XV ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
XI ELACAC Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído
JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA EDIFICAÇÃO MULTIFAMILIAR

Gabriela Laguardia de Castro Oliveira (1); Rodrigo de Mello Morado Penna (2) Fernanda Mourão Dutra de Oliveira (3) Raquel Diniz Oliveira (4);
(1) Engenheira de Produção Civil, gabi_laguardia@yahoo.com.br
(2) Estudante, Graduando em Engenheira de Produção Civil, rodrigomoradopenna@gmail.com
(3) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, fmouraodutra@gmail.com
(2) PhD, Professora do Departamento de Engenharia Civil, raqueldiniz@cefetmg.br
Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Departamento de Engenharia Civil, Av. Amazonas, 7675. Prédio 12, sala 221. Belo Horizonte–MG, 30510-000, Tel.: (31) 3319 6810

RESUMO
No que tange às opções de tecnologias sustentáveis em edifícios, o uso de energia solar fotovoltaica se mostra relevante, pois além de ser uma fonte de geração de energia limpa, reduz a dependência da rede elétrica convencional além de promover diversificação da matriz energética brasileira. Contribuindo para o estudo deste tema, este trabalho demonstra a viabilidade técnica e econômica da implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) para um estudo de caso. Neste contexto, considerou-se um edifício residencial multifamiliar em Brumadinho - MG. Foram analisados os seguintes parâmetros: a quantidade de radiação local, o sombreamento da cobertura do edifício, a melhor orientação e inclinação das placas, estimativa da demanda energética do usuário e a quantificação da geração de energia propiciada pelas placas. Ademais, foi definido o investimento inicial para instalação de tal sistema, e em seguida, foram aplicadas ferramentas de administração financeira para auxílio na tomada de decisão. Os resultados permitiram identificar a viabilidade técnica e econômica do projeto. Tecnicamente, foi verificada a viabilidade com a possibilidade de inclusão de um sistema que atenda parcialmente a demanda da edificação. Apesar da geração do sistema aplicado não suprir toda a demanda do edifício, a economia anual contribui para que o investimento inicial seja pago em menos de 5 anos. Assim, verifica-se que o investimento em sistemas de geração de energia fotovoltaica, apesar do incentivo governamental incipiente, apresenta-se como uma estratégia relevante em edificações mutifamiliares, mesmo em fase posterior à implantação do edifício.
Palavras-chave: Energia solar; Sistemas Fotovoltaicos conectados à rede; Habitação multifamiliar; Viabilidade técnica; Viabilidade econômica.

ABSTRACT
Photovoltaic solar energy system reduces the dependence of conventional electric grid and promotes diversification of the Brazilian energy matrix trough a clean source. This study evaluated the economic and technical feasibility of a Network-Connected Photovoltaic System (SFCR)'s implementation in a residential building in Brumadinho, Minas Gerais (Brazil). The following parameters were analyzed: the amount of local radiation, the roof shading, the best orientation, the inclination angle as well as the power generation of the panels and also the user energy demand. In addition, the initial investment was defined for the installation of such a system, and then financial management tools were applied to aid decision making. Although the SFCR generation does not supply all the building demand, the annual economy made the initial investment be paid in less than 5 years. The results point out that the investment in photovoltaic energy generation systems, in spite of the incipient governmental incentive, presents itself as a relevant strategy in mutifamiliar buildings, even in the post-installation phase.
Keywords: Solar energy; Grid-connected Photovoltaic Systems; Multifamily housing; Technical feasibility; Economic feasibility.

1. INTRODUÇÃO

A geração de energia é primordial para o desenvolvimento e manutenção das atividades econômicas e qualidade de vida da humanidade. Em âmbito mundial, diversas conferências foram realizadas na busca por formas de mitigar os impactos ambientais decorrentes da sua geração e utilização. Neste contexto, destaca-se a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente em Estocolmo (1972), bem como os debates sobre as formas de utilização e racionamento dos recursos naturais tiveram início na ECO 92, no Brasil (GRAÇAS, 2010). Grosso modo, verifica-se, sub aproveitamento dos elementos naturais como, por exemplo, a radiação solar na obtenção de energia. No cenário da construção civil o uso desse artifício para a geração de energética ainda é restrito, devido principalmente ao desconhecimento da população, os custos de implementação tecnológica e a ausência de incentivos fiscais (CBIC, 2016).

Segundo o Balanço Energético Nacional de 2018 (BEN, 2018), aproximadamente 62% da matriz energética brasileira é composta por hidrelétricas, baseadas na geração centralizada e distribuição de energia. Seu funcionamento está diretamente relacionado as variações climáticas, em especial ao volume de chuva e, sua capacidade de crescimento é limitada. Além disso, a construção de novas unidades deve ocorrer a distâncias pré-determinadas do ponto de consumo, que resultam em elevados custos e perdas de energia (DIDONÉ *et al*., 2014). Complementarmente, em consequência do progressivo aumento do consumo energético atrelado ao crescimento populacional e das atividades econômicas, a diversificação da matriz energética brasileira se mostra indispensável, seja por meio da geração fotovoltaica quanto por outros sistemas (ANEEL, 2014).

