

EDIFICAÇÕES ENERGIA ZERO: ESTUDO DE CASO PARA PAINÉIS FOTOVOLTAICOS UTILIZANDO A AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA (ACV)

Lucas Rosse Caldas (1); Guilherme Augusto da Silva Nogueira (2); Mayara Mendes Mendonça (3); Eduardo Pereira (4)

- (1) Mestre, Engenheiro Civil, Ambiental e Sanitarista, lrc.ambiental@gmail.com, Doutorando, UFRJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, +5562996727202
(2) Especialista, Engenheiro Eletricista, guilherme@piez.com.br, Piez Engenharia de Energia, Rua 115, n. 1122, Galeria 115, Setor Sul, Goiânia, +556232962220
(3) Especialista, Engenheira Civil, Ambiental e Sanitarista, Segurança do Trabalho, mayara@mendesmendonca.com.br, Goiânia, +556285582518
(4) Especialista, Engenheiro Civil, edufeliz.ep@gmail.com, Brasília, +556198395751

RESUMO

A difusão de tecnologias para a autoprodução de energia a partir de fontes renováveis, como a energia solar, utilizando sistemas de painéis fotovoltaicos (FV), tem se difundido no Brasil, como uma das alternativas para a sustentabilidade ambiental do setor de edificações. Na literatura científica o termo *net zero energy buildings* (NZEB) ou edificações energia zero ou quase zero (EEZ) também segue em ritmo acelerado. O que vem sendo discutido é até que ponto essas tecnologias podem ser consideradas sustentáveis, tendo em vista os elevados custos de aquisição e impactos ambientais para a produção e substituição dos painéis. Neste contexto, o presente estudo teve o objetivo de avaliar impactos ambientais ao longo do ciclo de vida de painéis fotovoltaicos, utilizando como estudo de caso de uma edificação existente na cidade de Goiânia – GO, através de uma parceria com uma empresa de projetos e execução da instalação de painéis FV da região e os proprietários da edificação estudada. Para essa análise foi utilizada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), sendo que duas categorias de impacto ambiental foram escolhidas: o potencial de aquecimento global (GWP 100) e a depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADP-ff), considerando as etapas de produção, transporte e substituição dos painéis ao longo de uma vida útil estimada da edificação de 50 anos. A partir dos resultados obtidos foram observados os potenciais ganhos ambientais proporcionados pelo emprego dessa tecnologia, que quando comparada ao cenário básico (sem a instalação dos painéis fotovoltaicos), um potencial de redução de 46% para a ADP-ff e 49% para o GWP 100, mesmo quando os impactos ambientais da produção, transporte e substituição dos painéis FV são contabilizados.

Palavras-chave: Edificações energia zero, painéis fotovoltaicos, ACV.

ABSTRACT

The growing of energy self-production technologies from renewable sources, such as solar energy, using photovoltaic panels (PV) systems, started to become widespread in Brazil as one of an alternative for the environmental sustainability of the building sector. In the scientific literature, the net zero energy buildings (NZEB) term, also continues at an accelerated rate. What has been discussed is the extent to which these technologies can be considered sustainable, given the high acquisition costs and the environmental impacts for the panel's production and replacement. In this context, the present study aimed to evaluate the environmental impacts throughout the life cycle of photovoltaic panels, using as a case study of an existing building in the city of Goiânia - GO, through a partnership with a design and installation company of PV panels in the region. For this analysis, the Life Cycle Assessment (LCA) methodology was used, and two environmental impact categories were chosen: global warming potential (GWP 100) and fossil fuel abiotic depletion (ADP-ff), considering the stages of production, transportation and replacement of the panels over an estimated service life of 50 years of the building. The potential environmental gains obtained by the use of this technology, compared to a baseline scenario (without the installation of photovoltaic panels) was

observed. A reduction potential of 23% for ADP-ff and 27% for GWP 100 was verified, even when the environmental impacts of the production, transportation and replacement of PV panels are accounted for.

Keywords: Net zero energy buildings, Photovoltaic panels, LCA.

