

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE EDUCAÇÃO CONTINUADA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO CIVIL – GESTÃO,
TECNOLOGIA E SUSTENTABILIDADE**

ANA CLÁUDIA SERON OZÓRIO

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA REDUÇÃO DE ENERGIA EM UM
EDIFÍCIO COMERCIAL UTILIZANDO O SISTEMA FOTOVOLTAICO *GRID-TIE***

SÃO LEOPOLDO

2017

Ana Cláudia Seron Ozório

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA REDUÇÃO DE ENERGIA EM UM
EDIFÍCIO COMERCIAL UTILIZANDO O SISTEMA FOTOVOLTAICO *GRI-TIE*

Artigo apresentado como requisito parcial
para obtenção do título de Especialista em
Construção Civil, pelo Curso de
Especialização em Construção Civil da
Universidade do Vale do Rio dos Sinos –
UNISINOS

Orientador: Prof. Dr. Maurício Carvalho Ayres Torres

São Leopoldo
2017

ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA NA REDUÇÃO DE ENERGIA EM UM EDIFÍCIO COMERCIAL UTILIZANDO O SISTEMA *GRID-TIE*

Ana Cláudia Seron Ozório*

Mauricio Carvalho Ayres Torres**

Resumo: O principal atrativo econômico da micro e da minigeração está inerentemente ligado às tarifas de energia elétrica, pois o atual cenário do setor energético brasileiro vem sofrendo significativos reajustes nos últimos anos, o que acaba colaborando consideravelmente para as condições de acessibilidade a micro geração. Este artigo apresenta um estudo de caso para instalação de um sistema de geração de energia fotovoltaica, para um consumidor comercial conectado à rede, analisando questões técnicas e econômicas, considerando os índices de irradiação solar. Além disso, a análise econômico-financeira do sistema fotovoltaico trifásico conectado à rede, através das ferramentas *Payback* e *VPL*.

Palavras-chave: Energia fotovoltaica. Irradiação solar. Viabilidade econômica.

ANALYSIS OF ECONOMIC FEASIBILITY IN THE REDUCTION OF ENERGY CONSUMPTION IN A COMMERCIAL BUILDING WITH GRID-TIE SYSTEM

Abstract: The main economic appeal of the micro and minigeneration is inherently associated with electric energy fees since the current Brazilian energy sector has been undergoing significant readjustments over the last years, which ends up collaborating considerably to accessibility conditions to micro generation. This article presents a case study for the installation of a photovoltaic power generation system to a commercial consumer connected to the grid, analyzing technical and economical issues, taking into account the solar irradiation rate. In addition, the financial, and economic analysis of the photovoltaic three-phase system connected to the grid, with payback and net asset value.

* Arquiteta e Urbanista graduada pela URI – Santiago (2015). Estudante de pós-graduação *lato sensu* em Construção Civil na Unisinos (2015-2016), e-mail: anaseronozorio@gmail.com

** Arquiteto e Urbanista, Máster em Arquitetura e Doutor em Engenharia Civil (UPC – Barcelona) e-mail: mauriciotorres.net@gmail.com

Keywords: Photovoltaic energy. Solar irradiation. Economic feasibility.

1 INTRODUÇÃO

O atual cenário energético mundial demonstra indicações de esgotamento dos recursos naturais voltados para a geração de energia. Segundo Viana (2014), os combustíveis de origem fóssil são formados pela decomposição de matéria orgânica, sendo finitos e não renováveis. Em contraponto, existem fontes limpas e que podem ser utilizadas para geração de energia elétrica.

De acordo com o estudo publicado pela European Photovoltaic Industry Association (EPIA), em 2014, atualmente existe no mundo um potencial instalado de 138, 856 GWp¹ a maior parte sendo na Europa. Visto que os países deste continente receberam na última década estímulos através de programas que beneficiaram à geração fotovoltaica conectada à rede, entre os quais destaca - se:

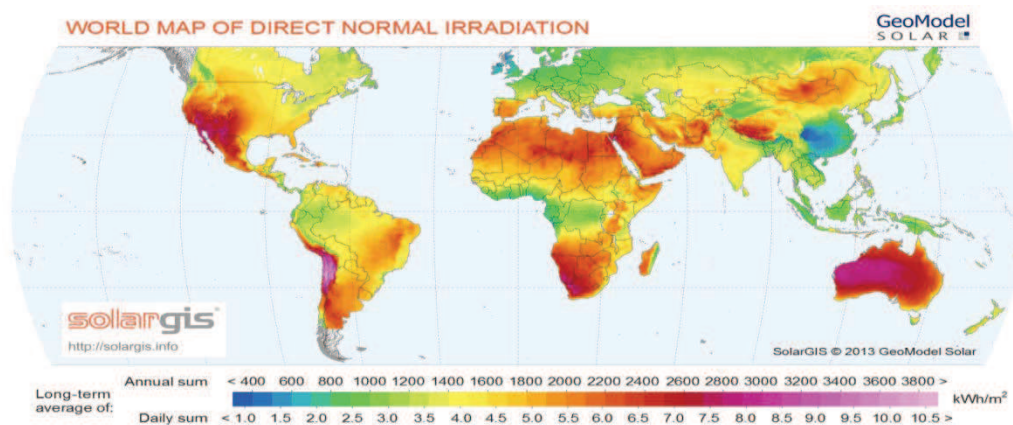
- Tarifa prêmio: Consiste na compra de energia gerada por um valor fixo por kWh, através de contratos de longo prazo de 15 a 20 anos.

A localização geográfica do Brasil é uma característica significativa para o aproveitamento da fonte de energia solar. Os pontos de maior relevância são os altos índices de irradiação solar, em quase todo território nacional. No Brasil para avaliação da disponibilidade de irradiação solar, utiliza-se o Atlas Brasileiro de Energia Solar, que foi desenvolvido através das pesquisas do Projeto Swera (Solar and Wind Energy Resource Assessment). A base de dados obtida é compatível com sistemas de informação geográfica e, portanto, pode ser facilmente empregada em estudos de viabilidade econômica no desenvolvimento de projetos (AMÉRICA DO SOL, 2016).