A localização geográfica brasileira apresenta vantagens em relação à utilização da tecnologia de geração de energia fotovoltaica, uma vez que no país os raios solares incidem praticamente na posição vertical. Apesar disso, a exploração dessa tecnologia no país ainda é reduzida. Somente na presente década a geração distribuída conectada à rede foi regulamentada tendo sido realizados, também, leilões específicos para sua contratação na forma de plantas centralizadas (TOLMASQUIM, 2016).

A utilização da energia solar fotovoltaica envolve várias vantagens a saber: ampliação da matriz energética; atenuação na demanda do sistema elétrico durante o dia; redução de investimentos em sistemas de distribuição/transmissão; diminuição de perdas de energia; amortecimento do fenômeno do êxodo rural, baixo impacto ambiental uma vez que não há emissão de gases durante a geração de energia, além da redução do custo de operação (ANEEL, 2014; CBIC,2016; SHAYANI *et al*., 2006).

O Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) tem sido objeto de diversos estudos. Marques *et al.* (2016) analisaram a viabilidade econômica da implementação de um SFCR para o bloco de engenharia elétrica da Universidade Federal do Piauí (UFPI). O *Payback* Simples foi de 11 anos para o cenário sem readequação no consumo e de 12,7 anos com o *retrofit* dos equipamentos. Tal implantação foi considerada viável, tendo em vista a economia de 76% do consumo de energia elétrica vinda da rede para o primeiro cenário e, 94% com o *retrofit*.

Reis *et al.* (2015) analisaram a viabilidade econômica de um projeto de microgeração fotovoltaica residencial, em Juiz de Fora – MG, no tocante ao cenário de compensação de energia elétrica (com e sem o sistema de bandeira tarifária) bem como a situação econômica com isenção de ICMS em toda a vida útil do projeto, com e sem a compensação de energia produzida. Como resultados, os primeiros cenários apresentaram-se inviáveis ao passo que as situações de isenção de ICMS se mostram viáveis economicamente.

Rabuske, Friedrich e Fontoura (2018) analisaram a viabilidade econômica da instalação de um SFCR em uma panificadora na cidade de Santa Cruz do Sul-SC, em um cenário de 25 anos, período de durabilidade dos equipamentos. O estudo concluiu que além de reduzir custos, a implementação se mostrou viável, com um *Payback* descontado de 12 anos e uma taxa de atratividade de 14,64%, superior à taxa mínima de atratividade (TMA) de 10%.

O estudo de Nakabayashi (2014) verificou o potencial de geração de energia elétrica via a implementação de um sistema SFRC nas 27 capitais brasileiras, considerando o ano de 2015 e 2020. A viabilidade média de instalação em 2015 foi de 62,1% aumentando consideravelmente até 2020, atingindo 90,1%. Esse crescimento deve-se à redução do custo de fornecimento e instalação de sistemas fotovoltaicos além do crescente aumento das tarifas de energia, que tornam a geração individual mais atrativa.

Já o estudo de Morais (2017) abordou a instalação de um sistema SFCR em uma construção da Universidade Federal do Ceará (UFCE) e considerou a vida útil dos equipamentos em 20 anos. Nesse a aplicação deste sistema se mostrou viável, com um *Payback* simples de 5,68 anos. Verifica-se, portanto, a relevância dos estudos sobre a viabilidade técnica e econômica da implantação de Sistemas Fotovoltaicos Conectado à Rede (SFCR) para as diferentes localidades brasileiras.

2. OBJETIVO

Avaliar a viabilidade técnica e econômica da implantação de SFCR em uma edificação residencial multifamiliar em Brumadinho-MG.

3. MÉTODO

Este trabalho foi realizado conforme fluxograma apresentado na Figura 1, sendo a pesquisa bibliográfica parte intrínseca de todas as etapas.

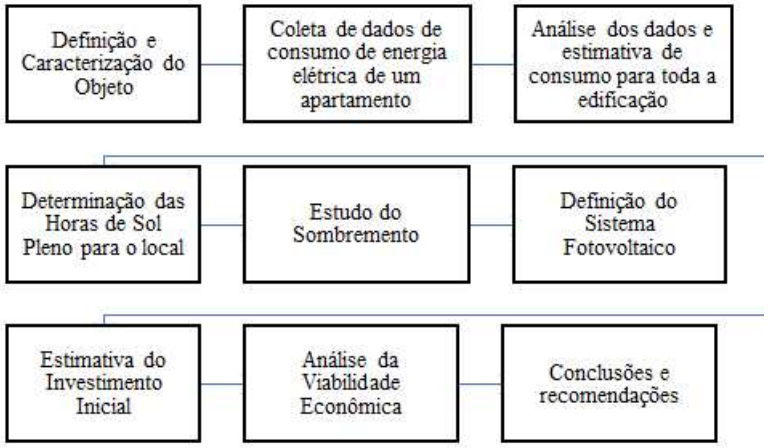


Figura 1 - Esquema das etapas desta pesquisa.

