

A APLICAÇÃO DE TECNOLOGIAS SUSTENTÁVEIS EM PROJETOS ARQUITETÔNICOS, COM FOCO NA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA E PLACAS FOTOVOLTAICAS, ESTUDO DE CASO COM BASE NOS INDICADORES DO SELO LEED E PROCEL EDIFICA

Karina Artuso Takaki (IC) e Afonso Celso Vanoni de Castro (Orientador)

Apoio: PIVIC Mackenzie

RESUMO

Ante a crise energética de 1970 e o apagão em 2001, o Brasil se viu diante da necessidade da busca pela diversificação de fontes renováveis de energia, uma vez que a maior parte do seu fornecimento é originada de hidrelétricas. Com a extensão e localização geográfica privilegiadas do país, é de extrema relevância considerar o Sol como fonte indispensável para a produção de energia elétrica, por meio das placas fotovoltaicas. Com a crescente adoção de soluções sustentáveis na área da arquitetura e urbanismo, principalmente a partir da década de 1990, com a Rio 92, foram criados os selos ambientais para certificação de edifícios, que levam em conta requisitos fundamentais para o projeto, a obra e o funcionamento das construções, entre elas a eficiência energética. O presente estudo investiga as soluções projetuais sustentáveis adotadas em dois estudos de caso, com base na categoria Energia e Atmosfera do selo LEED, analisando o Edifício Vera Cruz II, em São Paulo, a partir do funcionamento da miniusina fotovoltaica, instalada na cobertura do edifício, e a eficiência energética que a ela proporciona ao edifício, em relação ao Edifício Arquiteto Carlos Bratke, que não produz energia renovável *in loco*, e apresenta, da mesma forma, a certificação LEED na categoria Core & Shell Platinum, além do Selo PROCEL Edificações.

Palavras-chave: Arquitetura Sustentável. Eficiência Energética. Placas Fotovoltaicas.

ABSTRACT

Faced with the energy crisis of 1970 and the "blackout" in 2001, Brazil found itself faced with the need to seek diversification of renewable energy sources, since most of its supply comes from hydro power plant. With the privileged area and geographical location of the country, it becomes feasible to think of the Sun as an indispensable source for the production of electric energy, by means of photovoltaic pannels. Based on sustainable development in the area of architecture and urbanism, specially since the 1990s, with RIO 92, environmental seals are created for building certification, which take into account fundamental requirements for design, construction and operation of buildings, such as energy efficiency. This study investigates the sustainable design solutions adopted in two case studies, based on the Energy and Atmosphere category of the LEED, analyzing the Vera Cruz II Building, in São Paulo, from the operation of the mini photovoltaic pannels, installed on the building roof's, and the energy

efficiency it provides to the building, in relation to the Architect Carlos Bratke Building, which does not produce renewable energy in loco, and presents, in the same way, the LEED certification in the category Core & Shell Platinum, besides the PROCEL Edifício seal.

Keywords: Sustainable Architecture. Energy Efficiency. Photovoltaic Pannels.

1 INTRODUÇÃO

Na década de 1970 o mundo presenciou uma grave crise energética, levando especialistas a questionar a forte dependência por combustíveis fósseis, impulsionando, dessa maneira, a busca por fontes renováveis de energia, de acordo com Jannuzzi (2009). Entre o final da década de 1980 e o início da década de 1990, as questões da sustentabilidade começaram a ser discutidas de maneira decisiva na área da arquitetura e do urbanismo internacional, trazendo novos paradigmas (GONÇALVES; DUARTE, 2006 *apud* PERROTA, 2011). No Brasil, a questão em relação ao desenvolvimento sustentável foi aprofundada em meio ao processo de preparação da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e o Desenvolvimento ou Rio 92, que aconteceu em junho de 1992, no Rio de Janeiro, e questionou os problemas ambientais mundiais (FRAGA, 2008 *apud* VIEIRA FILHO, 2015).

Atualmente, há indícios de esgotamento dos recursos naturais que fornecem energia (KNIRSCH, 2012), por isso, a procura, os estudos e o uso de fontes renováveis são ainda maiores do que no século XX, diante da crise que se estende por décadas. Segundo Borges *et al* (2016) tais fontes são as mais recomendadas para suprir a necessidade por combustíveis fósseis para gerar energia, pois seu impacto ambiental é menor e diminuem o uso de produtos oriundos do petróleo.

Para Camargo (2015) este desafio inclui o Brasil, visto que, aproximadamente 70% de sua matriz elétrica são hidrelétricas, o que evidencia a necessidade e, ao mesmo tempo a oportunidade, de o país diversificar suas fontes renováveis a fim de suprir a demanda de maneira sustentável. Assim, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em sua Resenha Mensal do Mercado de Energia Elétrica, o consumo de eletricidade nacional em janeiro de 2018 totalizou 39.288 G/Wh, 1,7% maior do que no mesmo mês do ano de 2016, ou seja, a partir desse dado é possível constatar um constante aumento no consumo em todas as regiões do país.

Diante da necessidade de se buscar o aproveitamento de outras fontes de energia no Brasil, para não depender apenas da água e da degradação de rios e represas na construção de hidrelétricas, é considerável a energia solar. Segundo o estudo de Energia Solar Paulista, o Brasil possui extensão territorial e localização geográfica privilegiadas que, aliadas a outros fatores, permite ao país tornar o Sol uma fonte indispensável para sua matriz energética.

Conforme o relatório anual do Greenpeace “O Brasil pode chegar a 2050 com uma matriz energética 100% renovável, criando novos postos de trabalho, melhorando a qualidade do ar e a vida de milhões de pessoas, além de ajudar a limitar o aumento da temperatura global” (GREENPEACE, 2016 *apud* BUENO *et al*, 2018, p. 2).

A instalação de 2.400 km² de painéis fotovoltaicos, área que equivale a menos de 0,03% do território brasileiro, seria suficiente para suprir quase toda a energia produzida e distribuída no país (CAMARGO, 2015).