1. INTRODUÇÃO

O setor de edificações é apontado como um dos maiores consumidores de eletricidade no mundo, sendo que no Brasil as edificações (residenciais, comerciais e públicas) foram responsáveis por 43% de toda energia elétrica consumida no país em 2015 (MME, 2016). No entanto, como salienta Didoné et al. (2014), esse setor também tem alto potencial de economia, seja pela concepção de projetos energeticamente eficientes e utilização de tecnologias para produção de energia ou a implementação de medidas energéticas de *retrofit* em edificações já existentes. Deng et al. (2014) apontam as edificações de energia zero (EEZ), como uma importante alternativa para a redução do consumo de energia e redução das emissões de CO₂ no setor da construção civil.

A preocupação com os chamados impactos incorporados nos materiais e componentes de construção, das etapas de produção, transporte, substituição e destinação final, tem ganhado atenção no mundo, tendo em vista a crescente preocupação ambiental e metas internacionais de redução desses impactos. Dentre as diversas metodologias existentes para a quantificação desses impactos, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) tem sido a mais utilizada (CABEZA et al., 2014; ANAND; AMOR, 2017). A ACV pode ser definida como a compilação e avaliação das entradas e saídas, bem como dos potenciais impactos ambientais de um produto ao longo do seu ciclo de vida, como consumo de energia primária, potencial de aquecimento global, eutrofização, acidificação das águas e outros (ABNT NBR ISO 14040: 2009).

Quando a abordagem utilizada é baseada na ACV, um maior desafio é imposto nos projetos de EEZ, tendo em vista que os impactos ambientais de produção, transporte e substituição dos materiais e componentes dos sistemas utilizados são contabilizados na avaliação. Esses e outros autores denominaram essa abordagem de *life cycle net zero energy buildings (LC – NZEB)*, ou traduzida como ACV – EEZ, sendo que esse último termo será empregado no presente estudo. Neste sentido, a energia produzida e os impactos ambientais evitados pela edificação a partir da utilização de fontes renováveis, devem ser descontados da energia consumida e impactos provocados na operação, produção, transporte e substituição dos componentes da edificação.

As EEZ por definição necessitam de geração de energia por fontes renováveis para compensar a energia consumida. Embora algumas definições de EEZ permitam a opção de comprar eletricidade de fontes limpas e renováveis geradas em outros locais, a maioria dos projetos recentes e como uma tendência mundial de usar sistemas de geração no local e autoprodução. O desenvolvimento, aumento de pesquisas e diminuição dos custos dos sistemas de painéis fotovoltaicos (FV), nos últimos anos, levou a disseminação dessa tecnologia como solução para geração de energia no local nos projetos de EEZ (NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, 2017).

De acordo com o banco informações de geração (BIG) de energia elétrica disponibilizado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), até fevereiro de 2017, existia 42 empreendimentos em operação com energia fotovoltaica com potência associada de 23008 kW (representando 0,02% da potência total), 12 em construção e 99 em construção não iniciada, que correspondem, respectivamente a 346000 kW (4,09%) e 2634397 kW (16,07%). Essa fonte energética representou, depois da fonte eólica, a fonte renovável de maior crescimento na matriz nacional nos últimos anos.

Como destaca Rütter (2004) a grande disponibilidade de radiação solar no Brasil é um fator essencial para a utilização sistemas solares fotovoltaica (FV) no país. Esses sistemas podem ser aplicados e/ou integrados nas edificações e interligados à rede elétrica.

Na literatura científica o número de estudos relacionados as EEZ e sistemas solares FV tem aumentado nos últimos anos. Didoné et al. (2014) estudaram estratégias de projeto para a diminuição do consumo de energia em edificações de escritório, para a transformação em EEZ, para Fortaleza e Florianópolis, utilizando de painéis fotovoltaicos, a partir de simulação computacional. Os resultados mostraram que, em Fortaleza, houve a necessidade de mais módulos FV devido ao maior consumo de energia, principalmente com a refrigeração. Goggins et al. (2016) avaliaram estudos de casos de edificações na Irlanda com base na ACV e custos a fim de se atingir um projeto de consumo de energia nulo.

