

Viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico: estudo de caso em uma escola de idiomas, de Brusque - SC

RESUMO

A energia solar fotovoltaica aproveita a incidência dos raios solares na superfície terrestre, caracterizando-se como uma fonte intermitente e inesgotável. Este trabalho tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico conectado à rede de uma Escola de Idiomas de Brusque - SC. Os métodos aplicados consistiram em coletar os dados de consumo, a área disponível para instalação de painéis na cobertura e valores de irradiação solar; caracterizar o sistema, definindo o módulo adotado e verificando a potência necessária. Foram estimados os valores de geração de energia; e determinados os valores de despesas e receitas do sistema. Por fim, os valores encontrados foram submetidos a uma análise de investimento. O sistema foi pré-dimensionado com potencial para gerar anualmente o mesmo consumo elétrico da escola em 2016 e resultou em indicadores econômicos que apontam o investimento como rentável a longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Energia solar fotovoltaica. Energia renovável. Eficiência energética.

Tamily Roedel

bio4tami@yahoo.com.br

Centro Universitário de Brusque -
Brusque, Santa Catarina, Brasil.

Gustavo Mafra

gustavomafra@outlook.com

Centro Universitário de Brusque -
Brusque, Santa Catarina, Brasil.

INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma “matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por 65,2% da oferta interna. As fontes renováveis representam 80,4% da oferta interna de eletricidade no Brasil [...]” (EPE, 2018, p. 16).

Apesar de ser uma fonte renovável, grandes centrais hidrelétricas são constantemente alvo de pressões sociais, principalmente devido aos impactos socioambientais associados às áreas de alagamento para a construção e operação dos reservatórios, tendo-se como exemplo atual a repercussão negativa da Usina de Belo Monte, e diversas outras de menor magnitude e visibilidade. A usina foi construída sob a premissa de ser a única a explorar o potencial hidrelétrico do Rio Xingu, o que é assegurado por decreto (MME, 2009). As crises hídricas vividas pelo país nas últimas décadas também alertam quanto ao risco de dependência desta fonte de energia, que têm o funcionamento comprometido em períodos de longas estiagens de chuva (TOLMASQUIM, 2016).

Enquanto ainda há centenas de milhares de domicílios sem acesso à eletricidade no país, um levantamento realizado pela Empresa de Pesquisa em Energia (EPE) prevê de 2017 a 2026 um aumento no consumo total do país em torno de 40% (EPE, 2017). Com isso, deve ser avaliada a forma como o setor energético conduzirá a expansão ao longo dos anos. O setor se fundamenta em pilares da democracia e do desenvolvimento sustentável para destacar ainda que a forma como se dará esse processo deve estar pautado centralmente nos interesses da população, devendo os impactos socioambientais de cada implantação sugerida serem devidamente estudados, e levadas em conta às experiências anteriores.

Neste contexto, as fontes renováveis alternativas tendem a ganhar cada vez mais espaço, dentre elas a eólica, biomassa e solar, com o papel de promover a diversificação da matriz energética nacional. Além disso, contam com tecnologias de auto geração, permitindo o acesso à eletricidade a populações localizadas em regiões distantes dos centros urbanos e das linhas de transmissão.

Em 2012 e 2015, através de duas medidas regulatórias, Resolução da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) nº 482 e nº 687, a Instituição regularizou no Brasil a micro e mini geração distribuída, permitindo que qualquer pessoa física ou jurídica, além de consumidora, possa também estar conectada à rede elétrica como produtora de energia. A partir de então, instaurou-se o sistema de compensação de energia para sistemas autônomos conectados à rede, o que foi um marco para o avanço da tecnologia fotovoltaica no Brasil, visto que atualmente já conta com 56,9 MW de potência instalada neste modelo (EPE, 2017).

De toda a quantidade de energia eletromagnética proveniente do Sol que incide sobre a superfície terrestre, seria necessário o aproveitamento de apenas “0,01% desta energia para satisfazer a procura energética total da humanidade” (GREENPRO, 2004, pp. 27-28). Diversos países vêm apostando intensamente nesta tecnologia como forma de promover a substituição dos combustíveis fósseis por fontes renováveis de energia (SMETS et al., 2016).

A energia solar fotovoltaica conta com um alto potencial de aproveitamento em todo o território nacional, fato que se deve pela proximidade geográfica com

a Linha do Equador, onde até mesmo o estado de Santa Catarina, situado em uma das regiões menos favoráveis do país, apresenta um potencial superior ao de países como a Alemanha e a Itália, que têm investido nesta tecnologia (TOLMASQUIM, 2016). Ainda assim, é a forma de energia que apresenta menor expressão - de aproximadamente 0,26% - na matriz energética brasileira (ANEEL, 2017).

A energia solar fotovoltaica se caracteriza como uma fonte de energia renovável, limpa, e que vem crescendo de maneira exponencial nas últimas décadas. Segundo Ruther (2004), é caracterizada por: possibilitar a geração no próprio ponto de consumo, reduzindo a necessidade de extensas linhas de transmissão; ter fácil operabilidade; não emitir ruídos; ser modular – ou seja, passível à escalabilidade do sistema; e ainda, poder ser integrada às edificações, aspecto que torna o sistema fotovoltaico tema de grande interesse para a construção civil, sendo um dos elementos considerados em análises de ciclo de vida e certificações de desempenho de edificações, como os selos PROCEL EDIFICA e *Leadership in Energy Environmental Design* (LEED).

Com base no exposto, e tendo passados alguns anos da regulamentação da microgeração no Brasil, buscou-se saber a viabilidade econômica da implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede a fim de suprir a demanda energética de uma Escola de Idiomas, situada no meio urbano, no município de Brusque - SC.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico conectado à rede desta Escola de Idiomas, em Brusque - SC, na tentativa de suprir toda a demanda energética e melhorar seu desempenho ambiental. E como objetivos específicos coletar dados do consumo elétrico anual e da área útil do telhado da escola, e valores da irradiação solar específicos do local de estudo; caracterizar os módulos adotados para o estudo, definindo aspectos específicos de instalação; determinar a quantidade de módulos a partir do método de pré-dimensionamento de sistema fotovoltaico; estimar a geração mensal de energia elétrica com a instalação do sistema; estimar as despesas e as receitas geradas pelo sistema por um período de 25 anos; e fazer uma análise do investimento do sistema.

A escolha pela energia solar fotovoltaica como objeto do estudo de caso se dá pela sua ainda inexpressiva participação na matriz energética brasileira (ANEEL, 2017); pelo seu grande crescimento nos últimos anos, após regulamentação da geração distribuída no país; por poder ser integrada facilmente e prover melhor balanceamento energético às edificações, passando a ser elemento diferencial destas, dando utilidade a áreas antes inutilizadas, sem gerar perturbações sonoras ou visuais; e contribuindo para a redução de emissões de gases de efeito estufa na atmosfera (RUTHER, 2004).