Conforme Lopez (2012) é praticável captar a luz solar e modificá-la em energia elétrica, por meio da coleta de calor feita por materiais escuros. A célula fotovoltaica é o dispositivo adequado para essa finalidade e não emite poluentes, tratando-se de energia limpa e renovável, além da possibilidade de ser produzida no local de consumo, aspectos favoráveis para sustentabilidade.

O sistema fotovoltaico é composto por placas com células fotovoltaicas, produzidas com um material semicondutor adaptado para liberar elétrons e “A geração eletricidade [sic] se dá pela diferença de potencial nos terminais de uma célula eletroquímica causada pela absorção de luz” (D’ÁVILA; PRANDO; MORILLA, 2016, p. 57). Este sistema não depende exclusivamente da luz do Sol para funcionar, podendo também produzir eletricidade em dias nublados, embora com rendimento reduzido.

Diante da necessidade de suprir o alto consumo de energia elétrica, levando-se em consideração a análise acima e a comprovação de que é possível produzi-la por meio de fontes renováveis, esse estudo aponta que a utilização de placas fotovoltaicas para a captação de energia solar, torna-se um item instigante e alto valor ambiental e, portanto, apropriado a inseri-lo no projeto arquitetônico e analisar os reais benefícios que a técnica sustentável possibilita.

Esse trabalho tem como objetivo analisar tais técnicas sustentáveis aplicadas na arquitetura por meio de dois selos indicadores: o *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED), que, de acordo com o *Green Building Council* Brasil (GBC Brasil), analisa o edifício por meio de nove critérios de sustentabilidade ambientais, utilizando como foco para essa pesquisa o item “Energia e Atmosfera”, e o selo PROCEL EDIFICA, que tem como objetivo principal racionalizar o consumo de energia elétrica nos edifícios no Brasil.

A pesquisa se apoia em dois estudos de caso. O primeiro estudo é o Edifício Vera Cruz Plaza II, localizado em São Paulo, na Avenida Brigadeiro Faria Lima, projetado pelo escritório Collaço e Monteiro Arquitetos Associados, que possui como princípio a eficiência energética e a perenidade, pontos de extrema relevância para a escolha desse objeto de estudo, além de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura para captação de energia solar. O edifício possui o selo LEED *Core & Shell Platinum* e o *Prêmio Master Imobiliário – Profissional do Master Sustentabilidade 2015*. O segundo é o Edifício Jacarandá, projeto de Carlos Bratke, que recentemente passou a ser chamado de Edifício Arquiteto Carlos Bratke, e possui os selos PROCEL EDIFICA e LEED *Core & Shell Platinum*.

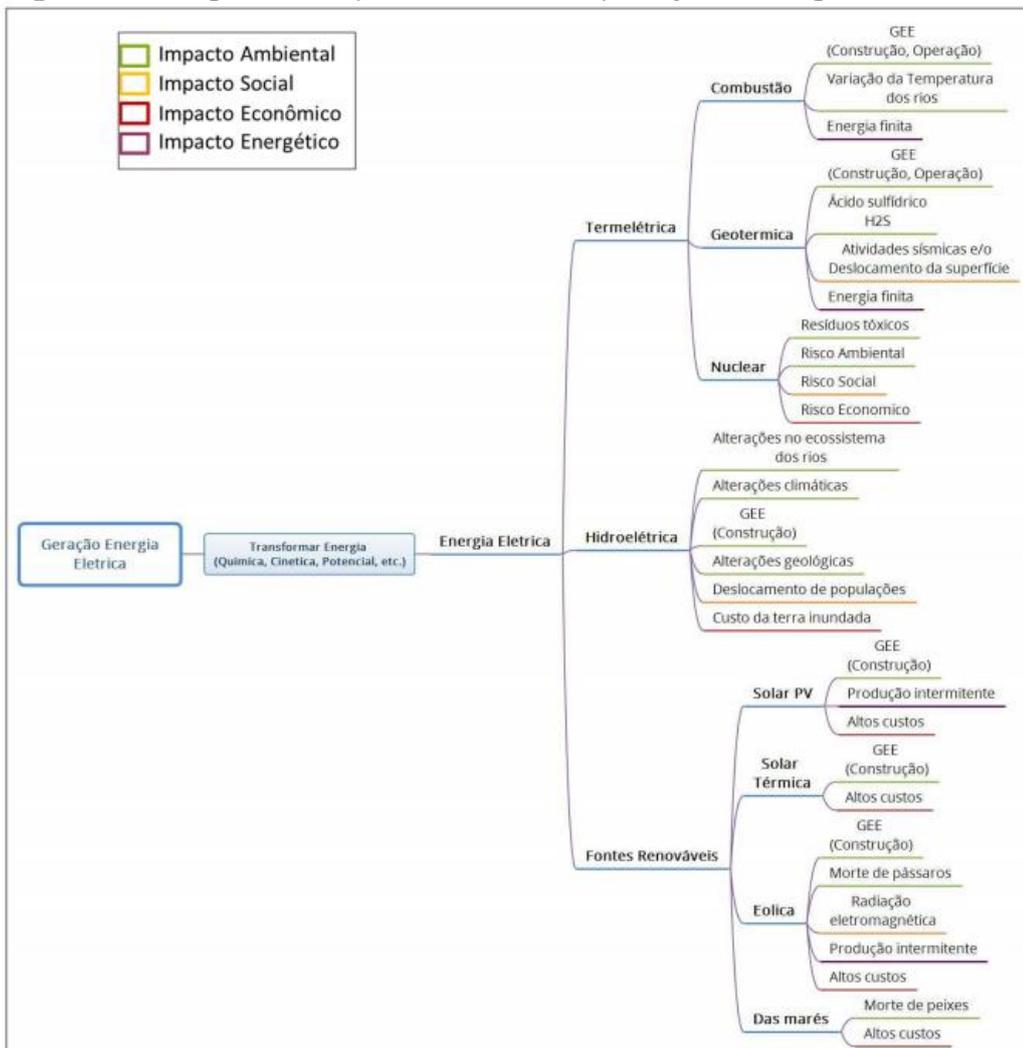
Esse trabalho teve a intenção de investigar fontes limpas de produção de energia elétrica, em especial a solar. Por meio da compreensão do sistema de geração de energia elétrica a partir do uso de placas fotovoltaicas com base nos estudos de caso, para expor a eficiência e benefícios de técnicas sustentáveis quando executados em projetos arquitetônicos e os resultados proporcionados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Diante dos problemas levantados e a atual crise ambiental planetária, torna-se inquestionável a importância de pensar a arquitetura a partir da eficiência energética de todo o processo projetual, como os materiais a serem utilizados, a obra e até o funcionamento do objeto do projeto, por meio de sistemas de produção de energia passivos e ambientalmente limpos.

