

DISCUSSÃO DA VIABILIDADE DE EDIFICAÇÃO EM CAMPINAS-SP ATINGIR A META DE ENERGIA ZERO ATRAVÉS DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Bruno Wilmer Fontes Lima – bruno@iei-la.org

Gilberto de Martino Jannuzzi – gilberto@iei-la.org

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Departamento de Energia.

Vanessa Gomes da Silva – vangomes@fec.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Departamento de Arquitetura e Construção.

Resumo. O consumo de eletricidade no Brasil cresceu 47% na última década. Estima-se que este consumo aumente outros 55,6% até 2020. A geração da maior parte da eletricidade no país é baseada no modelo de grandes usinas hidrelétricas, distantes dos centros de consumo. A expansão da geração para atender a esta crescente demanda também está baseada na construção de novas hidrelétricas, mantendo as grandes perdas na transmissão e distribuição da eletricidade. Uma forma de reduzi-las é através do maior uso da geração distribuída, em que a eletricidade é gerada próxima ou no próprio local de consumo, através de, por exemplo, integração a edificações. A partir da viabilização deste modelo de geração, criou-se o conceito dos chamados Edifícios de Energia Zero (EEZ).

EEZs são edifícios com baixíssimas necessidades energéticas e que, ao longo do ano, geram toda a energia que consomem, a partir de fontes renováveis de energia. Das opções disponíveis, a energia fotovoltaica é a que vem sendo mais utilizada mundialmente, devido a sua modularidade e capacidade de geração praticamente em qualquer lugar ao mesmo tempo em que não necessita de combustíveis para sua operação, nem produz ruídos ou emissões. Em 2010, as edificações foram responsáveis por 46,9% do consumo de eletricidade no Brasil e esta participação deve aumentar até 2020, com o setor residencial passando de 23,8% para 25,3% do consumo total de eletricidade, e o setor comercial, de 15% para 18,8%, segundo estimativas da EPE. Dessa forma, um maior emprego de energia fotovoltaica em edificações pode atender parte desta demanda, e conseqüentemente, adiar ou evitar a construção de novas grandes hidrelétricas e termelétricas movidas a combustíveis fósseis. Com base nesta premissa, este artigo avalia a viabilidade e contribuição potencial da geração de eletricidade por um sistema fotovoltaico em um laboratório vivo planejado para a Universidade Estadual de Campinas, que tem como meta tornar-se um Edifício Energia Zero.

Palavras-chave: Energia Solar, Ambiente Construído, Arquitetura Sustentável, Edifícios de Energia Zero.

1 INTRODUÇÃO

O consumo de eletricidade no Brasil cresceu 47% na última década (EPE, 2011), chegando a 455,7 TWh em 2010. Projeções realizadas pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) no Plano Decenal de Expansão de Energia para 2020, estimam que este consumo aumente outros 55,6% até lá, chegando a 659TWh. Para atender esta demanda, está previsto e contratado um aumento de 51% da capacidade instalada, passando dos 113.327 MW em operação ao fim de 2010 para 171.138 MW em 2020. Estas novas centrais serão, em sua maioria, grandes centrais hidrelétricas (32.184 MW), mas também estão previstas centrais termelétricas movidas a combustíveis fósseis (8.857 MW), centrais termoneucleares (1.405 MW) e centrais movidas a fontes alternativas (18.009 MW), que incluem energia eólica, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (EPE, 2011a).

Entretanto, esta expansão da matriz brasileira está baseada no paradigma da geração centralizada, caracterizada por grandes usinas instaladas distante dos centros de consumo, principalmente no caso das grandes hidrelétricas, que precisam ser construídas onde há potencial hidrelétrico disponível. Este paradigma apresenta vantagens, principalmente no planejamento da expansão e operação do sistema e nos ganhos da economia de escala. Porém, a distância entre a geração da eletricidade e o local de consumo acarreta perdas consideráveis na transmissão e distribuição da eletricidade, que em 2010 foram de 17,2% no Sistema Interligado Nacional (incluindo perdas técnicas, como perdas ôhmicas e na eficiência dos equipamentos, como perdas não técnicas, como furtos e fraudes), equivalentes a 88,2 TWh, suficiente para abastecer 47,7 milhões de residências médias, com um consumo de 154kWh/mês (1848kWh/ano) (EPE, 2011; EPE, 2011b). Outro aspecto negativo deste paradigma é o impacto socioambiental causado por estas usinas, caracterizado pelas áreas inundadas e comunidades deslocadas pela implantação das grandes usinas hidrelétricas, e pelas emissões de gases do efeito estufa (GEE) e outros poluentes que ocorrem durante a operação das usinas termelétricas movidas a combustíveis fósseis.