A edificação residencial multifamiliar, objeto do presente estudo, apresenta sete unidades habitacionais e se localiza em Brumadinho, município da Região Metropolitana de Belo Horizonte/MG. Para a realização da pesquisa foram analisadas e coletadas todas as informações relevantes contidas nos projetos técnicos, memorial descritivo e contas de energia elétrica dos usuários. Assim, primeiramente estabelece-se o parâmetro de consumo energético mensal do edifício a partir da média de consumo por pessoa obtido por meio das contas emitidas pela Companhia Energética de Minas Gerais entre os meses de abril/2017 e março/2018 para a habitação 201 (considerando 2 habitantes adultos).

O consumo energético mensal da edificação foi obtido por meio da estimativa do consumo das demais unidades habitacionais, considerando valores em kWh por pessoa. Neste contexto, considerou-se o número médio de 3,5 habitantes por domicílio de acordo com os dados do censo demográfico do instituto brasileiro de geografia e estatística (IBGE) de 2010 (IBGE, 2017).

Posteriormente determinou-se o número de horas de sol pleno (HSP), que representa a quantidade de horas às quais a irradiação solar é igual a 1000W/m² (1kW/m²), sendo equivalente à energia total diária incidente sobre o local analisado. Assim, para verificar os valores de irradiação na localização proposta, para utilizou-se o Radiasol[1] versão 2, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar (LABSOL) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). Como dados de entrada deste *software* considerou-se a latitude e longitude obtidas via Google Maps (GOOGLE MAPS, 2017); o desvio azimutal das duas águas do telhado indicado no projeto arquitetônico; a inclinação do telhado na qual prevê-se, de forma otimizada e segura contra a força dos ventos, a instalação das placas (Pinho *et al*., 2014); e o albedo do fibrocimento conforme estudos de Ferreira *et al*. (2003). De posse dos valores de irradiação estipulou-se as horas de sol pleno (HSP) por meio da Equação 1 (PINHO et al. 2014).

$$\mathrm{HSP} = \frac{I(kW/m^2)}{1(kW/m^2)} \qquad \text{Equação 1}$$

Sendo:
HSP, as Horas de Sol Pleno [horas/dia];
I, a Irradiação Média [kWh/m²/dia].

A escolha da posição de instalação dos painéis fotovoltaicos deve considerar as peças sob a luz do sol. No presente estudo definiu-se a cobertura como local para a instalação do SFCR visto que a área livre se

[1]Programa de licença livre disponível em: http://www.solar.ufrgs.br/#softwares.

mostrou suficiente para a sua instalação. Considerando que o pior cenário ocorre no solstício de inverno, a análise do sombreamento para a área de colocação dos painéis foi feita para o período compreendido entre 09h e 15h, do dia 20 de junho de 2018 (CAMPOS *et al*., 2015). Neste contexto, a carta solar local, foi obtida pelo simulador virtual disponível no site Sunearthtools[2] , que fornece os valores de azimute e elevação solar com base nas Equações 2 e 3 apresentadas por Lamberts *et al.* (2014).

$$d = \frac{h}{tg\alpha} \qquad \text{Equação 2}$$

Sendo:
d, o Comprimento da sombra [metros];
h, a Altura do objeto [metros];
α, Elevação Solar [graus].

A partir do azimute solar pode-se calcular a projeção da sombra de um objeto conforme a Equação 3.

$$\gamma s = \gamma \pm 180° \qquad \text{Equação 3}$$

Sendo:
γs, o Ângulo de projeção da sombra [graus];
γ, o Azimute solar [graus].

Após definir o cenário da edificação, determinou-se o tipo de sistema fotovoltaico a ser utilizado na pesquisa. A escolha do sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR) foi motivada pela possibilidade de injetar o excesso de energia produzida diariamente na rede pública e acumular possíveis créditos energéticos (MARQUES *et al.*, 2016). Além disso, a sua utilização dispensa o uso de baterias por se tratar de painéis associados a um inversor, reduzindo, assim, seu custo de implantação (RÜTHER, 2004). Para o seu dimensionamento, analisou-se, primeiramente, os modelos de painéis SFCR comercializados pelas lojas virtuais MINHA CASA SOLAR e NEOSOLAR[3] priorizando-se a opção de menor valor na relação preço/watt-pico. A quantidade e disposição de módulos do sistema fotovoltaico foram delimitados pelo espaço disponível para a instalação das peças na cobertura. A estimativa da energia gerada pelo sistema foi obtida considerando o método da potência instalada que pode ser obtida pela Equação 4 (ZOMER, 2014).