Rüther (2011) chama atenção para a radiação solar do Brasil em relação à Alemanha, chegando à conclusão de que as regiões menos ensolaradas brasileiras apresentam taxa de radiação solar 25% maior que as regiões mais ensolaradas da Alemanha. Visto que foi o país que mais incentivou as fontes renováveis, e já possuiu a maior capacidade instalada fotovoltaica do planeta.

Isso torna evidente ainda mais o grande potencial do Brasil, devido à comparação do nível de irradiação solar, com outros países onde o sistema já é amplamente utilizado. A comparação dos potenciais é representada na Figura 1.

Figura 1 – Média anual de irradiação solar global



Fonte: EPIA (2014).

No sentido político regulatório, a Resolução Normativa da ANEEL nº 482 de 17 de Abril de 2012, e as posteriores normas técnicas das concessionárias de energia em dezembro de 2012, estabelece os critérios gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Com isso, os consumidores brasileiros podem gerar sua própria energia elétrica advinda de fontes renováveis e inclusivamente fornecer o excedente para a rede de distribuição local. Nos meses em que a quantidade de energia gerada for maior que o consumo, o saldo positivo poderá ser utilizado para abater o consumo em outro posto tarifário, em outra unidade consumidora, atentando para que as duas unidades estejam na mesma área de concessão e pertençam ao mesmo titular, ou ainda na fatura do mês subsequente.

Conforme a resolução supracitada, geração distribuída define-se como central geradora de energia elétrica, que utiliza fontes com base em energia hidráulica, solar, eólica e biomassa, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras, estas são caracterizadas pela potência instalada, sendo de até 100KW para micro geradores e entre 100KW E 1MW para mini geradores.

De acordo com o balanço energético brasileiro de 2015, realizado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE), somando os setores residencial, comercial e público, as edificações são responsáveis pelo consumo de 48,5% do total consumido no país.

1.1 Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos são unidades básicas formadas por um conjunto de células que produzem o efeito fotovoltaico sendo interligadas eletricamente, caracterizando o surgimento de uma diferença de potencial entre dois pontos, criando corrente elétrica, com o objetivo de gerar energia. A estrutura típica do módulo consiste de células enclausuradas em meio a lâminas e vidros temperados e envoltos em uma moldura de alumínio (VIANA, 2014).

Zomer (2010, p. 18) salienta que as tecnologias fotovoltaicas são divididas em três gerações: a primeira sendo com os módulos de silício cristalino, a segunda geração composta por filmes finos e a terceira geração de células solares sensibilizadas por corante.

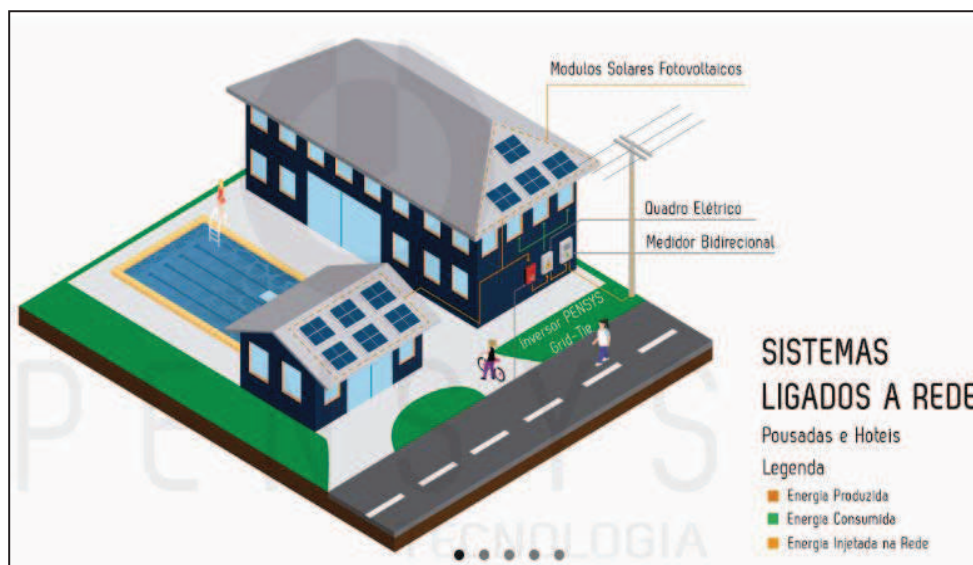
Atualmente as células de silício cristalino (c-Si) são consideradas a tecnologia mais consolidada no mercado, cerca de 90% das células comerciais são fabricadas com lâminas de silício, seja monocristalino ou policristalino. (CHIVELET, SOLLA 2014)

1.2 Sistemas Fotovoltaicos

Quanto aos sistemas fotovoltaicos, estes se dividem em dois grandes grupos: sistemas isolados (*off-grid*) e sistemas conectados à rede (*grid-tie*). Os sistemas isolados são aqueles que não se integram a rede elétrica e têm por característica armazenar a energia gerada em acumuladores. Geralmente são baterias químicas, tem desvantagens devido ao uso de baterias que possuem custo elevado e a utilização de elementos tóxicos na sua fabricação. São utilizados principalmente em regiões afastadas, aonde não chega à rede elétrica (SANTOS, 2013).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica local, como demonstra a figura 2, não possuem dispositivos de armazenamento, funcionam como usinas descentralizadas, não necessitando de baterias. Deste modo os módulos são conectados a inversores, que transformam a corrente contínua em corrente alternada, sendo conectados a relógios medidores, que calculam a energia fornecida à rede pelo sistema mensalmente (VIANA, 2015).

Figura 2 – Exemplificação de um sistema conectado à rede



Fonte: Pensys Tecnologia (2016).