Uma alternativa ao paradigma da geração centralizada é a geração distribuída (GD), caracterizada como uma fonte de energia elétrica conectada diretamente à rede de distribuição ou ao consumidor (Ackermann *et al.*, 2001). A GD já é bastante utilizada no setor industrial e em consumidores de alta tensão, tanto na forma da cogeração, onde são gerados calor e energia elétrica conjuntamente; ou com grupos motores-geradores que entram em operação no horário de ponta,

para reduzir os gastos com eletricidade. Entretanto, uma forma de GD que está aumentando, principalmente nos países europeus, Estados Unidos e Japão, é a geração distribuída de pequeno porte em edificações, realizada principalmente por sistemas fotovoltaicos. Dessa forma, estes imóveis passam a gerar sua própria eletricidade, utilizando uma fonte de energia renovável, e fazendo com que novos investimentos em usinas de geração e infraestrutura de transmissão e distribuição possam ser adiados. Além disso, por gerarem eletricidade próximo ao ponto de consumo, reduzem consideravelmente as perdas por transmissão e distribuição.

Segundo o Balanço Energético Nacional, as edificações, que compreendem os setores residencial, comercial e público, foram responsáveis por 14% do consumo de energia primária no Brasil em 2010. Nos três setores, a eletricidade é a principal fonte de energia, e, quando avaliada apenas esta fonte, a participação das edificações sobe para 46,9% do total, com o setor residencial responsável por 23,8% (108,45 TWh), o comercial por 15% (68,19 TWh) e o setor público com 8,1% (37,01 TWh) do total (EPE, 2011). Assim, a geração de eletricidade nas edificações brasileiras, em especial através dos edifícios de energia zero, apresenta um grande potencial para reduzir não só as perdas intrínsecas à distribuição de energia, como também a demanda - e consequentemente, a infraestrutura necessária para atendê-la - de energia elétrica atual e a prevista para os próximos anos.

2 EDIFÍCIOS DE ENERGIA ZERO: CONCEITO E TIPOS

A partir da tendência de se buscar edifícios cada vez mais eficientes, com o menor consumo de energia possível, surgiram os chamados Edifícios de Energia Zero, ou EEZs (do inglês Net Zero Energy Buildings, abreviada como ZEB). De maneira geral, EEZs são edifícios residenciais ou comerciais com baixíssimas necessidades energéticas que ao longo do ano geram a partir de fontes de energia renovável instaladas no local toda a energia que consomem. (Torcellini *et al.*, 2006).

Os EEZs surgiram como uma alternativa para atender a crescente demanda no consumo de energia dos prédios comerciais nos Estados Unidos, que dobrou entre 1980 e 2000 e deve aumentar mais 50% até 2025, e diminuir os impactos causados pela geração dessa energia. Entretanto, foi apenas no começo do sec. XXI que os governos começaram a desenvolver leis voltadas para uma maior adoção dos EEZs, preocupados com questões ambientais, como o aquecimento global, e econômicos, como a alta nos preços do petróleo.

Apesar da definição geral de um Edifício de Energia Zero, o termo é ainda vago e pode variar dependendo das métricas e dos limites considerados: enquanto que, para um agente governamental, é interessante que um EEZ gere tanta energia primária quanto consome, o proprietário de um edifício estaria mais interessado em neutralizar os custos com energia, protegendo-o de futuros aumentos nas tarifas de energia. Outros autores sugerem que seja considerada também a energia consumida na construção do edifício, no transporte dos seus ocupantes e também da alimentação dos mesmos. Entretanto, neste artigo será avaliado somente o consumo de energia do edifício em si, durante sua operação. Neste sentido, Torcellini *et al.* (2006) elaborou quatro diferentes conceitos para Edifícios Zero Energia:

2.1 Energia zero no local (net zero site energy)

É a definição tipicamente utilizada para os EEZs, que caracteriza a situação em que os edifícios geram localmente pelo menos toda a energia que consomem. Uma limitação dos edifícios Energia Zero no Local é que ele não leva em conta os fatores de conversão energética. Dessa forma, um kJ de energia elétrica tem o mesmo valor que um kJ de gás ou lenha. Assim, a definição de Energia Zero no Local favorece a utilização de equipamentos elétricos, como por exemplo, chuveiros elétricos, no lugar de aquecedores a gás, já que equipamentos elétricos têm uma maior eficiência que equipamentos a gás, mesmo que isso seja energeticamente incoerente, por utilizar fontes de energia “nobres” como a eletricidade para fins básicos, como aquecimento.

2.2 Energia zero na fonte (net zero source energy)

São edifícios que geram localmente pelo menos toda a energia *primária* que foi consumida. Isto significa que ele deve gerar energia suficiente para compensar as perdas na geração (eficiência na conversão da energia primária) e na transmissão e distribuição desta energia. Para obter-se o valor da energia primária gerada e consumida no edifício, multiplica-se tanto a energia importada quanto a exportada por fatores de conversão, que levam em conta a matriz energética do local do edifício. Esta definição favorece a utilização de equipamentos a gás, já que o fator de conversão da eletricidade em energia primária é superior ao fator da conversão do gás. Entretanto, um EEZ na fonte que utilize somente energia elétrica seria também um EEZ local, já que toda a energia consumida e gerada seria multiplicada pelo mesmo fator.

