UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
UNIVERSIDADE ABERTA DO BRASIL
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM EFICIÊNCIA ENERGÉTICA
APLICADA AOS PROCESSOS PRODUTIVOS

Luciana Gregory Ritter

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA EM GUAPORÉ – RS

Camargo, RS
2017

Luciana Gregory Ritter

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA EM GUAPORÉ – RS

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Orientador: Prof. Dr. Cesar Addis Valverde Salvador
Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro

Camargo, RS
2017

Luciana Gregory Ritter

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA EM GUAPORÉ – RS

Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Especialista em Eficiência Energética Aplicada aos Processos Produtivos.**

Aprovada em 28 de julho de 2017:

_____

Prof. Carlos Roberto Cauduro, Dr. (UFSM)
(Presidente/Co-orientador)

_____

Prof.ª Giane de Campos Grigoletti, Dr.ª (UFSM)

_____

Prof. Alexandre Aparecido Buenos, Dr. (UFSM)

Camargo, RS
2017

RESUMO

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA FOTOVOLTAICO EM UMA INDÚSTRIA METALMECÂNICA EM GUAPORÉ – RS

AUTORA: Luciana Gregory Ritter
ORIENTADOR: Prof. Dr. Cesar Addis Valverde Salvador
CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. Carlos Roberto Cauduro

O Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar e, em virtude dos altos níveis de radiação solar em grandes extensões, é um dos países com condições mais adequadas para o uso de energia solar. Neste estudo avalia-se a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em uma indústria, com o sistema interligado à rede de distribuição de energia local. Realizou-se um levantamento da demanda de energia da indústria, por meio de suas faturas de energia correspondentes ao período de um ano. Com base nestes dados, efetuou-se o dimensionamento do sistema visando atender a demanda de energia da indústria e a disponibilidade de área para instalação do sistema. Após a análise de viabilidade econômica, observou-se que para um período de retorno superior a doze anos o investimento se torna viável para a empresa. Tendo em vista que este tipo de sistema possui vida útil de aproximadamente 30 anos, pode-se afirmar que antes da metade da vida útil do sistema, o investimento já estará pago e trazendo retorno financeiro para a empresa.

Palavras-chave: Radiação solar. Sistema fotovoltaico. Compensação de energia.

ABSTRACT

ANALYSIS OF ECONOMICAL FEASIBILITY FOR INSTALLATION OF A PHOTOVOLTAIC SYSTEM IN A METALMECHANICAL INDUSTRY IN GUAPORÉ – RS

AUTHOR: LUCIANA GREGORY RITTER
ADVISOR: PROF. DR. CESAR ADDIS VALVERDE SALVADOR
CO-ADVISOR: PROF. DR. CARLOS ROBERTO CAUDURO

Brazil is a country privileged in terms of solar radiation and, due to the high levels of solar radiation in large extensions, is one of the countries with the most suitable conditions for the use of solar energy. This study evaluates the economic viability of installing a photovoltaic system in an industry, with the system interconnected to the local power distribution network. A survey of the energy demand of the industry was carried out, through its energy bills corresponding to the period of one year. Based on these data, the system was designed to meet the energy demand of the industry and the availability of area for system installation. After the analysis of economic feasibility, it was observed that for a return period of more than twelve years the investment becomes viable for the company. Considering that this type of system has a useful life of approximately 30 years, it can be affirmed that before the half of the life of the system, the investment will already be paid and bringing financial return to the company.

Keywords: Solar radiation. Photovoltaic system. Compensation of energy.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 6
1.1 OBJETIVOS 7
1.1.1 Objetivo geral 7
1.1.2 Objetivos específicos 7
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 8
2.1 ENERGIA SOLAR 8
2.2 O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL 9
2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS 13
2.3.1 O efeito fotoelétrico 13
2.3.2 A célula solar fotovoltaica 14
2.3.3 O módulo solar fotovoltaico 16
2.3.4 Sistemas solares fotovoltaicos 17
3 METODOLOGIA 19
3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO 19
3.2 MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR 22
3.3 ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS 22
3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO 23
3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA 24
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO 26
4.1 DEMANDA DE ENERGIA 26
4.2 MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR E ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS 28
4.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO 29
4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA 31
5 CONCLUSÕES 33
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 34

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a energia é um bem essencial quer no desenvolvimento econômico, quer no desenvolvimento social e, para que as futuras gerações possam ter acesso a este bem, a geração atual não pode esgotar as fontes de energia. A fim de alcançar este objetivo, torna-se necessário o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis bem como uma utilização eficiente das tecnologias atuais (SILVA, 2012).