$$Pcc = n.Pnom \qquad \text{Equação 4}$$

Sendo:
Pcc, a Potência instalada em corrente contínua [kWp];
n, o Número de módulos fotovoltaicos a serem utilizados;
Pnom, a Potência nominal do módulo fotovoltaico escolhido [kWp];

A partir da potência instalada estimou-se a quantidade de energia elétrica gerada pelo sistema. Dessa forma, a energia diariamente produzida foi obtida conforme a Equação 5 (ZOMER, 2014). Assim, calculou-se a geração solar fotovoltaica, mês a mês, pela potência instalada, HSP e pela Taxa de Desempenho de 0,75, valor que considera perdas típicas de inversores, circuitos elétricos e perdas nos painéis por sujeira e poluição (EPE, 2012).

$$E = HSP.Pcc.TD \qquad \text{Equação 5}$$

Sendo:
E, a Geração solar fotovoltaica diária [kWh];
HSP, as Horas de Sol Pleno [horas/dia];
Pcc, a Potência instalada em corrente contínua obtida pela Equação 4 [kWp];
TD, a taxa de Desempenho do sistema (considera inversor e conexões).

O inversor, equipamento que realiza a conversão da energia em corrente contínua gerada pelos módulos fotovoltaicos, foi escolhido utilizando as Equações 6, 7, 8, 9 e 10 seguindo a metodologia proposta por Pinho *et al.* (2014). Assim, considerou-se a potência e características elétricas do gerador para evitar superdimensionamento. Complementarmente, conforme as equações apresentadas e as recomendações de

[2]Maiores informações disponíveis em: https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=pt.
[3]Maiores informações disponíveis em: www.neosolar.com.bre/ou www.minhacasasolar.com.br.

RÜTHER (2004), posteriormente, foi definido a melhor configuração e quantidade de *strings* para a potência nominal instalada demandada.

$$Pinv = FDI.Pcc \quad \text{Equação 6}$$

Sendo:
Pinv, a Potência nominal do inversor [kWp];
FDI, o Fator de Dimensionamento de inversores [adimensional];
Pcc, a Potência instalada dos módulos fotovoltaicos [kWp];

$$N < \frac{Vi\max}{Voc} \quad \text{Equação 7}$$

Sendo:
N, o Número máximo de módulos associados em série em uma mesma *string*;
Vimax, a Tensão máxima de entrada do inversor [V];
Voc, a Tensão de circuito aberto do painel [V].

$$\frac{ViSPPM\min}{Vmp} < \mathrm{N} < \frac{ViSPPM\max}{Vmp} \quad \text{Equação 8}$$

Sendo:
N, o Número máximo de módulos associados em série em uma mesma *string*;
ViSPPMmin, a Tensão do Seguidor de Ponto de Potência - SPPM mínima [V];
ViSPPMmax, a Tensão SPPM máxima [V];
Vmp, a Tensão na potência máxima do módulo [V].

$$ns = \frac{\mathrm{Im}ax}{Isc} \quad \text{Equação 9}$$

Sendo:
ns, o Número de *strings* em paralelo admitido por um mesmo inversor ou uma mesma entrada de inversor;
Imax, a Corrente contínua máxima de entrada [A];
Isc, a Corrente de curto circuito do módulo [A];

$$Pinv = N.Vmp.\mathrm{Im}\,p.ns.ne.TD \quad \text{Equação 10}$$

Sendo:
Pinv, a Potência no inversor [W];
N, o Número de módulos em cada *string*;
Vmp, a Tensão do módulo fotovoltaico na potência máxima [V];
Imp, a Corrente do módulo fotovoltaico na potência máxima [A];
ns, o Número de *strings* em paralelo em um inversor;
ns, o Número de entradas do inversor;
TD, a Taxa de desempenho.

O investimento inicial para a implantação do SFCR abrangeu a quantidade e modelos dos painéis determinado, bem como, seus respectivos inversores. Os gastos com conexões, suportes e outros componentes da instalação do sistema, custo com a mão de obra de implantação, projetos envolvidos foram estimados na ordem de 31% do valor investido, baseado em estudo de mercado (IDEAL; AHKRJ, 2018). Assim, para a estimativa do investimento inicial, os dados obtidos foram inseridos na Equação 11:

$$I = 1{,}50.[(np.pp) + (ni.pi) + fpi] \quad \text{Equação 11}$$

Sendo:
I, o investimento inicial [R$];
np, a Quantidade de painéis necessários;
pp, o Preço orçado dos painéis [R$];
ni, a Quantidade de inversores necessários;
pi, o Preço orçado dos inversores [R$];
fpi, o Frete das placas e inversores [R$].