Para tanto, investigam-se fontes de produção de energia elétrica e seus respectivos impactos a partir da imagem a seguir (figura 1).

Figura 1 – Fluxograma de impactos causados na produção de energia elétrica



Fonte: Compilação do autor Montañez, 2020, p. 15.

Conforme a análise dos dados acima, com foco nas fontes renováveis, na possível implementação do sistema junto ao objeto de projeto, com a finalidade de produzir energia *in loco*, considerando o sistema solar fotovoltaico.

A energia solar fotovoltaica é, basicamente, a conversão da radiação do Sol em eletricidade por meio da célula fotovoltaica – um dispositivo que funciona pelo efeito fotoelétrico (FIRMINO; SOUSA, 2015). As células mais encontradas no mercado têm como material principal o silício cristalino (c-Si) - podendo ser monocristalino (m-Si) ou policristalino (p-Si) - e são confiáveis, consolidadas e extremamente eficientes (CEPEL; CRESESB, 2014 *apud* MARQUES, 2019).

Além desta composição, são encontradas também as células chamadas filmes finos, que se subdividem em: silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS) e telureto de cádmio (CdTe). Quando utilizado o silício amorfo (a-Si), há um gasto menor de energia e de matéria-prima na confecção, exigindo pouca complexidade para sua produção e possibilitando a fabricação em grande escala com baixo custo. Já os módulos compostos de silício monocristalino (m-Si) possuem maior eficiência se comparados aos de policristalino (p-Si), porém com custo mais elevado.

Acrescido à essas duas categorias de materialidade, há também as placas de células orgânicas, vistas como promissoras por seu baixo custo. Elas ainda estão em fase de desenvolvimento e pesquisa, e constituem-se, basicamente, de um semicondutor orgânico responsável por absorver a luz, gerar, separar e transportar as cargas (ALMEIDA *et al*, 2015).

O módulo - ou gerador - fotovoltaico é composto de painéis fotovoltaicos, formado a partir da conexão de células fotovoltaicas entre si. Os painéis possuem grande variação de formas e tamanhos, e possibilitam abastecer a rede quando há sobra de energia gerada pelo painel. Para tanto, há dois modelos de sistemas fotovoltaicos: o autônomo - ou isolado - sendo o *off grid* e o ligado à rede, o *on grid*. O sistema *off grid* não é conectado à rede elétrica e quando instalado sem bateria, não armazena energia; portanto deve ser utilizada assim que produzida.

A energia solar fotovoltaica tem inúmeras vantagens, pois exerce um papel complementar às hidrelétricas e outras fontes, alivia o aumento do pico da demanda de energia durante o dia, é isenta de emissões durante a geração de energia elétrica e dispensa o uso de combustíveis, o que reduz o custo de geração. Adicionalmente, como geração, pode ser feito localmente, também reduz a necessidade de novas linhas de transmissão e aumenta a segurança energética (CAMARGO, 2015, p. 5).

Os sistemas *on grid* são conectados diretamente à rede elétrica e, com o auxílio de um inversor, a corrente contínua se transforma em alternada e é inserida na rede (ALMEIDA

et al, 2015). O sistema é defendido por Camargo (2015) no estudo “Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas”, conforme citação.

No final do século XX, especialmente a partir das discussões na Rio 92, fica evidente e extremamente necessária a necessidade de se pensar a arquitetura de forma ecológica e que atue frente aos problemas ambientais, de modo que não sejam ignorados; com isso, surgiram as primeiras certificações e selos ambientais, a fim de estabelecer um controle de qualidade ambiental dos projetos e edificações, visto que a construção civil é um dos setores com maior responsabilidade em impactos ambientais.

O selo LEED é uma certificação ambiental que avalia, a partir de pontos e categorias, a sustentabilidade de edificações, desde a concepção do projeto até o funcionamento do edifício, e tem como objetivo beneficiar aspectos econômicos, sociais e ambientais na implementação de construções aprimorando a eficiência em relação à energia, água, relação ambiental e local.

O LEED teve origem em 1994, nos Estados Unidos, pelo *U.S. Green Building Council* (USGBC) financiado pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) (VOSGUERITCHIAN, 2006) e foi implementado no Brasil somente em 2004 pela *Green Building Council Brasil* (GBC Brasil) tornando-se a organização responsável pela aplicação do selo no país. Além do LEED, que é o sistema mais utilizado atualmente no mercado brasileiro para certificação ambiental, a GBC Brasil possui hoje mais três certificações: a GBC Brasil Casa, a GBC Brasil Condomínio e a *GBC Brasil Zero Energy*.

De acordo com o site do GBC Brasil, há diferentes tipologias e cada empreendimento encaixa-se em uma, considerando-se suas necessidades. Todas as tipologias analisam o empreendimento a partir de nove áreas: o projeto integrado (IP), a localização e transporte (LT), a implantação (SS), a eficiência do uso da água (WE), a energia e atmosfera (EA), os materiais e recursos (MR), a qualidade ambiental interna (IEQ), a inovação (IN) e os créditos de prioridade regional (RP). Para cada área, há os pré-requisitos e os créditos; o primeiro item são medidas obrigatórias para obter a certificação; o segundo, são recomendações para se alcançar melhor desempenho e sustentabilidade, mas não fundamentais para atingir o selo, e a cada uma delas alcançadas, o empreendimento adquire uma pontuação, possibilitando a variação de nível de certificado (GBC BRASIL, 2020).

Com base na pontuação acumulada o empreendimento recebe uma certificação; 40 a 49 pontos é o mínimo exigido e garante o certificado LEED, para o LEED *Silver* são necessários de 50 a 59 pontos, o LEED *Gold* requer 60 a 79 pontos, já o LEED *Platinum* demanda, no mínimo, 80 pontos, sendo 110 o máximo atingível.

