



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

INTEGRAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES À ARQUITETURA: UMA REFLEXÃO SOBRE SEUS IMPACTOS NA FORMA E PAISAGEM¹

FONSECA, Ingrid (1); BATTISTI, Alessandra (2); TUCCI, Fabrizio (3); PORTO, Maria Maia (4); MATHIAS, Priscilla (5)

(1) UFRJ e Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: ingrid.c.l.fonseca@gmail.com;

(2) Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: alessandrabbattisti@libero.it; (3)

Università degli Studi "La Sapienza" di Roma, e-mail: fabrizio.tucci@uniroma1.it; (4) UFRJ, e-mail: mariamaiaporto@ufrj.br (5) UFRJ, e-mail: priscillamathias@hotmail.com

RESUMO

Num contexto mundial de crise energética, a Comunidade Européia, através da Diretiva 2010/31/EU, introduziu o conceito de nZEB (Nearly Zero-Energy Buildings), relativo a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo e estabeleceu uma meta de redução de consumo em 20% até 2020. Enquanto no Brasil, a Resolução Normativa nº 482/2012 estabeleceu condições gerais para microgeração e minigeração com sistema de compensação de energia para o consumidor. Assim, é importante vislumbrar um futuro onde prédios funcionarão como organismos auto geradores de energia. Para o funcionamento eficiente destes sistemas sabe-se da importância do correto posicionamento e dimensionamento, levando-nos a refletir sobre como novas edificações poderão ter sua forma influenciada, assim como a paisagem. Com espírito investigativo, este artigo mostra resultados parciais de pesquisa de pós-doutoramento na Università "La Sapienza" di Roma em parceira com o AMBEE/UFRJ e explora formas de integração dos sistemas BIPV com impactos na forma dos edifícios e paisagem. De acordo com tal finalidade delineou-se a metodologia. Inicialmente, tais sistemas são identificados e descritos. Na seqüência, são apresentados exemplos e destacadas características desta integração e reflexões sobre suas consequências formais, constituindo os resultados do artigo, que pretende contribuir em busca do equilíbrio entre função/forma/eficiência.

Palavras-chave: Eficiência energética. Tecnologia fotovoltaica integrada (BIPV). Edifícios a consumo de energia quase zero (nZEB).

ABSTRACT

In a global context of energy crisis, the European Community, through the Directive 2010/31/EU, introduced the concept of nZEB (Nearly Zero-Energy Buildings), setting buildings with very low energy consumption or almost null and established a consumption reduction target by 20% by 2020. While Brazil, through Normative Resolution nº 482/2012, lays down general conditions for microgeneration and minigeneration with power compensation system to the consumer. So it is important to envision a future where buildings will function as auto power generators organisms. For the efficient operation of these systems its known the importance of correct positioning and sizing, which leads us to reflect on how new buildings will have their form influenced as well as the landscape. With investigative spirit, this article shows partial results of post-doctoral research at University of Rome "La Sapienza" in

¹FONSECA, Ingrid et al. Integração de painéis solares à arquitetura: uma reflexão sobre seus impactos na forma e paisagem. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

partnership with AMBEE/UFRJ and explores ways of integrating the BIPV systems with impacts in the form of buildings and landscape. According to this purpose the methodology was outlined. Initially, these systems are identified and described. Subsequently, examples are presented and highlighted features of this integration and reflections about its formal consequences, that constitute the results of the article, which aims to contribute in the search for the balance between function/shape/efficiency.

Keywords: Energy efficiency. Integrated photovoltaic technology (BIPV). Nearly Zero-Energy Building (nZEB).

1 INTRODUÇÃO

A crise ambiental global e a busca de soluções para reduzir a demanda energética das edificações vêm exigindo de nós, arquitetos, uma importante e constante transformação na forma de pensarmos nossos edifícios e cidades.