METODOLOGIA

TIPO DE PESQUISA

Procedeu-se à pesquisa partindo de uma abordagem quali-quantitativa, método exploratório e descritivo, com tipo de pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

A pesquisa qualitativa propicia o aprofundamento necessário para compreender a dinâmica social implícita ao conceito de sustentabilidade. Para Minayo (2001, p. 14) a pesquisa qualitativa "trabalha com o universo de significados, motivos, [...], valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e nos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis". A pesquisa quantitativa, por outro lado, resulta em valores quantificáveis, tendo raízes no pensamento positivista, que busca explicações através do raciocínio lógico e dedutivo, sob um determinado cenário, formado por princípios fundamentais, regras previamente estipuladas e atributos mensuráveis (POLIT; BECK; HUNGLER, 2004). Desta forma, entende-se que as abordagens não se sobrepõem, mas se complementam, ao permitirem a análise do objeto de estudo a partir de "aspectos dinâmicos, holísticos e individuais da experiência humana, para apreender a totalidade no contexto daqueles que estão vivenciando o fenômeno" (POLIT; BECK; HUNGLER, 2004, p. 201).

O método exploratório de pesquisa tem por objetivos, segundo Gil (2007), proporcionar informações necessárias para entendimento do assunto investigado e delimitar o tema da pesquisa de acordo com os objetivos fixados. Permite ainda traçar hipóteses que auxiliem na busca dos resultados, resultando em possíveis novos enfoques sobre o objeto de estudo. Geralmente, pesquisas dessa natureza envolvem levantamento bibliográfico, entrevistas com pessoas que experienciaram o problema e análise de exemplos que auxiliam na compreensão do objeto de estudo (GIL, 2007).

Através do método descritivo, têm-se como objetivo proporcionar ao leitor maior familiaridade com o tema, ao descrever a natureza dos fenômenos estudados, a forma como se dá, as características e os processos associados. Nas pesquisas descritivas, procura-se conhecer e interpretar a realidade, sem nela interferir para poder modificá-la (MARCONI; LAKATOS, 2010).

A pesquisa bibliográfica é fundamental para aprofundar os estudos acerca do que envolve o tema e ampliar horizontes sobre o objeto de pesquisa a partir do que já foi pesquisado por outros autores, estendendo a compreensão do objeto de pesquisa a diferentes perspectivas. Segundo Fonseca (2002, p. 32), "a pesquisa bibliográfica é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites".

O estudo de caso, por sua vez, é caracterizado pelo aprofundamento "sobre um ou poucos objetos, de maneira a permitir seu conhecimento amplo e detalhado" (GIL, 2007, p. 72).

COLETA E ANÁLISE DOS DADOS

O acesso às informações de consumo de energia elétrica do estabelecimento que situa o estudo de caso se deu através de diversas faturas da concessionária de fornecimento elétrico local disponibilizadas pela proprietária da escola. A

fatura de cada mês apresenta também o consumo dos 12 meses anteriores (2016), o que facilitou o levantamento dos dados.

Outros conteúdos, como a planta baixa de cobertura da edificação, que possibilitou a determinação da área de telhado disponível, foram manipulados no software AutoCAD a partir de arquivos disponibilizados cordialmente pela empresa Cota 7 Engenharia Civil e Ambiental.

Para extrair os dados de irradiação solar, expresso em kWh/m²/dia, procedeu-se à simulação disponível no site do Projeto América do Sol (2017) - iniciativa do Instituto para o Desenvolvimento das Energias Alternativas na América Latina - IDEAL, que por sua vez utiliza da fonte de dados do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). O processo consiste em, primeiramente extrair as coordenadas geográficas (latitude e longitude) por meio do *software Google Earth*. Ao alimentar o formulário, é retornada uma análise de irradiação solar da região.

Posteriormente, procedeu-se à tabulação dos dados obtidos em planilhas do *software* Microsoft Excel, de onde se pôde extrair a média anual base para pré-dimensionar o sistema, bem como gráficos que apresentam visualmente os resultados obtidos.

De forma a estipular o número de módulos para geração fotovoltaica com base nos dados coletados, procedeu-se ao pré-dimensionamento e caracterização do sistema. Segundo Marinoski, Salamoni e Rütther (2004), calcula-se a potência nominal necessária (P_{cc}) através da Equação 1.

$$P_{cc} = \frac{(E/G_{poa})}{R} \quad (1)$$

Onde:

P_{cc} = Potência média necessária (kWpcc);

E = Consumo médio diário durante o mês/ano (kWh/dia);

G_{poa} = Ganho por radiação solar: média mensal/anual do total diário (kWh/m²/dia);

R = Rendimento do sistema (%).

Em seguida é calculada a área necessária de telhado para disposição dos painéis fotovoltaicos, mediante a Equação 2.

$$A_{total} = \frac{P_{cc}}{E_{ff}} \quad (2)$$

Onde:

A_{total} = Área de painéis (m²);

P_{cc} = Potência média necessária (kWpcc);

E_{ff} = Eficiência do painel (%).

Após pré-determinada a potência instalada do sistema, utilizando o valor de média anual de irradiação solar, pode-se reapplicar a Equação 1 utilizando valores de irradiação média respectivos a cada mês, e a geração estimada se expressará na variável “E”, em kWh/dia. Multiplica-se o valor pelo número de dias do mês e terá a estimativa de geração mensal em kWh.

LEVANTAMENTO DE DESPESAS E RECEITAS

Buscou-se estimar as despesas e receitas do sistema fotovoltaico a se instalar. As despesas contemplam o investimento inicial e operações de manutenção, correspondente a 3% das receitas mensais. As receitas refletem a estimativa de economia gerada nas faturas de consumo elétrico ao longo de 25 anos.

Dessa forma, o investimento inicial leva em consideração a estrutura Capex (*Capital Expenditure*) elaborada por Landeira (2013). O autor apresenta com base em estudos valores monetários nacionais dos módulos, inversores, equipamentos elétricos auxiliares e da instalação de energia fotovoltaica conectada à rede, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Composição de custos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.

Estrutura CapEx	Valor	Unidade	Porcentagem
Módulos	2,47	R\$/Wp	40,76%
Inversores	0,9	R\$/Wp	14,69%
Equipamentos elétricos auxiliares	1,7	R\$/Wp	28,05%
Instalação	1	R\$/Wp	16,50%
TOTAL	6,07	R\$/Wp	100%

Fonte: Adaptado de Landeira (2013, p. 78).

As receitas são calculadas a partir de planilhas do *software* Microsoft Excel, através da comparação estimativa de faturas de consumo elétrico com e sem a instalação do sistema fotovoltaico por um período de 25 anos. Para isso, foi delimitado um cenário pré-definido para a simulação de valores.

Observou-se nas faturas de consumo elétrico do estabelecimento que a tarifa cobrada por kWh para a classe em que se enquadra a escola teve uma média observada em torno de R\$ 0,60. Este valor foi adotado para fins estimativos, visando quantificar a economia que o sistema pode propiciar. Vale ressaltar também que a concessionária local cobra um valor de tarifa mínimo - correspondente a 100 kWh para sistemas trifásicos, mesmo que esta energia não seja demandada no mês.