O uso dos sistemas fotovoltaicos interligados à rede encontra-se em desenvolvimento no Brasil. Mesmo em fase inicial de implantação, denota-se que as perspectivas a médio e longo prazo para essa tecnologia são promissoras. Se atentarmos para os possíveis incentivos governamentais, como já foi supracitada em outros países servindo de base, além do atual sistema de créditos de micro e mini-geração distribuída, a energia solar mostra-se como uma grande alternativa na matriz energética brasileira.

A partir deste contexto, o presente trabalho visa mostrar, através do dimensionamento e da avaliação econômica, que a implantação de um sistema fotovoltaico conectado à rede pode ser uma alternativa interessante na redução de custos com energia elétrica em um empreendimento comercial. Através da análise do consumo e gastos mensais com energia, busca-se mostrar a viabilidade econômica ao investir neste modelo de sistema de produção energética. Avaliando o período de retorno do investimento para a instalação de um sistema fotovoltaico *grid-tie*, em uma edificação comercial.

2 METODOLOGIA

2.1 Levantamentos de dados da unidade de consumo

A primeira etapa do processo consistiu em uma visita ao local, a fim de obter uma visão ampla do objeto de avaliação e coletar as informações pertinentes para os próximos passos.

2.2 Levantamento de dados de consumo

Foram reunidas todas as informações consideráveis sobre o consumo de energia. De posse das contas de energia expedidas mensalmente pela concessionária, observaram-se os dados de consumo, de demanda registrada e faturada do histórico anual.

O levantamento através da inspeção *in loco* corresponde a obtenção de informações com características específicas do local. Não foi realizada a medição direta através de equipamentos eletrônicos devido à não disponibilidade destes.

2.3 Análise de dados para implantação do sistema fotovoltaico como fator de redução de energia

Para realizar a simulação foi utilizada a fatura de energia elétrica, a fim de analisar os dados de consumo em kWh e de gastos em reais, bem como o endereço completo do local. A medida de intervenção adotada visa promover a melhoria da eficiência energética na edificação analisada, sendo proposto à implantação de um sistema fotovoltaico interligado à rede. Para isso recorreu-se a uma simulação no site América do sol. O Simulador Solar é uma ferramenta digital que permite o cálculo da potência de um sistema fotovoltaico, para atender a necessidade energética anual de um imóvel. Com o sistema, é possível saber o quanto o imóvel deixaria de consumir de energia elétrica, entre outras informações (AMÉRICA DO SOL, 2016).

O aproveitamento do módulo fotovoltaico depende da irradiação solar incidente no local da edificação, por essa razão é de extrema importância verificar a melhor orientação e inclinação, portanto este trabalho limita-se a sua localização, devido às alterações de irradiação e eficiência que seriam ocasionadas.

Também é limitada a sistemas conectados à distribuidora local, a RGE Sul, bem como o material utilizado. Segundo Santos (2013), é necessária uma inclinação de 10 e 30 graus, em relação ao plano horizontal para captação de maiores níveis de irradiação solar.

2.4 Análises de custo do sistema

O custo total do sistema é composto pelo custo inicial de instalação e pelo custo de operação e manutenção. Para estimar o custo do sistema fotovoltaico na edificação, foram orçados com uma empresa especializada na área em Dezembro de 2016. O valor calculado como custo inicial do sistema, foi o custo dos elementos que compõe o mesmo, ou seja, módulos, inversores, cabos e disjuntores, também foram considerados neste trabalho, os serviços de instalação e automação, e o projeto elétrico com a regularização do sistema junto à distribuidora de energia.

Para este caso, o sistema é auto controlado, não possuindo custo de operação, e a manutenção deste é considerada um serviço simples e que não gera muitos custos. Portanto foi estimado o valor de 1% a.a do investimento total, para a manutenção anual do sistema.

2.5 Estudos de viabilidade econômica

Para realização de estudos de viabilidades para sistemas fotovoltaicos, deve-se recorrer a análises econômicas, pois apesar destes apresentarem economia de energia trazem consigo um investimento inicial que pode não justificar o retorno.

Para analisar o retorno do investimento, os principais indicadores econômicos para análise de projetos, como neste caso, são o *Payback*, VPL (Valor Presente Líquido) e o TIR (Taxa Interna de Retorno). Para determinação da taxa de desconto, pode ser considerado o custo médio ponderado de capital, bem como os conceitos de (TMA) ou de custo de oportunidade do capital (ASSAF NETO, 1994).

A expressão para o cálculo do VPL é dado pela equação 1:

$$VPL = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

I_0 = Investimento ou custo inicial

FC_t = Fluxo de caixa anual

n = número de anos do projeto

i = taxa de juros para avaliação do projeto

Se o VPL for positivo, as receitas do projeto superam o valor do investimento somado às despesas do projeto, desta forma os casos considerados economicamente viáveis são os que apresentam VPL maior que zero.

A expressão para o cálculo do TIR, é dado pela equação 2:

$$-I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+TIR)^t} = 0 \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

I_0 = Investimento ou custo inicial

FC_t = Fluxo de caixa anual

n = número de anos do projeto

i = taxa de juros para avaliação do projeto

TIR = Taxa interna de retorno

Pode-se dizer que a viabilidade econômico-financeira da energia solar fotovoltaica depende das condições apresentadas a seguir:

- Estimar o valor do investimento inicial necessário para a instalação do sistema.
- Estimar a energia gerada pelo sistema.
- Tarifas e impostos sobre a energia elétrica convencional.
- Estimar os fluxos de caixa baseado no preço do kWh da distribuidora local de energia elétrica, assim como custos de manutenção.
- Características do sistema de geração distribuída.

3 ANÁLISES DO OBJETO DE ESTUDO

3.1 Unidade de consumo e consumo energético

A unidade de consumo em questão trata-se do Hotel e Restaurante Gaúcho, estabelecimento comercial de prestação de serviços no ramo hoteleiro e alimentício, localizada na cidade de Cacequi, RS. Segundo a localização tem Latitude – 29,88° S e Longitude – 54,83° O, o edifício é distribuído em três pavimentos, e a cobertura disponível para instalação do sistema apresenta uma área total de 280m². A figura a seguir apresenta a localização do edifício respectivamente.