Sabe-se que os edifícios são responsáveis por cerca de 40% do consumo de energia primária nos países desenvolvidos (GELLER, 2003) e por grande parte das emissões de CO₂. A contribuição do arquiteto na busca da redução da demanda energética é evidente, uma vez que o projeto - prática de sua exclusiva responsabilidade e competência - pode incorporar medidas que incidirão diretamente sobre o desempenho do edifício, seja para a redução do consumo energético ou para a limitação de emissões de poluentes, reduzindo, como um todo, os mais relevantes e preocupantes impactos negativos causados pelo homem ao meio ambiente.

Para isso, seu exercício deve apoiar-se em três atitudes, passíveis de serem abordadas isoladamente, porém intrinsecamente relacionadas e que devem ser consideradas de modo integrado e complementar, permeando as decisões de projeto ao longo de todo o processo, quais sejam: a prática do projeto bioclimático, como garantia das condições de conforto humano, reduzindo a dependência dos sistemas artificiais; a busca pelo uso eficiente da energia, inerente ao funcionamento da edificação e de seus equipamentos; e a incorporação de fontes de energia alternativas às tradicionalmente utilizadas, e sobretudo renováveis, com inclusão de novas tecnologias passivas à arquitetura. Dentre elas, está a incorporação de painéis fotovoltaicos às edificações de modo que estas sejam capazes de gerar a energia para consumo próprio, se destacando das redes de abastecimento convencionais e configurando-se como organismos autônomos. Esta se tornou uma estratégia a ser considerada em todos os projetos baseados em princípios de sustentabilidade e eficiência energética.

No Brasil, a Resolução Normativa no. 482 da ANEEL de 2012 e ampliada em 2015 (ANEEL, 2012, 2015) hoje em vigor, criou o Sistema de Compensação de Energia, que permite ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local. A partir disso, e dando atenção a essa possibilidade de microgeração, faz-se necessária a promoção de condições para a instalação dos sistemas, de modo incorporado ao projeto de arquitetura e integrado à abordagem bioclimática.

Num contexto mundial, a Comunidade Européia, através das Diretivas 2010/31 EU e 2012/27/EU (2010b, 2012), introduziu o conceito de NZEB (Nearly Zero-Energy Building), referente a edifícios com consumo energético muito baixo ou quase nulo e estabeleceu uma meta de redução de consumo energético em 20% até 2020 e que, na medida do possível, deve ser coberto de forma significativa de energia produzida por fontes renováveis, incluindo aquela produzida localmente ou na vizinhança, especialmente em edifícios novos.

E assim, deu-se um impulso à concepção de edifícios autossuficientes, como aqueles que possam gerar a energia para seu próprio consumo, para suprir complexos edificados ou mesmo abastecer áreas vizinhas.

O artigo mostra os resultados parciais de pesquisa de pós-doutoramento na Università "La Sapienza" di Roma em parceira com o Grupo de Estudos em Arquitetura, Conforto Ambiental e Eficiência Energética AMBEE/UFRJ sobre as possibilidades de aproveitamento de energias alternativas (às utilizadas tradicionalmente) e renováveis integradas à arquitetura. Tem como objetivo, através de uma abordagem investigativa e exploratória, propor uma reflexão sobre os impactos da integração de painéis fotovoltaicos na forma do edifício, uma vez que estes se condicionam às variáveis dimensionamento do sistema e posicionamento das superfícies captadoras. E como tais atitudes podem influenciar na definição da forma arquitetônica e configuração de paisagem, contribuindo na busca de um equilíbrio harmonioso entre função, forma e eficiência energética.

De acordo com tal finalidade delineou-se a metodologia. Inicialmente, tais sistemas são identificados e descritos. Na seqüência, são apresentados exemplos e destacadas características desta integração e reflexões sobre suas consequências formais, constituindo os resultados do artigo, que pretende ainda evidenciar questões que necessitem de maior atenção e investigação detalhada, de modo a definir uma metodologia de trabalho para a sequência da pesquisa em andamento.

