

DIMENSIONAMENTO E AVALIAÇÃO ECONÔMICA DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE EM UMA INSTITUIÇÃO SEM FINS LUCRATIVOS
SIZING AND ECONOMIC EVALUATION OF A GRID-CONNECTED PHOTOVOLTAIC SYSTEM AT A NON-PROFIT INSTITUTION

Mirko Sottile¹

Yã Grossi Andrade²

Máximo Eleotério Martins³

Resumo: A energia solar é uma possibilidade de energia renovável que contribui para amenizar os problemas hídricos na geração de energia, além disso, pode resultar em benefícios financeiros quando minimizado os gastos de instalação. Para tal, a escolha entre as tecnologias disponíveis no mercado, como a tipologia de placas solares e o dimensionamento adequado do sistema são fundamentais para que a geração de energia seja eficiente. O presente trabalho sintetizou as etapas de dimensionamento e avaliação econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede (SFCR) tendo como exemplo uma organização social sem fins lucrativos. A análise de viabilidade econômica foi realizada com o auxílio do Software RETScreen, que calcula a rentabilidade do investimento considerado, através do cálculo do valor presente líquido, da taxa interna de retorno e do tempo de retorno. Na metodologia desenvolvida, a análise de fluxo de caixa foi realizada na base anual considerando a tarifa da energia elétrica aplicada às unidades consumidoras comerciais atendidas pela CEMIG no mês de dezembro 2015, a taxa estimada de reajuste do custo da energia e as normas vigentes no estado de Minas Gerais. Considerando os valores mais realísticos para o investimento inicial, os custos variáveis e os custos evitados (pela redução no consumo de energia da rede elétrica), chegou-se à conclusão que a taxa de retorno do investimento é de 10,6% e o prazo de retorno é 9 anos.

Palavras-chave: Sistemas fotovoltaicos. Energia solar. Energia Renovável. Microgeração. Retorno financeiro de investimento.

Abstract: Solar energy is a renewable energy possibility that helps to alleviate water problems in power generation, moreover, can result in financial benefits when minimized the installation costs. To do this, the choice of technologies available in the market, such as the type of solar panels and the proper design of the system are fundamental for efficient power generation. The present work synthesized the steps of design and economic evaluation of a grid-connected photovoltaic system (SFCR), taking as an example a non - profit social organization. The economic feasibility analysis was performed using the RETScreen Software, which calculates

¹ Discente, Universidade Federal de Ouro Preto e sottile.mir@gmail.com.

² Mestre em Inovação e Propriedade Intelectual, Universidade Federal de Minas Gerais e ygrossi28@gmail.com.

³ Doutor em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto e maximomartins@gmail.com.

the return on investment considered by calculating the net present value, the internal rate of return and the time of return. In the methodology developed, the cash flow analysis was performed on a yearly basis considering the electric energy tariff applied to the commercial consumer units served by CEMIG in December 2015, the estimated rate of readjustment of the energy cost and the rules in force in the state of Minas Gerais. Considering the more realistic values for the initial investment, the variable costs and the avoided costs (by the reduction in the power consumption of the electricity grid), it was concluded that the rate of return on investment is 10.6% and the term return is 9 years.

Keywords: Photovoltaic systems. Solar energy. Renewable Rnergy. Microgeneration. Financial return on investment.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Cenário Energético

Segundo o relatório relativo ao ano 2015 da British Petroleum (BP), as fontes renováveis de energia representaram 6,7% da geração de energia global, atingindo 2,8% do consumo global de energia, 0,8% a mais em relação a uma década atrás (BRITISH PETROLEUM, 2016).

Mesmo com o crescimento das fontes renováveis ainda há a predominância de fontes não renováveis na matriz energética mundial. Porém o Brasil é um país extremamente rico no que concerne aos recursos naturais, em especial na oferta de eletricidade (ALVES et al., 2019). De acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016), estima-se que as fontes renováveis representam 75,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil e, grande parte dela de origem hídrica (64%) (EPE, 2016). Isto, pois são construídas usinas hidrelétricas para aproveitar a força das águas dos muitos rios com grandes desníveis no Brasil.

Contudo, Tundisi (2007) aponta que, no Brasil, a construção de represas e usinas hidrelétricas resultou em grandes alterações ambientais, comprometendo os ecossistemas locais e regionais, como por exemplo, o efeito da decomposição de vegetação terrestre inundada, a grande área inundada, a deterioração da qualidade da água e a perda de serviços dos ecossistemas terrestres e aquáticos, incluindo a biodiversidade e alterações no ciclo hidrossocial e hidroeconômico.

Para tentar amenizar os impactos pela produção energética, algumas linhas de pesquisa buscam uma melhor eficiência do uso de energia através da tecnologia de produtos, como por exemplo, as lâmpadas de led (SANTOS et al., 2015). Há também estudos que direcionam suas pesquisas para outras fontes de energias renováveis e mais econômicas. Essas soluções tentam amenizar os problemas hídricos como, por exemplo, a crise de 2001, o aumento médio de 23,4% das tarifas de energia elétrica em fevereiro de 2015, dentre outras revisões tarifárias extraordinárias durante o mesmo ano (ANEEL, 2015).

Nesse contexto, a energia solar se apresenta como uma alternativa energética através da utilização dos painéis fotovoltaicos (MOREIRA, 2019). Fotovoltaico significa a transformação direta da luz em energia elétrica, recorrendo-se a células solares que são os componentes básicos de qualquer sistema fotovoltaico. Neste processo, são utilizados materiais que possuem uma propriedade conhecida como o efeito fotoelétrico, que faz com que eles absorvam fótons de luz e liberem elétrons (RIBEIRO et al., 2019). Atualmente, cerca de 95% de todas as células solares do mundo são de silício, o material semicondutor mais utilizado (GREENPRO, 2004).