Figura 3 – Localização do edifício de estudo para instalação do sistema fotovoltaico



Fonte: Google Earth, 2016.

O consumo do hotel é apresentado na Tabela 1, os dados foram retirados das faturas mensais de energia elétrica, fornecidas mensalmente pela RGE Sul, empresa concessionária de energia. Estes dados são referentes ao histórico de consumo do período que compreende os meses de janeiro a dezembro de 2016.

Tabela 1 – Dados de consumo do Hotel no ano de 2016

Mês/ano	Consumo	Mês/ano	Consumo
Jan/2016	5.893 kWh	Ago/2016	5.048 kWh
Fev/2016	6.901 kWh	Set/2016	4.069 kWh
Mar/2016	5.205 kWh	Out/2016	4.046 kWh
Abr/2016	4.901 kWh	Nov/2016	4.776 kWh
Mai/2016	5.002 kWh	Dez/2016	4.916 kWh
Jun/2016	3.804 kWh	Total anual	59.714 kWh
Jul/2016	5.143 kWh	Média	4.976 kWh
Tipo de conexão			Trifásico
Tensão de alimentação			220 v

Fonte: Elaborado pela autora.

3.2 Disponibilidade de energia

A localização desse empreendimento fica na região central do Rio Grande do Sul, para medições do potencial energético solar deste foi utilizado o Simulador Solar América do Sol, que é um programa do Instituto Ideal de disseminação da energia solar fotovoltaica. Neste sistema são fornecidos os dados sobre a

localização da edificação, e como resposta se obtém a quantidade de irradiação solar global, inclinada e direta. Os dados apresentados na Tabela 2 informam a irradiação solar média mensal em uma inclinação de 30°.

Tabela 2 – Dados da irradiação solar média mensal

Mês	Irradiação Global	Irradiação inclinada	Irradiação Direta
Janeiro	6,33 kWh/m ² /dia	5,64 kWh/m ² /dia	6,12 kWh/m ² /dia
Fevereiro	5,71 kWh/m ² /dia	5,85 kWh/m ² /dia	4,80 kWh/m ² /dia
Março	5,28 kWh/m ² /dia	5,87 kWh/m ² /dia	5,73 kWh/m ² /dia
Abril	4,09 kWh/m ² /dia	5,22 kWh/m ² /dia	5,11 kWh/m ² /dia
Mai	3,22 kWh/m ² /dia	4,59 kWh/m ² /dia	4,31 kWh/m ² /dia
Junho	2,27 kWh/m ² /dia	3,31 kWh/m ² /dia	2,73 kWh/m ² /dia
Julho	2,86 kWh/m ² /dia	4,31 kWh/m ² /dia	2,86 kWh/m ² /dia
Agosto	4,07 kWh/m ² /dia	5,44 kWh/m ² /dia	5,58 kWh/m ² /dia
Setembro	4,75 kWh/m ² /dia	5,55 kWh/m ² /dia	5,27 kWh/m ² /dia
Outubro	4,95 kWh/m ² /dia	5,09 kWh/m ² /dia	4,14 kWh/m ² /dia
Novembro	6,81 kWh/m ² /dia	5,09 kWh/m ² /dia	7,06 kWh/m ² /dia
Dezembro	6,85 kWh/m ² /dia	5,92 kWh/m ² /dia	7,11 kWh/m ² /dia

Fonte: Simulador online América do Sol, 2017.

A simulação considera que os módulos fotovoltaicos instalados estejam voltados para o Norte, e com inclinação de 30°, correspondente à latitude da localização referida, com a intenção de que os mesmos recebam a radiação solar de maneira mais eficiente ao longo do ano. As perdas por sombreamento não foram consideradas neste estudo, pois foi avaliado o local de instalação e este se encontra em posição favorável e sem edificações ao seu redor, não havendo perdas significativas por sombreamento.

4 ANÁLISES DOS REQUERIMENTOS E IMPLANTAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O dimensionamento do sistema apresentado neste trabalho foi realizado para um Hotel e Restaurante na cidade de Cacequi, RS. Com base nos dados de consumo elétricos informados e na radiação solar do local selecionado, a ferramenta utilizada para o cálculo estimou um sistema fotovoltaico de potência nominal de 39,2 kWp, para atender a demanda do estabelecimento. O sistema proposto geraria em

média 59,70 MWh anualmente. Considera-se que no local, não existem sombreamentos nos módulos, tais como árvores ou edificações próximas.

É importante ressaltar que a fatura de energia nunca será igual a zero, pois consumidores da classe comercial devem pagar mensalmente pelo menos o custo de disponibilidade, sendo a conexão à rede trifásica. Neste sentido, esse é um número aproximado e foi calculado para abastecer 100% da demanda elétrica, descontando um consumo mínimo da rede elétrica que corresponde ao custo de disponibilidade.

Tabela 3 – Resumo da simulação do sistema proposto

Características do Sistema Fotovoltaico	
Capacidade do seu sistema (Potência)	39,2 kWp
Área ocupada pelo sistema	280 m ²
Inclinação aproximada dos módulos	30°
Rendimento anual	1.275 kWh/kWp
Emissões de CO2 evitadas	14.504 kg/a
Como seria seu consumo elétrico anual	
Consumo total	59,70 MWh
Seu consumo da rede elétrica	10,22 MWh
Sua geração fotovoltaica	49,98 MWh