2 REQUISITOS PARA CAPTAÇÃO DE ENERGIA SOLAR: tipologias e variáveis a considerar

2.1 Tipologias das células: uma breve descrição da evolução técnica

Diversas são as possibilidades de disposição das células captadoras de energia solar para o uso em arquitetura. Inicialmente surgiram na forma de painéis: um conjunto de módulos fotovoltaicos, constituídos por células (PINHO; GALDINO, 2014), produzidos com a função única de captar a energia solar. Atualmente, assumiram um papel multifuncional, conforme definição da *Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana* (BONOMO; FRONTINI, 2015) como parte integrante da arquitetura e componente arquitetônico (como vidro, telhas, e outros).

A primeira configuração das células para captação de energia solar nos foi disponibilizada pelo mercado na forma dos painéis fotovoltaicos, geralmente

constituídos de silício: painéis mono ou poli cristalinos. A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também mais cara, de eficiência média de 16,5% (PINHO; GALDINO, 2014). As células policristalinas têm um custo de produção inferior aos monocristalinos por necessitarem de menos energia para sua fabricação, mas apresentam um rendimento elétrico inferior, que varia entre 14,5 e 16,2% em escala industrial (PINHO; GALDINO, 2014). A garantia relativa à vida útil destes painéis é alta, cerca de 25 anos. Porém, segundo Pinho e Galdino (2014) poucos foram encontrados no mercado em funcionamento há mais de 20 anos.

Considerada de segunda geração, tem-se a tecnologia de filme fino, dos quais destacam-se as de silício amorfo e as células fotovoltaicas orgânicas (OPV), descartando as outras que contém substâncias tóxicas ou raras (RÜTHER, 2004). As células de silício amorfo são as que apresentam o custo mais reduzido, mas em contrapartida seu rendimento é também mais baixo, cerca de 10% (PINHO; GALDINO, 2014) e sua vida útil menor. A grande vantagem é que são películas muito finas, dispensam a moldura dos painéis e podem ser flexíveis apresentando maior possibilidade de integração a superfícies curvas. Porém, o efeito de degradação quando expostas à radiação solar que limita sua eficiência (efeito Staebler-Wronski) constitui grande obstáculo a sua difusão. A eficiência das células orgânicas (OPV) variam em torno de 10%. São em substrato leve, flexível, transparente e debaixo custo, mas com pouca produção em escala industrial.

Por fim, há a tecnologia dos painéis solares híbridos, cuja eficiência, segundo Santos (2009), é de cerca de 20%. Trata-se de uma célula composta de uma lâmina ultrafina de silício amorfo sobre uma base de silício monocristalino, cuja junção permite que a abrangência do espectro luminoso seja maior, aumentando a eficiência de conversão. Funcionam bem a altas temperaturas, mas ainda pouco disponíveis no mercado.

2.2 Inclinação, orientação e exposição ao sol – condicionantes para disposição na edificação

Sabe-se que o rendimento dos sistemas, que desfrutam da energia solar como fonte, está diretamente relacionado à orientação e inclinação das superfícies de captação, sejam elas aplicadas a fachadas, coberturas ou a qualquer elemento funcional. A inclinação média recomendada é igual à latitude local, e à orientação Norte (preferencialmente), NE ou NO, (para localidades no hemisfério Sul) e Sul (preferencialmente), SO ou SE (para o hemisfério Norte).

Ainda, é fundamental a realização de avaliações das obstruções vizinhas. Gaviria, Pereira e Mizgier (2013) investigaram a eficiência de sistemas fotovoltaicos integrados em edificações inseridas em diferentes contextos urbanos, confirmando que a eficiência dos modelos depende em grande medida da disponibilidade de superfícies para a geração fotovoltaica, o que nos faz alertar para a necessidade de disponibilização de área para integração do sistema e seus impactos na forma do edifício.