2.3 Energia zero no custo (net zero energy costs)

São edifícios em que os *custos com energia* são zero, já que as receitas provenientes com a venda de energia à rede cobrem os custos com a aquisição da mesma, incluindo custo da energia e de conexão, taxas e encargos. Para ser Energia Zero no Custo um edifício não necessariamente precisa ser Energia Zero no Local. Em países onde se pratica tarifas prêmio para a eletricidade gerada de fontes renováveis, esta pode valer mais de três vezes o valor da eletricidade

consumida da rede. Ou então, um edifício que utiliza bastante gás, mas pouca eletricidade pode compensar seus gastos com a geração de eletricidade no local, já que o gás é mais barato do que a eletricidade.

Entretanto, com o sistema de compensação de energia adotado no Brasil, nenhum edifício que adote este sistema poderá ser um EEZ no custo, já que, mesmo no caso da geração ser maior que o consumo, será cobrado o custo de disponibilidade da rede, e o excedente de energia transformado em créditos de energia que podem ser utilizados no mês seguinte, e não em créditos financeiros, que poderiam compensar este custo de disponibilidade. (ANEEL, 2012)

2.4 Energia zero nas emissões (net zero energy emissions)

São edifícios que *compensam as emissões de gases do efeito estufa* causadas pelo consumo de energia de fontes poluentes que utilizou para gerar energia suficiente a partir de fontes renováveis livres de emissões. No caso de um edifício localizado em uma matriz predominantemente hidrelétrica ou nuclear, seria necessária uma geração de energia no edifício menor do que no caso de um edifício localizado em uma matriz predominantemente a carvão. Além disso, ao utilizar gás para aquecimento ou cocção, as emissões associadas ao uso deste combustível devem ser compensadas pela geração de energia livre de emissões no local.

Como a matriz elétrica brasileira é majoritariamente hidrelétrica, este é o tipo de EEZ mais facilmente alcançável no Brasil, mas cujo resultado foge do objetivo principal de incentivar o equacionamento efetivo entre consumo e oferta de energia pela geração nas próprias edificações.

Dentre as quatro definições apresentadas, o conceito Energia Zero no Local é o mais fácil de medir, a partir de medições da energia consumida e da gerada no edifício, enquanto as definições de Energia Zero na Fonte e Energia Zero nas Emissões precisam de fatores de conversão de energia primária e de emissões da rede, que são estimados. A definição Energia Zero no Local é também a que está sujeita a menores influências externas e flutuações com o tempo, o que não ocorre nas demais definições, sujeitas a variações no preço da energia e nos fatores de conversão.

3 METODOLOGIA DE PROJETO DE EDIFÍCIOS ENERGIA ZERO

A prioridade de um EEZ é ser o mais eficiente possível, para então buscar suprir a demanda otimizada de energia com fontes renováveis. O balanço de energia deve contemplar tanto a energia elétrica quanto energia térmica consumida no edifício. Para auxiliar na decisão de quais fontes utilizar, Torcellini *et al.* (2006) elaborou uma hierarquia das opções de energia renovável que podem ser aproveitadas em um EEZ, conforme a Tab. 1.

Tabela 1 - Hierarquia das Estratégias para o suprimento de energia de um EEZ. Fonte: Torcellini, 2006

	Nível de Hierarquia	Estratégia	Exemplos
	0	Reduzir a necessidade de energia através de um projeto eficiente e de medidas de eficiência energética	Uso de iluminação natural, equipamentos de condicionamento de ar de alta eficiência, ventilação natural, automação predial, etc.
Opções Locais	1	Uso de fontes renováveis disponíveis dentro da área construída do edifício	Sistemas Fotovoltaicos, Aquecimento Solar, Geotermia, Energia Eólica instalados no edifício.
	2	Uso de fontes renováveis disponíveis no terreno do edifício	Sistemas Fotovoltaicos, Aquecimento Solar, Energia Eólica e Micro Hidrelétricas localizadas no terreno do edifício.
Opções Fora do Local	3	Uso de fontes renováveis disponíveis fora do terreno do edifício	Biomassa, etanol, biodiesel e outras fontes de energia que podem ser importadas para o edifício.
	4	Compra de energia proveniente de fontes renováveis fora do terreno do edifício	Compra da eletricidade/certificados proveniente de fontes renováveis, como usinas fotovoltaicas, eólicas, biomassa e PCHs

As fontes renováveis disponíveis localmente devem sempre ter preferência em relação a fontes renováveis que precisem ser transportadas para o local. Assim, sistemas fotovoltaicos e pequenas turbinas eólicas, por poderem ser instalados no edifício, devem ter prioridade frente a microturbinas a etanol ou biogás, ou a células a combustível, já que estes equipamentos necessitam de combustíveis que geralmente precisam ser trazidos ao edifício, gerando gastos de energia com o transporte. Fontes térmicas disponíveis localmente, como o aquecimento solar e o uso da geotermia, também devem ser aproveitados, para evitar a importação de gás e de combustíveis para atender a demanda por calor.