O processo de um estudo do tipo ACV-EEZ se inicia na coleta de dados, que podem ser fornecidos pelo proprietário da edificação, o grupo de projeto e pelo fabricante da tecnologia utilizada (onde serão verificados dados dos impactos de produção e vida útil do sistema). Os impactos incorporados para cada

material, sistema ou produto deverão ser calculados para o ciclo de vida da edificação sob algumas suposições ou limitações razoáveis. Ao mesmo tempo, a energia consumida na operação e na produção pela tecnologia escolhida pode ser obtida através de simulação e/ou coleta na fonte, por exemplo contas de energia ou aparelhos de mensuração em tempo real (GOGGINS et al., 2016). Embora estudos na área de EEZ e sistemas solares FV já estejam difundidos na literatura científica, a utilização da abordagem da ACV ainda é algo recente, principalmente para a realidade brasileira, o que justifica a importância do presente estudo.

2. OBJETIVO

Diante do que foi exposto anteriormente, o presente estudo teve o objetivo de avaliar alguns potenciais impactos ambientais, sendo eles a depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADP-ff) e o potencial de aquecimento global (GWP 100), ao longo do ciclo de vida de uma edificação com painéis fotovoltaicos (FVs) instalados em sua cobertura, comparando com um cenário (chamado de cenário básico) em que os painéis FV não tivessem sido instalados.

3. METODOLOGIA

Foi utilizada como metodologia a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) com base nas normas NBR 14440 (ABNT, 2009) e EN 15804 (CEN, 2013). A primeira norma trata da metodologia geral de uma ACV, enquanto que a segunda trata da ACV de forma específica para o setor da construção civil, bastante difundida na Europa. Foi realizado um estudo de caso em uma edificação comercial, localizada na cidade de Goiânia – GO, através de uma parceria com uma empresa de projetos e execução de painéis FVs da região e os proprietários da edificação estudada.

A ACV tem sido apontada como uma das metodologias de avaliação de impactos ambientais mais aceitas internacionalmente, podendo ser aplicada a qualquer atividade, processo ou produto, inclusive aqueles no âmbito da construção civil (CABEZA et al., 2014). Segundo a NBR 14440 (ABNT, 2009), a ACV é dividida em quatro etapas: (1) definição do objetivo e escopo, (2) análise de inventário, (3) avaliação de impacto e (4) interpretação. Neste sentido, no item de metodologia foram considerados a definição do objetivo e escopo, a caracterização dos painéis FV, a análise do inventário e o método de avaliação de impactos ambientais adotado. A etapa de interpretação (que também é uma das etapas da ACV) foi realizada no item de resultados e discussão.

3.1. Definição do objetivo e escopo

O objetivo do estudo foi quantificar e comparar impactos ambientais de uma edificação comercial (um escritório de contabilidade, apresentado na Figura 1) localizado na cidade de Goiânia – GO, latitude $-16^{\circ} 40' 43''$ e longitude $-49^{\circ} 15' 14''$, que teve um sistema de painéis FV instalados em sua cobertura em relação a um cenário básico, em que os painéis não tivessem sido instalados.

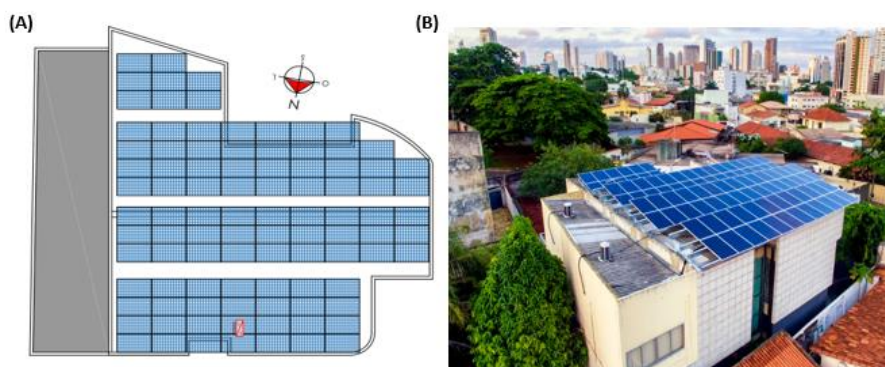


Figura 1 – Edificação e painéis fotovoltaicos estudados. (A) Projeto. (B) Projeto executado (SOLAR WEB, 2017).