Para verificar o custo do sistema e a sua viabilidade econômica considerou-se a economia energética anual de acordo com a energia gerada, multiplicada pelo valor de 0,95779337 R$/kWh, tarifa praticada pela CEMIG, de acordo com a resolução da ANEEL nº 547/2013 (ANEEL, [201-]), para a modalidade

convencional, de classe Residencial Trifásico e subclasse Residencial; para a bandeira verde, conforme especificada conta de energia elétrica fornecida pelo proprietário da residência referente ao mês janeiro de 2019. Cumpre destacar que eventuais alterações nas tarifas de energia, interrupções na geração de energia e gastos com substituição de componentes do sistema foram desconsiderados neste estudo. Além disso foi previsto um custo anual com as manutenções periódicas na ordem de 1% do investimento inicial, conforme estudos de Tolmasquim (2016).

Desse modo, a avaliação da viabilidade econômica da implantação do SFCR foi feita por meio da análise dos fluxos de caixa gerados para o período de vida útil do sistema de 25 anos, dos índices financeiros de Valor Presente Líquido (VPL), da Taxa Interna de Retorno (TIR), do *Payback* Descontado, índices que indicam a aceitabilidade do projeto, atratividade em comparação ao mercado e tempo de retorno do capital investido considerando uma taxa mínima de atratividade (TMA), respectivamente. (Bordeaux-rêgo *et al*., 2015). A TMA considerada foi de 4,62% ao ano, correspondente ao rendimento da poupança em 2018, fornecida pelo site do Banco Central do Brasil, por meio da Calculadora do Cidadão[4] , já com a nova regra de correção para 01/01/2018 a 01/01/2019.

4. RESULTADOS PRELIMINARES

O consumo mensal médio de energia por pessoa obtido para a edificação em questão foi de 49,915 kWh. Neste contexto, o valor individualizado referente ao consumo dos apartamentos e condomínio[5] , bem como, o valor total consumido pela edificação, foram sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo médio mensal de cada apartamento (em kWh/mês)

Apto.	**N° moradores**	**Consumo (kWh/mês)**
101	3,5	174,70
102	3,5	174,70
201	2	99,83
202	3,5	174,70
301	3,5	174,70
302	3,5	174,70
401	3,5	174,70
Total apartamentos		1.148,03
Condomínio	-	151,86
Total edificação	**23**	**1.148,03**

A média de consumo energético de residências de Minas Gerais é de 125,3kWh/mês (EPE, 2016b). Assim, o valor encontrado para esta edificação apresenta correlação com estudos precedentes. Para determinar da radiação considerou-se os seguintes valores de *inputs* para o *software* Radiasol:

- Coordenadas obtidas via Google Maps de 20,14° Sul e 44,20° Oeste;
- Ângulos azimutais calculados das duas águas do telhado de -10º para a superfície voltada para o Norte e 170° para o Sul;
- Inclinação de 6° das placas instaladas e albedo para placas de fibrocimento de 39,35%.

A partir dos resultados obtidos a partir do *software* Radiasol, aplicou-se a Equação 2 tendo sido obtido os valores de Horas de Pleno Sol (HPS) de 4,91h, para o azimute de -10°, e 4,62h para o azimute de 170°. Para o estudo de sombreamento e análise da área disponível para a colocação dos painéis, o resultado obtido pela aplicação das Equações 4 e 5 resultou em uma área de 62,2m² evidenciados na Figura 2, livres de sombra na cobertura. As Figuras 3 e 4 apresentam o comprimento da sombra obtido para 09h e 15h, respectivamente. Desta forma, o modelo de painel escolhido foi o painel solar fotovoltaico de 265W Canadian Solar - CS6K-265P com as dimensões de (1662 x 996 x 8,5 mm), por obter a menor relação custo por Watt (R$/W), cujas especificações do fabricante garantem uma eficiência de 16,11%. Assim, considerando-se as dimensões de cada painel e a área de sombreamento calculada, foram necessárias 32 placas para a instalação deste sistema conforme disposição apresentada na Figura 5.

[4]https://www3.bcb.gov.br/CALCIDADAO/publico/corrigirPelaPoupanca.do?method=corrigirPelaPoupanca.
[5]Obtido a partir da média das contas de energia elétrica da CEMIG entre os meses de Set/2017 e Mar/2018.