Deve-se priorizar a utilização de fontes instaladas na área construída do edifício, já que áreas e terrenos adjacentes, ainda que pertencentes ao mesmo proprietário do EEZ, podem vir a ser vendidos ou ocupados. Assim, um sistema fotovoltaico instalado no telhado ou na fachada do edifício é mais indicado do que utilizar um terreno adjacente para a instalação deste sistema. Outra vantagem da utilização de fontes renováveis locais e instaladas na área construída é evitar a mudança no uso da terra, que ocorre na produção de biocombustíveis e construção de novas usinas. Assim, áreas já utilizadas pelo edifício, como fachadas e telhados, podem ter uma função dupla, gerando energia além de ser parte do prédio.

A conexão de um EEZ à rede não pode ser dispensada, devido ao uso de fontes intermitentes - como a eólica e a solar - na geração de energia. Dessa forma, a rede elétrica é utilizada como grande sistema de armazenamento: quando

há excesso de geração, este é injetado na rede, e, quando a geração é inferior ao consumo, este é atendido pela rede elétrica. Assim, para um edifício ser considerado EEZ, o balanço de energia (energia gerada – energia consumida ao longo do ano) deve ser zero ou positivo, passando a ser passaria a ser um Edifício Energia Positivo (Net Positive Energy Building).

Dentre as fontes renováveis listadas nas opções 1 e 2, a energia fotovoltaica é a que possui o maior potencial para ser utilizada em ambientes urbanos.

4 ENERGIA FOTOVOLTAICA

A Terra recebe anualmente $1,5 \times 10^{18}$ kWh de energia solar, correspondente a 10.000 vezes o consumo mundial de energia no mesmo período, bastando apenas 12 minutos para que a Terra receba energia do sol equivalente ao consumo anual mundial de energia. Uma forma de aproveitar a energia solar diretamente, na forma de eletricidade são os sistemas fotovoltaicos. O Brasil possui um alto potencial de aproveitamento desta fonte de energia, com elevados índices de radiação solar, variando de $1500 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$ a $2200 \text{ kWh/m}^2/\text{ano}$, muito superiores aos encontrados na maioria dos países europeus, o que demonstra um vasto potencial a ser explorado. Com apenas 0,04% do território brasileiro coberto com módulos fotovoltaicos seria possível gerar toda a eletricidade consumida no país (Rüther e Zilles, 2011).

A energia solar fotovoltaica é, das fontes renováveis de energia, a que mais cresce atualmente. Mundialmente, a capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos chegou a 39,529 GW no final de 2010, após a instalação de 16,629 GW, o que representa um crescimento de 129% em comparação a capacidade instalada em 2009. A Europa lidera em termos de MW instalados, equivalentes a 74% (29,252 GW) da capacidade instalada mundial. Alemanha, Espanha e Itália, juntas, representam 24,47 GW, ou 62% de toda a capacidade instalada no mundo (EPIA, 2011a). Parte considerável destas instalações vem sendo feita em edificações.

A utilização de sistemas fotovoltaicos instalados em edificações apresenta diversas vantagens, tanto ambientais, como econômicas, sociais e técnicas. Esta é considerada uma das fontes de energia mais limpas existentes, pois não emite gases do efeito estufa nem outros poluentes durante a operação, ficando os impactos ambientais restritos à fabricação dos equipamentos e ao seu descarte (Fthenakis e Kim, 2011). Outras vantagens são que os componentes: (i) utilizam uma fonte de energia limpa e gratuita, não produzindo emissões durante sua operação; (ii) são modulares, permitindo que o sistema seja aumentado facilmente; (iii) são fáceis de serem instalados, sem a necessidade de grandes obras civis; (iv) produzem energia por mais de 25 anos, (embora sofram uma degradação com o passar do tempo, fazendo com que a geração de energia diminua ano a ano, embora a maioria dos fabricantes garantam um rendimento de 80% do rendimento original após 25 anos de uso), podendo ser reciclados ao fim de sua vida útil; (v) podem ser instalados em casas e edifícios, próximo ao consumo, reduzindo as perdas com a transmissão e distribuição de eletricidade, além de adiar novos investimentos em infraestrutura de transmissão; (vi) podem ser integrados às edificações, através do conceito de *Building Integrated Photovoltaics* (BIPV), onde os módulos desempenham papel duplo, sendo geradores de eletricidade e parte do envelope do edifício; (vii) não possuem partes móveis, consequentemente não produzem ruídos durante sua operação e apresentam baixos custos de manutenção; (viii) quanto instalados em edifícios, dispensam a necessidade de uma área física dedicada; (ix) têm a capacidade de oferecer potencia reativa a pontos críticos da rede (melhoria na qualidade de energia); (x) têm a capacidade de oferecer um elevado fator de capacidade à alimentadores de rede com picos diurnos, como no caso de áreas comerciais com alta demanda por ar-condicionado (Rüther, 2004; EPIA, 2011). Estas características fazem com que a energia fotovoltaica seja uma das mais aplicáveis a edificações e a EEZs, em particular.