O sistema ocupa uma área de $154,4 \text{ m}^2$ e foi instalado em outubro de 2016 e desde esse período entrou em funcionamento, gerando energia elétrica para a edificação. Foram instalados 96 módulos fotovoltaicos (1728 kg), sendo que cada módulo possui 60 células de silício policristalino e vidro temperado de alta transmissividade de 3,2 mm (Figura 2). Os módulos foram orientados ao Norte, azimute 15° , seguido a

inclinação da estrutura fixada na cobertura existente. O conjunto tem potência nominal de 24.960 Wp. Os dados e informações do sistema e da edificação foram cedidos pela empresa de projetos.

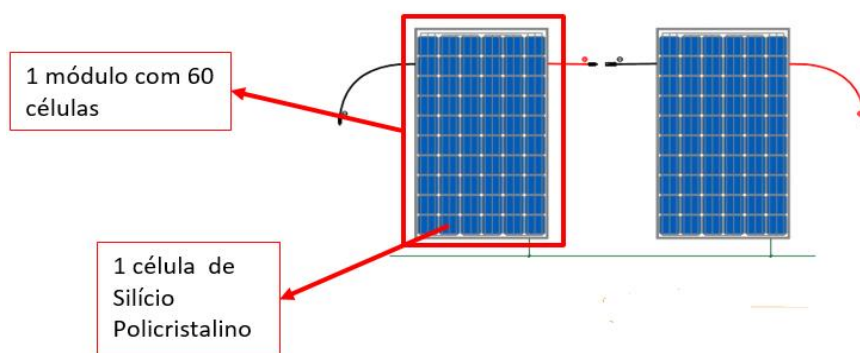


Figura 2 – Detalhe dos módulos fotovoltaicos (SOLAR WEB, 2017).

A unidade funcional adotada no estudo foi a “edificação para uma vida útil de 50 anos” (a partir das instalações dos módulos). De acordo com a EN 15804 (CEN, 2013), com base nas etapas consideradas, o estudo se enquadra do tipo berço ao portão com opções ou *cradle to gate with options*. Nesse tipo de estudo são considerados somente algumas etapas do ciclo de vida do produto, sendo que no presente trabalho foram avaliados: a extração e processamento das matérias primas, transporte das matérias primas, manufatura do produto, transporte do produto, substituição do produto e uso de energia operacional na edificação, como é apresentado na Tabela 1.

Nesse caso, as etapas dos módulos A1 a A3 são obrigatórias em qualquer estudo de ACV, e as outras opcionais. Foram escolhidas as etapas consistentes com o tipo de sistema a ser avaliado (uma edificação com sistema fotovoltaico) e com base nas informações disponíveis.

Tabela 1 - Etapas do ciclo de vida avaliados no estudo (Adaptado da EN 15804:2013).

Etapas do ciclo de vida	Produto			Construção		Uso							Fim de vida				Benefícios e cargas além das fronteiras
	A1	A2	A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	C1	C2	C3	C4	
Módulos	Exatção e processamento das Matérias primas	Transporte	Manufatura	Transporte	Construção	Uso	Manutenção	Reparo	Substituição	Reforma	Uso de energia operacional	Uso de água operacional	Desconstrução/ Demolição	Transporte	Processamento dos resíduos	Disposição final	Retiso/Recuperação/Reciclagem
Berço ao portão com opções	x	x	x	x					x		x						

Para o transporte do produto (A4) foram consideradas as distâncias de transporte do local de fabricação dos painéis FV até a localização da edificação. Para a etapa de substituição (B4) foram consideradas o transporte dos módulos das fábricas à edificação e transporte para destinação final. A montagem dos sistemas não foi considerada, tendo em vista que é um processo manual. O uso de energia operacional (B6) foi quantificado com base nas atividades realizadas no escritório de arquitetura. As premissas adotadas nessas etapas estão detalhadas no próximo item.