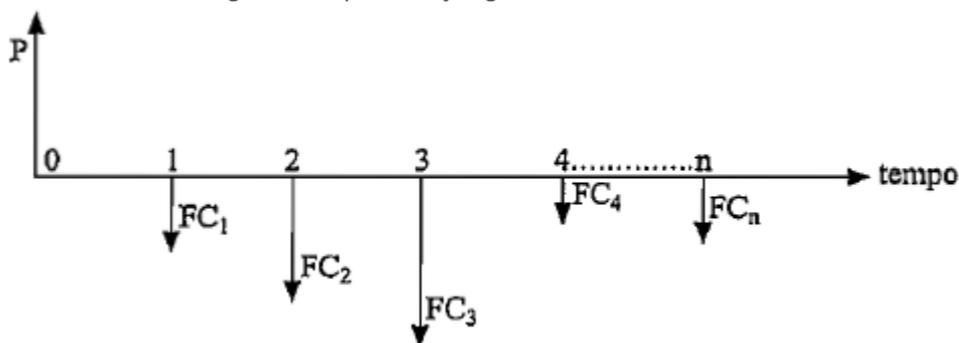
FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE INVESTIMENTO

A seguir são apresentados os instrumentos e indicadores utilizados para fundamentar a análise econômico-financeira do sistema fotovoltaico.

O fluxo de caixa é um instrumento que visa registrar entradas e saídas monetárias de uma empresa ou pessoa física sob determinados períodos de tempo (SAMANEZ, 2007). Desta forma, para Puccini (2011, p. 20), “fluxo de caixa

é uma sucessão temporal de entradas e de saídas de dinheiro no caixa de uma entidade”. Pode ser visualmente expressado por diagramas, onde o ponto 0 indica a data inicial de investimento, o ponto 1 o primeiro dia, mês ou ano conforme definição unitária, e assim sucessivamente (Figura 1).

Figura 1 - Representação gráfica do fluxo de caixa.



Fonte: Samanez (2007, p. 165).

O princípio do Valor Presente Líquido (VPL) parte, em admitir que o valor do dinheiro varia em função do tempo, o que resulta em incertezas para os investimentos. Frente a essa limitação, para possibilitar a análise econômica, o VPL consiste em transpor para valores líquidos presentes um determinado período de fluxos de caixa, que leva em conta o investimento inicial e receitas geradas, descontando-se uma taxa de juros compostos (PUCCINI, 2011). Desta forma, para Samanez (2007, p. 179), "o método do Valor Presente Líquido (VPL) tem por finalidade calcular, em termos de valor presente, o impacto dos eventos futuros associados a uma alternativa de investimento".

Matematicamente, corresponde à somatória de todos os valores negativos (investimentos) e positivos (receitas) dos fluxos de caixa, estes já aplicados a uma taxa de desconto previamente estipulada pelo investidor, denominada de Taxa Mínima de Atratividade (TMA).

Esta se refere ao retorno esperado pelo investidor para que obtenha os ganhos financeiros desejados, e é expressa em uma porcentagem periódica. Casarotto e Kopittke (2008, p. 107) destacam que um investimento "deve render, no mínimo, a taxa de juros equivalente rentabilidade das aplicações correntes e de pouco risco. Esta é, portanto, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA)".

O VPL é calculado através da Equação 3.

$$VPL(i) = \sum_{j=0}^n FC_j / (1+i)^j \quad (3)$$

Onde:

i = Taxa de desconto (usualmente empregada a TMA);

j = Período admitido no projeto (j = 0 a j = n), percorrendo todo o fluxo de caixa;

FCj = Fluxo de caixa genérico para $t = [0... n]$ que pode ser negativo (investimento) ou positivo (receita);

VPL(i) = Valor Presente Líquido descontado a uma taxa "i"; a um período de "n" fluxos de caixa.

Como fator de decisão, a análise é simples: se VPL for maior que zero, se aceita o projeto; pois o investimento gerará um retorno maior do que seu custo de capital; se o VPL for menor que zero, rejeita-se o projeto (PUCCINI, 2011).

Outro método para análise de investimento realizado é através da determinação da Taxa Interna de Retorno (TIR), tida como um parâmetro interno por se referenciar apenas nos fluxos de caixa projetados de um determinado projeto, e seu cálculo independe de taxas externas - o que a difere conceitualmente da TMA. Essa característica a torna amplamente empregada para avaliação de investimentos e tomada de decisões, já que permite saber a exata taxa de juros mínima para que o valor presente das entradas de caixa iguale o valor presente das saídas do capital (ROOS; WESTERFIELD; JAFFE, 1995; SAMANEZ, 2007).

Assim sendo, o TIR está diretamente associado ao VPL, e pode ser calculado com a mesma equação. Iguala-se o VPL a zero, faz-se o somatório dos fluxos de caixa, mantendo a taxa de desconto (i) como variável a ser determinada. Esta resultará no valor da TIR. No caso de um fluxo de caixa simples, ou seja, com um investimento inicial e apenas receitas geradas a partir de então, se obterá apenas um valor de TIR. Fluxos de caixa mistos, ou seja, que contam com variações negativas e positivas pelo período de tempo, resultam em diferentes valores de TIR. caso em que é sugerida a interpolação dos resultados para a análise (SAMANEZ, 2007).

O *payback* nominal se trata, fundamentalmente, do tempo de recuperação de um capital, desconsiderando as taxas que incidem periodicamente. É definido por Gitman (2002, p. 327) como "o período de tempo exato necessário para empresa recuperar seu investimento inicial em um projeto, a partir das entradas de caixa".

É calculado tendo como base o fluxo de caixa acumulado, onde se observa a posição do fluxo em que o montante passa de negativo para positivo. Com a Equação 4 então se determina este exato momento:

$$PRI = p + \frac{(CF_p)}{CF_p - CF_{p+1}} \quad (4)$$

Onde:

p = Período imediatamente anterior ao momento em que o fluxo de caixa acumulado passa de negativo a positivo;

CF_p = Fluxo de caixa acumulado no período “p”;

CF_{p+1} = Fluxo de caixa acumulado no período “p+1”.

Como fator de tomada de decisão, tem-se o seguinte critério, subjetivo ao investidor: “se o período de *payback* for menor que o período de *payback* máximo aceitável, aceita-se o projeto; se o período de *payback* for maior que o período de *payback* aceitável, rejeita-se o projeto” (GITMAN, 2002, p. 327).

O *payback* descontado busca utilizar em conjunto os conceitos apresentados anteriormente, pois visa calcular o tempo de retorno de um investimento considerando as taxas descontadas nos respectivos fluxos de caixa. Desta forma, para Samanez (2007, p. 256), “utiliza-se o *payback* [descontado] como um complemento do método do VPL”.

Utiliza-se no cálculo a Equação 3, a mesma do cálculo do VPL. Iguala-se este a 0, atribui-se a taxa aplicada, e mantém-se como variável o período “j”, que resultará no tempo de retorno do investimento considerando custos implícitos do capital.