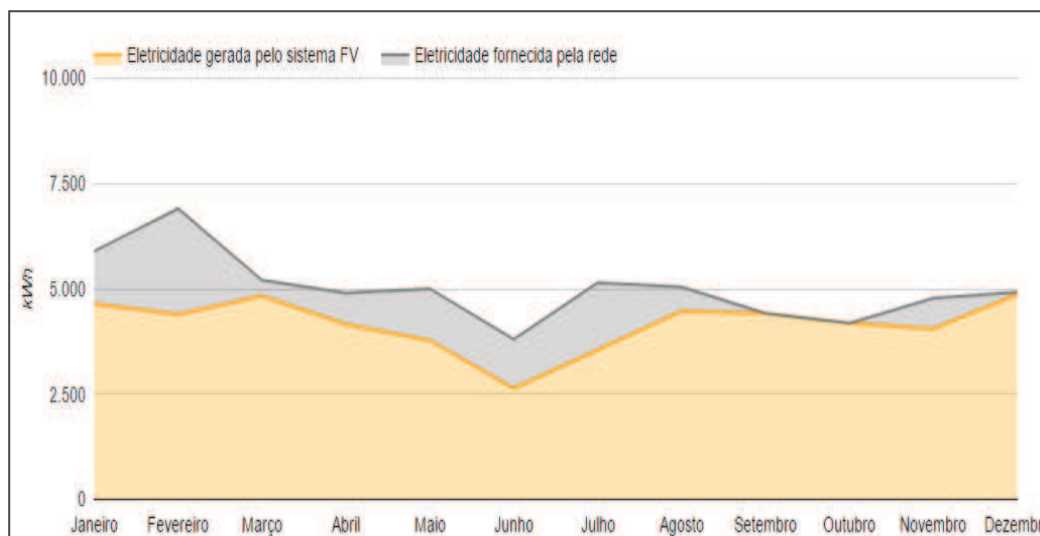
Fonte: Simulador online América do Sol, 2017.

Como demonstra os dados levantados, o sistema proposto não atenderá a totalidade da demanda necessária, ficando a geração do sistema em 49,98 MWh, e o consumo de 59,70 MWh, sendo necessário utilizar 10,22 MWh da rede.

4.1 Consumo elétrico com a instalação do sistema

A geração solar foi estimada segundo a radiação mensal média da cidade. A figura 4 demonstra como ficaria o consumo elétrico com o sistema conectado à rede. A área em cinza mostra uma estimativa de quanta energia é fornecida pela rede elétrica, ao mesmo tempo em que a área amarela mostra o quanto seria gerado pelo sistema fotovoltaico.

Figura 4 – Eletricidade gerada pelo sistema (amarelo) e fornecida pela rede (cinza)



Fonte: América do Sol simulador online, 2017.

Verifica-se que o mês com menor produção de energia elétrica é o mês de junho, isso se justifica pelo fato de que o inverno encontra-se em seu ápice. Em contraponto, os meses de setembro e outubro demonstram créditos. Estes irão aparecer somente quando o sistema gerar mais energia do que consumiu no mês, sendo usados para compensar o consumo da rede nos meses subsequentes. Este sistema de compensação está previsto na resolução normativa 482/2012 da ANEEL, que criou o sistema de compensação de energia.

A tabela 4 a seguir, mostra em detalhes, como seria o consumo elétrico, com base no sistema proposto, por 160 painéis fotovoltaicos de 245 Wp de potência cada, e considerando os dados de inclinação e radiação do local. O sistema deverá fornecer, em média, a energia apresentada a seguir. Da esquerda para a direita, a primeira coluna mostra a demanda energética no mês, a segunda coluna exibe o quanto dessa energia viria da geração fotovoltaica, e a terceira mostra o quanto de eletricidade a unidade consumiria da rede elétrica. A quarta e última mostra quantos créditos foram acumulados no mês.

Tabela 4 – Dados da geração fotovoltaica estimados mensalmente

Mês	Eletricidade total consumida	Eletricidade gerada pelo sistema	Eletricidade fornecida pela rede	Créditos gerados
Janeiro	5.893,00 kWh	4.462,74 kWh	1.250,26 kWh	0,00 kWh
Fevereiro	6.901,00 kWh	4.387,55 kWh	2.513,45 kWh	0,00 kWh
Março	5.025,00 kWh	4.828,64 kWh	376,36 kWh	0,00 kWh
Abril	4.901,00 kWh	4.157,83 kWh	743,17 kWh	0,00 kWh

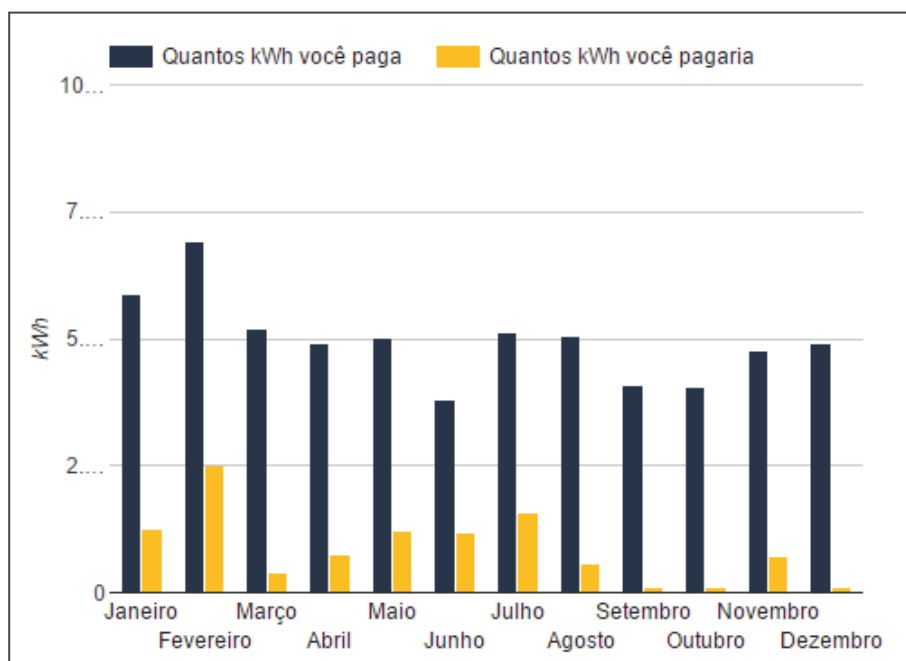
Maio	5.002,00kWh	3.776,54 kWh	1.225,46 kWh	0,00 kWh
Junho	3.804,00 kWh	2.636,56 kWh	1.167,44 kWh	0,00 kWh
Julho	5.143,00 kWh	3.548,68 kWh	1.594,32 kWh	0,00 kWh
Agosto	5.048,00 kWh	4.471,64 kWh	576,36 kWh	0,00 kWh
Setembro	4.069,00 kWh	4.415,75 kWh	0,00 kWh	346,75 kWh
Outubro	4.046,00kWh	4.188,66 kWh	0,00 kWh	142,66 kWh
Novembro	4.776,00 kWh	4.053,55 kWh	722,45 kWh	0,00 kWh
Dezembro	4.916,00 kWh	4.867,31 kWh	48,69 kWh	0,00 kWh
Total anual	59.714,00 kWh	49.975,45 kWh	10.217,96 kWh	489,41 kWh