As etapas dos módulos A1, A2, A3, A4 e A5 são frequentemente denominados na literatura de etapas com impactos ambientais incorporados, sendo adotada essa nomenclatura no presente estudo. Ao final, as cinco etapas consideradas foram denominadas da seguinte forma:

- Produção dos painéis FV (extração matérias primas, transporte e manufatura);
- Transporte dos painéis FV da fábrica de produção até o local da edificação;
- Substituição dos painéis FV;
- Energia consumida pela edificação;
- Energia produzida pelos painéis FV.

Foi contabilizado somente o impacto ambiental incorporado do sistema de FV, tendo em vista que os outros sistemas da edificação (estrutura, vedações, verticais, cobertura, e etc.) são os mesmos para os dois cenários. Também não foi contabilizado equipamentos auxiliares do sistema como quadros de proteção e inversores.

3.2. Análise do Inventário

Como o Brasil ainda não possui um banco de dados consolidado para a maioria dos materiais e componentes de construção, foi utilizado o banco de dados do Ecoinvent 3.3, adequando a matriz elétrica com dados da realidade brasileira, prática já adotada por outros estudos no contexto nacional, como o de Saade *et al.* (2014). Foi encontrado 2432,7 MJ/m² de painel FV para o impacto de ADP-ff e 199,7 kgCO_{2e}/m² de painel FV para o impacto de GWP 100. Esses valores multiplicados pela área do sistema resultaram nos impactos da etapa de produção.

Para o cálculo da etapa de etapa de transporte (A4) dos painéis foram estimadas as distâncias utilizando o Google Maps e plataforma *Sea Distances* (GOOGLE, 2017). A partir da localização da fábrica de produção dos painéis, na cidade de Guelph, no Canadá e adotando o porto mais próximo, o porto de Toronto e considerando o recebimento do material no Brasil no Terminal Ponta da Madeira, em São Luís – MA e com seu destino final para a cidade de Goiânia – GO, onde a edificação estudada se localiza. Na Figura 3 é apresentada o mapa com as distâncias encontradas.



Figura 3 – Estimativa das distâncias de transporte do sistema de painéis fotovoltaicos (Autores, 2017).

A partir da massa transportada e distância foram calculados os impactos ambientais utilizando os valores do banco de dados também do Ecoinvent 3.3, sendo que para o transporte marítimo foi considerado 0,16 MJ/t. km e 0,011 kgCO_{2e}/t.km e para o transporte terrestre (rodoviário) 163 MJ/t. km e 2,61 kgCO_{2e}/t.km. Observa-se que os impactos do transporte rodoviário são consideravelmente maiores que o marítimo, com diferenças em uma ordem de grandeza.

Para a etapa de substituição (B4) dos FV foi considerada uma vida útil da edificação de 50 anos (a partir de 2017) sendo que foi adotado que os painéis de FV com uma vida útil de 25 anos (dado obtido do fornecedor) o que resultou na necessidade de reposição dos materiais em uma vez.

Para a etapa operacional (B6), foram contabilizados o consumo de energia elétrica na edificação e a produção de energia pelo sistema de FVs. Foi utilizado o valor de consumo de 40,8 MWh/ano, valor médio

obtido das faturas de energia do ano de 2016, fornecido pelo escritório de contabilidade para a empresa de projetos e o valor de produção foi estimado a partir da média de energia elétrica gerada (mensurada em tempo real em uma plataforma disponibilizada pela empresa), entre os meses de outubro de 2016 a março de 2017, resultando em um valor de 32,03 MWh/ano. Foi adotada uma perda de eficiência do sistema de 0,65% ao ano (EPE, 2012), o que resultou em uma geração de energia elétrica ao final da vida útil de 50 anos de 1482,41 MWh, que entrou com valor negativo na quantificação. Ambos foram quantificados para uma vida útil de 50 anos. Na Figura 4 é apresentada a plataforma de acompanhamento da energia gerada pelo sistema de painéis FVs da edificação estudada, em que os pesquisadores tiveram acesso.