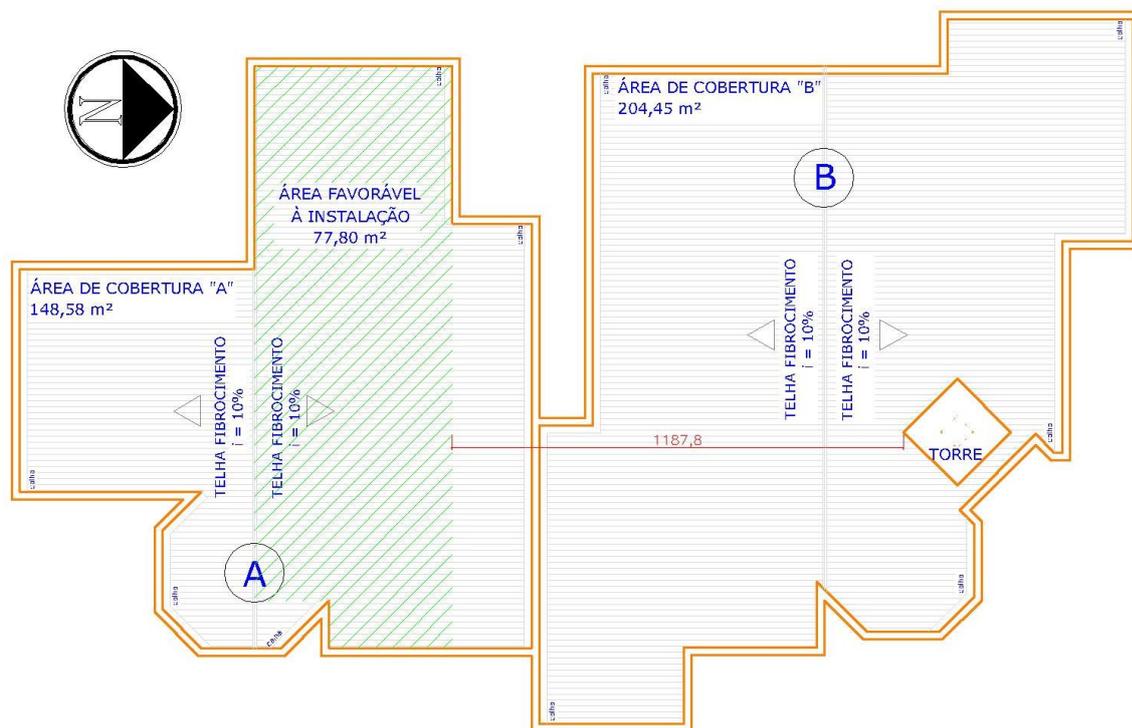
DESENVOLVIMENTO (RESULTADOS E DISCUSSÕES)

A ESCOLA DE IDIOMAS

Para melhorar a delimitação do objeto de estudo, é avaliado primeiramente o espaço físico, e em seguida, parâmetros importantes para o pré-dimensionamento do sistema fotovoltaica, como o consumo anual de energia elétrica e a irradiação solar da localidade.

Conforme planta baixa da cobertura, a área total disponível de telhado é de 353,03 m². É importante observar, no entanto, que as placas devem estar voltadas à Linha do Equador, neste caso ao norte, o que favorece sua instalação nas águas de telhado voltadas a essa direção. Devido a ocorrência de uma torre localizada na cobertura “B”, não é recomendada a instalação de painéis nas proximidades pelas perdas relacionadas ao sombreamento. A instalação ficaria restrita então à cobertura “A”, com sua face voltada ao norte correspondendo a área hachurada na Figura 2, com área de 77,80 m².

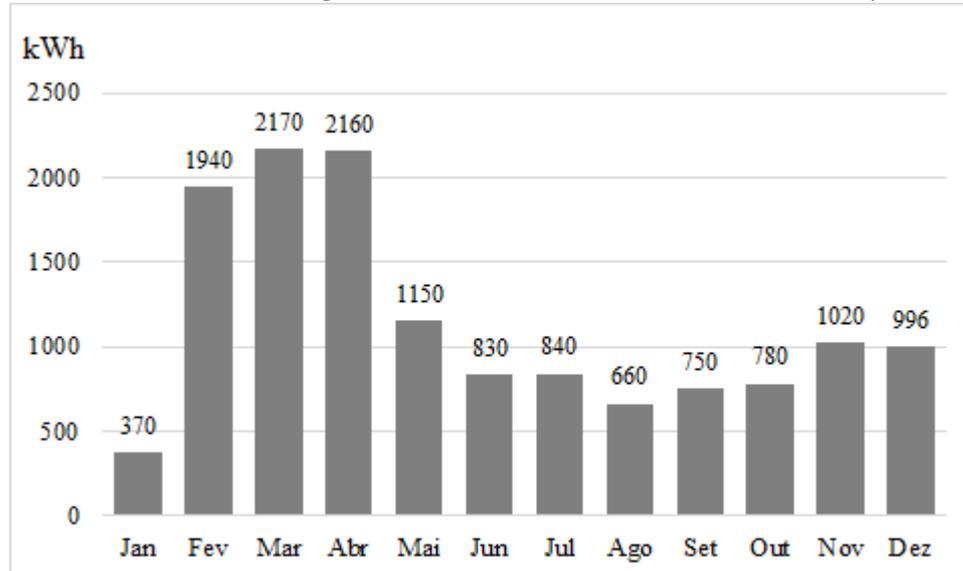
Figura 2 - Planta de cobertura da edificação em estudo.



Fonte: Elaborado com base em arquivos fornecidos pela empresa Cota 7 Engenharia (2017).

O consumo anual de energia da Escola de Idiomas está apresentado no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Consumo de energia no ano de 2016 da Escola de Idiomas, em Brusque - SC.



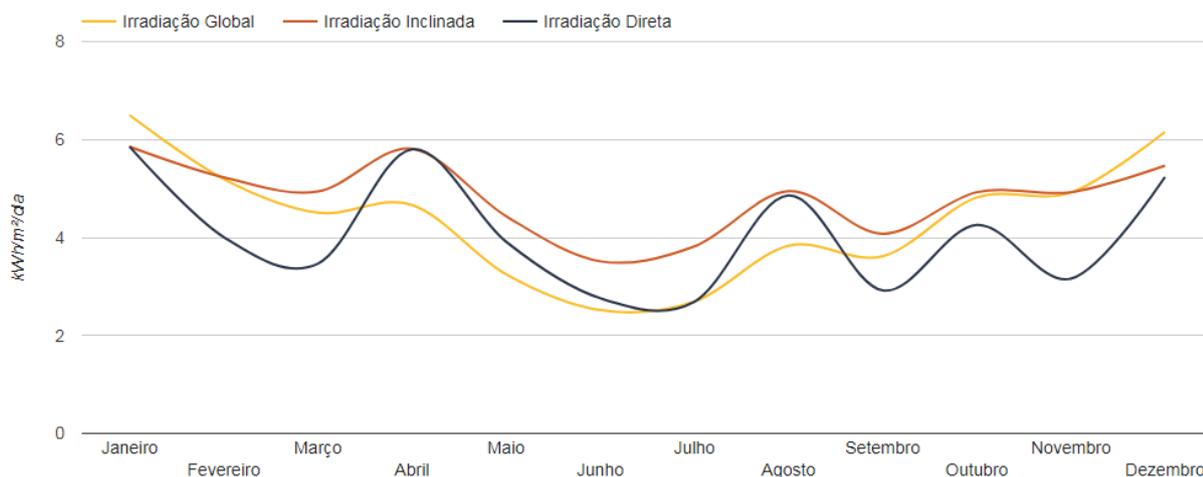
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

No ano de 2016 a Escola de Idiomas consumiu um total de 13.686 kWh de energia elétrica, resultando em um consumo médio diário de aproximadamente 37,50 kWh. O Gráfico 1 indica que janeiro demanda o menor consumo elétrico (370 kWh), devido à redução de atividades na escola. Os meses seguintes, fevereiro (1940 kWh), março (2170 kWh) e abril (2160 kWh), são os que

apresentam o maior consumo, principalmente devido às altas temperaturas e consequente uso de ar condicionados para climatização.