Ou seja, obstruções vizinhas, orientação e inclinações inadequadas podem se refletir na necessidade de aumento da superfície captadora ou uma queda de eficiência e consequente geração de energia. Há que se manter a relação custo-benefício, mesmo que a nova tipologia tenha se libertado do formato de placas com dimensionamentos restritivos. Ainda, considerando a dimensão estética dos edifícios, é essencial integrá-los harmoniosamente ao invólucro arquitetônico, além de prever adequada ventilação das placas de modo a garantir o bom funcionamento e rendimento do sistema.

3 INTEGRAÇÃO DA ARQUITETURA E SEUS REFLEXOS FORMAIS

3.1 Sistemas BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*) e BAPV (*Building Applied Photovoltaics*)

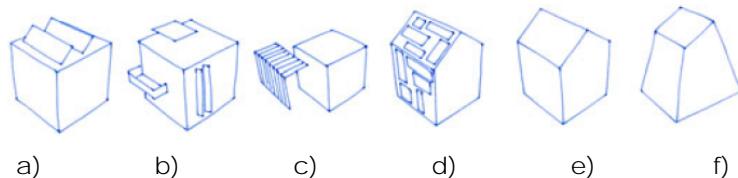
Segundo Jelle; Breivik; Røkenes (apud Gaviria et alii, 2013), de acordo com sua relação com a arquitetura, os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados como BAPV (*Building Applied Photovoltaics*), que são aqueles simplesmente fixados ao envelope construtivo, ou como BIPV (*Building Integrated Photovoltaics*), como aqueles módulos que fazem parte da estrutura ou do envelope da edificação e são integrados a ela também esteticamente.

Porém, na prática de novos edifícios, cada vez menos fala-se de BAPV, uma vez que além da função de produzir eletricidade, as células começam a assumir um papel de elemento da construção, o que caracteriza os sistemas BIPV. Como exemplo, estes atuam como revestimento de fachada ou de cobertura, um dispositivo de proteção solar, ou seja, um elemento arquitetônico imprescindível ao bom funcionamento do organismo construído, excluindo a ideia de instalações independentes, de elementos simplesmente fixados ou apoiados à construção.

3.2 Avaliações sobre reflexos na forma e arquitetônica e paisagem

A Figura 1 mostra as formas conceituais de integração de fotovoltaicos nas edificações, elaboradas pelo *The Solar Heating and Cooling Programme* (SHC) da *International Energy Agency* (<http://www.iea-shc.org/>) e ilustrado pelos pesquisadores Scognamiglio e Røstvik (2013). A imagem a) ilustra o caso dos BAPV, como um elemento técnico adicionado à edificação, mas não integrado a ela. A imagem b) representa um elemento com dupla função, se aproximando do multifuncional citado anteriormente no item 2.1, ou seja, que acumula a função de captador de energia e de um elemento arquitetônico de sombreamento, por exemplo. A imagem c) se aproxima de um captador como uma estrutura independente, porém representativo como forma arquitetônica. Nas imagens d) e e), as superfícies de captação se integram em parte ou totalmente à superfície (fachada, cobertura), também como um elemento multifuncional. Por fim, a imagem f) apresenta uma forma projetada para otimizar a captação de energia solar.

Figura 1 – Esquemas de inserção de superfícies captadoras de energia solar na edificação



Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Utilizando esta referência (e extrapolando para o contexto da paisagem), serão exemplificados modos de integrações representativas das imagens b) a f). Exclui-se o primeiro caso (imagem a) porque se aproxima de um sistema BAPV, que não é o foco deste artigo por não obrigatoriamente se integrar à construção.

A Figura 2 é da residência The Erni House (2001), localizada em Untersiggenthal ($47^{\circ}29'N$), na Suíça, que apresenta uma cobertura como superfície de captação orientada a sul, onde observa-se uma integração total, uma vez que a superfície de captação respeita a forma e inclinação originais, indicadas inclusive em casos de *retrofit* ou no caso de edifícios parcialmente preservados. A Figura 3 mostra a residência The Solarie (2003), em Nova Iorque ($40^{\circ}42'N$), nos Estados Unidos: um caso similar de integração, que mostra painéis totalmente integrados e como parte da composição de todas as fachadas. Em ambos os casos, identifica-se a multifuncionalidade das superfícies captadoras, onde os painéis substituem as telhas ou os fechamentos opacos das edificações, representando bons exemplos das imagens b), d) e e) da Figura 1.