O Brasil é privilegiado pela abundante radiação solar, onde o sol aparece em média 280 dias por ano, além de ser detentor de uma das maiores reservas de silício no mundo, material utilizado na fabricação de painéis solares (VIANA et al., 2019). No entanto, ainda carece de indústrias nacionais para a produção desses sistemas (CABRAL et al., 2013). Fazendo uma simples comparação com a Alemanha, um dos países líderes do mercado mundial da geração solar, a região menos ensolarada do Brasil apresenta índices solares em torno de 1642 kWh/m², que estão acima dos valores apresentados na área de maior incidência solar da Alemanha, que recebe cerca de 1300 kWh/m² (CABRAL et al., 2013).

O relatório relativo ao ano 2015 da British Petroleum (BRITISH PETROLEUM, 2016) traz que a China (+ 20,9%) e a Alemanha (+ 23,5%) registraram os maiores incrementos nas energias renováveis na geração de energia. A China superou a Alemanha e os EUA para se tornar o principal gerador do mundo de energia solar.

No Brasil, destaca-se a aprovação, em quatro estados do país, a isenção do imposto ICMS (Imposto Sobre a Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços) para microgeração de energia fotovoltaica (até 100 kW) (GREENPEACE, 2015).

Por fim, é importante ressaltar o crescimento da energia solar, que foi confirmado pelo Balanço Energético Nacional de 2016 ao apresentar informações relativas especificamente à energia solar em algumas tabelas que

nas edições anteriores estava incorporada em “Outras Renováveis” (EPE, 2016).

1.2 Projeto de geração de Energia Solar

Para minimizar os gastos da geração de energia solar, é fundamental a escolha dentre as tecnologias disponíveis no mercado, como a tipologia de placas solares e o dimensionamento adequado do sistema. Esse último é uma forma imediata para reduzir o custo da instalação, tornando a tecnologia mais competitiva economicamente. Diakoulaki et al. (2001) citam que alguns projetos desta tipologia não são viáveis devido à falta de análises não ligadas a considerações econômicas, visto que muitos sistemas são sobre dimensionados, encarecendo-se desnecessariamente. Isso ocorre, geralmente, por falta de ferramentas de cálculo disponíveis ou por sua complexidade.

Por outro lado, um dimensionamento subestimado resultará na falta de energia elétrica e não usufruir da oportunidade de aproveitar o sistema de créditos de energia introduzido pela Resolução Normativa ANEEL nº482/2012. Pela resolução, o Sistema de Compensação de Energia permite que a energia excedente gerada pela unidade consumidora com micro ou mini geração seja injetada na rede da distribuidora, a qual funcionará como uma bateria, armazenando esse excedente até o momento em que a unidade consumidora necessite de energia proveniente da distribuidora.

Desta forma, é importante que os gastos pela energia solar sejam recompensados, para tal, espera-se um dimensionamento eficiente de forma a trazer os benefícios financeiros, além dos ganhos ambientais.

1.3 O estudo de caso

O presente trabalho visa avaliar a implantação de um sistema solar de energia fotovoltaica conectada à rede (SFCR) elétrica em uma organização social sem fins lucrativos. A organização escolhida para o estudo foi a Associação De Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) em Ouro Preto. A

Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias. Paranaguá, PR, v.4, n.1, jan./jun. 2019

APAE tem como objetivo principal a integração e a orientação dos processos de educação e assistência a pessoas com deficiências, que são atendidas em três turnos distintos, isto é, manhã, tarde e noite de 07:00h as 11h20min, 12h10min às 16h30min e de 16h30 a 20h20, de segunda a sexta-feira. Atende-se, em média, uma clientela de 215 alunos. O consumo da APAE é essencialmente representado por iluminação, através de lâmpadas fluorescentes, de neon, computadores e aparelhos eletrônicos em geral. Para o dimensionamento será considerado a carga utilizada no prédio da escola durante o período anual compreendido de setembro de 2014 e agosto de 2015.

Será feita uma criteriosa análise de viabilidade econômica, através dos principais indicadores econômicos utilizados em análise de projetos, em especial o valor presente líquido, o *payback* e a taxa interna e o tempo necessário de retorno do investimento. Esses indicadores foram calculados através do *software* RETScreen Climate Database,

O RETScreen é um programa gratuito de análise para projeto de energias renováveis desenvolvido pelo *Canmet Energy Research Center* em colaboração com o *Minister of Natural Resources* do Canadá (RETSCREEN, 2015). É um software de análise de projetos de energia limpa baseado em Excel que auxilia os tomadores de decisões a determinarem a viabilidade técnica e financeira de potenciais projetos que visam à eficiência energética e projetos de cogeração. Neste *software*, encontra-se dados de irradiação para mais de 6.700 locais de estações terrestres ao redor do globo e a incorporação direta ao software RETScreen do aperfeiçoado conjunto de dados de satélite da NASA *Surface Meteorology and Solar Energy* para áreas habitadas.

Como já citado, para minimizar os gastos pela eletricidade é fundamental a escolha dentre as tecnologias disponíveis no mercado e o dimensionamento adequado do sistema. Esse último é uma forma imediata para reduzir o custo da instalação, tornando a tecnologia mais competitiva economicamente. Assim, o objetivo principal deste trabalho é realizar uma análise de custo benefício para avaliar a implantação de um sistema solar de energia fotovoltaico conectado diretamente à rede elétrica no prédio onde opera a Associação de Pais e Amigos dos Excepcionais (APAE) em Ouro

Preto. Nesse sentido, buscou-se verificar se os indicadores econômicos apontam para resultados positivos, ou seja; uma taxa de retorno do investimento favorável. O retorno poderia impulsionar alguma instituição a investir no projeto de forma que o capital direcionado para o fornecimento de energia elétrica poderia ser aplicado a outras atividades da escola.