Neste sentido, uma maior atenção tem sido dada à otimização do consumo de energia em grandes edifícios, bem como no consumo de energia decorrente das atividades das organizações industriais, em virtude do maior impacto visível ao meio ambiente (CONGRADAC et al., 2012; MOLINA-AZORÍN et al., 2009).

Segundo Silva (2012) as energias renováveis são essenciais para a sustentabilidade energética, pois além de serem muito menos poluentes, reduzem a dependência energética externa. Existem três gerações de energias renováveis:

- as tecnologias de primeira geração, as quais emergiram no final do século XIX, compreendendo a energia hídrica, a combustão de biomassa e a energia geotérmica;
- as de segunda geração, que incluem a energia solar, a energia eólica e tecnologias modernas de bioengenharia. Estas tecnologias tiveram um crescimento elevado nos últimos 15 anos como resultado do desenvolvimento e investigação, que começou por volta de 1980 resultante das crises petrolíferas dos anos 1970. O crescente aumento atual deve-se também a questões ambientais;
- as de terceira geração são tecnologias que ainda se encontram em fase de desenvolvimento. Como exemplo destas tecnologias tem-se a gaseificação avançada de biomassa, tecnologias de biorrefinaria e solares térmicas concentradas.

As duas primeiras gerações de energias renováveis são as utilizadas em massa atualmente. Já a utilização da terceira, depende dos compromissos de investigação e desenvolvimento a adotar, demonstrando um papel importante do setor público na utilização em larga escala destas.

O Brasil é um país privilegiado em termos de radiação solar, sendo a radiação solar do nordeste comparável às melhores regiões do mundo nessa variável, como a cidade de Dongola, no deserto do Sudão, e a região de Dagget, no Deserto de Mojave. Em virtude dos altos níveis de radiação solar em grandes extensões, o Brasil é um dos países com condições mais adequadas para o uso de energia solar (SILVA, WEISS e FREITAS, 2011).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo avaliar a viabilidade econômica da instalação de um sistema fotovoltaico em uma indústria metalmecânica, com o sistema interligado à rede de distribuição de energia local.

1.1.2 Objetivos específicos

Este estudo tem por objetivos específicos:

- efetuar o levantamento da demanda anual de energia da indústria;
- dimensionar o sistema fotovoltaico de acordo com a demanda de energia da indústria e a disponibilidade de área.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica do presente trabalho apresenta a importância da energia solar, o potencial de geração de energia solar no Brasil e o processo de geração de energia através das células solares fotovoltaicas.

2.1 ENERGIA SOLAR

O Sol apresenta-se como uma fonte renovável de energia, que nos possibilita usufruir desse benefício de diversas maneiras, de modo que melhor se ajuste às nossas necessidades (ANGELIS-DIMAKIS et al., 2011).

A energia proveniente do Sol, denominada de energia eletromagnética, é produzida por meio de reações nucleares, e que, propagando-se através do espaço, incide sobre a superfície da Terra. O Sol é uma fonte perene, gratuita e não poluente de energia e é responsável por todas as formas de vida no planeta (FARRET, 1999).

A energia solar pode ser dividida em energia solar passiva e ativa. A energia passiva caracteriza-se pelo aproveitamento da iluminação natural e do calor, reduzindo-se assim a necessidade de iluminação e aquecimento. Já a energia ativa se divide em fotovoltaica e térmica. A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão da energia solar em energia elétrica; enquanto a energia solar térmica é obtida através da conversão direta da energia do Sol em calor (BAPTISTA, 2006).

A energia solar é considerada uma forma de energia promissora, porém, seus custos ainda são muito altos. Entretanto, estes custos referem-se basicamente aos custos de instalação, incluindo a compra de equipamentos. Posteriormente, o seu custo pode ser considerado nulo pelo fato da mesma utilizar apenas a energia proveniente do sol. Além disso, os sistemas fotovoltaicos não emitem poluentes durante sua operação, sendo o impacto ambiental mais significativo provocado durante sua fabricação e montagem. A maioria dos impactos negativos ocorridos durante a fase de implantação do empreendimento tem efeito temporário e praticamente não ultrapassam as fronteiras do mesmo, já a maioria dos impactos positivos tem seus efeitos contínuos que se consolidam durante a fase de operação (BARBOSA FILHO et al., 2015).