A partir das áreas analisadas pelo LEED, esse trabalho foca em Energia e Atmosfera (EA), com intenção de analisar os partidos projetuais e de uso que promovem a eficiência energética das edificações dos estudos de caso. Ambos os edifícios estudados foram certificados pela versão do LEED 2009 na categoria *Core and Shell* – LEED BD+C: *Core and Shell* (v2009) - e obtiveram a categoria *Platinum*, porém com algumas estratégias diferentes em relação à área verificada, tais como a utilização de placas fotovoltaicas para a geração de energia *in loco*, o que garantiu 4 pontos de 4 possíveis para o Edifício Vera Cruz II. Atualmente, a certificação encontra-se na versão LEED v4.1, para efeito de comparação com a versão certificada os edifícios do estudo, e apresenta os quadros 1 e 2 com as áreas possíveis de serem pontuadas na categoria de “Energia e Atmosfera”.

Quadro 1 – Categorias possíveis de pontuação na área de Energia e Atmosfera e a pontuação máxima possível na versão v3.2009

<i>LEED BD+C: core and shell (v3.2009) energy & atmosphere</i>	
<i>fundamental commissioning of building energy systems</i>	<i>required</i>
<i>minimum energy performance</i>	<i>required</i>
<i>fundamental refrigerant management</i>	<i>required</i>
<i>optimize energy performance</i>	21
<i>on-site renewable energy</i>	4
<i>enhanced commissioning</i>	2
<i>enhanced refrigerant management</i>	2
<i>measurement and verification - base building</i>	3
<i>measurement and verification - tenant submetering</i>	3
<i>green power</i>	2

Quadro 2 – Categorias possíveis de pontuação na área de Energia e Atmosfera e a pontuação máxima possível na versão v4.1

<i>LEED BD+C: core and shell (v4.1) energy & atmosphere</i>	
<i>fundamental commissioning and verification</i>	<i>required</i>
<i>minimum energy performance</i>	<i>required</i>
<i>building-level energy metering</i>	<i>required</i>
<i>fundamental refrigerant management</i>	<i>required</i>
<i>optimize energy performance</i>	18
<i>enhanced commissioning</i>	6
<i>advanced energy metering</i>	1
<i>renewable energy</i>	5
<i>enhanced refrigerant management</i>	1
<i>grid harmonization</i>	2

Fonte: elaborados pela autora a partir de dados do USGBC.

Com base nos dados das tabelas 1 e 2, investiga-se a categoria de energia renovável. De acordo com o USGBC, o item tem a intenção de reduzir impactos econômicos e ambientais causados pela energia produzida a partir de combustíveis fósseis, além de diminuir a liberação de gases de efeito estufa e pode ser pontuada tanto com a produção de energia renovável *in loco*, quanto a compra de energia renovável *off site* pelo projeto certificado, que apresente benefício na redução do carbono.

O *Building Design and Construction Core and Shell*, o USGBC considera um conjunto de placas fotovoltaicas instaladas no terreno da edificação para produção de energia solar, um aerogerador localizado em um terreno da mesma entidade proprietária do local do projeto para produzir energia eólica, e biodigestores, também em outro terreno da mesma entidade proprietária, para a produção de energia térmica (USGBC, 2020).

De acordo com o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica ou PROCEL, 50% da eletricidade consumida no Brasil é oriunda dos edifícios e avaliar a eficiência energética das edificações contribui para sua promoção e para a economia do total de energia consumida no país. Com este objetivo, o PROCEL, cuja coordenação é do Ministério de Minas e Energia e execução da Eletrobrás, criou o Selo PROCEL Edificações, destinado aos edifícios que tenham requisitos ambientais e melhores níveis de eficiência energética. A obtenção do selo acontece de maneira voluntária em duas categorias: edificações públicas, de serviços e comerciais e na categoria residencial. Além disso, três sistemas que compõem o edifício também são avaliados: a iluminação (30%), a envoltória (30%) e o condicionamento de ar (40%), sendo que todos os percentuais correspondem ao peso final da nota da avaliação.

Essa avaliação é feita em dois momentos: o primeiro na etapa de projeto, por meio do Relatório de Inspeção do Projeto da Edificação, quando é emitida a Etiqueta de Projeto (provisória), e o segundo, após o término da obra, em que é feita a verificação dos atendimentos dos itens projetuais e é comprovado o desempenho do edifício por meio de medições *in loco*, com a elaboração do Relatório de Inspeção da Edificação Construída, para então ser emitida a Etiqueta do Edifício Construído (PROCEL; ELETROBRÁS, 2019).

Para conquista dessa certificação, o edifício deve possuir níveis mínimos de eficiência exigidos, como o equivalente numérico da envoltória, do sistema condicionador do ar e do sistema de iluminação devem ser maiores ou iguais a 4,5 caso utilizado o método prescritivo, ou obter pontuação final maior ou igual a 5,0 pelo método de simulação, ambos descritos no “Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C)” quando em fase projetual.

Além das avaliações completas do edifício, envolvendo os pré-requisitos e o trio de sistemas. Este é classificado entre A (mais eficiente) e E (menos eficiente) e recebe a Etiqueta PBE Edifica, emitida pelo OIAs – Organismos de Inspeção Acreditado pelo Inmetro. É necessário obter a etiqueta A para os três sistemas avaliados - sistema de iluminação, envoltória e sistema de condicionamento de ar – para então se conquistar o Selo PROCEL Edificações (PROCEL; ELETROBRÁS, 2019). A posse do Selo PROCEL Edificações é um meio facilitador para a conquista do Selo LEED no Brasil, no caso estudado, categoria de

edifícios públicos, de serviços e comerciais, ele é válido como conformidade para o item EA_{p2} - *Minimum Energy Performance*, pré-requisito dentro da categoria Energia e Atmosfera do LEED.