O Gráfico 2 apresenta variações de irradiação global, inclinada e direta ao longo do ano para as coordenadas geográficas da escola de idiomas.

Gráfico 2 - Variação de irradiação solar em Brusque-SC ao longo do ano.



Fonte: Adaptado de Projeto América do Sol (2017).

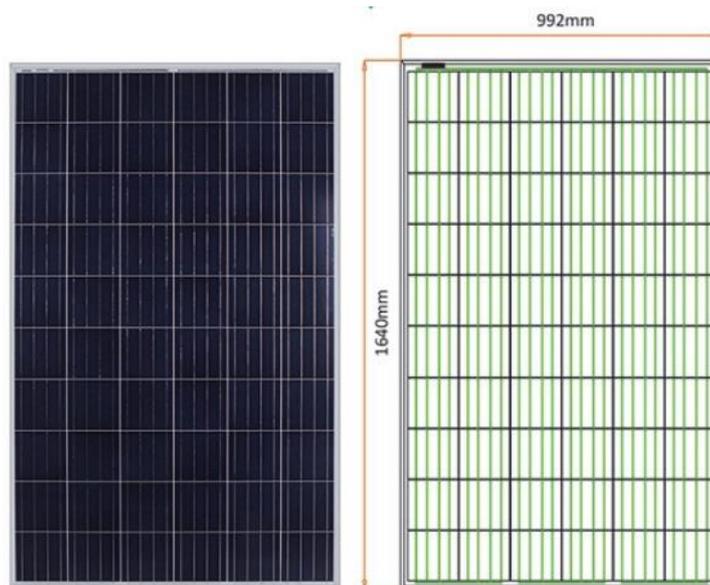
Constatou-se que a média de irradiação global anual é de 4,40 kWh/m²/dia, de irradiação inclinada de 4,83 kWh/m²/dia, e irradiação direta de 4,08 kWh/m²/dia. Este último valor, representando o menor entre os três, foi adotado para fins estimativos de geração.

CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A seguir são apresentadas as especificidades do sistema fotovoltaico a ser dimensionado.

Como referência ao estudo, é adotado o modelo de painel solar fotovoltaico da fabricante Renesola, com área aproximada de 1,60 m², potência nominal de 250 Wp e eficiência das células de 15,4%. O produto é facilmente encontrado nas principais lojas varejistas e certificado pelas ISO 9001 e ISO 14001, se apresentando conforme Figura 3.

Figura 3 - Módulo da fabricante Renosolar.



Fonte: Renesola (2017).

A posição ótima dos painéis é voltada ao norte geográfico e com inclinação igual à latitude da região - no caso de Brusque-SC, por volta dos 27° . Como a inclinação do telhado é substancialmente menor, com grau de inclinação de 10% ($5,7^\circ$), devem ser utilizadas estruturas capazes de garantir o ângulo ideal.

Aplicando-se os parâmetros coletados às equações apresentadas anteriormente, estipula-se a potência nominal a ser instalada.

O Quadro 1 apresenta os parâmetros adotados e resultados obtidos no pré-dimensionamento.

Quadro 1 - Dados do pré-dimensionamento.

Parâmetros adotados	
Rendimento	90%
Potência nominal unitária dos painéis	250 W
Média de irradiação solar anual	4,08 kWh/m ²
Consumo médio diário	37,5 kWh
Resultados obtidos	
Potência nominal calculada	10,21 kW
Potência nominal adotada	10 kW
Quantidade de painéis	40 um.
Área ocupada	64,94 m ²

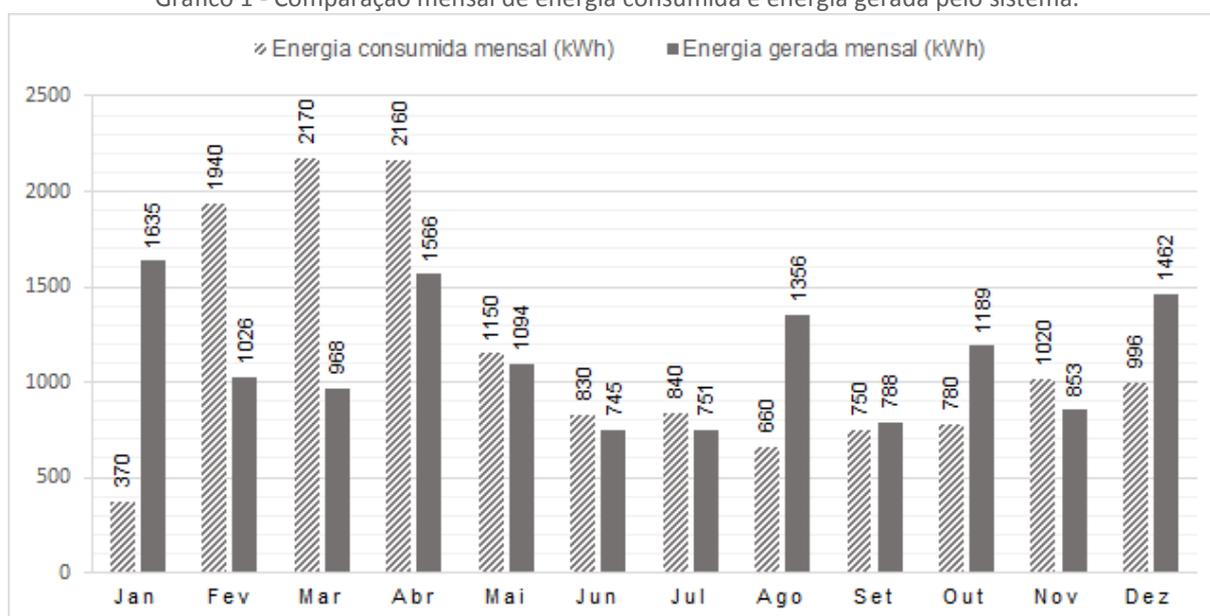
Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O sistema é tecnicamente viável, já que a área a ser ocupada determinada no pré-dimensionamento seria de 64,94 m² (Quadro 1), valor superior à área disponível de telhado encontrada no item 4.1.1, de 77,80 m².

Tendo a capacidade instalada do sistema, pode-se aplicar novamente a Equação 1, utilizando valores de irradiação solar respectivos a cada mês, de forma a estimar a geração do sistema fotovoltaico e a capacidade de suprir a demanda energética ao longo de um ano típico.

Inicialmente, é apresentado o Gráfico 3, que apresenta valores de consumo do ano de 2016 e da geração estimada com o sistema fotovoltaico pré-dimensionado para cada mês do ano.

Gráfico 1 - Comparação mensal de energia consumida e energia gerada pelo sistema.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O total de energia gerada quase igualou o de consumida, com capacidade de suprimento de 98,29% da demanda energética. O consumo maior foi registrado nos meses de fevereiro, março e abril, e são compensados a partir de agosto até janeiro, balanceando os valores de consumo e geração (Gráfico 3).

LEVANTAMENTO DE DESPESAS E RECEITAS

O valor de investimento inicial é expressado no Quadro 2, que leva em conta o custo de Watt de potência instalada adotado, com base em Landeira (2013).