4.1 Integração à edificação

Os sistemas de geração FV instalados em edificações podem ser tanto desagregados da edificação, como no caso de painéis instalados sobre o telhado ou fachadas, conhecidos como BAPV (do inglês *Building Adapted Photovoltaics*), quanto integrados à edificação – ou BIPV (do inglês, *Building Integrated Photovoltaics*) – em que os módulos desempenham um papel duplo, gerando eletricidade e fazendo parte integral do prédio (EPIA, 2011). Tanto os BAPV quanto BIPV podem ser instalados em paredes, fachadas, brises, janelas e telhados das edificações. Entretanto, a utilização de BIPV é mais cara, pelo desempenho multifuncional dos componentes, e requer estudos específicos para a integração dos módulos ao envelope do edifício, enquanto que os BAPV podem ser instalados sem maiores complicações ou grandes interferências no edifício de suporte, novos ou existentes. Em ambos os casos, um projeto arquitetônico realizado tendo em consideração a instalação de sistemas FV aumentará o seu rendimento, podendo também reduzir os custos de instalação, ao propiciar áreas para a instalação do sistema já orientado na condição ideal, diminuindo a necessidade de estruturas de fixação adicionais.

Em geral, para obter-se o melhor rendimento e maximizar a geração anual de eletricidade, os módulos devem estar voltados para o equador (norte geográfico para instalações no hemisfério sul) e com uma inclinação igual à latitude do local. Caso os módulos sejam instalados em inclinações menores que a latitude, será favorecida a geração de eletricidade no verão. Caso contrário, com inclinações maiores que a latitude, será favorecida a geração no inverno. Pequenas variações na inclinação e na orientação não irão penalizar tanto a geração de energia, podendo conseguir-se até 95% da energia que seria gerada na condição ideal (Rüther, 2004). Na maioria dos casos, a instalação do sistema na cobertura permite que os módulos sejam instalados nesta condição ideal.

Porém, nem sempre a área disponível na cobertura é suficiente para instalar um sistema fotovoltaico que gere eletricidade que atenda à demanda do EEZ. Frequentemente, parte da cobertura pode estar ocupada por equipamentos de ar-condicionado, antenas e reservatórios de água, que, além de reduzirem a área disponível para o sistema, podem sombrear os painéis, o que diminui consideravelmente o seu desempenho. Finalmente, como a latitude do local determina a inclinação a ser dada aos painéis para maximização do aproveitamento, nas latitudes maiores os painéis podem interferir consideravelmente na arquitetura, particularmente em situações de preservação de edificações históricas. Nestas circunstâncias, o aproveitamento das fachadas do edifício torna-se particularmente de interesse.

No Brasil, fachadas voltadas para o norte teriam o melhor desempenho, porém fachadas voltadas para o leste e oeste também podem ser aproveitadas, mediante cuidadosa integração à arquitetura. Mesmo com os módulos instalados na vertical, podem-se obter rendimentos da ordem de 60% em relação à orientação ótima, devido ao baixo ângulo do sol no início e final do dia (Rüther, 2004). As fachadas voltadas ao sul devem ser evitadas, por receberem consideravelmente menos radiação solar do que as demais.

5 MÉTODO

Para avaliar a possibilidade de um edifício tornar-se Energia Zero através da geração fotovoltaica integrada à edificação, será realizado um estudo de caso do Laboratório Vivo do Projeto *Greenbuilding CPFL*, planejado para o campus da Universidade Estadual de Campinas, em Campinas-SP. As simulações do consumo de energia foram realizadas por uma empresa especializada, utilizando o software Energy Plus, enquanto que as simulações da geração fotovoltaica foram realizadas utilizando o software Homer Energy (Homer Energy, 2011). Foram comparados os valores obtidos tanto para o consumo quanto para a geração, e avaliados os possíveis enquadramentos do laboratório nas categorias de EEZ.

5.1 O Potencial Solar de Campinas-SP

A cidade de Campinas, no estado de São Paulo, está situada nas coordenadas: latitude Sul 22° 48' 57"; longitude Oeste 47° 03' 33". (CEPAGRI, 2011). A partir destas coordenadas, é possível conhecer o potencial solar da região, utilizando o programa SunData, disponibilizado no site do CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito, vinculado ao PROCEL). Para a região de Campinas, as médias mensais da radiação solar diária no plano horizontal e no plano inclinado igual à latitude local (de 22,9°, arredondado para 23°) podem ser vistas na Tabela 2, com a média anual sendo 4,90 kWh/m² por dia no plano horizontal, e 5,17 kWh/m² na inclinação igual à latitude (CRESESB, 2011).

Tabela 2 - Radiação solar diária média (kWh/m²/dia) em Campinas. Fonte: SunData - CRESESB, 2011.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
0°	5,33	5,56	5,22	4,53	4,06	3,56	4,19	4,58	4,75	5,58	5,86	5,53	4,9
23°	4,83	5,30	5,37	5,14	5,08	4,65	5,46	5,45	5,06	5,45	5,36	4,94	5,17

5.2 O Laboratório Greenbuilding CPFL

O desenvolvimento do projeto e construção do Laboratório no campus da UNICAMP são parte do projeto de P&D *Greenbuilding CPFL*. Trata-se de um edifício pequeno, de aproximadamente 600m² que, por ser integralmente instrumentado e monitorado, servirá como um laboratório vivo. O projeto, a construção e a operação do laboratório previram componentes e sistemas que caracterizam montagens e experimentos científicos. O edifício está sendo projetado para ter o menor impacto ambiental possível durante sua construção, e com a meta de ser um Edifício de Energia Zero.