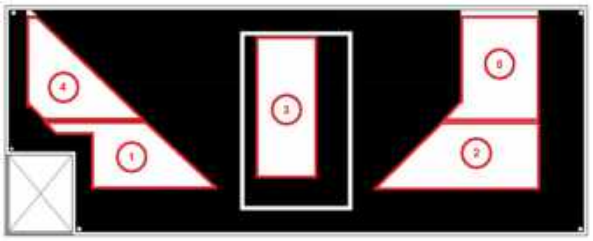


Figura 2 - Áreas livres sem sombra na cobertura

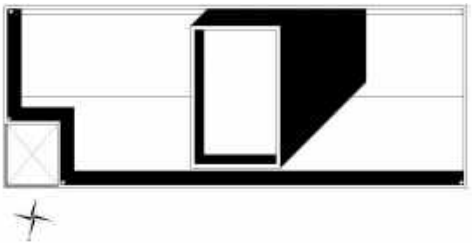


Figura 3 - Sombra às 09h no Solstício de Inverno

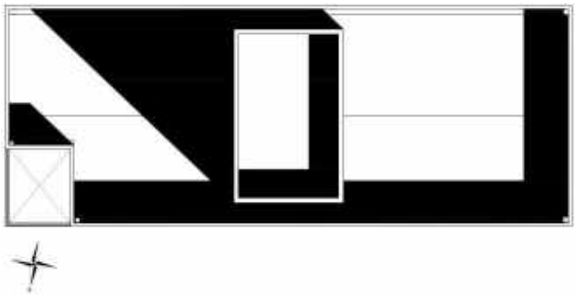


Figura 4 - Sombra às 15h no Solstício de Inverno

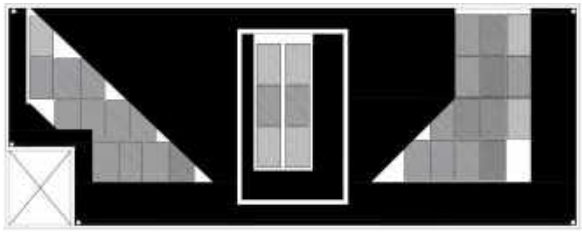


Figura 5 - Disposição das Placas na Área Disponível

Uma vez definidas a quantidade de painéis e a posição de cada um deles, e tomando-se a potência nominal de 0,265 kW de cada painel, calculou-se a potência total instalada. Destaca-se, porém, que as placas localizadas nas áreas de sombreamento 1, 2 e 3 estão situadas em uma água da cobertura cujo azimute é de -10°, enquanto que as localizadas nas áreas de sombreamentos 4 e 5 estão situadas em uma água da cobertura cujo azimute é de 170°. Desse modo, a potência das placas variou de acordo com sua área de sombreamento de localização devido à variação da inclinação da água da cobertura. Assim, os cálculos da Equação 5 foram aplicados considerando 20 e 12 placas. Neste contexto, obteve-se 5,30kW e 3,18kW, respectivamente, para a Potência instalada em corrente contínua no cenário de 20 e 12 placas.

Aplicadas as condições estabelecidas para o dimensionamento dos inversores do sistema, foram escolhidos: 2 inversores Grid-Tie 3,0kW (Sem Wi-fi) B&B Power - SF3000TL (potência individual do equipamento de 2,968W) e um inversor Grid-Tie 1,0kW (Sem Wi-fi) Ecosolys - ECOS1000 (potência individual do equipamento de 0,848W), cuja potência total de funcionamento resultou em 6,784W.

Considerando que o sistema fotovoltaico conectado à rede dimensionado para a edificação escolhida gera 11.134,91 kWh anual (conforme resultado obtido pela Equação 6, o que corresponde uma economia de R$10.664,95, considerando custos da tarifa de energia e impostos, e comparando com os valores de consumo de energia obtidos, verificou-se que o SFCR dimensionado não supre toda demanda elétrica da edificação. Dessa forma, 4.463,77 kWh/ano seriam obtidos por meio da concessionária para complementar a demanda de energia da edificação (~32% do total).

Ao analisarmos o investimento do SFCR dimensionado, dados apresentados na Tabela 2, e os índices financeiros calculados a partir do fluxo de caixa, dados apresentados na Tabela 3, obtivemos resultados que demonstram um VPL positivo, um TIR maior que a taxa mínima de atratividade e um tempo para o retorno do investimento foi de 6,36 anos, pela análise do *Payback* Simples e 6,6, considerando-se o *Payback* Descontado. Tais períodos são muito menores que a vida útil do sistema, o que mostra a viabilidade da implantação do mesmo.

Tabela 2 - Preço de painéis e inversores

Descrição	**Preço Unitário (R$)**	**Preço Total (R$)**
Placa Canadian CS6K-265P (32 un.)	R$ 589,00	R$ 18.848,00
Inversor Grid-Tie 3,0kW (SemWi-fi) B&B Power - SF3000TL (4 un. para o período considerado – 1 troca de inversor)	R$ 4.690,00	R$ 18.760,00
Inversor Grid-Tie 1,0kW (Sem Wi-fi) Ecosolys - ECOS1000 (2 un.)	R$ 1.699,00	R$ 3.398,00
Frete	R$ 764,01	R$ 764,01
Total	-	R$ 41.770,01

Tabela 3 - Resultados dos Índices Financeiros

Índices Financeiros	**Resultado**
VPL	R$ 76.018,01
TIR	14,96%
Payback Descontado	6,6 anos

Ao compararmos o presente estudo com aquele realizado por Marques *et al.* (2016), notamos que os inversores utilizados na pesquisa de 2016 eram de 5kW, enquanto que a presente a pesquisa utilizou equipamentos de 3kW e 1 kW. Além disso, a pesquisa de Marques *et al.* (2016) considerou o *Payback* da implementação de SFCR também para um cenário englobando o *retrofit* lumínico e de equipamentos de condicionamento de ar, no caso da presente pesquisa foi analisada a aplicação do sistema considerando o consumo atual de uma unidade habitacional da edificação. Dessa forma, é possível aprimorar, além da instalação do SFCR, o impacto ambiental da construção estudada.