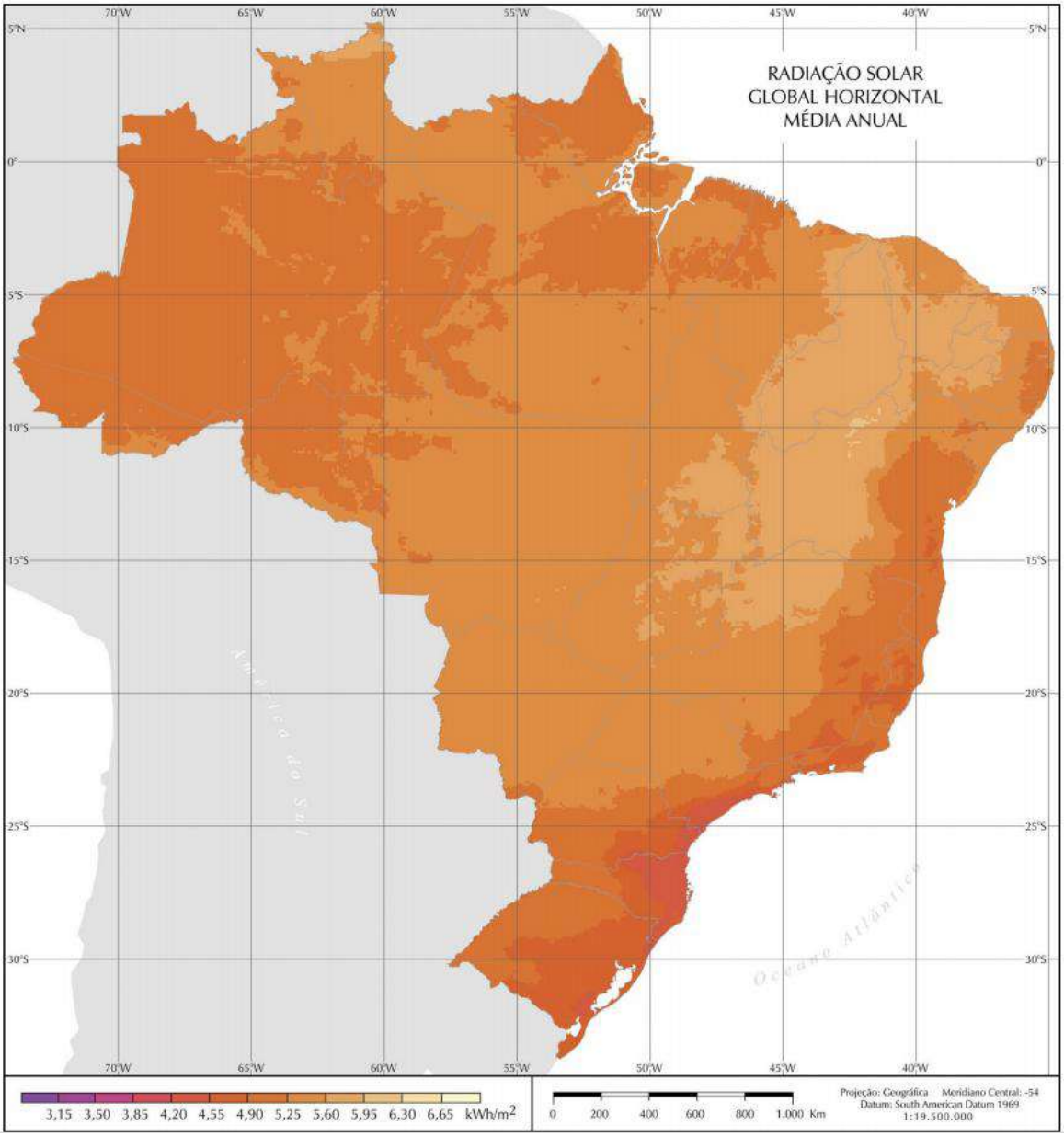
2.2 O POTENCIAL DE GERAÇÃO DE ENERGIA SOLAR NO BRASIL

O Brasil apresenta um dos mais elevados índices de irradiação solar do mundo. A maior porção do território nacional encontra-se próxima à linha do Equador, não apresentando assim grandes variações de radiação solar ao longo do dia, o que resulta em um grande potencial de energia solar durante todo ano, sendo as regiões brasileiras com menores índices de radiação comparáveis, por exemplo, às regiões de maiores índices na Alemanha (ABINEE, 2012).

Estes dados de medição de radiação são obtidos por meio das pesquisas de diversos organismos, sendo que deles resultam os mapas solarimétricos, que irão auxiliar no desenvolvimento e aplicação de projetos de aproveitamento de energia solar.

Na Figura 1, temos o mapa que apresenta os valores diários da estimativa média anual de irradiação solar que atinge um corpo em inclinação igual à latitude do local para o Brasil, considerando a radiação global, conforme Pereira et al. (2006).

Figura 1 - Mapa de radiação solar no plano horizontal em média anual



Fonte: (PEREIRA et al., 2006).

O Brasil apresenta radiação média diária com variação entre 4,4 e 6,4 kWh/m², sendo que os projetos de sistemas fotovoltaicos normalmente exigem uma irradiação de no mínimo 3 a 4 kWh/m².dia, comprovando o potencial disponível para aproveitamento (CRESESB - CEPEL, 2014).