2 METODOLOGIA

O trabalho será apresentado em três etapas principais. A primeira se refere ao projeto do sistema voltaico. Parte-se da demanda a ser atendida e da disponibilidade do recurso solar para realizar o dimensionamento do gerador fotovoltaico e dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso do SFCR (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede), se restringe ao inversor para interligação com a rede. Baseado nesse dimensionamento, a segunda etapa apresenta a análise financeira e ambiental com o auxílio do software RETScreen. Assim, considerando a situação do mercado brasileiro no período de coleta dos dados, será apresentado a análise dos custos do projeto e dos investimentos, bem como a análise da emissão de gás de efeito estufa, determinando o impacto ambiental do projeto.

Por fim, para diminuir os riscos de valores incertos considerados na análise financeira, na terceira etapa, também através do *software*, realiza-se uma análise de sensibilidade, encontrando os valores que mais afetam os resultados com o objetivo de entender quais são os cenários mais interessantes a serem analisados.

2.1 Projeto do Sistema fotovoltaico

Para quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico, extraiu-se do software RETScreen a radiação solar anual para a localidade mais próxima ao local de implantação do sistema cujas coordenadas geográficas são: latitude 20,40° sul e longitude 43,50° oeste. No mapa é

selecionada a escola APAE e sendo a localidade mais próxima resultante a cidade Conselheiro Lafaiete, que dista 43 km do local interessado pelo projeto.

Nas estimativas de produção de energia elétrica, é útil ignorar os efeitos de variação da irradiação a cada instante e considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários.

Para o dimensionamento do sistema, é preciso estimar a taxa de desempenho (TD) do sistema. Em particular para SFCR residencial, bem ventilado e não sombreado, uma TD entre 70 e 80% pode ser obtida nas condições de radiação solar encontradas no Brasil (CEPEL; CRESESB, 2014).

No cálculo da potência do gerador, pode-se escolher uma fração da demanda de energia elétrica consumida que se pretende suprir com o SFCR. Assim, a potência de um microgerador que compõe um SFCR pode ser calculada pela equação:

Equação 1: Potência de um microgerador

$$PF(wp) = \frac{E}{\overline{TD} \cdot HSPM}$$

Na equação: PFV (Wp) é a potência de pico do painel FV; E (Wh/dia) é o consumo diário médio anual da edificação ou fração deste, neste caso, o consumo diário médio anual da escola APAE; HSPMA (h) é a média diária anual das horas de sol pleno (HSP) incidentes no plano do painel FV; por fim, TD (adimensional) que é a estimativa da taxa de desempenho do sistema.

2.2 Análise financeira, ambiental e de sensibilidade

2.2.1 Investimento, custos gerais e tarifas

O custo de investimento em sistemas fotovoltaicos pode ser decomposto em três itens principais: os painéis fotovoltaicos, o inversor de linha e o *Balance of the System - BoS*, que engloba as estruturas mecânicas de sustentação, equipamentos elétricos auxiliares, cabos e conexões e, a engenharia necessária para a adequação dos componentes do sistema, bem como custos gerais de instalação e montagem. Neste trabalho para estabelecer níveis razoáveis de estimativa de custo do kWp instalado, foram consideradas fontes diferentes.

Para uma primeira estimativa deste custo de investimento, foi utilizada a pesquisa do Instituto Ideal (IDEAL, 2015) para o desenvolvimento de energias alternativas na América Latina, que desde 2013 realiza a cada ano um estudo entrevistando empresas cadastradas no Mapa de Empresas do Setor Fotovoltaico. A pesquisa contribui para a compreensão dos principais desafios a serem enfrentados que haja maior adoção da geração distribuída a partir da energia fotovoltaica no país (IDEAL, 2015). Em seguida, foi feito um levantamento de custos de um sistema SFCR com fornecedores para favorecer uma comparação com os valores do Instituto.

Sobre a estimativa da tarifa comercial, considera-se que a escola APAE analisada neste trabalho se enquadra na classe Comercial da Aneel com conexão de tipo trifásico. A tarifa comercial se enquadra no grupo B3 de atendimento da CEMIG, ao qual pertencem as unidades consumidoras com tensão nominal entre 127 e 220 V.

2.2.2 Cálculo do valor presente líquido, o prazo de *payback* e a taxa interna de retorno do investimento.

A análise de viabilidade inicia com o preenchimento da planilha inicial do RETScreen com as informações gerais, a localização escolhida e o tipo de sistema fotovoltaico instalado que pode ser *on grid* ou *off-grid*, com ou sem carga interna. Considerando um SFCR, preenche-se a Carga e Rede onde são adicionados os dados de consumo de cada mês em kW e o preço da eletricidade do caso de referência (*status quo*).

O RETScreen simula o funcionamento do medidor de energia distribuindo ao longo do consumo anual a eletricidade fornecida pelo sistema FV. Além disso, há a possibilidade de inserir o preço da eletricidade exportada para a rede simulando o sistema de créditos. Uma dificuldade encontrada foi simular a incidência dos Impostos Federais e Estaduais.

