado.

Em Tulpule *et al.*, 2013, o autor relata sobre um estudo realizado em Nova York, onde a irradiação é de 4 kWh/m²/dia, que é possível produzir de 173 a 184 kWh/m² por ano em estacionamentos fotovoltaicos. Isso nos mostra que possuímos potencial na localização de Porto Alegre (local do condomínio) superior ao de Nova York. Assim, sendo possível produzir energia eficientemente em comparação com locais importantes no mundo.

5. CONCLUSÃO

O estacionamento fotovoltaico dimensionado mostrou que é possível produzir energia elétrica de forma limpa em um estacionamento para veículos, coberto com módulos fotovoltaicos. Esta energia produzida pode ser distribuída para ser consumida por várias unidades consumidoras e carregar a bateria de veículos elétricos.

A energia produzida neste estacionamento é de 108.490 kWh/Ano equivalente a 9.040 kWh/Mês, assim possibilitando abater o consumo de energia do condomínio e reduzir o consumo das demais unidades consumidoras. Ainda, o total desta energia produzida pode representar o carregamento por completo, de mais de 13 veículos elétricos diariamente do modelo BMW i3, sendo carregados diretamente no sistema fotovoltaico. Esta energia produzida mensalmente no estacionamento poderia ser comparada a um consumo de uma pequena indústria.

Por se tratar de um estacionamento fotovoltaico, algumas características do sistema podem diferenciar em relação a um sistema fotovoltaico normal. Como o cuidado com a poeira depositada nos módulos potencializada pela circulação dos veículos, incidência de ventos na estrutura do estacionamento provocando esforços mecânicos, perfil de consumo de energia da unidade consumidora (condomínio), tecnologia das células mais eficiente para melhor aproveitamento do da irradiação solar e o carregamento da bateria dos veículos elétricos no próprio estacionamento.

REFERÊNCIAS

ABB. Caixa de conexão String Box ABB. Disponível em:

<<http://www.abb.com.br/product/seit329/3f91ff58436c683a83257980005cfd2f.aspx?tabKey=2&gid=ABB.SACE1SL0610A00&cid=9AAC100280>>. Acesso em 26 de julho de 2016.

Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2012. Resolução Normativa n° 482 de 14 de abril de 2012.

- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), 2015. Resolução Normativa n° 687 de 24 de novembro de 2015.
- Agencia Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Banco de Informação de Geração (BIG). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/GeracaoTipoFase.asp?tipo=12&fase=3>>. Acesso em 10 de maio de 2016.
- Bizzarri, Federico., Brambilla, Angelo., Caretta, Lorenzo., Guardiani, Carlo., 2015. Monitoring performance and efficiency of photovoltaic parks. Renewable Energy. vol. 1, n. 2015, pp. 10-22.
- BMW i3. Veículo Elétrico BMW i3. Disponível em: <<http://www.bmw.com.br/pt/all-models/bmw-i/3/2013/at-a-glance.html>>. Acesso em 04 de junho de 2016.
- Câmara de Comércio Exterior (CAMEX) , 2015. Resolução Normativa n° 97 de 26 de outubro de 2015.
- Honarmand, Masoud., Zakariazadeh, Alireza., Jadid, Shahram., 2014. Self-scheduling of electric vehicles in an intelligent parking lot using stochastic optimization. Journal of the Franklin Institute. Iran University of Science and Technology, Teheran, Iran.
- Mamede Filho, João., 2010. Instalações Elétricas Industriais vol.8, n.1, pp 489-494.
- Mask, Dirk., 2016. Sistemas de recarga condutivos para veículos elétricos. Revista Eletricidade Moderna vol. 506, n. 1, pp. 52-58.
- Perloti, Edgar. Camargo, Fernando. Granville, André. Cunha, Gabriel. Pereira, Mario. Kelman, Rafael., 2012. Associação Brasileira da Indústria Elétrica Eletrônica (Abinee). Proposta para inserção da energia solar fotovoltaica na matriz elétrica brasileira. vol. 1 , n.1, pp 23-26.
- Pinho, João Tavares. Galdino, Marco Antonio., 2014. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. Centro de Referência Para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). vol. 1 , n.1, pp 156-163.
- Prefeitura de Porto Alegre. Temperaturas máximas e mínimas na cidade de Porto Alegre/RS. Disponível em: <http://www2.portoalegre.rs.gov.br/turismo/default.php?p_secao=260>. Acesso em 26 de julho de 2016.
- Premm, Daniel., Schmidt, Sebastian., Denk, Franz Xaver., 2015. Autoconsumo, controle de reativos a conexão à rede. Revista Eletricidade Moderna. vol. 501, n. 1, pp. 72-79.
- Prysmian. Catálogo de produtos de cabos solares Prysmian. Disponível em: <br.prysmiangroup.com/br/business_markets/catalogos/energia/>. Acesso em 26 de julho de 2016.
- REN 21. Renewables 2015 - Global Status Report, 2015. Annual reporting on renewables: Ten years of excellence. Franca. vol. 1, n. 2015, pp 19-20.
- Rodrigues, Carlos., Viana, Suzana., Joyce, Antonio., Gonçalves, Helder., 2006. Os sistemas fotovoltaicos no edifício solar XXI. Result. XIII Congresso Ibérico e VIII Congresso Ibero-Americano de Energia Solar, Lisboa, Portugal.
- Ruther, Ricardo., 2004. Edifícios solares fotovoltaicos. O potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada a rede elétrica pública no Brasil. vol.1, n. 3 pp 30-32.
- SMA Solar Technology. Inversor SMA STP 17000TL-10. Disponível em: <files.sma.de/SB_SMC-BPT092840>. Acesso em 26 de julho de 2016.
- SMA Solar Technology. Software SMA Sunny Design. Disponível em: <www.sma.de/en/products/planning-software/sunny-design-web.html>. Acesso em 30 de maio de 2016.
- Tomalsquim, Mauricio., 2016. Energia Renovável (Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). vol. 1, n. 1, pp. 310-317.
- Tulpule, Pinak J., Marano, Vincenzo., Yurkovich, Stephen., Rizzoni, Giorgio., 2013. Economic and environmental impacts of a PV powered workplace parking garage charging station. Applied Energy. Center of Automotive Research, The Ohio State University, Columbus, OH, United States.

PHOTOVOLTAIC PARKING APPLIED TO CONDOMINIUMS USING POWER SHARING WITH THE ELECTRICAL NETWORK

Abstract. *The present job evaluates an implementation of a photovoltaic parking connected to the electric network, using the net metering of energy produced with the network, according with resolution 482 of ANEEL. A car parking to 40 cars was proposed and covered with 300 photovoltaic modules, in which your application is intended at a residential condominium fictitious, it can be applied also to resorts and universities. The system is for the electric power production for the own consumption condominium, in which the surplus power is shared between the residences of condominium, through the power of the dealership network and also for charging batteries of electric cars in own car park. The energy production of the proposed photovoltaic parking was in 108,490 kWh/year, covering an area of 500 m². Which results in energy produced in 216.98 kWh/m² per year with an energetic performance of 1,391 kWh/kWp, using the technology of multicrystalline silicon cells. Showing that it is possible to produce energy by irradiating in a single photovoltaic system, distribute in consumer units and charge the battery of electric cars in own photovoltaic parking.*

Key words: Photovoltaic Solar Energy, Photovoltaic Parking, Connection to Electrical Network