Hoje, mais de 20% do valor de um sistema fotovoltaico é composto por tributos, sob os quais o governo possui poder para alteração. Além de reduzir a carga tributária, existem outros incentivos que o poder público pode oferecer para incentivar e facilitar o acesso à energia solar, sendo algumas ações desenvolvidas apresentadas a seguir.

a) Lei nº 9.427/1996 (Federal):

- para empreendimentos cuja potência instalada seja menor ou igual a 30.000 kW, a ANEEL estipulará percentual de redução não inferior a cinquenta por cento a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, incidindo na produção e no consumo da energia comercializada pelos aproveitamentos;
- também permite que geradores de energia de fonte solar, e de outras fontes alternativas, com potência injetada inferior a 50.000 kW comercializem energia elétrica, sem intermediação das distribuidoras, com consumidores especiais, com carga entre 500 kW e 3.000 kW.

b) Convênio nº 101/1997, Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ):

- estabelece que não seja recolhido ICMS de módulos e células fotovoltaicas em nenhum estado da Federação. Porém, esta medida não se estende a outros equipamentos, como inversores e medidores.

c) Lei nº 12.431/2011:

- define a isenção de Imposto de Renda dos rendimentos de pessoa física relacionados à emissão de debêntures por sociedade de propósito específico, dos certificados de recebíveis imobiliários e de cotas de emissão de fundo de investimento em direitos creditórios, relacionados à captação de recursos com vistas a implementar projetos de investimento na área de infraestrutura, ou de produção econômica intensiva em pesquisa, desenvolvimento e inovação, considerados como prioritários na forma regulamentada pelo Poder Executivo, introduzindo assim um instrumento novo de facilitação de entrada de capital privado no financiamento de energias renováveis.

d) Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012:

- estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Garante que consumidores interessados em fornecer energia para a rede da distribuidora na qual estão conectados poderão fazê-lo, desde que obedecidos os procedimentos técnicos estabelecidos pela Aneel e que o empreendimento tenha potência máxima de 1.000 kW (1 MW), podendo abater a energia injetada daquela consumida, ou seja, somente pagarão para as distribuidoras a diferença entre o consumido e o injetado.

e) Selo Solar/2012:

- certificação concedida gratuitamente pelo Instituto Ideal para empresas, instituições públicas e privadas e proprietários de edificações que consumirem um valor mínimo anual de eletricidade solar, que varia conforme a quantidade total de energia consumida, ou que tenham pelo menos 50% do seu consumo de eletricidade vindo de fonte solar.

f) Lei nº 13.169/2015 (Federal):

- ficam reduzidas a zero as alíquotas da Contribuição para o PIS/Pasep e da Contribuição para Financiamento da Seguridade Social - COFINS incidentes sobre a energia elétrica ativa fornecida pela distribuidora à unidade consumidora, na quantidade correspondente à soma da energia elétrica ativa injetada na rede de distribuição pela mesma unidade consumidora com os créditos de energia ativa originados na própria unidade consumidora no mesmo mês, em meses anteriores ou em outra unidade consumidora do mesmo titular, nos termos do Sistema de Compensação de Energia Elétrica para microgeração e minigeração distribuída, conforme regulamentação da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL.

g) Portaria n º 538/2015:

- cria o Programa de Desenvolvimento da Geração Distribuída de Energia Elétrica - ProGD, visando promover a ampliação da geração distribuída de energia elétrica, com base em fontes renováveis e cogeração, e incentivar a implantação de geração distribuída em edificações públicas, comerciais, industriais e residenciais.

h) Resolução Normativa ANEEL nº 687/2015:

- altera a Resolução Normativa 482 e os procedimentos de distribuição.

i) Convênio nº 16/2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ):

- autoriza, aos estados que aderirem ao mesmo, a conceder isenção de ICMS sobre a energia exportada, que sai pelo relógio do consumidor, e que antes era taxada. O convênio, na prática, faz com que o consumidor seja tributado pelo ICMS apenas o excedente consumido. A medida é importante pois aumenta muito o retorno financeiro de quem investe em energia solar pois faz com que 100% da geração de seu sistema seja de fato abatida da conta de energia.

j) Convênio nº 130/2015, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ):

- altera a redação do Convênio nº 16/2015.

k) Programa Mais Alimentos/2015:
- em 2015 foi assinado termo de cooperação que permite a pequenos produtores de agricultura familiar e assentados da reforma agrária financiar os equipamentos para produção de energia eólica e solar pelo programa Mais Alimentos, uma linha de crédito do Programa Nacional de Fortalecimento da Agricultura Familiar (Pronaf) para dar subsídios a infraestrutura produtiva.