A planilha de Resumo Financeiro do RETScreen é um suporte fundamental para a avaliação do projeto e pode-se obter a projeção de fluxo de caixa no prazo considerados através dos indicadores chave da viabilidade

financeira: o prazo de retorno do investimento (*Payback*), o VPL (Valor Presente Líquido) e o TIR (Taxa Interna de Retorno).

Para obter os resultados é preciso digitar alguns parâmetros como a taxa estimada de reajuste do custo do combustível de 1,8%, a taxa de desconto 6,7%, usada para converter fluxo de caixa futuro ao presente, e o prazo do investimento de 25 anos, que é o tempo de garantia dos módulos fotovoltaicos garantida pelos fabricantes. Seria possível também inserir informações sobre o financiamento, mas neste caso a escola comunicou que descartaria essa possibilidade.

Após a fase de modelação do sistema e dos fluxos financeiros é possível iniciar a fase de avaliação ambiental, representada pela análise de emissões. O RETScreen calcula as reduções das emissões de gás de efeito estufa (GEE) dada a instalação do sistema FV proposto.

Por fim, para entender como é afetada a lucratividade do projeto por valores estimados fornecidos pelo usuário, o RETScreen oferece na sua última planilha uma ferramenta de análise de sensibilidade. Essa análise mostra como a lucratividade do projeto altera quando dois parâmetros importantes são modificados simultaneamente.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Projeto do Sistema fotovoltaico e seus custos e tarifas

Segundo os dados dos satélites da NASA a irradiação média diária na área de Ouro Preto é 4,92 kWh/m². Como há uma forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, pode-se gerar uma forma conveniente de expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiação solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m² (1.000 W/m²), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia. Assim o HSP de Ouro Preto é 4,92 h/dia.

Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias. Paranaguá, PR, v.4, n.1, jan./jun. 2019

Por meio do banco de dados do programa SunData da CRESESB (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica) é possível encontrar a radiação solar anual média para uma localidade que tem a mesma latitude de Ouro Preto - Ibirité, considerando diferentes níveis de inclinação. Neste projeto será considerado o Norte Verdadeiro indicado pelo software Google Earth PRO, que permite também a medição da área escolhida. Na APAE, não existe uma parte do telhado perfeitamente orientada na direção do Norte Verdadeiro, mas é possível individuar uma área orientada verso o Norte-Noroeste que tem uma área de cerca 140 metros quadrados. Esta área será escolhida pela implantação do sistema SFV, como detalhada na Figura 1.

Figura 1 - Parte do telhado escolhida pela implantação do SFV.



Fonte: Google Earth Pro (2015)

Segundo GASPARIN e KRENZINGER (2017), sob o ponto de vista puramente geométrico, a melhor orientação para um arranjo fotovoltaico para a produção anual de eletricidade no hemisfério sul é aquela com inclinação igual ao da latitude local e orientado para o norte geográfico, sendo que a latitude local é $20,40^\circ$. O telhado escolhido, como ilustra a figura 2 tem uma inclinação de cerca 10° , sendo possível alcançar a inclinação ótima de 20° através da estrutura de suporte dos painéis.

Figura 1 - APAE, inclinação do telhado escolhido.



A média de consumo de energia obtida foi de 1062 kWh/mês durante o ano que, considerando 30 dias por mês, é igual a 35,4 kWh/dia.

Para as tarifas, na Tabela 1, nota-se o aumento de cerca 48% das tarifas de energia elétrica desde dezembro 2014 até agosto 2015.

Tabela 1 - Consumo Anual APAE

| Mês | Consumo (kWh/mês) | Tarifa (R\$) | Gasto (R\$) |
|----------|-------------------|---------------|---------------|
| Set/2014 | 1.232 | não declarado | não declarado |
| Out/2014 | 1.297 | não declarado | não declarado |
| Nov/2014 | 1.158 | não declarado | não declarado |
| Dez/2014 | 974 | 0,5064 | 493 |
| Jan/2015 | 770 | 0,5319 | 410 |
| Fev/2015 | 819 | 0,5467 | 448 |
| Mar/2015 | 1.088 | 0,6058 | 659 |
| Abr/2015 | 1.302 | 0,6941 | 904 |
| Mai/2015 | 1.085 | 0,7342 | 797 |
| Jun/2015 | 1.177 | 0,7415 | 873 |
| Jul/2015 | 1.142 | 0,7547 | 862 |
| Aug/2015 | 698 | 0,7487 | 523 |

Escolheu-se uma TD teórica de 80% para obter eventualmente um gerador levemente sobre dimensionado, considerando possíveis variações positivas de demanda futura devido à expressiva vida útil das instalações fotovoltaicas e a possível expansão da escola.

A média diária anual das horas de sol pleno (HSP) incidente no plano do painel FV na área de Ouro Preto é de 4,92 h/dia.

O consumo energético, a taxa de desempenho e a média diária anual das horas de sol pleno, demonstradas são entradas para o cálculo da potência de placas necessária para cobrir a demanda/consumo de energia elétrica da escola durante o ano inteiro, resultando que $PFV(Wp) = 9000 Wp$ ou $9kWp$.

O levantamento de custos do sistema SFCR para duas empresas diferentes resultou em 8,25 R\$/Wp e 8,9 R\$/Wp para um sistema SFCR de aproximadamente 9,0kWp, como detalhado na Tabela 2 e Tabela 3.