Para isto, estão sendo utilizados materiais com inércia térmica balanceada, cobertura e parede verdes, e otimização do desempenho dos componentes de envelope, visando diminuir a carga - térmica e, consequentemente, o consumo - de condicionamento artificial do edifício. Quanto à iluminação, estão sendo utilizadas lâmpadas fluorescentes de baixo consumo de energia, com sensores de presença e de luminosidade, permitindo que funcionem apenas quando a iluminação natural não for suficiente para a realização das tarefas nos ambientes. Para maximizar a iluminação natural, prateleiras solares serão instaladas na fachada norte, aumentando a profundidade dos ambientes atendida por luz natural refletida. A ventilação natural também está sendo favorecida, e para as situações em que não seja suficiente ou não possa ser utilizada, será utilizado um sistema de ar condicionado central de baixo consumo utilizando a tecnologia VRV (volume de refrigerante variável). Duas salas-testes utilizarão um sistema de condicionamento inovador, utilizando forro radiante. Na cobertura, já nas condições ideais de inclinação e orientação, será instalado um sistema de geração fotovoltaico. O consumo de energia anual do laboratório, obtida com a simulação no software Energy Plus foi de 30.877 kWh, sendo que, em função de suas características de uso, o edifício utilizará apenas eletricidade.

5.3 O Sistema de Geração de Energia

O sistema fotovoltaico proposto totalizará 18,22 kWp, e utilizará 3 tecnologias de painéis: painéis de silício mono-cristalino (mono-Si) de 190 W, painéis de silício amorfo/micro-cristalino (a-Si/ μ -Si) de 142W e painéis de disseleneto de cobre, galio e índio (CIGS) de 95 W, divididos em 3 subsistemas. Cada subsistema está ligado a um inversor, com uma potência CA nominal de 6.000 W e eficiência de máxima de 96,2%. Os módulos serão instalados na condição ideal, com uma inclinação igual a 23° e orientados para o norte verdadeiro. Nas simulações, foi considerado um Fator de Performance de 80% (baseado no valor obtido experimentalmente de 81,6% em um sistema de 2kWp utilizando silício amorfo em Florianópolis (Rüther et al., 2006)), uma Temperatura Nominal de Operação da Célula de 45 °C e um albedo de 0,2. Será considerado também que o sistema possui uma vida útil de 25 anos.

Tabela 3 - Especificações Técnicas do Sistema Fotovoltaico Simulado

Tecnologia	C-Si	a-Si/ μ -Si	CIGS
Potência Nominal de cada módulo (Wp)	190	142	95
Eficiência (%)	14.9%	9.1%	12.5%
Coefficiente de Temperatura de potência γ PMPP (%/K)	-0,45	-0,34	-0,38
Potência Nominal de cada Sub-sistema (Wp)	6270	5964	5985
Área de cada Sub-sistema (m ²)	46	72	53

6 RESULTADOS

Utilizando o Homer Energy, foi simulada a geração mensal e anual do Sistema Fotovoltaico detalhado na Tab. 3. Os resultados podem ser vistos na Tab. 4.

Tabela 4 - Simulação da geração de eletricidade, em kWh, do sistema a ser instalado no Greenbuilding CPFL

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total	Rendimento kWh/kWp
mono-Si	713	706	789	735	756	667	820	818	735	814	769	738	9060	1444,98
a-Si/ μ -Si	686	679	759	706	723	637	784	783	704	781	739	709	8690	1457,08
CIGS	688	681	762	708	725	639	786	785	707	784	741	711	8717	1456,47
Total	2087	2066	2310	2149	2204	1943	2390	2386	2146	2379	2249	2158	26467	1452,63

De acordo com a simulação, o sistema de 18,22 kWp será capaz de gerar 26.467 kWh anualmente. Ao comparar a energia gerada pelo sistema proposto com a simulação da energia consumida no edifício, percebe-se que haverá um déficit de 4.410 kWh ao ano, impedindo que o edifício seja um EEZ local.

Além disso, para evitar que o edifício atinja a meta EEZ nos seus primeiros anos de operação, mas que depois venha a consumir mais energia do que gerar, é preciso considerar a redução de eficiência dos módulos fotovoltaicos com o tempo. Assumindo uma degradação de 0,5% ao ano na eficiência do sistema PV, a geração irá cair para 26.334,7 kWh no segundo ano de funcionamento, para 26.203,0 kWh no terceiro ano e assim sucessivamente, chegando, no 25º ano de operação, a 23.467,1 kWh ou 88,7% da geração anual original (Tab. 5), e a uma geração total de 623.455,3 kWh de energia elétrica ao longo de sua vida útil. O consumo de energia também deve ser constantemente monitorado, de forma a não ultrapassar as metas estipuladas, fazendo com que o edifício deixe de ser um EEZ.

Tabela 5 – Geração anual de eletricidade, em kWh, pelo sistema FV previsto.

Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Ano	Energia Produzida (kWh/ano)	Ano	Energia Produzida (kWh/ano)
0	26.467,0	5	25.811,9	10	25.173,0	15	24.550,0	20	23.942,3
1	26.334,7	6	25.682,8	11	25.047,2	16	24.427,2	21	23.822,6
2	26.203,0	7	25.554,4	12	24.921,9	17	24.305,1	22	23.703,5
3	26.072,0	8	25.426,7	13	24.797,3	18	24.183,6	23	23.585,0
4	25.941,6	9	25.299,5	14	24.673,3	19	24.062,6	24	23.467,1

No caso do Laboratório Vivo, existem duas alternativas para se atingir a meta de EEZ local: aumentar a potência instalada do sistema fotovoltaico ou reduzir ainda mais o consumo de energia. Deve-se levar em consideração os efeitos da degradação dos módulos, seja na definição do consumo máximo admissível ou no dimensionamento do novo sistema.

No dimensionamento de um novo sistema FV, a geração fotovoltaica inicial deve ser 12,8% maior do que o consumo estimado do edifício, para compensar a geração 88,7% menor no final da vida útil. Assim, o sistema FV deve ser dimensionado para gerar 34.850 kWh/ano, para que a geração seja superior ao consumo durante toda a vida útil do sistema. Para se estimar a potência nominal de um sistema FV para atender esta demanda, pode-se utilizar a Eq. (1) (Rüther e Braun, 2009):

$$P_{FV} = \frac{C/Irr}{F} \quad (1)$$

Onde

P_{FV} é a potência nominal do sistema, em kWp

C é o consumo anual de energia do edifício, em kWh/ano

Irr é a radiação solar local (em kWh/m²/ano) no plano de instalação do sistema e

F é o fator de performance do sistema.

Desta forma, considerando uma radiação solar média de 1.883,4 kWh/m²/ano no plano inclinado igual à latitude, para um consumo anual de 34.850 kWh, será necessário um sistema de aproximadamente 23,13 kWp.

Caso a solução proposta seja a redução do consumo de energia, esta redução deve ser suficiente para cobrir o déficit entre a geração do sistema de 18,22kWp e do consumo simulado, além de reduzir o consumo ano a ano para compensar a perda de geração ao longo do tempo pela degradação dos painéis FV.

6.1 O Laboratório vivo como um EEZ

O sistema de compensação de energia a ser adotado para a geração distribuída em baixa tensão no Brasil impede a existência de EEZs no custo no país, já que a energia injetada na rede não pode ser remunerada financeiramente, e será sempre cobrado o encargo da disponibilidade da rede, ficando impossível que os custos com energia sejam anulados pela geração própria.

Adicionalmente, como já foi demonstrado, nas condições do projeto original, a geração de energia é inferior ao consumo e o Laboratório não atingirá a meta de EEZ local. Como será utilizada apenas energia elétrica, então o edifício em questão também não será um EEZ na fonte, restando apenas a opção de EEZ nas emissões.

Como cerca de 86% da energia elétrica consumida no país é de fonte renovável (EPE, 2011), seria necessário que o edifício gerasse apenas 14% do seu consumo (4.322 kWh) a partir de fontes renováveis para compensar a parcela da energia consumida que é proveniente de fontes fósseis e caracterizar-se como um EEZ nas emissões. Salvo se a matriz elétrica brasileira passar por mudanças consideráveis nos próximos anos, com o sistema FV atualmente proposto, o Laboratório atingiria a meta de EEZ nas emissões e neutralizaria as emissões projetadas para toda a sua vida útil já no quarto ano de operação.

7 CONCLUSÕES

Os EEZs apresentam um grande potencial para reduzir o aumento do consumo de eletricidade em edificações nos setores residencial, comercial e público, adiando ou evitando novos investimentos em infraestrutura de geração, transmissão e distribuição. Além de reduzir as perdas de T&D e proteger os proprietários e usuários dos edifícios de futuros aumentos nas tarifas de energia, os EEZs favorecem a geração de energia proveniente de fontes renováveis, contribuindo para mitigar os efeitos do aquecimento global e de poluição local causados pelo consumo de combustíveis fósseis. Das fontes de energia renováveis possíveis de integração às edificações, a energia FV é a que vem sendo mais utilizada e que apresenta um potencial ainda maior de adoção, principalmente através dos conceitos de BIPV e BAPV.

Ao longo do artigo foi apresentado o caso de uma edificação que tem por objetivo ser um Edifício Energia Zero. Além de um baixo consumo de energia, este edifício contará com um sistema de geração fotovoltaico de 18,22 kWp. A geração deste sistema, porém, não será suficiente para atender a demanda estimada para o edifício. Tornar o laboratório um EEZ local requer nova redução no consumo de energia inicialmente estimado ou o aumento na capacidade do sistema fotovoltaico. Um ponto que merece destaque ao se projetar um EEZ é considerar o efeito da degradação dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, para que ele seja um EEZ durante toda sua vida útil, e não apenas nos primeiros anos de funcionamento. O consumo de energia também deve ser constantemente monitorado, para evitar que ultrapasse os requisitos de projeto.