l) Programa Luz para Todos (LPT)/2015:
- o governo lança novo Manual para Atendimento às Regiões Remotas dos Sistemas Isolados, que é um documento com diretrizes para agilizar e facilitar a contratação de projetos no programa Luz para Todos em comunidades isoladas. Nessas comunidades, os projetos de eletrificação pelo Luz para Todos precisam de soluções para a geração de energia no local, como as miniusinas fotovoltaicas, com painéis solares. O material traça justamente os critérios técnicos, financeiros, procedimentos e prioridades que serão aplicados no atendimento das comunidades isoladas, preferencialmente com o uso de fontes alternativas de energia, para o período de 2015 a 2018.

m) Convênio nº 75/2016, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ):
- altera a redação do Convênio nº 16/2015.

2.3 GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE CÉLULAS SOLARES FOTOVOLTAICAS

Para entender o processo de geração de energia através das células solares fotovoltaicas, é necessário compreender o fenômeno conhecido como efeito fotoelétrico, no qual a tecnologia fotovoltaica se baseia, bem como os conceitos e diferentes tipos de células, módulos e sistemas solares fotovoltaicos disponíveis no mercado.

2.3.1 O efeito fotoelétrico

A energia solar fotovoltaica é a tecnologia que gera energia elétrica, em corrente contínua, a partir de semicondutores, quando estes são iluminados por fótons presentes na radiação solar. Durante a incidência de luz na célula solar, ocorre a conversão de energia. Esse fato foi verificado por Edmond Becquerel, em 1839, onde o mesmo constatou uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor quando exposto a luz, porém, não se tinha uma explicação coerente sobre esse efeito. Já no início do século XX, Albert

Einstein desenvolveu uma teoria, de que os elétrons liberados, quando da incidência da luz, são atraídos para um polo positivamente carregado, criando uma corrente fotovoltaica. Esta teoria explica o efeito fotoelétrico, no qual a tecnologia fotovoltaica se baseia (SILVA et al., 2017).

O material utilizado nas células solares deve ser da maior pureza possível, sendo o silício o material mais usado na fabricação de células fotovoltaicas. O silício caracteriza-se por apresentar quatro elétrons de ligação, o que permite a formação de redes cristalinas. Quando ocorre a adição do fósforo, por exemplo, que possui cinco elétrons de ligação, haverá um elétron em excesso. Esse elétron, em função de sua fraca ligação ao elemento de origem, é enviado à banda de condução. Deste modo, o fósforo é considerado um dopante doador de elétrons, denominando-se dopante n ou impureza n (CRESESB - CEPEL, 2006).

Porém, quando fazemos a adição de átomos que possuem apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, ocorrerá a falta de um elétron para completar as ligações do silício. Esta falta é denominada de buraco ou lacuna, que pode ser preenchido por um elétron de um sítio vizinho, levando a um deslocamento do buraco. Sendo assim, o boro é tido como um aceitador de elétrons ou um dopante p (CRESESB - CEPEL, 2006).

Se introduzirmos átomos de boro em uma parte de um átomo de silício puro, e fósforo em outra parte, teremos a formação da chamada junção pn. Onde elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; promovendo um acúmulo de elétrons no lado p, resultando em uma carga negativa e, consequentemente na redução de elétrons do lado n, tornando-o eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico, que alcança o equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n (CRESESB - CEPEL, 2006).

Caso ocorra a exposição da junção pn a fótons em uma região onde o campo elétrico é diferente de zero, ocorrerá uma aceleração das cargas, que levará a geração de uma corrente ao longo da junção, e consequente diferença de potencial, que conhecemos como Efeito Fotoelétrico. Se conectarmos as duas extremidades do silício por meio de um fio, teremos circulação de elétrons, formando a base do funcionamento das células fotovoltaicas (CRESESB - CEPEL, 2006).

2.3.2 A célula solar fotovoltaica

A célula fotovoltaica é um dispositivo elétrico que converte a energia da luz do Sol diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. As células podem ser feitas de vários materiais: silício (S), telureto de cádmio (CdTe), disseleneto de cobre, gálio e índio

(CIGS), dentre outros (RÜTHER, 2004). A composição de cada célula é decorrente de uma tecnologia que possui eficiência e possibilidade de integração diferenciada. Existem três gerações da tecnologia, cada uma com suas características específicas. As células de primeira geração são de silício cristalino, que atualmente dominam o mercado; já a segunda geração da tecnologia é representada pelos módulos de filmes finos, que apresentam eficiência um pouco inferior, porém permitem maior flexibilidade na instalação; e a terceira geração é composta pelas células orgânicas e de corantes sensibilizados, uma tecnologia com comercialização em menor proporção (SANTOS, 2014).