Fonte: América do Sol, simulador online, 2017

4.2 Despesas mensais na fatura de energia

A figura 5 apresenta as despesas mensais mostrando a redução na conta de energia com a instalação do sistema fotovoltaico. Podem-se comparar quanta energia se paga atualmente à distribuidora pelo consumo de eletricidade e quanto se pagaria instalando o sistema FV. A conta de luz sofrerá variações de acordo com a geração elétrica mensal do sistema, que depende da irradiação local.

Figura 5 – Demonstrativo das despesas mensais nas faturas de energia



Fonte: América do Sol, simulador online, 2017.

4.3 Configurações do sistema

Para análise da viabilidade econômica foi realizado contato com empresas fornecedoras de módulos e inversores, solicitando orçamentos para estimar os valores e escolher o modelo dos equipamentos. Foi selecionado o modelo de painel fotovoltaico com células fotovoltaicas de silício policristalino da marca Yingli YL245 P-29b de 245 Wp, com classificação A em eficiência pelo INMETRO. Este painel foi escolhido pelos critérios de sua eficiência, potência nominal, tensão e a finalidade da sua aplicação. Para início do dimensionamento foi necessário definir a quantidade de módulos para suprir a demanda energética. A equação 1 e a equação 2 calculam que para o sistema solar fotovoltaico proposto, são necessários 160 módulos de 245 Wp.

$$\text{Quantidade de módulos} \geq \frac{\text{Demanda}}{\text{Capacidade do módulo}} \quad \text{Equação 1}$$

$$\text{Quantidade de módulos} \geq \frac{39,2}{0,245 \text{ KW}} \geq 160 \text{ módulos} \quad \text{Equação 2}$$

Para este estudo, o modelo escolhido de inversor, é o modelo *grid-tie* Inversor String SIW 600. Para atender a capacidade de 39,2 kWp de geração, serão necessários 2 inversores para a implantação do sistema solar fotovoltaico. Levando em consideração que a potência do inversor deve sempre exceder a potência da carga ou da geração, segundo dados do fabricante a eficiência máxima deste chega a 96%.

4.4 Custos de implantação do sistema

Considerando que o custo do sistema implica diretamente na viabilidade econômica do mesmo, a tabela 5 apresenta o orçamento com menor custo para um sistema fotovoltaico de 39,2 kWp, atingindo o valor de R\$ 160.500,00. Através deste pode-se calcular o custo global da dívida e o possível retorno do investimento com a implantação da microgeração de energia.

Tabela 5 – Orçamento dos equipamentos do sistema fotovoltaico

Quantidade	Produtos e serviços	Preço R\$
160	Módulo fotovoltaico 245 W	R\$ 137.600,00

	certificado pelo INMETRO – classe A	
2	Inversor solar fotovoltaico	R\$ 11.200,00
1	Instalação e automação	R\$ 2.300,00
1	Projeto de adequação junto à concessionária RGE-SUL	R\$ 400,00
1	Custo de equipamentos para conexão <i>grid-tie</i>	R\$ 9.000,00
Total		R\$ 160.500,00

4.5 Custos de manutenção do sistema

Os cálculos levaram em consideração que a manutenção do sistema é um gerador de custo, a taxa de manutenção especificada para o estudo em questão é de 1% a.a. do total investido.

5 ANÁLISE DA VIABILIDADE FINANCEIRA DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

5.1 Viabilidade econômica de um investimento

Uma etapa que se torna relevante e necessária para a tomada de decisão de um investimento em energia fotovoltaica é a análise econômica do projeto. A partir dos custos do projeto e manutenção do sistema, pode-se avaliar o tempo de retorno do investimento, uma vez que sendo implantado, o sistema gera uma economia mensal para o hotel.

Os custos mais relevantes para os sistemas fotovoltaicos são os equipamentos. Para o projeto do sistema fotovoltaico do hotel, o custo do investimento é estimado em R\$ 160.500,00. Este custo envolve todas as etapas da implantação do sistema, desde o projeto, aquisição de materiais, instalação e ligação do sistema à rede da concessionária de energia elétrica local. Os cálculos levaram em consideração o investimento inicial e a manutenção como fatores de geração de custo, e a energia economizada foram considerados como receita, já que se deixa de consumir da rede de distribuição. Para a análise da viabilidade econômica foi construído um fluxo de caixa do sistema.

No cálculo de tempo de retorno do investimento foi calculado o valor presente líquido (VPL), esta é a função utilizada na análise da viabilidade de um projeto de investimento. A Taxa Interna de Retorno (TIR) é uma fórmula da matemática financeira que foi utilizada para calcular o retorno do investimento em questão. A TMA aplicada foi de 6% a.a., baseando-se na tarifa prevista na caderneta de poupança. A tarifa de energia da concessionária RGE SUL é feita através do IRT (Índice de Reajuste Anual), estima-se que esta variação tarifária chegue a 8% na atualização anual.