Como o caso estudado utiliza apenas energia elétrica, se ele não atingiu a meta de EEZ local, também não o será na fonte. Foi mostrado que o conceito de EEZ no custo também não será atingido pelo edifício em questão, nem por nenhum outro que venha a aderir o sistema de compensação de energia proposto pela ANEEL, devido ao fato da energia gerada não poder ser remunerada financeiramente e da cobrança das taxas de disponibilidade da rede elétrica.

O Laboratório será, portanto, um EEZ apenas em termos de emissões. Como a matriz elétrica brasileira tem uma grande participação de fontes renováveis, somente uma pequena parcela é gerada por fontes poluentes e, dentro deste conceito, deverá ser compensada pela geração fotovoltaica. Apesar de configurar estímulo importante em matrizes de

base fóssil, este tipo de definição aplicado à realidade brasileira não contribui para o objetivo dos EEZs, de incentivar que edifícios supram a própria energia que consomem, a partir de fontes locais.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à CPFL, pela oportunidade de participar deste projeto e pelo apoio financeiro, ao Prof. Dr. José Tomaz Vieira Pereira, Dr. Mauro Berni e aos demais membros do Projeto CPFL Green Building.

REFERÊNCIAS

- Ackermann, T., Andersson, G., Söder, L., 2001. Distributed Generation: a Definition, Electric Power Systems Research, vol 57, pp. 195-204.
- ANEEL, 2012. Estabelecimento das condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/HTML/Minuta_micro_minigeracao.html>. Acesso em: 06 abr. 2012.
- CEPAGRI. Clima de Campinas, 2011. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima-de-campinas.html>>. Acesso em: 02 jul. 2011.
- CRESESB. Potencial Energético Solar - Sun Data, 2011. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php>>. Acesso em: 22 abr. 2011.
- EPE, 2011. Balanço Energético Nacional 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília.
- EPE, 2011a. Plano Decenal de Expansão de Energia 2020. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro.
- EPE, 2011b. Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2011. Empresa de Pesquisa Energética. Rio de Janeiro.
- EPIA, 2011. Solar Generation 6 - Solar Photovoltaic Electricity Empowering the World. European Photovoltaic Industry Association.
- EPIA, 2011a. Global Market Outlook for Photovoltaics Until 2015. European Photovoltaic Industry Association.
- Fthenakis, V. M., Kim, H. C., 2011. Photovoltaics: Life-cycle analyses. Solar Energy, vol. 85, n. 8, pp. 1609-1628.
- HOMER ENERGY, 2011. HOMER Energy - Hybrid Renewable and Distributed Power Design Suport,. Disponível em: <<http://www.homerenergy.com/index.html>>. Acesso em: 22 maio 2011.
- Rüther, R., 2004 Edifícios Solares Fotovoltaicos. Florianópolis: Editora UFSC / LABSOLAR.
- Rüther, R. et al., 2006. Performance of the First Grid-Connected, BIPV Installation in Brazil over Eight Years of Continuous Operation. 21st European Photovoltaic Solar Energy Conference, Dresden, Germany.
- Rüther, R.; Braun, P., 2009 Energetic Contribution Potential of Building-Integrated Photovoltaics on Airports in Warm Climates. Solar Energy, vol. 83, pp. 1923-1931.
- Rüther, R.; Zilles, R., 2011. Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil. Energy Policy, vol. 39, pp. 1027-1030.
- Torcellini, P. et al., 2006. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. National Renewable Energy Laboratory.

DISCUSSION OF THE VIABILITY OF A BUILDING IN CAMPINAS-SP MEETING A NET ZERO ENERGY TARGET THROUGH THE USE OF ON-SITE PHOTOVOLTAIC GENERATION

Abstract. *Electricity consumption in Brazil grew 47% in the last decade, and it is estimated to grow other 55,6% by 2020. Most of this electricity is generated in large, centralized hydropower plants. Generation expansion to meet this growing demand is also based on construction of new hydropower plants, which are located far from consumption centers. This distance between generation and consumption leads to considerable transmission and distribution losses. One way to reduce such losses is through distributed generation, where the electricity is generated near or at the point of consumption, for example, integrated to buildings. This concept has led to the development of the Net Zero Energy Buildings (ZEB).*

ZEBs are buildings with greatly reduced energy needs through efficiency gains such that the balance of energy needs can be supplied with renewable technologies. From the available options to generate electricity onsite, photovoltaic (PV) modules have been the most used worldwide. The ability to generate electricity almost anywhere, without emissions and noise, it's modularity and the fact that it requires no fuel to operate makes PV ideal for the integration to buildings. Considering that buildings were responsible for 46,9% of the Brazilian's electricity consumption in 2010, and that their contribution will raise by 2020, with the residential sector increasing its share, according to estimates made by EPE, from 23,8% to 25,3% of the total electricity consumption, while the commercial sector will increase from 15% to 18,8%.

A greater adoption of the photovoltaic energy in buildings can therefore meet part of this demand, and postpone or prevent the construction of new large hydroelectric and fossil fueled thermoelectric plants. This paper evaluates the possibility of a living laboratory in the University of Campinas to achieve a ZEB status through the use of a multi photovoltaic technology system.

Key words: *Solar Energy, Built Environment, Sustainable Architecture*