Segundo Vasconcelos (2013), as células que utilizam silício cristalino como material base ocupam aproximadamente 90% do mercado. Estas células podem ser de silício monocristalino ou policristalino. Células de silício monocristalino (c-Si) são fabricadas a partir da obtenção de um bloco originado de um único cristal, o que o torna bastante eficiente, porém com custo elevado. Já as células de silício policristalino são formadas a partir da solidificação do material, em formato de bloco, contendo pequenos cristais. Ambos os materiais são cortados em lâminas, nas quais são fabricadas as células fotovoltaicas (CRESESB - CEPEL, 2014).

O desenvolvimento das células fotovoltaicas de filmes finos vem desde a década de 90. O material semicondutor é aplicado em um substrato, depositado num processo por meio de plasma. A camada do material é muito fina, geralmente depositado sobre vidro, ou sobre plásticos e metais flexíveis, podendo ser utilizado em superfícies curvas e até mesmo sobre telhas metálicas ou do tipo *shingle*. Os semicondutores mais utilizados são o silício amorfo (a-Si), o disseleneto de cobre e índio (gálio) (CIS-CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe). Devido à alta absorção luminosa, camadas de menor espessura (0,001 mm) são, em teoria, suficientes para converter a luz solar em eletricidade. Além disso, esses materiais são mais facilmente dopados e requerem menores temperaturas (entre 200°C e 500°C) para sua fabricação. Seus módulos possuem flexibilidade e são mais leves que os módulos de silício cristalino (LACROIX, 2013; SANTOS, 2014).

Conhecidas como células solares de terceira geração, elas são principalmente de dois tipos: orgânicas (OPV, sigla em inglês para *organic photovoltaic*) ou sensibilizadas por corantes (DSSC, acrônimo em inglês de *dye-sensitized solar cell*). As células OPV usam materiais semicondutores à base de carbono para fazer a conversão de energia luminosa em elétrica, justificando a sua denominação. Já as DSSC funcionam através de uma reação química de oxidação-redução. Também são chamadas de células híbridas, em virtude de serem feitas de materiais orgânicos e inorgânicos. Elas são construídas entre dois vidros e contêm um eletrólito líquido, normalmente uma solução composta por um sal de iodo. As células ativadas por

corantes absorvem a radiação solar, permitindo o fenômeno da separação das cargas (positivas e negativas) para a produção de energia. Sua eficiência é em torno de 6% menor que as eficiências de outras tecnologias, em função da alta taxa de recombinação do material, justificando uma demanda de área elevada. Já o custo é bem inferior ao de outras tecnologias, pois o material de maior custo acaba sendo o vidro sobre o qual a célula será depositada. Porém, cabe ressaltar que nem as células orgânicas, nem as híbridas são comercializadas em larga escala no mundo (VASCONSELOS, 2013).

2.3.3 O módulo solar fotovoltaico

Um painel solar é capaz de produzir em torno de 120 Watt-pico (Wp), e 3,56 amperes (A) no ponto de máxima potência, sendo assim, é necessário que eles sejam arranjados em uma configuração série-paralelo para alcançar potências e tensões mais elevadas. O resultado destas combinações é um único dispositivo denominado de módulo solar fotovoltaico, que pode fornecer potências de dezenas a centenas de Watts (W) (CRUZ, 2012).

Devido as características elétricas das células, deve-se ter um cuidado especial ao selecioná-las para serem utilizadas no momento de fabricação do módulo pois, caso ocorra a incompatibilidade destas características, serão produzidos módulos de baixa qualidade, em função do efeito *mismatch* (descasamento), onde as células de menor corrente limitam o desempenho do conjunto, ou seja, a eficiência do módulo será afetada (CRESESB - CEPEL, 2014).

Dentre as características dos módulos, cabe destacar que os módulos podem ser rígidos ou flexíveis, característica esta que depende do tipo de célula fotovoltaica a ser utilizada. Podem ainda ser classificados como opacos ou semitransparentes, os quais possuem menor potência, pois a transparência é obtida pelo maior afastamento entre as células um uma mesma área. Os módulos também podem ser emoldurados com perfis de alumínio, facilitando a sua instalação em um painel, ou sem moldura, cuja finalidade é a utilização como parte de uma construção ou como revestimento (CRESESB - CEPEL, 2014; SANTOS, 2014).