Figuras 2 e 3 – The Erni House e The Solaire



Fontes: <http://www.bipv.ch/index.php/en/residential-side-en/item/587-erni> e http://www.thesolaire.com/documents/green_lifestyle.html

A Figura 4, da Academia Mont-Cenis (1999), localizada em Herne ($51^{\circ}32'N$), na Alemanha, exemplifica uma envoltória de 20.000 m² de vidro, onde em

quase metade estão integradas células fotovoltaicas: na cobertura, através da abertura dos vidros, é prevista a ventilação. Sem dúvida representa um sistema BIPV, porém em casos com distribuição de células por todo o envelope construtivo, deve-se estar atento para o risco da falta de estudo de orientação, onde a tecnologia se sobrepõe à eficiência, uma contradição que precisa ser evitada.

Figura 4 – Academia Mont-Cenis



Fonte: <http://www.akademie-mont-cenis.de/EN/index.html>

A Office Solar International Doxford (1998), em Sunderland (54°54' N), no Reino Unido, mostrado na Figura 5 é um exemplo onde uma estrutura para captação fotovoltaica gera resultado formal interessante, harmonizado, mesmo sendo uma estrutura independente orientada a sul. Este exemplo se assemelha à imagem c) da Figura 2.

Figura 5 – Office Solar International Doxford



Fonte: <http://www.studioe.co.uk/?portfolio=solar-office-doxford>

Outro ponto importante se refere à área disponível para a instalação das superfícies captadoras. De acordo com a tipologia construtiva e a demanda energética, a área de captação necessária pode ser maior do que a disponível nos limites físicos do edifício, podendo refletir-se projetualmente em uma estrutura quase autônoma, mas, diferentemente do exemplo da Figura 5, assumindo destaque que define por si a forma da edificação. Compondo esta representação da imagem f) da Figura 1, tem-se a Figura 6, do SIEEB Building (2006), localizado em Beijing (39°59' N), na China. E a Figura 7, ilustra uma simbologia formal de muitos edifícios que visam maximizar a

captação de energia: uma associação interessante feita pelos pesquisadores Scognamiglio e Røstvik (2013).

Figuras 6 e 7 – SIEEB Building (fachada sul) e a configuração formal de um satélite



Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Apresenta-se neste momento o desafio da busca do equilíbrio entre tecnologia e forma. É possível reconhecer o limite onde eficiência da tecnologia se sobrepõe determinando a forma?

Avançando nos questionamentos, como alternativa a uma demanda ainda maior, pode-se pensar em sistemas integrados para abastecer um complexo edificado ou mesmo uma área mais vasta. Em ambas as situações, o impacto se reflete não só na forma dos edifícios, mas, sobretudo, no desenho e na linguagem visual da paisagem. Isto fica evidenciado pelas Figuras 8 (The Roof Project, de Milão (45°27' N), na Itália, de 2010), 9 (Cidade Solar de Ota (36°18' N), no Japão) e 10 (em Freiburg (53°49' N), na Alemanha).

Figura 8 – The Roof project



Fonte: Scognamiglio e Røstvik (2013)

Figuras 9 e 10 – Cidade Solar de Ota e complexo edificado em Freiburg



Fonte: <http://www.coletivoverde.com.br/ota-a-cidade-solar/> e
<https://www.ambienteenergia.com.br/index.php/2013/04/energia-solar-novas-normas-em-jogo/22564>

4 CONCLUSÕES

O desenvolvimento tecnológico, aliado aos avanços nas pesquisas e na produção industrial, permite que atualmente células fotovoltaicas sejam facilmente incorporadas em partes da construção, contribuindo para a adoção dos sistemas BIPV, dada sua flexibilidade e capacidade de harmonizar-se com elementos da construção ao mesmo substituí-los, assumindo papel multifuncional.