Quadro 2 - Estimativa de custo do sistema pré-dimensionado.

Custos de instalação	
Potência nominal do sistema	10 kW
Custo por Watt de potência instalada	R\$ 6,07
Investimento inicial	R\$ 60.700,00

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

Na projeção futura do consumo elétrico são simulados os valores das faturas decorrentes do consumo de energia elétrica. Primeiramente, para teor comparativo, é apresentado o cenário típico, sem a instalação de sistemas fotovoltaicos, conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Projeção estimativa das faturas de consumo elétrico anteriores à instalação do sistema.

Tabela de simulação de fatura de consumo elétrico mensal - Cenário típico sem geração fotovoltaica								
Mês	Consumo em 2016 (kWh)	Geração estimada (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Consumo faturado (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo efetivo (R\$)	ICMS (25%)	Despesa total (R\$)
Janeiro	370	981	611	100	0,60	R\$ 222,00	R\$ 55,50	R\$ 277,50
Fevereiro	1940	615	0	714		R\$ 1.164,00	R\$ 291,00	R\$ 1.455,00
Março	2170	581	0	1589		R\$ 1.302,00	R\$ 325,50	R\$ 1.627,50
Abril	2160	940	0	1220		R\$ 1.296,00	R\$ 324,00	R\$ 1.620,00
Maiο	1150	656	0	494		R\$ 690,00	R\$ 172,50	R\$ 862,50
Junho	830	447	0	383		R\$ 498,00	R\$ 124,50	R\$ 622,50
Julho	840	450	0	390		R\$ 504,00	R\$ 126,00	R\$ 630,00
Agosto	660	814	154	100		R\$ 396,00	R\$ 99,00	R\$ 495,00
Setembro	750	473	0	123		R\$ 450,00	R\$ 112,50	R\$ 562,50
Outubro	780	713	0	100		R\$ 468,00	R\$ 117,00	R\$ 585,00
Novembro	1020	512	0	508		R\$ 612,00	R\$ 153,00	R\$ 765,00
Dezembro	996	877	0	119		R\$ 597,60	R\$ 149,40	R\$ 747,00
TOTAL ANUAL						R\$ 8.199,60	R\$ 2.049,90	R\$ 10.249,50

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Tabela 3 apresenta as simulações de fatura no primeiro ano após a instalação do sistema fotovoltaico de 10 kW de potência.

Tabela 3 - Estimativa das faturas de consumo elétrico no primeiro ano de funcionamento do sistema.

Tabela de simulação de fatura de consumo elétrico mensal - 1º ano do sistema								
Mês	Consumo em 2016 (kWh)	Geração estimada (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Consumo faturado (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Despesa efetiva (R\$)	ICMS (25%)	Despesa total (R\$)
Janeiro	370	1635	1265	100	0,60	R\$ 60,00	R\$ 55,50	R\$ 115,50
Fevereiro	1940	1026	351	100		R\$ 60,00	R\$ 291,00	R\$ 351,00
Março	2170	968	0	851		R\$ 510,60	R\$ 325,50	R\$ 836,10
Abril	2160	1566	0	594		R\$ 356,40	R\$ 324,00	R\$ 680,40
Maiο	1150	1094	0	100		R\$ 60,00	R\$ 172,50	R\$ 232,50
Junho	830	745	0	100		R\$ 60,00	R\$ 124,50	R\$ 184,50
Julho	840	751	0	100		R\$ 60,00	R\$ 126,00	R\$ 186,00
Agosto	660	1356	696	100		R\$ 60,00	R\$ 99,00	R\$ 159,00
Setembro	750	788	734	100		R\$ 60,00	R\$ 112,50	R\$ 172,50

Outubro	780	1189	1143	100		R\$ 60,00	R\$ 117,00	R\$ 177,00
Novembro	1020	853	976	100		R\$ 60,00	R\$ 153,00	R\$ 213,00
Dezembro	996	1462	1442	100		R\$ 60,00	R\$ 149,40	R\$ 209,40
TOTAL ANUAL						R\$ 1.467,00	R\$ 2.049,90	R\$ 3.516,90

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A economia, ou receita gerada, representa a diferença entre as despesas anuais do cenário típico e sistema delimitado nesta pesquisa. A receita anual para o primeiro ano foi de R\$ 6.732,60.

A Tabela 4 apresenta as estimativas a partir do segundo ano de funcionamento do sistema, que já inicia com créditos acumulados do primeiro ano.

Tabela 4 - Estimativa das faturas de consumo elétrico a partir do segundo ano de funcionamento do sistema.

Tabela de simulação de fatura de consumo elétrico mensal - 2º ano em diante após o sistema								
Mês	Consumo em 2016 (kWh)	Geração estimada (kWh)	Crédito acumulado (kWh)	Consumo faturado (kWh)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo efetivo (R\$)	ICMS (25%)	Despesa total (R\$)
Janeiro	370	1635	2707	100	0,60	R\$ 60,00	R\$ 55,50	R\$ 115,50
Fevereiro	1940	1026	1793	100		R\$ 60,00	R\$ 291,00	R\$ 351,00
Março	2170	968	591	100		R\$ 60,00	R\$ 325,50	R\$ 385,50
Abril	2160	1566	0	100		R\$ 60,00	R\$ 324,00	R\$ 384,00
Mai	1150	1094	0	100		R\$ 60,00	R\$ 172,50	R\$ 232,50
Junho	830	745	0	100		R\$ 60,00	R\$ 124,50	R\$ 184,50
Julho	840	751	0	100		R\$ 60,00	R\$ 126,00	R\$ 186,00
Agosto	660	1356	696	100		R\$ 60,00	R\$ 99,00	R\$ 159,00
Setembro	750	788	734	100		R\$ 60,00	R\$ 112,50	R\$ 172,50
Outubro	780	1189	1143	100		R\$ 60,00	R\$ 117,00	R\$ 177,00
Novembro	1020	853	976	100		R\$ 60,00	R\$ 153,00	R\$ 213,00
Dezembro	996	1462	1442	100		R\$ 60,00	R\$ 149,40	R\$ 209,40
TOTAL ANUAL						R\$ 720,00	R\$ 2.049,90	R\$ 2.769,90

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A receita gerada anualmente a partir do segundo ano foi estimada em R\$ 7.479,60. Observou-se que, no primeiro ano, a escola ainda teria nos meses de março e abril um consumo maior do que 100 kWh, demandando energia suplementar. A partir do segundo ano, no entanto, devido ao crédito acumulado do ano anterior no sistema de geração distribuída, as faturas tendem a se manter mínimas.

ANÁLISE DO INVESTIMENTO

O fluxo de caixa do projeto, presente na Tabela 5, contabiliza o investimento inicial feito no período 0, e a partir do ano 1 as receitas geradas pelo sistema. Desta, já foi descontada uma parcela de 3%, destinada à manutenção do sistema ao longo de sua vida útil.