Com o objetivo de garantir a eficiência energética dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica, e estabelecer requisitos mínimos de desempenho e segurança dos sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica o Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (INMETRO) definiu que os módulos comercializados no brasil devem ser ensaiados de acordo com o Requisitos de Avaliação da Conformidade (RAC), apresentar

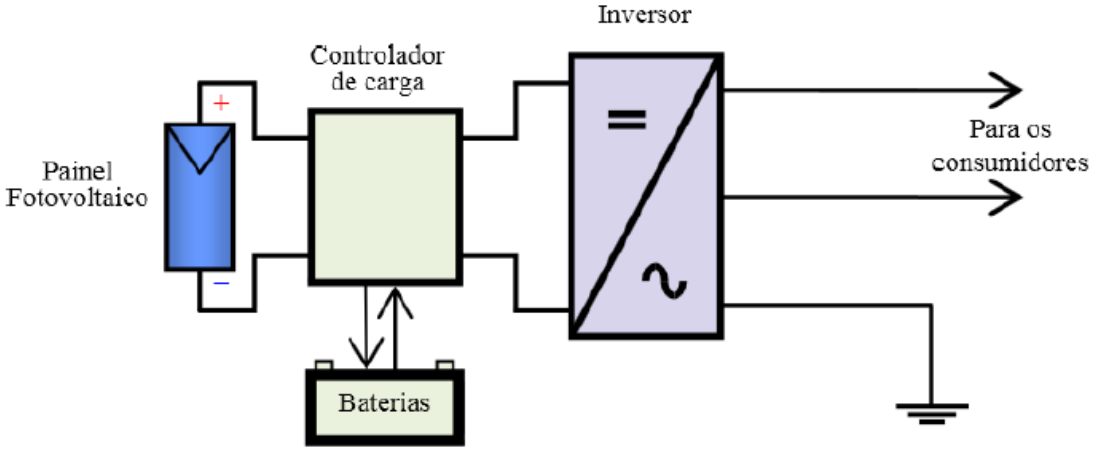
registro e a etiqueta deve estar afixada na sua superfície posterior, na qual cabe destacar a classificação das categorias de eficiência energética (A a E) (INMETRO, 2011).

2.3.4 Sistemas solares fotovoltaicos

A instalação de um sistema fotovoltaico abrange desde os módulos de geração fotovoltaica até a fiação que ligará o sistema às cargas ou à rede elétrica. Sendo assim, os sistemas solares fotovoltaicos podem ser divididos quanto à forma ou quanto a aplicação, em: autônomos (também conhecido como isolados) ou ligados à rede de energia elétrica (CRUZ, 2012).

Os sistemas autônomos não estão conectados à rede elétrica, sendo normalmente utilizados em lugares isolados onde não há a cobertura da rede elétrica. Estes sistemas utilizam acumuladores eletroquímicos de energia, com o intuito de resolver o problema da variação de produção de eletricidade ao longo do dia. Nestes sistemas, também se faz necessário um controlador de carga a fim de condicionar a energia gerada para um banco de baterias eletroquímicas. Além de evitar a sobrecarga e/ou sobrecorrentes nas baterias, ele é utilizado para garantir que os painéis solares fotovoltaicos produzam o máximo de potência possível em qualquer condição atmosférica. Sendo assim, o sistema é composto de painéis fotovoltaicos, controlador de carga, baterias e inversor, conforme Figura 2 (CRUZ, 2012; RÜTHER et al., 2007).

Figura 2 - Constituintes básicos de um sistema autônomo

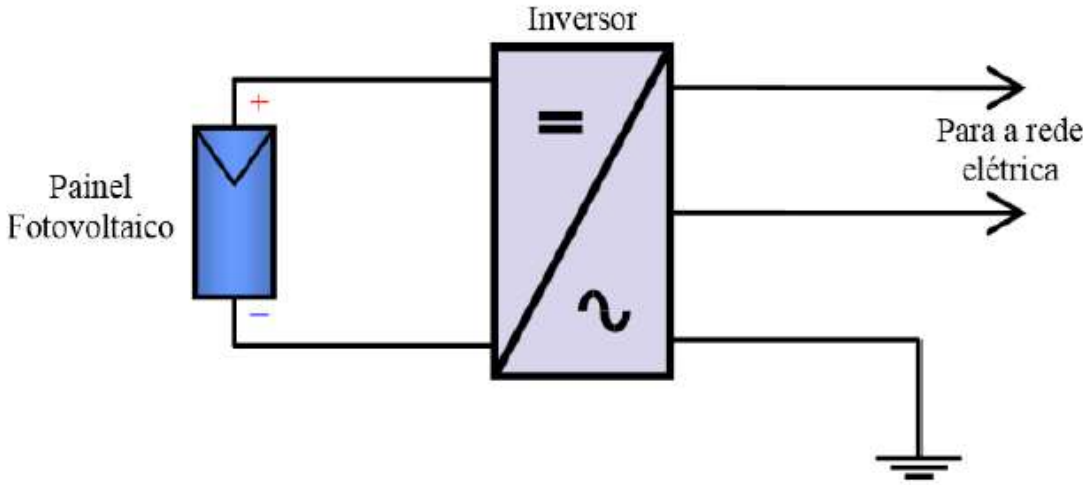


Fonte: (RÜTHER et al., 2007).