3 METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho envolve uma abordagem qualitativa, por meio de estudos de caso. As fontes de coleta de dados é variada e dada da seguinte forma: o primeiro estudo estabeleceu-se por meio de publicações da internet, principalmente pelos meios digitais oficiais dos edifícios e das certificações, tanto LEED, quanto PROCEL EDIFICA, o que possibilitou o levantamento de dados projetuais, partidos arquitetônicos tomados diante da problemática da pesquisa e resultados de projeto, levando-se em consideração o *scorecard* emitido pelo USGBC com foco na categoria “Energia e Atmosfera”, em que é possível verificar a pontuação atingida por cada uma das edificações ao obter o certificado LEED.

A segunda etapa do estudo foi realizada por meio de contato com os gerentes, projetistas e consultores dos dois projetos. A primeira aproximação foi feita com o gerente de operações e a assistente administrativo do Edifício Arquiteto Carlos Bratke, que forneceram dados para análise do processo de certificação do projeto e do consumo energético mensal do edifício dos últimos 5 anos, obtido por meio de documentos enviados por e-mail. A segunda aproximação foi realizada com o gerente predial do Edifício Vera Cruz II e o escritório de arquitetura Collaço e Monteiro, responsável pelo projeto. Foram coletados dados projetuais, a partir de documentos enviados por e-mail, visita técnica e entrevista, cujo foco era a obtenção do certificado LEED, assim como no projeto das placas fotovoltaicas instaladas na cobertura, essência desse trabalho.

Após a coleta de dados e projetos, foi realizada uma visita no Edifício Vera Cruz II para compreensão do funcionamento das placas. Nessa ocasião, foram entrevistados o gerente predial, o responsável pela manutenção e gerenciamento da energia do local e também o especialista na consultoria para a certificação do edifício.

Para escolha dos objetos de estudo foram selecionados os edifícios com certificação LEED nas regiões da Avenida Brigadeiro Faria Lima e da Avenida Engenheiro Luís Carlos Berrini, em São Paulo. Levou-se em conta a certificação da mesma categoria BD+C *Core and Shell Platinum*, conquistadas no mesmo ano, e edifícios com o mesmo uso. A partir destes pré-requisitos, foram escolhidos dois edifícios em que a diferença entre eles foi um possuir placas fotovoltaicas instaladas e o outro não, levando-se em conta o fato de o Edifício Arquiteto Carlos Bratke, sem geração de energia solar, possuir os selos LEED e o Selo PROCEL Edificações.

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

O Edifício Arquiteto Carlos Bratke (foto 1), antigo Edifício Jacarandá, está localizado na Rua Sansão Alves dos Santos 400 a duas quadras da estação Berrini da CPTM (Companhia Paulista de Trens Metropolitanos) e a uma do corredor de ônibus da Avenida Berrini. O terreno possui 5.839 m² e o projeto, do arquiteto Carlos Bratke, 27.927,89 m² contabilizando três níveis de subsolo, térreo de acesso principal com mezanino e teatro, cinco pavimentos de lajes corporativas de 2.200 m², uma cobertura de 705 m² de área privativa coberta e 940 m² de área privativa descoberta e um último pavimento com acesso restrito de manutenção predial. Com base na documentação analisada, pode-se afirmar que um dos partidos norteadores do projeto foi o desempenho energético (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Foto 1 – Edifício Arquiteto Carlos Bratke



Fonte: Edifício Carlos Bratke, 2020.

Para tanto, várias condicionantes foram levadas em consideração e o desenvolvimento do projeto se deu com a premissa de obtenção do selo *LEED Core & Shell Platinum*, com foco em pontos principais em cada disciplina desenvolvida, cujo benefício é a pontuação para certificação, além da redução de impactos ambientais. Cada disciplina foi desenvolvida por projetistas especializados e as principais (arquitetura, instalações elétricas e hidráulicas,

luminotécnica, ar-condicionado, automação predial e paisagismo) foram analisadas por uma consultoria sustentável, a partir da emissão de relatórios de análise, simulação computacional e acompanhamento de projeto e obra. Devido ao contexto do LEED, diversos itens do projeto atendem a pontos obrigatórios da norma norte-americana ASHRAE 90.1 – 2007. A análise da eficiência energética foi feita, principalmente, com o auxílio do *software* de simulação *EnergyPlus*, a partir de um modelo energético para representar o projeto, a fim de atender aos requisitos das categorias do item Energia e Atmosfera. Tal simulação auxilia tanto nas definições de partido projetual, como na escolha de materiais e sistemas – a exemplo dos vidros, paredes, pisos, iluminação, ar-condicionado (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Também foi realizada a análise da envoltória do edifício, a partir do método prescritivo, descrito no documento RAC-C - Regulamento de Avaliação da Conformidade – para o processo de obtenção do Selo PROCEL Edificações. Houve casos em que o edifício possuía parcial ou completa ventilação passiva (natural) sendo obrigatória a simulação computacional, por meio dos softwares *S3E* e *DomusProcel*; tal método não foi utilizado no Edifício Arquiteto Carlos Bratke. Para atender ao item do LEED EAp2 (Energia & Atmosfera Pré Requisito 2), cuja pontuação só é realizada quando a simulação apresenta no mínimo 10% de economia do custo da edificação anual em relação ao modelo baseline ASHRAE, a meta de economia estabelecida em projeto foi de 18%. A simulação do projeto executivo indicou 19,4% de economia, resultante de diversos partidos projetuais estabelecidos para responder ao conceito de eficiência energética e sustentabilidade, sendo os principais elencados a seguir (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Foi contratado serviço de comissionamento para os sistemas de instalações elétricas e hidráulicas, automação, iluminação e ar-condicionado, pois demandam a maior parcela de energia, prática que pontua o item EA pré requisito 1. O sistema de ar-condicionado é formado por evaporadoras e condensadoras VRF (Fluxo de Refrigerante Variável) que possuem elevado nível de eficiência, a partir do monitoramento eletrônico e controle sistematizado entre os equipamentos VRF e do funcionamento das condensadoras por meio de diversificação de frequência na operação dos compressores conforme a carga térmica que varia de acordo com a ocupação e circunstância de conforto (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Há um sistema recuperador de energia, que realiza a troca da energia de exaustão com a do ar externo, resultando na redução da carga térmica externa de ar e do consumo do ar condicionado, além do uso de gás refrigerante de baixa influência para o aquecimento global e na camada de ozônio, não oferecendo riscos ao meio ambiente. A iluminação interna e externa é altamente eficiente, com baixa potência e consumo energético, baixo custo de manutenção, elevada durabilidade e fluxo luminoso, com drives dimerizáveis DALI permitindo o controle lumínico interno de acordo com a condição externa, contando com luzes 100% em