Os preços do Wp encontrados são bem parecidos aos encontrados na pesquisa IDEAL, que considera os preços de 2014, apesar da elevação recorde do dólar e do euro no ano de 2015 (AGÊNCIA BRASIL, 2015). Para estabelecer os valores de custo do kWp instalado a serem considerados nas análises, além desses dois orçamentos, considerou-se: (i): A possibilidade de interligar na rede elétrica pública um SFCR, porém como foi recentemente regulamentada, ainda não há um mercado bem estabelecido para sistemas SFCR no Brasil, o que torna ainda mais voláteis os preços de equipamentos e serviços relacionados a SFCR a serem instalados no Brasil. (ii): A pesquisa pela determinação dos preços foi de caráter exclusivamente informativo mesmo sem considerar o poder de negociação que pode ter uma instituição ou a utilização de uma licitação.

Tabela 2 - Levantamento de custos de um sistema SFCR com aproximadamente 9,0 kWp Empresa 1.

| Empresa 1 | qde | pot. unit. (Wp) | pot. total (Wp) | preço (R\$) |
|--------------------------------------|------------|------------------------|------------------------|--------------------|
| Módulos FV | 38 | 255 | 9690 | (Kit) |
| Inversor FV | 1 | 8200 | 8200 | (Kit) |
| Cabos elétricos e acessórios | (Kit) | | | |
| KIT | | | | 66.134 |
| Frete/transporte e instalação | +17 % | | | 13.545 |
| TOTAL | | | | ≈ 80.000 |

Tabela 3 - Levantamento de custos de um sistema SFCR com aproximadamente 9,0 kWp Empresa 2.

| Empresa 2 | qde | pot. unit. (Wp) | pot. total (Wp) | preço (R\$) |
|--------------------------------------|------------|----------------------------|----------------------------|------------------------|
| Módulos FV | 32 | 260 | 8302 | (Kit) |
| Inversor FV | 1 | 8160 | 8160 | (Kit) |
| Cabos elétricos e acessórios | (Kit) | | | |
| KIT | | | | 60.900 |
| Frete/transporte e instalação | +17% | | | 12.473 |
| TOTAL | | | | ≈ 74.000 |
| Preço do Wp | | | | 8,90 |

Decidiu-se então fazer a análise de retorno de investimento para o valor de custo de Wp instalado igual a 8 R\$/Wp, tendo em consideração que esta estimativa pode ser considerada conservadora.

Sobre o dimensionamento do sistema fotovoltaico, para alcançar a potência necessária de 9 kWp, é necessário a instalação de 38 painéis CS6P 240W, os quais tem eficiência, indicada pelo software, de 14,9%. Logo, a área do coletor solar será igual a 61 m², compatível com a dimensão do telhado da escola. O modelo da Canadian Solar, em silício policristalino de 240 W, foi escolhido e o mesmo foi proposto na cotação de uma das empresas.

3.2 Análise Financeira e ambiental

Em todas as análises será considerada a TMA de 6,7% ao ano, que é semelhante à remuneração da poupança e, uma inflação de 4,5%, que corresponde à meta de inflação estabelecida pelo governo desde 2005, para dar segurança ao mercado e evitar o risco da hiperinflação, que atingiu o país nas décadas de 1980 e 1990 (BCB, 2015).

Conforme a Resolução Homologatória da ANEEL nº 1872 de 07/04/2015, considerando a bandeira vermelha, a tarifa, sem considerar os tributos, aplicada às unidades consumidoras comerciais atendidas pela CEMIG no mês de dezembro 2015 é 0,554 R\$/kWh (CEMIG, 2016b).

Para a análise de retorno do investimento também é necessário definir além da inflação média, a Taxa Mínima de Atratividade (TMA), chamada também taxa de desconto. A definição do valor da TMA a ser utilizado foi baseada na análise da remuneração atual da caderneta de poupança. A remuneração média da caderneta de poupança para depósitos feitos no mês de novembro 2015 foi de 6,7%.

Para o cálculo da tarifa total cobrada pela Cemig e dos custos de disponibilidade, verificou-se através das faturas fornecidas pela escola, que as alíquotas de PASEP e COFINS variam ao longo do ano, mas o impacto de tais variações é desprezível comparado ao valor total dos impostos pago. Então optou por considerar constantes as alíquotas de PASEP e COFINS ao longo dos 25 anos de análise do investimento. O mesmo foi feito em relação às alíquotas de ICMS, cujos valores, se mantêm efetivamente constantes por vários anos.

Tabela 4 - Cálculo da tarifa total cobrada pela CEMIG.

| | Resolução ANEEL | PASEP + COFINS | ICMS | TARIFA TOTAL |
|-------------------|--------------------|-------------------|------|-----------------|
| Tarifa em R\$/kWh | 0,554 | 6,5% | 18% | 0,722 |

Fonte: CEMIG, 2016b.

Essa diferenciação entre as duas tarifas será importante para simular o sistema *net-metering* segundo a normativa ANEEL e do estado de Minas

Gerais. A CEMIG não cobre impostos sobre o custo de disponibilidade (CEMIG, 2016a).

Tabela 5 - Cálculo do custo de disponibilidade.

| Resolução ANEEL 0,554 (R\$/kWh) | Consumo mínimo Consumidor trifásico 100 kWh | Custo de Disponibilidade 55,4 R\$ |
|--|--|--|
|--|--|--|

Fonte: ANEEL, 2016

Considerando o Wp instalado, igual a 8 R\$/Wp, chega-se ao investimento inicial de R\$ 72.960,00.

Na simulação dos impostos incidentes sobre o consumo bruto, foi inserido um custo anual que é o resultado do produto entre o consumo bruto, a tarifa da energia vigente cada ano e a alíquota do 24,5%, ou seja, o total das impostas federais e estaduais, ICMS, PASEP e COFINS. Foi introduzido também um crédito inicial igual a R\$ 7.080,00 que é igual à alíquota ICMS sobre o consumo bruto, atualizada para um período de cinco anos, que é o período de incentivo oferecido pelo governo de Minas Gerais.