Figura 4 – Interface de acompanhamento da edificação (SOLAR WEB, 2017).

3.3. Avaliação de impactos ambientais

Para a avaliação dos impactos foram utilizadas duas categorias de impactos ambientais seguindo a EM 15804 (CEN, 2013), sendo elas a depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADP-ff) e o potencial de aquecimento global para o tempo de 100 anos (GWP 100). A primeira categoria expressa as fontes de energia de energia extraídos de fontes naturais fósseis (carvão, gás natural, óleo, urânio, etc.), apresentada em MJ ou GJ. A segunda expressa o aumento da concentração de substâncias antrópicas na atmosfera, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), e óxido de nitrogênio (NO₂), o que contribui para o aquecimento do planeta, apresentada em carbono equivalente (kgCO_{2e} ou tCO_{2e}). Foi utilizado método de avaliação de impactos o CML – IA baseline, que possui uma abordagem do tipo *midpoint*, sendo que a modelagem dos dados foi realizada no software SimaPro v.8.2 e Microsoft Excel.

Foram quantificados os impactos ambientais supracitados, chegando ao final em um balanço com e sem a consideração da ACV, utilizando as equações 1 e 2:

$$Balanço_{semACV} = IC - IP \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

IC – impacto devido ao consumo de energia na edificação, ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos];

IP – impacto evitado devido a produção de energia na edificação, ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos];

Balanço_{semACV} - ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos].

$$Balanço_{comACV} = Balanço_{semACV} + IP + IT + IS \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

IP – impacto devido à produção dos painéis, ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos];

IT – impacto devido ao transporte dos painéis, ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos];

IS – impacto devido à substituição dos painéis, ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos];

Balanço_{comACV} - ADP-ff [GJ/edificação. 50 anos], GWP 100 [tCO_{2e}/edificação. 50 anos].

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no estudo estão apresentados nas Figuras 5 e 6.

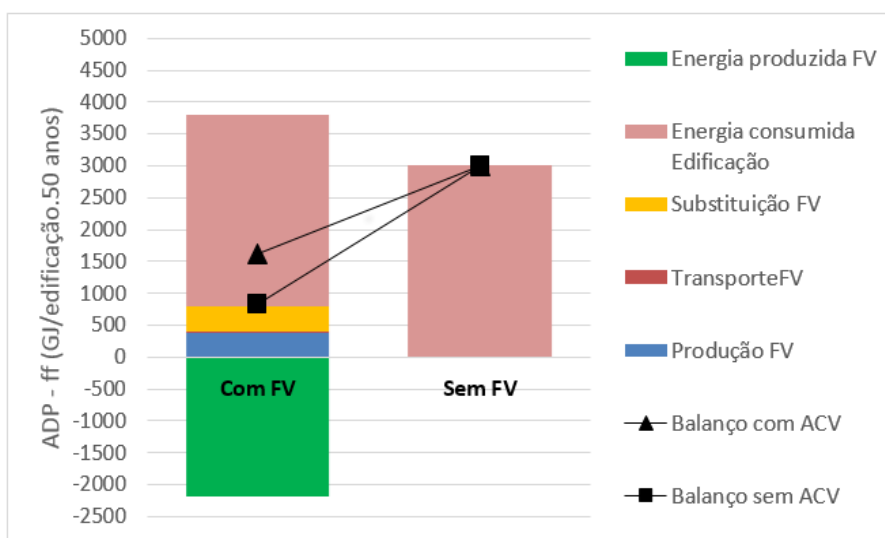


Figura 5 – Depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADP-ff).