LED no térreo, mezanino e escritórios, onde a densidade de iluminação de 9,84 W/m² (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Para o funcionamento adequado e eficiente dos sistemas projetados é indispensável um projeto de automação que busque eliminar e/ou reduzir o desperdício de energia, por meio do controle de desligamento e otimização das operações de sistemas e equipamentos. No Edifício Arquitetura Carlos Bratke, verificam-se sistemas de automação nos pontos de monitoramento do uso de energia das áreas comuns, gerenciamento do consumo energético do prédio, verificação frequente dos mecanismos que visam a eficiência energética e controle da iluminação, permitindo o desligamento das garagens, escritório e térreo, além de outras ocupações.

A envoltória representa um dos principais sistemas para a sustentabilidade de um edifício, cuja eficiência é indispensável tanto para a obtenção da certificação LEED, quanto para o Selo PROCEL Edificações. Para a fachada do prédio, foi projetada uma “pele de vidro” nas seguintes variações de cores: cinza, amarelo e verde. Os vidros laminados com controle solar e ancorados na estrutura do edifício são intertravados e amarrados por meio de quadros de alumínio e pintura eletrostática. Os “*shadow box*” foram posicionados estrategicamente atrás de alguns trechos da face vítrea, com a finalidade de evitar a exposição aos raios solares, auxiliando, dessa maneira, no desempenho térmico e na redução do uso do ar-condicionado, sem afetar a transmissão luminosa (EDIFÍCIO CARLOS BRATKE, 2020).

Os itens projetuais citados acima foram os principais partidos para a conquista de 20 pontos na categoria Energia & Atmosfera da certificação LEED, assim como no resultado final positivo dos cálculos obrigatórios para obtenção do Selo PROCEL Edificações; porém a real eficiência energética do edifício deve-se às boas práticas em todas as disciplinas integrantes do projeto, verificando-se um resultado positivo baseado em diversas soluções sustentáveis.

O segundo objeto de estudo de caso é o Edifício Vera Cruz II (foto 2), localizado na Avenida Brigadeiro Faria Lima entre as Ruas Elvira Ferraz e Chilon, projetado pelo escritório de arquitetura Collaço e Monteiro. A obra do edifício foi concluída em 2015, em um terreno de 6.317 m² e área total construída de 38.070m², com quatro subsolos, térreo, onze pavimentos de lajes comerciais com 1.800 m², um pavimento de áreas técnicas e serviços, e cobertura. De acordo com o responsável pela consultoria sustentável, ENE Consultores (2020), o projeto nasceu com a premissa de obter o certificado LEED *Core & Shell Platinum* versão 3.0 2009 e foi desenvolvido com base nos indicadores da certificação, resultando em 89 pontos, uma das mais altas pontuações em edifícios comerciais na cidade de São Paulo. A análise de eficiência energética foi feita de maneira similar ao Edifício Arquiteto Carlos Bratke, a partir de simulações computacionais no *software EnergyPlus*, com base na norma ASHRAE 90.1 de

2007, que auxiliaram na tomada de decisões e partidos projetuais visando a eficiência das instalações tornando o edifício sustentável. Para efeito de análise, foram selecionados e destacados abaixo os sistemas adotados no projeto que desempenham papel fundamental para a economia de energia.

Foto 2 – Fachada do Edifício Vera Cruz II



Fonte: Escritório Collaço e Monteiro, 2020.

Na visita técnica monitorada foram obtidas informações, tais como o condicionamento de ar é feito a partir de um sistema central do tipo expansão indireta (*fan-coils*), gerenciado segundo a temperatura externa e o conforto térmico interno, possibilitando o controle da temperatura interna a cada 12 m². O funcionamento se dá de duas formas: quando a temperatura externa está inferior a 19 graus, e quando está superior a este valor e somente neste último caso, são utilizadas três torres conectadas de água condensada que alimentam os pontos CPD dos andares; no primeiro caso, a água passa pelo *chiller*, para resfriamento, sem a necessidade de ligá-lo, gerando uma economia significativa. O edifício conta com dois *chillers* de mancal magnético e dupla serpentina com baixo nível de ruído e alta eficiência, compondo a central de água gelada.

Conforme o Escritório Collaço e Monteiro (2020), foi desenvolvida uma estratégia para as fachadas entre a empresa de consultoria de eficiência energética e a equipe de projetistas de arquitetura, fundamentada em simulações computacionais realizadas em três diferentes softwares, bem como diversos estudos de modulação e materiais para proporcionar o resultado de uma envoltória com boa transmissão de luz natural, sem excessos, e baixa transmissão de calor. A fachada é composta por 40% de vidros insulados a partir da combinação de dois vidros laminados com câmara de 12mm entre eles e que possuem 35% de transmissão luminosa e 28% de fator solar, além das áreas opacas, onde há a combinação de vidro e placa de cobre patinado, vedadas com *drywall*, constituído de lã isolante e placas de gesso acartonado; ambos sistemas de vedação que integram a fachada possuem alto nível de desempenho térmico e acústico. As simulações computacionais auxiliaram também no desenvolvimento e definição do projeto luminotécnico interno, considerando a dimerização dos circuitos de iluminação por meio da automação predial, proporcionando 10% de economia.