5.2 Tempo de retorno – *Payback*

Com o objetivo de encontrar o tempo de retorno do investimento em questão, a tabela 7, demonstra os conceitos matemáticos que foram aplicados. O aspecto financeiro torna-se importante porque é ele que conduz as decisões das empresas para investimentos em novos projetos. A tabela 6 apresenta os quantitativos em resumo do tempo de retorno no investimento do projeto com os respectivos resultados.

Tabela 6 – Análise do investimento

Investimento	R\$ 160.500,00
Total das economias em 25 anos	R\$ 1.890.232,32
Taxa de desconto (TMA)	6% a.a.
Valor presente das economias	R\$ 260.858,84
TIR (Taxa Interna de Retorno)	18,88%
<i>Payback</i> estimado	8 Anos
Total de economia	R\$ 1.619.517,24
Energia gerada em 25 anos	1.070.542,62 kWh
Estimativa R\$/kWh para 2017	R\$ 0,64
Perdas elétricas	1% a.a.
Taxa de manutenção – Saídas	1% a.a.

A taxa interna de retorno de 18,88% mostra que o projeto é viável economicamente. O tempo de retorno é de aproximadamente oito anos para o valor do investimento. Em uma visão conservadora fica demonstrada a viabilidade, uma vez que o tempo de vida útil é de 25 anos. Se for considerada uma aplicação

financeira das economias acumuladas, o hotel passaria a lucrar ainda mais no decorrer dos anos.

Tabela 7 – Tempo de retorno do investimento

Ano	Eficiência FV 1% a.a.	Geração anual kWh	Tarifa R\$ kWh 8%a. a.	Economia anual estimada R\$	Entrada com Rendimento de 6% a.a. R\$	Saídas 1% a.a.	Saldo	VPL	VPL acumulado
1	1%	49.975,45	0,64	31.984,29	33.903,35	339,03	33.564,31	28.234,60	132.265,40
2	0,99%	49.475,69	0,69	34.197,60	36.249,46	362,49	35.886,96	25.394,79	106.870,61
3	0,9801%	48.980,93	0,74	36.564,07	38.757,92	387,58	38.370,34	22.840,60	84.030,01
4	0,9702%	48.491,12	0,80	39.094,31	41.439,97	414,40	41.025,57	20.543,31	63.486,71
5	0,9605%	48.006,21	0,87	41.799,63	44.307,61	443,08	43.864,54	18.477,08	45.009,63
6	0,9509%	47.526,15	0,94	44.692,17	47.373,70	473,74	46.899,96	16.618,66	28.390,97
7	0,9414%	47.050,89	1,01	47.784,87	50.651,96	506,52	50.145,44	14.947,17	13.443,80
8	0,9320%	46.580,38	1,09	51.091,58	54.157,08	541,57	53.615,50	13.443,80	0,00
9	0,9227%	46.114,58	1,18	54.627,12	57.904,74	579,05	57.325,70	12.091,63	12.091,63
10	0,9135%	45.653,43	1,27	58.407,31	61.911,75	619,12	61.292,64	10.845,46	22.967,09
11	0,9043%	45.196,90	1,38	62.449,10	66.196,05	661,96	65.534,09	9.781,61	32.748,70
12	0,8953%	44.744,93	1,49	66.770,58	70.776,81	707,77	70.069,04	8.797,79	41.546,49
13	0,8863%	44.297,48	1,61	71.391,10	75.674,57	756,75	74.917,82	7.912,91	49.459,40
14	0,8775%	43.854,50	1,74	76.331,37	80.911,25	809,11	80.102,14	7.117,04	56.576,44
15	0,8687%	43.415,96	1,87	81.613,50	86.510,31	865,10	85.645,20	6.401,21	62.977,65
16	0,8600%	42.981,80	2,03	87.261,15	92.496,82	924,97	91.571,85	5.757,38	68.735,03
17	0,8514%	42.551,98	2,19	93.299,62	98.897,60	988,98	97.908,62	5.178,31	73.913,34
18	0,8429%	42.126,46	2,36	99.755,96	105.741,31	1.057,41	104.683,90	4.657,48	78.570,82
19	0,8345%	41.705,20	2,55	106.659,07	113.058,61	1.130,59	111.928,03	4.189,03	82.759,85
20	0,8261%	41.288,14	2,76	114.039,88	120.882,27	1.208,82	119.673,45	3.767,70	86.527,55
21	0,8179%	40.875,26	2,98	121.931,14	129.247,32	1.292,47	127.954,85	3.388,75	89.916,30
22	0,8097%	40.661,51	3,22	130.369,09	138.191,24	1.381,91	136.809,32	3.047,91	92.964,21
23	0,8016%	40.061,84	3,47	139.390,63	147.754,07	1.477,54	146.276,53	2.741,35	95.705,57
24	0,7936%	39.661,23	3,75	149.036,46	157.978,65	1.579,79	156.398,87	2.465,63	98.171,20
25	0,7856%	39.264,61	4,05	156.349,79	168.910,78	1.689,11	167.221,67	2.217,64	100.388,84
	TIR	18,88%							

6 CONCLUSÕES

O Brasil dispõe de enorme potencial devido a sua localização intertropical e a diversidade dos recursos energéticos, condições extremamente favoráveis para o

aproveitamento da geração fotovoltaica. Através da Resolução Normativa 482/2012 da ANEEL, que regulamenta a micro e mini geração distribuída o sistema de compensação de energia tem contribuído para o desenvolvimento do setor de energia solar FV.

O presente artigo teve como finalidade apresentar os fundamentos da geração fotovoltaica, sintetizando as etapas de um projeto e dimensionamento do sistema para posterior conexão à rede elétrica, no Hotel e Restaurante Gaúcho situado no município de Cacequi, RS. Através de criteriosa análise de viabilidade econômica, foi possível demonstrar a rentabilidade em um estudo de caso, permitindo concluir que é possível obter considerável *payback*, além de se rentabilizar no decorrer da vida útil de uma instalação fotovoltaica de micro geração distribuída.