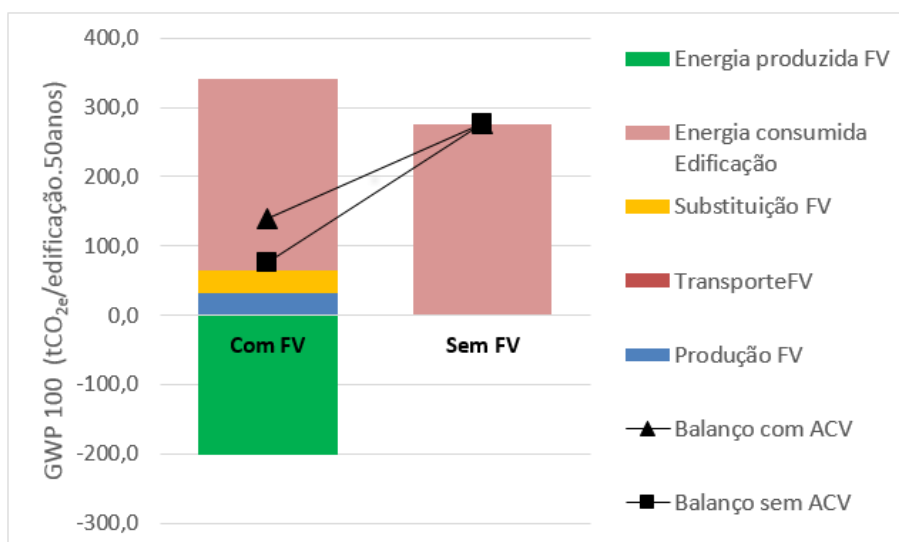


Figura 6 – Potencial de aquecimento global (GWP 100).

Quando se considera os impactos incorporados do ciclo de vida dos painéis (de produção, transporte e substituição) o resultado final (balanço com ACV) é maior que quando comparado com o balanço sem ACV, o que já era esperado. No entanto, quando se compara ambos os balanços com o cenário básico (sem a instalação de painéis), os resultados são consideravelmente melhores se os painéis forem instalados para as duas categorias de impacto ambiental analisadas, mostrando os benefícios ambientais da utilização de painéis FV para a edificação estudada. Para o impacto de ADP-ff, em comparação ao cenário básico, há uma redução de 73% para caso do balanço sem ACV e 49% quando a ACV é considerada, enquanto que para o impacto de GWP 100, em comparação ao cenário básico, há uma redução de 73% para caso do balanço sem ACV e 46% quando a ACV é considerada. Esses resultados apontam um potencial considerável nas categorias de ambientais avaliadas, mesmo quando impactos do ciclo de vida são considerados. O fato da maior parcela dos impactos ambientais de uma edificação serem da etapa de operação, a instalação dos painéis se mostraram ambientalmente favorável nesta primeira análise.

No entanto, do ponto de vista ideal, e, dialogando com o conceito de edificações zero energia com a consideração da ACV (EEZ – ACV), é interessante que as edificações tenham um balanço final zero ou próximos a zero, em que a energia gerada pelo sistema de painéis fotovoltaicos irá ser suficiente para suprir o consumo de energia da edificação e também o consumo indireto das etapas de produção, transporte e substituição dos painéis.

Para que os impactos incorporados do ciclo de vida sejam diminuídos ou até mesmo abatidos, as duas opções mais prováveis, no decorrer dos próximos anos, são: (1) diminuição do consumo de energia da edificação, seja por aumento da eficiência energética dos equipamentos e/ou programas de conscientização dos funcionários; (2) aumento da produção de energia dois painéis FV, por meio da melhoria da eficiência dessa tecnologia. Em termos de responsabilidades, a primeira alternativa está mais relacionada à direção do escritório, e, portanto, podendo ser considerada uma ação de curto à médio prazo enquanto a segunda ao setor de painéis FV, uma ação mais a longo prazo.

Cabe ressaltar que o modelo apresentado é uma estimativa ainda em estágio inicial, já que muitos dados foram considerados constantes, tendo em vista que a instalação de painéis FV ocorreu no final do ano de 2016.