O inversor considerado na cotação tem uma vida útil estimada de quinze anos por isso foi incluído, para o décimo quinto ano, o custo para a compra de um novo inversor acrescentado pelo valor da inflação estimada. Entre os custos anuais foi incluído o custo de disponibilidade que vai crescer cada ano com o preço estimado da energia. A tabela 6 detalha o fluxo de caixa.

Tabela 6 - Fluxo de caixa anual calculado pelo RETScreen.

| Fluxo de caixa anual | | |
|----------------------|---------|------------|
| Ano | R\$ | Cumulativo |
| 0 | -65 880 | -65 880 |
| 1 | 6 636 | -59 244 |
| 2 | 6 806 | -52 438 |
| 3 | 6 980 | -45 458 |
| 4 | 7 157 | -38 301 |
| 5 | 7 337 | -30 964 |
| 6 | 7 520 | -23 445 |
| 7 | 7 706 | -15 738 |
| 8 | 7 896 | -7 842 |
| 9 | 8 089 | 247 |
| 10 | 8 286 | 8 533 |
| 11 | 8 486 | 17 019 |
| 12 | 8 690 | 25 709 |
| 13 | 8 897 | 34 606 |
| 14 | 9 109 | 43 715 |
| 15 | -6 676 | 37 039 |
| 16 | 9 543 | 46 582 |
| 17 | 9 766 | 56 347 |
| 18 | 9 992 | 66 339 |
| 19 | 10 223 | 76 563 |
| 20 | 10 458 | 87 021 |
| 21 | 10 698 | 97 719 |
| 22 | 10 941 | 108 660 |
| 23 | 11 189 | 119 850 |
| 24 | 11 442 | 131 292 |
| 25 | 11 699 | 142 991 |

Observando o fluxo de caixa cumulativo o primeiro valor positivo será alcançado após 9 anos. O Valor Presente Líquido calculado pelo software é igual a R\$ 27.836,00 e a Taxa Interna de Retorno TIR encontrado neste projeto

é de 10,6%. Resumindo os resultados, a Tabela 7 mostra os valores encontrados para o cenário base analisado.

Tabela 7 - Indicadores cenário base

| PAYBACK | VPL | TIR |
|----------------|-------------------|--------------|
| 9 anos | 27.738 R\$ | 10,6% |

No fluxo de caixa cumulativo, observa-se que o primeiro valor positivo será alcançado após 9 anos, que representa cerca de 30% do prazo de investimento considerado. Então para 70% do prazo a escola terá uma economia e poderá aplicar o dinheiro em outras ações. É necessário lembrar que o primeiro fluxo de caixa em relação ao investimento inicial resulta menor porque foi considerado no “ano 0” o incentivo ICMS nos primeiros 5 anos vigente no estado de Minas Gerais.

Sobre a análise ambiental, a redução de emissões através do sistema FV é de 1,3 toneladas de CO₂ por ano que, segundo os cálculos do software, correspondem a aproximadamente cinco carros e caminhonetes não utilizadas no prazo de 25 anos, chegando a um total de 31 tCO₂.

3.3 Análise de Sensibilidade

Nas figuras 3, 4 e 5 os resultados marcados são aquele que não possuem um valor maior que o TIR (neste caso 10%). Como é possível observar na Figura 3, a tarifa de energia elétrica influencia de modo relevante a taxa de retorno do investimento, dependendo essencialmente da economia mensal em valor de energia não pago à concessionária.

Figura 3 - Análise de sensibilidade: custo da energia elétrica e custos iniciais.

| Análise de performance | | TIR após impostos - capital | | | | | |
|--|------|-----------------------------|--------|--------|--------|--------|----|
| Fx. de sensibilidade | | 25% | | | | | |
| Limite | | 10 | % | | | | |
| Custo combustível - caso de referência | | Custos iniciais | | | | | Rs |
| Rs | | 54.720 | 63.840 | 72.960 | 82.080 | 91.200 | |
| 7.023 | -25% | -25% | -13% | 0% | 13% | 25% | |
| 8.194 | -13% | 9,2% | 7,3% | 5,8% | 4,6% | 3,6% | |
| 9.364 | 0% | 12,3% | 10,0% | 8,3% | 6,9% | 5,8% | |
| 10.535 | 13% | 15,1% | 12,6% | 10,6% | 9,1% | 7,8% | |
| 11.705 | 25% | 17,9% | 15,0% | 12,8% | 11,1% | 9,7% | |
| | | 20,6% | 17,3% | 14,9% | 12,9% | 11,4% | |

Mesmo em cenários desfavoráveis, onde ocorreria redução extrema da tarifa, maior que 25%, como aconteceu em 2013, (MONTENEGRO, 2013), o que levaria a TIR a ficar abaixo da rentabilidade da poupança, que é a referência como Taxa Mínima de Atratividade, uma redução custos iniciais de investimentos o que também pode ser observado segundo levantamento da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2012), redução de custos na carga tributária estimada para uma instalação de geração distribuída fotovoltaica, traria resultados satisfatório para o investimento, com valores aceitáveis de TIR, próximos ao 9%.

Pode ser interessante observar como varia esta situação com a extensão da isenção do ICMS incidente sobre a energia elétrica injetada na rede de distribuição pela unidade consumidora além dos primeiros 5 anos, em vigor na região de Minas Gerais, como já está acontecendo nos Estados de Goiás, Pernambuco e São Paulo (CONFAZ, 2015).

Figura 4 - Análise de sensibilidade: isenção ICMS ao longo do prazo do investimento.