O estudo de Reis *et al.* (2015) também considerou cenários variados, porém, seu parâmetro foi a cobrança tarifária, pelo qual concluiu, assim como Nakabayashi (2014), que o aumento da cobrança das tarifas de energia elétrica acarretará no aumento da adoção do sistema fotovoltaico, uma vez que o torna mais atrativo, o que pode ser evidenciado quando comparamos a presente pesquisa com o trabalho de Morais (2017). Os dados das pesquisas são datados de 2019 e 2017, respectivamente, e em 2 anos houve a redução no tempo de retorno do investimento de 1,12 anos, considerando o cenário residencial.

Assim, a presente pesquisa evidencia a viabilidade da instalação do sistema proposto e confirma as previsões de pesquisas anteriores, apresentando o aprimoramento dos valores obtidos. Ademais, evidencia-se a perspectiva de aprimoramento nos valores encontrados por meio da aplicação de medidas governamentais além da possibilidade da redução do consumo frente a medidas de troca de equipamentos.

5. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve como objetivo geral analisar a viabilidade técnica e econômica da implantação de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) em uma edificação residencial multifamiliar em Brumadinho-MG. Para tal, foi feito um estudo de caso que permitiu a aplicação direta dos conhecimentos teóricos em um caso prático. Tal objetivo foi atingido por meio da metodologia escolhida que se mostrou adequada para alcançar os resultados desejados.

Em linhas gerais, percebe-se que a implantação do SFCR na edificação não excluiu a dependência da rede da concessionária, mas possibilitou suprir pouco mais de 70% da sua demanda total. Apesar disso, a energia gerada pelo sistema comparado à demanda de energia mensal apresentou valor significativo para a estrutura e parâmetros do edifício, comprovando sua viabilidade técnica.

Da mesma forma, a análise da viabilidade econômica demonstrou que todos os índices financeiros foram favoráveis à realização do investimento. Verificou-se uma boa atratividade do investimento em virtude do *Payback* Descontado se mostrar inferior à vida útil do sistema, sobre uma taxa de retorno considerável, comparado à taxa mínima do mercado.

Cumpre ressaltar que ambos os resultados, técnico e econômico, não consideraram a implementação do SFCR na fase do projeto do edifício. Assim, caso o sistema fosse considerado nessa fase, seria possível planejar uma cobertura que permitisse uma maior área disponível para painéis e melhor posicionamento, maximizado a quantidade de energia produzida.

Os resultados obtidos neste estudo não se aplicam indistintamente para edificações semelhantes, mas apenas para a edificação em questão. Ademais, por se tratar de uma estimativa simplificada, não foram consideradas alterações nas tarifas de energia cobradas pela concessionária e gastos de substituição de componentes do sistema. Tais parâmetros podem apresentar alterações no fluxo de caixa, caso, os moradores optem, na prática, pela implantação de tal sistema.

A utilização de fontes renováveis de energia, como o caso da energia solar fotovoltaica, se mostra relevante para diversificação da matriz energética e minimização da dependência do fornecimento de energia por parte das concessionárias, apesar dos incentivos governamentais se mostrarem incipientes. Neste contexto, o uso de SFCR se mostrou aplicável em *retrofit* de edificações existentes. Como estudos futuros sugere-se a avaliação de viabilidade técnica e econômica da aplicação de SFCR para edificações semelhantes em fase de projeto; comparação da aplicação de placas híbridas (placa única que possui aquecimento solar e energia fotovoltaica) com o sistema fotovoltaico implantado no presente trabalho; aplicação de SFCR em fachada em comparação com a cobertura de edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Cadernos Temáticos. Micro e Minigeração Distribuída**. Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Brasília, DF, Brasil: Centro de Documentação–Cedoc, 2014.

_____. **Resolução Normativa nº 547**, de 16 de abril de 2013. Estabelece procedimentos comerciais para aplicação do sistema de bandeiras tarifárias. Brasília, [201-]. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/documents/656877/14486448/ren2013547.pdf/c891e96e-9d30-43a0-870c-c1c4b725dbbd?version=1.0>. Acesso em 15 mar 2018.

BORDEAUX-REGO, R. **Viabilidade econômico-financeira de projetos**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2015.