A miniusina fotovoltaica está localizada na cobertura do edifício, espaço originalmente destinado a um heliponto, porém, por causa do excesso de licenças homologadas na região, não foi aprovado. É importante ressaltar que, durante a entrevista, a administração predial informou que ainda aguarda essa aprovação, e quando acontecer, os módulos fotovoltaicos serão realocados, a fim de manter o desempenho e a economia que proporcionam ao condomínio. A altura do edifício foi estabelecida de acordo com o plano diretor vigente na época de projeto, a partir do melhor resultado entre o coeficiente de aproveitamento e a taxa de ocupação previstos no zoneamento da área, o que influenciou diretamente na decisão de instalação dos módulos fotovoltaicos, uma vez que, para pontuar na categoria EAc2 “Energia Renovável *in loco*” do selo LEED, é necessário comprovar a economia de no mínimo, 2% do consumo de energia total do empreendimento, taxa que só foi possível atingir em consequência do reduzido número de pavimentos (ENE CONSULTORES, 2020).

Segundo o Escritório Collaço e Monteiro (2020) e dados coletados *in loco*, miniusina é composta, basicamente, por 120 módulos fotovoltaicos de 1650x1000x45mm do modelo SF220-30-1P235L com 60 células policristalinas de 156x156mm em cada módulo, 2 inversores Conext TL 15000 TL 15kVA Inverter instalados na sala de inversores FV no pavimento inferior e a estrutura de aço galvanizado e parafusos, porcas e arruelas em aço inox para fixação dos módulos na laje, além de todos os materiais para instalação, rede de dutos e caixas de junção e proteção. O sistema é feito a partir do agrupamento de 15 módulos ligados em série, formando um arranjo fotovoltaico de 60 módulos de 235Wp, em que cada inversor atende a um arranjo. A energia gerada nos grupos passa pelas caixas de junção e proteção CC até chegarem à subestação, onde tem a conexão com a rede e é distribuída a

energia produzida para as áreas comuns do edifício. Ainda durante a visita técnica obteve-se a informação de que a quantidade de placas foi estritamente determinada para que se alcançasse 2% do consumo do prédio, porém atualmente o sistema supre, aproximadamente entre 3,5 e 4,0% da energia utilizada nas áreas comuns do edifício. Também foi contratado um sistema de comissionamento, a fim de garantir o funcionamento adequado, em conjunto e simultâneo, com todos os sistemas sustentáveis projetados, que proporcionam, atualmente, em média 40% de economia no valor do condomínio para os locatários, além da redução dos valores de IPTU e contas de água e luz (fotos 3 e 4) (HERSIL ADMINISTRAÇÃO, 2020).

Foto 3 – Sala de inversores Edifício Vera Cruz II



Fonte: autora.

Foto 4 – Arranjo fotovoltaico na cobertura do Edifício Vera Cruz II



Fonte: autora.

Ambos os edifícios analisados nesse estudo possuem práticas sustentáveis além das citadas, pois foi mantido o foco no item Energia & Atmosfera do LEED. O conjunto dessas boas práticas e dos partidos projetuais é que garante o desempenho desejado e a eficiência projetada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da necessidade de buscar o aproveitamento de outras fontes de energia no Brasil e a fim de não depender apenas da água que pode provocar a degradação de rios e represas para construção de hidrelétricas, o estudo é baseado na investigação da eficiência da instalação de módulos fotovoltaicos incorporados em projetos arquitetônicos. Para tanto, foram analisados dois edifícios comerciais na cidade de São Paulo, com base nos indicadores da certificação LEED e Selo PROCEL Edificações, com objetivo de comparar a eficiência energética entre eles, considerando que o Edifício Vera Cruz II produz energia *in loco*, a partir de arranjos fotovoltaicos, e o Edifício Arquiteto Carlos Bratke não.

Entretanto, ao longo do desenvolvimento da pesquisa, após estudos, entrevistas e interpretações, percebeu-se que o objetivo inicial, de comparar diretamente a eficiência

energética de ambos os edifícios, torna-se inviável, já que cada um deles possui características particulares, e que não se aplicam ao outro, como localização, terreno, orientação, altura, materialidade, apesar de ambos possuírem o selo LEED na mesma categoria, tais particularidades impossibilitam a comparação direta. É considerável a comparação do próprio edifício com ele mesmo e com o modelo *baseline* da norma ASHRAE, utilizado para o desenvolvimento e simulação do projeto para atendimento dos requisitos LEED. Da mesma forma, utilizou-se como base para o estudo dois exemplos de edifícios similares, sofisticados e com alto valor construtivo, mas não limitando-se à solução de tipologias e produtos semelhantes, e sim com o objetivo de expor a eficácia dos arranjos fotovoltaicos e o incentivo à instalação e universalização de fonte de energia solar.

A sustentabilidade e eficiência energética de um edifício está diretamente relacionada ao conjunto de práticas e partidos adotados, e a produção de energia *in loco*, a partir do Sol, é uma parte do conjunto que, quando aliado às demais práticas, torna-se altamente eficiente se pensado em longo prazo. O uso de módulos fotovoltaicos está estritamente relacionado com a área de cobertura versus a área total de laje e sua eficiência é variável de acordo com a altura do edifício e sua horizontalidade. Todavia, mesmo que garantindo maior eficiência a partir da equação proposta, toda e qualquer quantidade de módulos fotovoltaicos instalados e incorporados em projetos arquitetônicos, garantem economia e produção de energia limpa, colaborando para a preservação do planeta e a utilização de fonte energética sustentável.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Eliane *et al.* Energia solar fotovoltaica: revisão bibliográfica. **Engenharia Bioenergética**, Belo Horizonte, v. 1, n. 2, p. 21-33, 2015.

BORGES, Ane Caroline Pereira *et al.* Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE - Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, 2016. Disponível em: <http://www.revistarede.ufc.br/rede/article/view/239>. Acesso em: 19 mar. 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Resenha mensal do mercado de energia elétrica. **EPE**, Rio de Janeiro, ano IX, n. 101, p. 1-4, fev. 2016. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-155/Resenha%20Mensal%20do%20Mercado%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%20-%20Janeiro%202016.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Resenha mensal do mercado de energia elétrica. **EPE**, Rio de Janeiro, ano XI, n. 125, p. 1-4, fev. 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-153/topico-351/Resenha%20Mensal%20-%20Fevereiro%202018.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2018.