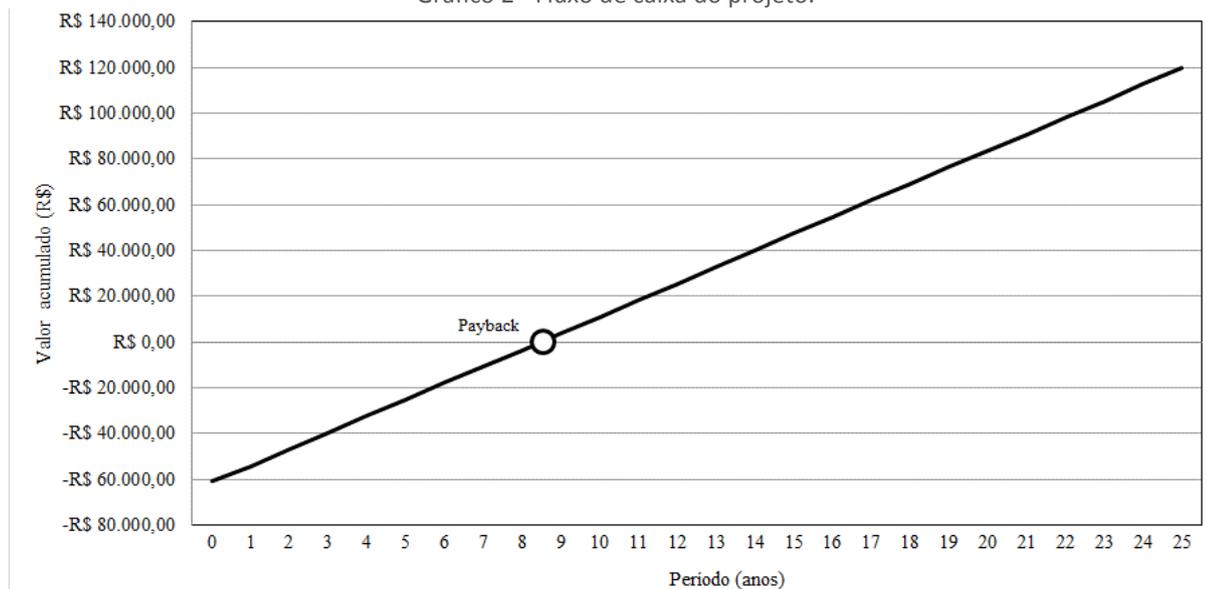
Tabela 5 - Fluxo de caixa do projeto.

Fluxo de caixa		
Ano	Movimentação	Acumulado
0	-R\$ 60.700,00	-R\$ 60.700,00
1	R\$ 6.530,62	-R\$ 54.169,38
2	R\$ 7.255,21	-R\$ 46.914,17
3	R\$ 7.255,21	-R\$ 39.658,95
4	R\$ 7.255,21	-R\$ 32.403,74
5	R\$ 7.255,21	-R\$ 25.148,53
6	R\$ 7.255,21	-R\$ 17.893,32
7	R\$ 7.255,21	-R\$ 10.638,11
8	R\$ 7.255,21	-R\$ 3.382,89
9	R\$ 7.255,21	R\$ 3.872,32
10	R\$ 7.255,21	R\$ 11.127,53
11 a 24	R\$ 7.255,21	...
25	R\$ 7.255,21	R\$ 119.955,71

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A seguir apresenta-se o Gráfico 4, que ilustra as movimentações de capital durante o período de 25 anos. É possível observar o período de retorno do capital investido (*payback*), quando a linha cruza o eixo referente ao valor acumulado de R\$ 0,00.

Gráfico 2 - Fluxo de caixa do projeto.



Fonte: Dados da pesquisa (2017).

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) para a análise foi fixada em 10% a.a., valor superior à taxa SELIC referente ao dia 07/11/2017, de 7,40% a.a., conforme consulta online junto ao Banco Central do Brasil - BCB. A taxa SELIC é uma importante referência, sendo definida como a “taxa média ajustada dos financiamentos diários apurados no Sistema Especial de Liquidação e de Custo/dia - SELIC para títulos federais” (BCB, 2017).

Por fim, o Quadro 3 expressa os resultados obtidos a partir da aplicação de ferramentas de análise de investimentos.

Quadro 3 - Indicadores econômico-financeiros do projeto.

Medidores de análise de investimento	
VPL - Valor Presente Líquido (R\$)	R\$ 4.603,00
TIR anual (%)	11,40%
Payback nominal	8 anos, 3 meses e 18 dias
Payback descontado	19 anos, 6 meses e 11 dias

Fonte: Dados da pesquisa (2017).

O *payback*, ou tempo de retorno simples do investimento, calculado em 8 anos e 3 meses e 18 dias, representa menos de um terço da vida útil do sistema. Ou seja, a partir desse tempo, o investimento inicial já foi absorvido e os painéis continuam gerando energia e consequentemente economia nas faturas.

Os resultados apontam para um Valor Presente Líquido (VPL) positivo, e uma Taxa Interna de Retorno (TIR) de 11,40%, o que caracteriza um investimento rentável a valores monetários presentes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo geral analisar a viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico conectado à rede em uma Escola de Idiomas situada em Brusque - SC, na tentativa de suprir toda a demanda energética desta, contribuindo para um melhor desempenho ambiental no ciclo de vida da edificação.

Foram propostos seis objetivos, sendo o primeiro coletar dados do consumo elétrico anual, o que foi obtido mediante a proprietária da Escola de Idiomas; a área disponível para instalação de painéis na escola, que pôde ser determinada através do software AutoCAD a partir de arquivos cedidos pela empresa Cota 7 Engenharia; e valores típicos de irradiação solar para as coordenadas geográficas da área de estudo foram obtidos com auxílio do aplicativo web do Projeto América do Sol.

O segundo objetivo era caracterizar os módulos e aspectos da instalação do sistema fotovoltaico. A definição de um modelo de painel serviu como referência para parâmetros de eficiência das células e dimensões (área) por painel fotovoltaico. O modelo foi escolhido a partir de pesquisa bibliográfica e teve como critério a facilidade de aquisição, pela presença nos principais varejistas, e adequação ao Instituto de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO).

Aspectos da instalação, especialmente quanto à inclinação dos painéis, foram definidos com base em conceitos apresentados no decorrer do referencial teórico, com base também em pesquisa bibliográfica.

O terceiro objetivo consistiu em determinar a quantidade de módulos necessários para suprir a demanda energética da escola. O pré-dimensionamento foi realizado com base na média de irradiação solar anual e de consumo médio diário de energia da edificação, a partir das equações apresentadas. Obteve-se a potência nominal do sistema e verificou-se que a área a ser ocupada pelos painéis é menor do que a área disponível para a instalação na cobertura.

Após definição da potência nominal do sistema, o quarto objetivo visava estimar a geração mensal de energia elétrica com a instalação do sistema em estudo, e foi alcançado através da aplicação da equação com valores de irradiação desta vez respectivos à média de cada mês, obtendo valores típicos para cada um destes, expressados através de um gráfico. Este comparou mensalmente o consumo do ano de 2016 com o potencial de geração do sistema fotovoltaico.

O quinto objetivo consistiu em estimar as despesas e as receitas geradas pelo sistema pelo seu período de vida útil, considerado de 25 anos. As despesas correspondem ao investimento requerido inicialmente, que foi determinado com base em pesquisa bibliográfica, e às manutenções, consideradas 3% das receitas geradas pelo sistema. As receitas corresponderam à diferença de valores monetários entre as faturas de consumo elétrico sem e com a instalação dos painéis fotovoltaicos. Para alcançar este objetivo foi delimitado um cenário típico, em que o consumo e a tarifa de 2016 foram mantidos ao longo do tempo, e as faturas de consumo elétrico foram então projetadas obtendo-se valores representativos das receitas gerada pelo sistema. Destes valores, foi subtraído 3% destinado às manutenções.