GRAÇAS, J. A. **Residências Sustentáveis e sua Contribuição ao Meio Ambiente**. 2010. Dissertação (Mestrado em Construção e Reabilitação Sustentáveis) – Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Minho.

CBIC - CÂMARA BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CONSTRUÇÃO. **Gestão Eficiente da Energia na Indústria da Construção – Energia Solar Fotovoltaica em Condomínios**: Oportunidades, Aplicações e Boas Práticas. Brasília, 2016. Disponível em: <http://cbic.org.br/sites/default/files/Energias_Renovaveis_Port.pdf>.

CEMIG - COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. Valores de Tarifas e Serviços. Belo Horizonte, [201-]. Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso em: 05 jul. 2018.

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.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro, EPE 2012. Disponível em: <http://www.cogen.com.br/content/upload/1/documentos/Solar/Solar_COGEN/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>. Acesso em 16 de maio de 2018.

_____. **Balanço Energético Nacional 2018**: ano base 2017. Rio de Janeiro: EPE, 2018. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf >. Acesso em 08 jun. 2018.

_____. Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil - Condicionantes e Impactos. Rio de Janeiro, EPE 2014. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2019%20-%20%20Inser%C3%A7%C3%A3o%20da%20Gera%C3%A7%C3%A3o%20Fotovoltaica%20Distribu%C3%ADda%20no%20Brasil%20-%20Condicionantes%20e%20Impactos%20VF%20%20(Revisada)[1].pdf>. Acesso em 16 de maio de 2018.

FERREIRA, F. L.; PRADO, R. T. A. **Medição do albedo e análise de sua influência na temperatura superficial dos materiais utilizados em coberturas de edifícios no Brasil**. São Paulo: Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, 2003.

GOOGLE MAPS. Pesquisar. Mountain View, 2017. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps>. Acesso em 20 fev. 2018.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2010**. Brasília, 2017. Disponível em: <http://teen.ibge.gov.br/censo/censo-2010.html>. Acesso em: 05 jul. 2018.

IDEAL - INSTITUTO PARA O DESENVOLVIMENTO DE ENERGIAS ALTERNATIVAS NA AMÉRICA LATINA; AHKRJ - CÂMARA DE COMÉRCIO E INDÚSTRIA BRASIL-ALEMANHA DO RIO DE JANEIRO. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. Florianópolis/Rio de Janeiro: IDEAL/ AHK RJ, 2018. Disponível em: <http://ahkbusiness.de/fileadmin/ahk_business_br/05_Publicacoes-Publikationen/O_Mercado_Brasileiro_de_Geracao_Distribuida_FV_-_2018.pdf>. Acesso em 09 jun. 2018.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L. PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. Rio de Janeiro: EletrobrasProcel, p. 382, 2014. 3ª ed.

MARQUES, J. J. A.; OLIVEIRA, C. S.; DOS SANTOS JÚNIOR, B. F. Instalação de um Sistema Fotovoltaico Misto Considerando a Readequação no Consumo de Energia Elétrica. In: Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), 2016, Natal. **Anais...** Natal: SBSE, 2016.

MORAIS, F. **Análise de Desempenho de Um Sistema Fotovoltaico de 5,2 Kwp Conectado à Rede Instalado na Uece.** 2017. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NAKABAYASHI, R. **Microgeração Fotovoltaica no Brasil: Condições Atuais e Perspectivas Futuras.** 2014. Dissertação (Mestrado em Energia) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: Cepel-Cresesb, 2014.

RABUSKE, R.; FRIEDRICH, L.; FONTOURA, F. **Análise da Viabilidade para implantação de energia fotovoltaica com utilização para sombreamento de estacionamento**. Santa Cruz do Sul: Revista do Cepe, n. 47, p. 36-48, 2018

REIS V. V.; VALVERDE, A. R.; MENDONÇA, R. R. S. Viabilidade Econômica de um Projeto de Micro Geração Fotovoltaica Residencial no Ambiente de Compensação de Energia Elétrica. In: XII Online Conference Business – Third Sector and Social Responsability (Convibra), 2015, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Instituto Pantex de Pesquisa, 2015.

RÜTHER, R. **Edifícios solares fotovoltaicos**: o potencial da geração de energia fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligada à rede elétrica pública no Brasil.1ª ed. Florianópolis: UFSC/LABSOLAR, 2004.

SHAYANI, R. A.; OLIVEIRA, M. A. G.; CAMARGO, I. M. T. Comparação do custo entre energia solar fotovoltaica e fontes convencionais. In: V Congresso Brasileiro de Planejamento Energético (CBPE), 2006, Brasília. **Anais...** Brasília: SBPE, 2006.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia Renovável. Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016.

ZOMER, C. D. **Método de estimativa da influência do sombreamento parcial na geração energética de sistemas solares fotovoltaicos integrados em edificações**. 2014. Tese (doutorado). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFETMG) pelo auxílio ao desenvolvimento deste trabalho.