BUENO, Bruna Gioppo *et al.* Estudo de viabilidade para utilização de placas fotovoltaicas em habitações populares. *In*: CONGRESSO REGIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA – CRICTE, 2017, Ijuí, RS. **Anais eletrônicos...** Ijuí, RS: Unijuí, 2018. p. 1-3. Disponível em: <https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/cricte/article/view/8927>. Acesso em: 10 mar. 2018.

CAMARGO, Fernando. **Desafios e oportunidades para energia solar fotovoltaica no Brasil**: recomendações para políticas públicas. Brasília: Wwf Brasil - Fundo Mundial para a Natureza, 2015. Disponível em: http://d3nehc6yl9qzo4.cloudfront.net/downloads/15_6_2015_wwf_energ_solar_final_web_3.pdf. Acesso em: 9 mar. 2018.

D'ÁVILA, Cauê Cartocci; PRANDO, Gerson; MORILLA, José Carlos. Estudo de viabilidade para utilização de sistemas solares fotovoltaicos no Porto de Santos-SP Brasil. **Unisanta Science and Technology**, v. 5, n. 2, p. 54-62, 6 dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.unisanta.br/index.php/sat/article/download/752/795>. Acesso em: 19 mar. 2018.

EDIFÍCIO ARQUITETO CARLOS BRATKE. **Arquitetura com arte**: sustentabilidade e cuidado com as pessoas gerando economia e alta produtividade. Disponível em: <http://www.edificiocarlosbratke.com.br/conceito.htm>. Acesso em: 20 jun. 2020.

EDIFÍCIO CARLOS BRATKE. **Informações do cronograma desenvolvido pela CTE. Relatórios LEED Semanal de Obra desenvolvidos. Análise de Certificação Energética Procel/Edifica Edifício OPI2. Avaliação da Envoltória. Relatório de Eficiência Energética (Simulação do Projeto Executivo – SMT)** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por karina.atakaki@gmail.com em 20 ago. 2020.

ENE CONSULTORES. [Entrevista concedida a] Karina Artuso Takaki em 28 ago. 2020. Informação verbal.

ESCRITÓRIO COLLAÇO E MONTEIRO. **Informações e documentações acerca do projeto para central geradora solar fotovoltaica, de conceito e fornecimento da unitron e projetista/instalador solen** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por karina.atakaki@gmail.com em 24 ago. 2020.

FIRMINO, Manuel; SOUSA, Armando. **Energia solar**. Portugal: Projeto FEUP Universidade do Porto, 2015.

GREEN BUILDING COUNCIL BRASIL (GBC Brasil). **Certificações com reconhecimento internacional**. Disponível em: <https://www.gbcbrazil.org.br/certificacoes/>. Acesso em: 20 jun. 2020.

GREENPEACE. **Revolução energética: rumo a um Brasil com 100% de energias limpas e renováveis**. São Paulo: Greenpeace, 2016.

HERSIL ADMINISTRAÇÃO. **Condomínio Vera Cruz II**. [Entrevista concedida a] Karina Artuso Takaki em 25 ago. 2020. Informação verbal.

JANNUZZI, Gilberto de Martino (Coord.). **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**. Campinas, SP: Pro Cobre, out. 2009. Disponível em: http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf. Acesso em: 25 mar. 2020.

KNIRSCH, T. **Caminhos para a sustentabilidade**. Edição especial. Rio de Janeiro: Fundação Konrad Adenauer, 2012. 124 p. (Cadernos Adenauer XIII).

LOPEZ, R. A. **Energia solar para produção de eletricidade**. São Paulo: Artliber, 2012.

MARQUES, L. G. S. **Proposição de métodos de arquitetura bioclimática na escola novo progresso, Marmeleiro/PR**. 2019. 103 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

MONTAÑEZ, Jefry Anderson Mora. **Gerenciamento, produção e controle de potência para um sistema híbrido de energia renovável**. 2020. 105 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

PERROTA, Antonio N. **Conforto térmico em edificações sustentáveis: estudo de caso do prédio central e laboratórios da ampliação do centro de pesquisas Leopoldo Américo Miguez de Mello – CENPES/Petrobras**. 2011. Tese (Mestrado em Engenharia Urbana) - Curso de Escola Politécnica Engenharia Urbana, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL); ELETROBRAS. **Critérios para concessão do selo Procel de economia de energia para edificações comerciais, de serviços e públicas**: documento complementar ao regulamento para concessão do selo Procel de economia de energia para edificações. Procel, 2019. (Versão 4.0).

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL); ELETROBRAS. **Regulamento para concessão do selo Procel de economia de energia para edificações**. Procel, 2019. (Versão 4.0).

PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA (PROCEL).

PROCEL INFO: centro brasileiro de informação de eficiência energética. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View={8E03DCDE-FAE6-470C-90CB-922E4DD0542C}>. Acesso em: 15 jul. 2020.

SÃO PAULO (estado). Secretaria de Energia. **Energia solar paulista:** levantamento do potencial. São Paulo: Governo do Estado de São Paulo, 2013.

THE GREEN BUILDING INFORMATION GATEWAY (GBIG). **OPI2 SP empreend imobiliarios SPE Ltda.** Disponível em: <http://www.gbig.org/activities/leed-1000016248/dashboard>. Acesso em: 20 jun. 2020.

THE GREEN BUILDING INFORMATION GATEWAY (GBIG). **VERA CRUZ II.** Disponível em: <http://www.gbig.org/activities/leed-1000023199/dashboard>. Acesso em: 20 jun. 2020.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED v4.1 building design and construction:** getting started guide for beta participants. 2020. 259 p.

U.S. GREEN BUILDING COUNCIL (USGBC). **LEED v4.1.** Disponível em: <https://www.usgbc.org/leed/v41>. Acesso em: 20 jun. 2020.

VIEIRA FILHO, José Valmir Ramos. **Certificações de sustentabilidade em edifícios de escritórios na cidade de São Paulo.** 2015. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2015.

VOSGUERITCHIAN, Andrea Bazarian. **A abordagem dos sistemas de avaliação de sustentabilidade da arquitetura nos quesitos ambientais de energia, materiais e água, e suas associações às inovações tecnológicas.** 2006. 251 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

Contatos: karina.atakaki@gmail.com e afonso.castro@mackenzie.br