Análise de performance
Fx. de sensibilidade
Limite

TIR após impostos - capital
25%
10 %

| Custo combustível - caso de referência | Custos iniciais | | | | Rs | |
|--|-----------------|--------|--------|--------|--------|-------|
| | 54.720 | 63.840 | 72.960 | 82.080 | 91.200 | |
| Rs | -25% | -13% | 0% | 13% | 25% | |
| 7.023 | -25% | 12,1% | 10,1% | 8,5% | 7,2% | 6,1% |
| 8.194 | -13% | 14,6% | 12,4% | 10,6% | 9,2% | 8,0% |
| 9.364 | 0% | 17,1% | 14,6% | 12,6% | 11,0% | 9,7% |
| 10.535 | 13% | 19,5% | 16,7% | 14,5% | 12,8% | 11,3% |
| 11.705 | 25% | 21,8% | 18,7% | 16,4% | 14,5% | 12,9% |

Eliminando então o custo anual que tinha sido inserido para simular o tributo do quinto ano em diante, a situação muda de modo relevante com um TIR maior de 12% na situação atual e, de 8,5% considerando uma redução da tarifa de energia elétrica, de qualquer forma maior que a rentabilidade anual da poupança.

Não foi considerada a possibilidade de financiamento já que a instituição não acredita ser viável. Porém considera-se que um dos instrumentos de uso comum para viabilizar projetos é a concessão de condições especiais de financiamento. Neste sentido seja por possibilitar um menor desembolso de capital próprio por parte do empreendedor, seja por atuar no sentido de aumento do retorno do capital próprio, condições especiais de financiamento

incentivam uma maior quantidade de empreendedores a investir. Segundo um estudo da EPE, nas condições oferecidas pelo programa PROESCO de apoio a projetos de eficiência energética, a taxa de juros total nominal associada a este tipo de empréstimo resultaria da ordem de 9% a.a. (EPE, 2012). Considerando no modelo uma razão da dívida de 80% e uma duração da mesma igual ao prazo de investimento, os indicadores financeiros mudam significativamente, com o TIR do capital próprio que chega a 18,5%, como mostra a figura seguinte.

Figura 5- Análise de sensibilidade: eventualidade de financiamento.

| Análise de performance | | TIR após impostos - capital | | | | | |
|------------------------|------|-----------------------------|----------|--------------|----------|--------|---|
| Fx. de sensibilidade | | 25% | | | | | |
| Limite | | 10 | | | | % | |
| Razão da dívida | | Taxa de juros da dívida | | | | | % |
| | | 6,75% | 7,88% | 9,00% | 10,13% | 11,25% | |
| | | -25% | -13% | 0% | 13% | 25% | |
| 60% | -25% | 16,5% | 14,9% | 13,2% | 11,4% | 9,6% | |
| 70% | -13% | 20,3% | 17,5% | 14,8% | 11,9% | 9,1% | |
| 80% | 0% | 30,2% | 24,3% | 18,5% | 13,0% | 7,9% | |
| 90% | 13% | 970,5% | 495,5% | 102,1% | 18,9% | 4,8% | |
| 100% | 25% | positivo | positivo | positivo | positivo | -2,6% | |

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerando o cenário descrito, conclui-se que o projeto da implantação de um sistema solar de energia fotovoltaica conectado diretamente à rede elétrica no prédio de uma organização sem fins lucrativos mostrou-se viável, resultando na Taxa Interna de Retorno do investimento de 10,6%, Valor Presente Líquido igual a R\$ 27.738,00 e prazo de retorno do investimento de 9 anos.

O agente que deveria ser interessado a este investimento é quem hoje lida com o pagamento das contas da luz da escola, ou seja, a Prefeitura de Ouro Preto. Um investimento deste tipo levaria a vantagens econômicas no longo prazo e também vantagens sociais ligadas aos novos projetos, que a organização APAE poderia implementar com os fundos derivados pela economia realizada.

É necessário remarcar a robustez dos resultados encontrados devido a todas as considerações conservativas feitas a partir do valor de custo de Wp

instalado igual a 8 R\$/Wp, que poderia ser menor considerando o cenário em mudança e o possível efeito de uma licitação feita pela Prefeitura. Além disso, também no âmbito técnico, os resultados estimados podem ser considerados bem sólidos pela escolha da taxa de desempenho teórica de 80%, que considera todas as perdas possíveis, e o uso do software RETScreen, aproveitando os dados de irradiação fornecidos pela NASA e do banco de dados dos produtos instalados.

Além disso, foi visto como o custo da energia elétrica influi nos resultados finais, pois num projeto deste tipo o retorno do investimento depende essencialmente da economia mensal em valor de energia não pago à concessionária. Se tal valor reduz significativamente, o investimento se mostra menos atrativo. Por isso é fundamental estimar corretamente a taxa de aumento anual na tarifa. Neste trabalho foi considerada, como inicial, a tarifa aplicada às unidades consumidoras comerciais atendidas pela CEMIG no mês de dezembro 2015, e a taxa estimada de reajuste do custo da energia elétrica, resultante da regressão linear usando os valores históricos, de 1,8%. Este último valor poderia aparecer como conservativo, sendo inferior à inflação média dos últimos anos, mas foi escolhido em consideração da alta das tarifas do cenário atual. Portanto, é evidente que para um contexto assim complexo, a estima da variação da tarifa nos próximos 25 anos, prazo do investimento, precisaria de análises mais aprofundadas, dedicadas a este assunto.