Por fim, o sexto objetivo específico pretendia fazer uma análise do investimento do sistema. Este foi atingido a partir do fluxo de caixa do projeto, onde através dos valores do levantamento das despesas e receitas, elaborou-se um gráfico que mostra a movimentação financeira estimada ao longo do tempo. Além disso, foram aplicadas outras ferramentas de análise de investimento, o *payback* simples e descontado, o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR), cujos resultados foram apresentados em um quadro.

Os indicadores econômicos encontrados no estudo foram satisfatórios, com um período de retorno simples do investimento relativamente curto, de pouco mais de 8 anos e 3 meses e VPL positivo a uma taxa de desconto de 10%. Desta forma, o sistema fotovoltaico conectado à rede analisado se apresenta uma alternativa rentável a um longo prazo, além de contribuir para a redução no aquecimento global, sem gerar impactos visuais e sonoros e se integrando às edificações, melhorando o desempenho do ciclo de vida destas e dando utilidade a áreas inocuadas.

A maior dificuldade encontrada no trabalho foi na delimitação do cenário para projetar a longo prazo as faturas de consumo elétrico. As tarifas dependem de um sistema de bandeiras que contabiliza diferentes valores de acordo com horário e energia consumida. Além disso, a tarifa de energia elétrica muitas vezes é objeto de estratégias político-econômicas, e nos últimos anos variou de

maneira imprevisível, não seguindo uma lógica algébrica. Esta característica fez com que fosse adotada uma tarifa representativa e constante.

Espera-se que o trabalho possa despertar o interesse na pesquisa de temas relacionados às energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética das edificações. Como apresentado no decorrer do trabalho, o setor da construção civil é um dos grandes responsáveis pelo consumo energético do planeta. Neste sentido, a energia solar fotovoltaica conectada à rede é uma alternativa que possibilita às próprias edificações disporem de sistemas para geração de energia elétrica a partir de uma fonte limpa, melhorando significativamente o desempenho ambiental ao longo da vida útil da obra, e apresenta diversos motivos para continuar em crescimento nos próximos anos.

Economic feasibility of the implantation of a photovoltaic solar energy system: a case study at a Language School in Brusque - SC

ABSTRACT

Photovoltaic solar energy takes advantage of the incidence of the solar rays on the terrestrial surface, characterizing itself as an intermittent and inexhaustible source. This work aims to analyze the economic viability of the implantation of a photovoltaic solar energy system connected to the network of a Language School in Brusque - SC. The methods used consisted of collecting the consumption data, the area available for installation of panels in the roof and values of solar irradiation; characterize the system, defining the adopted module and verifying the power required. The values of energy generation were estimated; and determined the amounts of expenses and revenues of the system. Finally, the values found were submitted to an investment analysis. The system was pre-sized with the potential to generate annually the same electric consumption of the school in 2016 and resulted in economic indicators that point to investment as profitable in the long term.

KEYWORDS: Photovoltaic solar energy. Renewable energy. Energy efficiency.

REFERÊNCIAS

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Matriz de energia elétrica**. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/OperacaoCapacidadeBrasil.cfm>>. Acesso em: 20 nov. 2017.

_____. **Resolução normativa nº 482**, de 17 de abril de 2012. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>>. Acesso em: 01 mai. 2019.

_____. **Resolução normativa nº 687**, altera a Resolução normativa nº 482 de 17 de abril de 2012, e os módulos 1 e 3 dos procedimentos de distribuição PRODIST, de 24 de novembro de 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren_2015687.pdf>. Acesso em: 01 mai. 2019.

CASAROTTO FILHO, Nelson C.; KOPITKE, Bruno H. **Análise de Investimentos**. 10. ed. São Paulo: Atlas, 2008

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco 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: 01 mai. 2019.

_____. **Nota Técnica DEA 001/17**: Projeção da demanda de energia elétrica para os próximos 10 anos (2017-2026). Disponível em: <http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA%20001_2017%20-%20Proje%C3%A7%C3%B5es%20da%20Demanda%20de%20Energia%20El%C3%A9trica%202017-2026_VF.pdf>. Acesso em: 15 nov. 2017.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GITMAN, Lawrence J. **Princípios de administração financeira**. 7. ed. São Paulo: Harbra, 2002.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica**: Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações. União Europeia: Altener, 2004.

LANDEIRA, Juan Lourenço Fandino. **Análise técnico-econômica sobre a viabilidade de implantação de sistemas de geração fotovoltaica distribuída no Brasil**. Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2013.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARINOSKI, Deivis L.; SALAMONI, Isabel T.; RÜTHER, Ricardo. Pré-dimensionamento de sistema solar fotovoltaico: estudo de caso do edifício sede do CREA-SC. In: **ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO**, 10, 2004. São Paulo. Anais... São Paulo: ENTAC, 2004. p.678-691.

MINAYO, Maria Cecília de Sousa (Org.). **Pesquisa social: Teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001. 80 p.

MME - MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Resolução nº 5**, de 3 de setembro de 2009. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/1139155/RESOLUxO_CNPE_5.pdf/c148546f-ce0e-4517-b052-5e52fd2b5bc6>. Acesso em: 20 nov. 2017.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2004.

PROJETO AMÉRICA DO SOL. **Simulador de instalação de sistema fotovoltaico**. Disponível em <<http://www.americadosol.org/simulador>>. Acesso em: 14 out. 2017.

PUCCINI, Ernesto Coutinho. **Matemática financeira e análise de investimentos**. Florianópolis: UFSC, 2011.

RENESOLA - MULTINACIONAL FABRICANTE DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS. **RENESOLA Global**. Disponível em <<http://www.renesola.com>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

ROOS, S. A.; WESTERFIELD, R. W.; JAFFE, F. J. **Administração financeira**. São Paulo: Atlas, 1995.

RUTHER, Ruther. **Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial de geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas a rede elétrica pública no Brasil**. Florianópolis: Labsolar, 2004.

SAMANEZ, C. P. **Gestão de Investimento e Geração de Valor**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

SMETS, A.; ISABELLA, O.; JAGER, K.; SWAAIJ, R.; ZEMAN, M. **Solar Energy: The Physics and Engineering of Conversion, Technologies and Systems**. Cambridge: UIT Cambridge Ltd., 2016.

TOLMASQUIM, Mauricio Tiomno. **Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica**. (Coord.). EPE: Rio de Janeiro, 2016.

Recebido: 10 mar. 2019.

Aprovado: 26 jun. 2019.

DOI: 10.3895/rts.v15n37.9806

Como citar: ROEDEL, T.; MAFRA, G. Viabilidade econômica da implantação de um sistema de energia solar fotovoltaico: estudo de caso em uma escola de idiomas, de Brusque - SC. **R. Technol. Soc.**, Curitiba, v. 15, n. 37, p. 612-634, jul./set. 2019. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rts/article/view/9806>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Tamily Roedel

-

Direito autorial: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