Produtos têm sido lançados, como filmes transparentes e coloridos com busca de eficiência cada vez mais alta, onde a promessa é a possibilidade de 100% de integração na arquitetura. Porém, deve-se atentar para uma prática incoerente, onde a eficiência é desperdiçada, pois sempre haverá a necessidade de estudos e cálculos citados para amparar o rendimento da estratégia.

Considerando a qualidade estética dos edifícios e da paisagem, é essencial integrar as superfícies captadoras de energia solar de modo harmonioso ao involucro arquitetônico e como resultado consciente da relação entre tecnologia, função e forma, seja arquitetônica seja da paisagem.

Uma proposta de atenta reflexão sobre esses impactos constitui um dos resultados parciais do artigo e contribuindo na busca da integração harmoniosa, ressaltamos as demais contribuições deste, que reconhece a necessidade de: (i) desenvolver estudos paramétricos que permitam o projeto do invólucro do edifício através da adaptação aos parâmetros ambientais locais para integrar melhor os sistemas fotovoltaicos e adequá-los às funções dos edifícios; (ii) criação de um cenário de correspondência entre clima e envoltória, apontando para soluções para a incorporação dos painéis solares nas futuras edificações, especialmente aquelas localizadas em países de baixas latitudes, como grande parte do Brasil e providos de intensa radiação solar.

Neste sentido pretende gerar possibilidades de adequação mútua, de incorporação das tecnologias na forma e/ou adaptação da forma arquitetônica à eficiência das tecnologias, de modo natural e ao longo do processo do projeto. É uma contínua atividade interdisciplinar entre aspectos energéticos, arquitetônicos e tecnológicos fruto de constante colaboração entre projeto, pesquisa e indústria.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. **Resolução Normativa nº 482/12.** Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, 2012.

_____ . **Resolução Normativa nº 687/15.** Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, 2015.

BONOMO Pierluigi; FRONTINI, Francesco. **Un'opportunità di innovazione fra tecnologia e architettura. Il passaggio dei sistemi fotovoltaici da elemento tecnico per la produzione energetica a componente edilizio.** Disponível em <http://www.infobuildenergia.it/approfondimenti/il-fotovoltaico-integrato-come-componente-edilizio-251.html>. Acesso em 13/12/2015

EUROPEAN UNION. **Directive 2010/31/EU**, of 19th May 2010. Official Journal of the European Union, 18 Junho 2010b.

EUROPEAN UNION. **Directive 2012/27/EU**, of 25 October 2012. Official Journal of the European Union, 14 Novembro 2012.

GAVIRIA, L. R.; PEREIRA, F. O. R.; MIZGIER, M. O. **Influência da configuração urbana na geração fotovoltaica com sistemas integrados às fachadas.** In: Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 7-23, out./dez. 2013. ISSN 1678-8621
Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído.

GELLER, H. S. **Revolução Energética: políticas para um futuro sustentável.** Rio de Janeiro: Relume Dumará: USAid, 2003.

PINHO J. T.; GALDINO M. A. (Orgs.) **Manual de Engenharia para sistemas fotovoltaicos.** CEPEL - CRESESB. Edição revisada e atualizada. Rio de Janeiro, 2014.

RÜTHER, R. **Edifícios Solares Fotovoltaicos: o potencial da geração fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.** Editora UFSC/LABSOLAR. Florianópolis, 2004.

SANTOS, I. P. **Integração de painéis fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Departamento da Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

SCOGNAMIGLIO, A.; RØSTVIK, H. N. **Photovoltaics and zero energy buildings: a new opportunity and challenge for design.** In: Photovoltaics: Research and applications (2012), DOI: 10.1002/pip.2286; vol. 21, issue 6, pp. 1319-1336, setembro 2013.