O caso-exemplo deste trabalho possui potência que atenderia satisfatoriamente pequenos consumidores comerciais e residenciais. Dessa forma, o presente estudo pode servir como referência para consumidores interessados em pequenos sistemas de geração fotovoltaico conectados à rede, e que desejam saber o tempo de retorno do investimento e a rentabilidade anual desses sistemas frente às taxas de retorno mais comuns no mercado de capitais.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA BRASIL. **Após recorde, dólar se mantém em alta.** Disponível em <<http://agenciabrasil.ebc.com.br/economia/noticia/2015-09/dolar-se-mantem-em-alta>>. Acesso: setembro de 2016.

ALVES, R. et al. Solar drying of cowpea bean combined with drying in a heat accumulator dryer. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 9, p. 709-715, 2019.

ANEEL. **Revisão Tarifária Extraordinária de distribuidoras.** Disponível em <http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8418&id_area=90>. Acesso: fevereiro de 2016.

BCB. **Regime de Metas para a Inflação no Brasil.** Disponível em: <<http://www4.bcb.gov.br/pec/gci/port/focus/faq%2010regime%20de%20metas%20para%20a%20infla%C3%A7%C3%A3o%20no%20brasil.pdf>>. Acesso: setembro de 2016.

BRITISH PETROLEUM. **Statistical Review of World Energy June 2016.** Disponível em: <<http://oilproduction.net/files/especial-BP/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>>. Acesso: setembro de 2017.

CABRAL, I. S.; TORRES, A. C.; SENNA, P. R. Energia solar – Análise comparativa entre Brasil e Alemanha. In: **IV CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, 5., 2013, Salvador: IBEAS, 2013. v. 1, p. 1 - 10. 2013.

CEMIG. **Normas do ICMS relacionadas a microgeração e minigeração distribuída e ao sistema de compensação de energia elétrica.** Disponível em: <http://www.cemig.com.br/pt-br/Conselho_de_Consumidores/Encontos%20CDC%20Documentos/Apresenta%C3%A7%C3%A3o%20H%C3%A9lio.pdf>. Acesso: setembro de 2016a.

CEMIG. **Valores De Tarifa E Serviços.** Disponível em <https://www.cemig.com.br/pt-br/atendimento/Paginas/valores_de_tarifa_e_servicos.aspx>. Acesso: setembro de 2016b.

CEPEL; CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos.** Rio de Janeiro, 2014.

CONFAZ. **Convênio ICMS 16, de 22 de Abril De 2015.** Disponível em: https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/convenio-icms/2015/cv016_15. Acesso: setembro de 2016.

DIAKOULAKI, D., ZERVOS, A., SARAFIDIS, J., & MIRASGEDIS, S. Cost benefit analysis for solar water heating systems. **Energy Conversion and Management**, 42(14), 1727-1739. 2001.

EPE, NOTA TÉCNICA. Análise da inserção da geração solar na matriz elétrica brasileira. **Nota Técnica da EPE**, Rio de Janeiro, 2012.

EPE. **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015 / Empresa de Pesquisa Energética.** Rio de Janeiro. 2016.

GASPARIN, F; KRENZINGER, A. Desempenho de um sistema fotovoltaico em dez cidades brasileiras com diferentes orientações do painel. **Revista Brasileira de Energia Solar**, v.8, n.1, p.10-17. 2017.

GREENPEACE. **ICMS cai em três estados e o Sol brilha mais forte no Brasil.** Disponível em: <<http://www.greenpeace.org/brasil/pt/Noticias/ICMS-para-solar-o-dilema-do-copo-meio-cheio/>>. Acesso: setembro de 2016.

GOOGLE EARTH PRO. Disponível em: <http://www.google.com/earth>. Acesso: setembro de 2016.

GILMAN P. Comparison of three free computer models for evaluating PV and hybrid system designs: HOMER, Hybrid2, and RETScreen. In: **Proceedings of the solar conference**. AMERICAN SOLAR ENERGY SOCIETY; AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS, p. 81. 2007.

GREENPRO. **Energia Fotovoltaica – Manual Sobre Tecnologias, Projeto e Instalações**. ALTENER. 2004.

IDEAL. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. 2015.

MONTENEGRO, A. **Avaliação Do Retorno Do Investimento Em Sistemas Fotovoltaicos Integrados A Residências Unifamiliares Urbanas No Brasil**. Universidade Federal de Santa Catarina. 2015.

MOREIRA, O. et al. Sustentabilidade em edifício residencial no município de Dourados, MS. **Interações (Campo Grande)**, v. 20, n. 2, p. 475-486, 2019.

RETScreen. Disponível em: <http://www.etscreen.net/pt/home.php>. Acesso: setembro de 2015.

RIBEIRO, R. et al. Generation of Photovoltaic Solar Energy. Evaluation of the Demand Curve with the Insert of Grid-connected Photovoltaic Power System at CINDACTA II, Curitiba-PR, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 61, n. SPE, 2018.

SANTOS, T. S.; BATISTA, M. C.; POZZA, S. A.; ROSSI, L. S. Análise da eficiência energética, ambiental e econômica entre lâmpadas de LED e convencionais. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 595-602, Dec. 2015.

TUNDISI, J. G. Exploração do potencial hidrelétrico da Amazônia. **Estudos avançados**, v. 21, n. 59, p. 109-117, 2007.

Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias. Paranaguá, PR, v.4, n.1, jan./jun. 2019

VIANA, L. et al. Decrease in off-peak electrical energy demand by agroindustries due to photovoltaic solar generation. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 4, p. 537-547, 2019.

Enviado em: 25/01/2019

Aceito em: 12/09/2019

Editor Chefe: Everaldo dos Santos

Editora: Manuela Dreyer Silva

Editora de Seção: Daniele Borges da Silva