Um sistema fotovoltaico conectado à rede foi dimensionado, com uma potência de 39,2 kWp, para suprir a demanda energética da edificação foram quantificados 160 módulos, sendo necessários 2 inversores para a implantação do sistema solar fotovoltaico. Os resultados apontaram uma energia total produzida por este sistema ao longo de 25 anos, de 1.070.542,62 kWh que corresponde em uma economia nas contas de energia elétrica de R\$ 1.890.232,32 (um milhão oitocentos e noventa mil e duzentos e trinta e dois reais e trinta e dois centavos), levando em consideração a variação tarifária no decorrer dos próximos anos.

O custo total estimado para o projeto de instalação de sistemas fotovoltaicos foi de R\$160.500,00. No estudo de caso, é observado um VPL positivo, que por sua vez em termos de análise de viabilidade, isso representa a rentabilidade de um projeto. Diante desses resultados verifica-se que o sistema poderia ser pago em oito anos, com a economia de energia alcançada. O estudo de viabilidade econômica se mostrou positivo com a TIR de 18,88%, o que mostra que é vantajoso investir em sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. Do ponto de vista econômico, conclui-se que o investimento no Hotel e Restaurante Gaúcho é viável pois contemplam os fatores de eficiência econômica, custo/benefício e o retorno do investimento estimado em oito anos, se tornando um sistema aplicável, uma vez que os módulos têm 25 anos de vida útil com perda de eficiência de 1% ao ano na produção de energia elétrica.

A economia gerada pela implantação do sistema se for comparada à compra de energia da concessionária local, acaba por justificar a opção da proposta deste

trabalho. Portanto, estudos como este são imprescindíveis para a popularização da energia solar e seus benefícios, e contribuem para a difusão de uma tecnologia que aos poucos, vem ganhando espaço no país, à qualidade dos resultados contribui para tomadas de decisões empresariais e governamentais.

NOTAS EXPLICATIVAS

¹ GWP é a potência nominal dos módulos fotovoltaicos, que indica a potência do sistema testado em laboratório em STC (Stanford Test Conditions), irradiação de 1.000 W/m², massa de ar de 1,5 e temperatura da célula de 25°C. (RÜTHER, 2004).

REFERÊNCIAS

VIANA, T. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Projetos de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede**. 2014

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION.- **Global Market Outlook for Photovoltaics 2015-2019**. 2015 <https://resources.solarbusinesshub.com/solar-industry-reports/item/global-market-outlook-for-solar-power-2015-2019>. Acesso em: 27 de Novembro de 2016

PEREIRA, MARTINS, ABREU E RÜTHER – **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. 2006. http://ftp.cptec.inpe.br/labren/publ/livros/brazil_solar_atlas_R1.pdf. Acesso em 02 de Dezembro de 2016

AMÉRICA DO SOL. **Guia de Microgeradores Fotovoltaicos**. 2016. <http://www.americadosol.org/guiaFV/>. Acesso 18 de Outubro de 2016.

RÜTHER,R; SALAMONI. I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações. **Fórum Patrimônio: mudanças climáticas e o impacto nas cidades**, Belo Horizonte, p.84-94, 2011
http://www.forumpatrimonio.com.br/seer/index.php/forum_patrimonio/article/view/16. Acesso em 09 de Dezembro de 2016

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). **Resolução Normativa nº482**. 2012. <http://www.aneel.gov.br/regulacao-do-setor-eletrico>. Acesso em 23 de Outubro de 2016

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**.
<http://www.mme.gov.br/documents/10584/1143895/2.1+-+BEN+2015+-+Documento+Completo+em+Portugu%C3%AAs+-+Ingl%C3%AAs+%28PDF%29/22602d8c-a366-4d16-a15f-f29933e816ff?version=1.0>. Acesso em 18 de março de 2017

ZOMER, C. D. **Megawatt Solar**: geração solar fotovoltaica integrada a uma edificação inserida em meio urbano e conectada à rede elétrica pública - estudo de caso: edifício sede da Eletrosul, Florianópolis – Santa Catarina. 2010. 177 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, 2010. <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93727>. Acesso em 28 de novembro de 2016

CHIVELET, N. M.; SOLLA, I. F. **Técnicas de vedação fotovoltaica na arquitetura**. Tradução de SALVATERRA, A. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SANTOS, I.P. dos. **Desenvolvimento de ferramenta de apoio à decisão em projetos de integração solar fotovoltaica à arquitetura**. 2013. 278 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade de Santa Catarina, Florianópolis, 2013. http://fotovoltaica.ufsc.br/Teses/Tese_IsisPortolanDosSantos.pdf. Acesso em 21 de Janeiro de 2017.

VIANA, T. **ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA: Fundamentos e Aplicações**. 2015

PENSYS TECNOLOGIA. **Microgeração Renovável**. Florianópolis, SC. 2016. http://www.pensys.com.br/?page_id=638. Acesso em 12 de novembro de 2016

AMÉRICA DO SOL. **Simulador online**. <http://www.americadosol.org/simulador/>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2017

RGE SUL – **Por dentro da conta de luz da RGE**. http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/RGE_2p.pdf. Acesso em 16 de março de 2017

GOOGLE EARTH. <https://www.google.com.br/maps/place/Cacequi,+RS/@-29.8810074,-54.8404626,14z/>. 2016

INSTITUTO IDEAL. **Biblioteca**. <http://institutoideal.org/biblioteca/>. Acesso em 02 de Fevereiro de 2017.

RÜTHER, R. Edifícios solares fotovoltaicos: o potencial da geração solar fotovoltaica integrada a edificações urbanas e interligadas à rede elétrica pública Brasil. 1 ed. Florianópolis: Labsolar, 2004. <http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>. Acesso em 28 de novembro de 2016

ASSAF NETO, Alexandre. **Matemática Financeira e Suas Aplicações**. São Paulo: Atlas, 1994.