Por fim, é importante ressaltar que o presente trabalho teve como limitação o fato da quantificação de energia gerada pelos painéis ter sido realizada com base em uma média das medições realizadas entre os meses de outubro de 2016 e março de 2017, e, assim, esses valores podem mudar. Neste sentido, mostra-se a necessidade de continuar o monitoramento da geração de energia pelo sistema fotovoltaico da edificação, em que serão avaliados como ocorre essa variação ao longo de um ano e ao longo dos anos seguintes, melhorando gradualmente a qualidade do modelo e da avaliação ambiental.

5. CONCLUSÕES

No presente estudo foi abordado o contexto das edificações de energia zero (EEZ). Foram avaliados alguns potenciais impactos ambientais, sendo eles a depleção abiótica de combustíveis fósseis (ADP-ff) e o potencial de aquecimento global (GWP 100) de uma edificação real, localizada na cidade de Goiânia - GO com e sem a instalação de um sistema de painéis fotovoltaicos (FV). Foi utilizada a metodologia de ACV, em que as etapas de produção, transporte e substituição dos painéis foram contabilizadas juntamente com a energia consumida e produzida pela edificação.

Foram observados os potenciais ganhos ambientais proporcionados pelo emprego da tecnologia de painéis FV, que quando comparada ao cenário básico (sem a instalação dos painéis), resultou em um potencial de redução de 46% para a ADP-ff e 49% para o GWP 100, mesmo quando os impactos ambientais da produção, transporte e substituição dos painéis FV são contabilizados.

É importante ressaltar que cooperação entre empresa e pesquisa foi fundamental para o desenvolvimento do presente estudo, o que mostra que parcerias desse tipo devem ser incentivadas para a maior difusão de novas tecnologias que visem a eficiência energética de edificações tanto no mercado como no meio acadêmico. A partir do monitoramento em tempo real da edificação estudada, fornecida pela empresa de projetos, pretende-se dar continuidade ao estudo, melhorando a qualidade dos dados e modelos utilizados, avaliando outras edificações e outros impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/FontesEnergia.asp>>. Acesso em: 05 de fev. 2017.
- ANAND, C. K.; AMOR, B. Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 67, n. 1, p. 408-416, 2017.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- CABEZA, L.; RINCÓN, F.; VILARIÑO, V.; PÉREZ, G.; CASTELL, A. Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, p. 394-416, 2014.
- DENG, S.; WANG, R. Z., DAI, Y. J. How to evaluate performance of net zero energy building - a literature research. **Energy**, v. 71, p. 1-16, 2014.
- DIDONÉ, E. L.; WAGNER, A.; PEREIRA, F. O. R. Estratégias para edifícios de escritórios energia zero no Brasil com ênfase em BIPV. **Ambiente Construído, Porto Alegre**, v. 14, n. 3, p. 27-42, jul./set. 2014.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota técnica: análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira**. Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/geracao/documents/estudos_23/nt_energiasolar_2012.pdf>. Acesso em: 06 mar. 2017.
- EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **CEN EN 15804**: sustainability of construction works: environmental product declarations: core rules for the product category of construction products. Brussels, 2013.
- GOOGLE. **Site**. <https://sea-distances.org/>. Acesso em 04 de jan. de 2017.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Balço Energético Nacional. Ano Base 2015**. Empresa de Pesquisa Energética, 2016.
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. **Best research-cell efficiencies**. http://www.nrel.gov/ncpv/images/efficiency_chart.jpg, Acesso em 02 de jan. de 2017.
- RÜTHER, R. Edifícios Solares Fotovoltaicos. Florianópolis: Labsolar, 2004.

SAADE, M. R.M.; SILVA, M.; GOMES, S; FRANCO, H.; SCHWAMBACK, D.; LAVOR, B. Material eco-efficiency indicators for Brazilian buildings. **Smart and Sustainable Built Environment**, v. 3, n. 11, p. 54 - 71, 2014.
SOLAR WEB. Disponível em: <<https://www.solarweb.com>> Acesso em 08 de fev. 2017.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a empresa de projetos pelo fornecimento e transparência dos dados utilizados durante a realização desta pesquisa.