Já o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é aquele que está conectado efetivamente à rede elétrica de energia, não sendo necessário nenhum sistema que acumule a energia. Neste caso,

o sistema é composto basicamente pelos painéis fotovoltaicos ligados a um inversor que é conectado à rede elétrica, conforme Figura 3 (SUZUKI; REZENDE, 2013).

Figura 3 - Constituintes básicos do sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: (RÜTHER et al., 2007).

No Brasil, o uso desta a tecnologia teve mais um avanço recentemente, com a Resolução n° 482 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), alterada pela Resolução nº 687, que dispõe sobre o modo de conexão à rede e sistema de compensação de microgeração e minigeração distribuída. Através desta resolução as gerações fotovoltaicas integradas às edificações terão seu retorno financeiro na forma de compensação do consumo de energia elétrica. Podem aderir ao sistema de compensação de energia elétrica os consumidores responsáveis por unidade consumidora:

- com microgeração ou minigeração distribuída;
- integrante de empreendimento de múltiplas unidades consumidoras;
- caracterizada como geração compartilhada;
- caracterizada como autoconsumo remoto.

Para fins de compensação, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pela unidade consumidora será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando a unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (ANEEL, 2015).

Um ponto importante a observar, é que no faturamento de unidade consumidora integrante do sistema de compensação de energia elétrica será cobrado, no mínimo, o valor referente ao custo de disponibilidade para o consumidor do grupo B, ou da demanda contratada para o consumidor do grupo A, conforme o caso (ANEEL, 2015).

3 METODOLOGIA

O desenvolvimento do trabalho foi baseado no levantamento de dados do local de estudo, dados de medições de radiação solar, orientação dos módulos, dimensionamento do sistema fotovoltaico e análise de viabilidade econômica.

3.1 DESCRIÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

A Sulmaq, fundada em 1971 pelo empreendedor Sr. Bruno Roos, possui dois segmentos distintos de atuação: equipamentos e serviços para a indústria da carne (Sulmaq Equipamentos), Figura 4, a qual também possui uma unidade fabril específica para fabricação de equipamentos em aço inox (Unidade Inox), Figura 5, e aplicações em microfusão (Sulmaq Microfusão), Figura 6, que atua no desenvolvimento e fabricação de peças microfundidas de alta precisão para os mais diferentes segmentos de mercado. Ambas as unidades estão sediadas na cidade de Guaporé/RS.

Figura 4 – Sulmaq Equipamentos

Fonte: Banco de dados da empresa.

Figura 5 - Sulmaq - Unidade Inox

Fonte: Banco de dados da empresa.

Figura 6 - Sulmaq Microfusão

Fonte: Banco de dados da empresa.

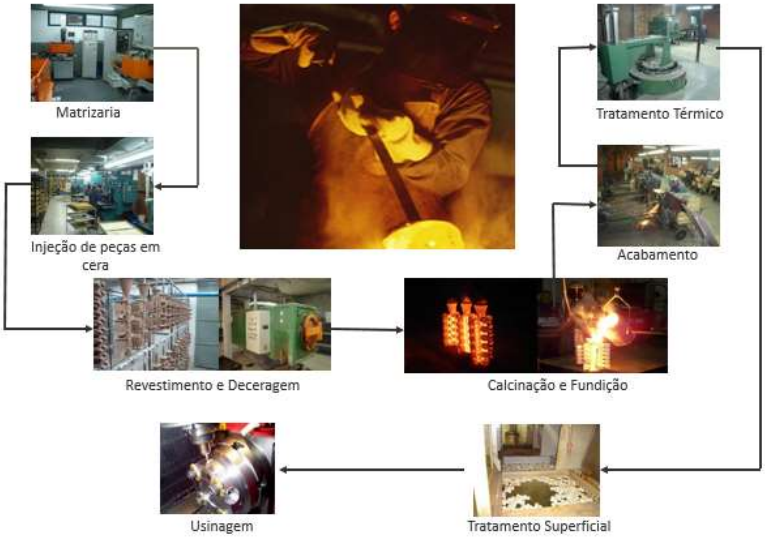
As Unidades Inox e Sulmaq Microfusão, bem como uma unidade administrativa, as quais serão objeto de estudo, estão situadas em um mesmo parque fabril, na Rodovia RS 129, KM 129, cidade de Guaporé (Figura 7).

Figura 7 - Localização das Unidades Inox, Sulmaq Microfusão e unidade administrativa

Fonte: Banco de dados da empresa.

Na Sulmaq Microfusão, é verificada a maior demanda de energia elétrica, em virtude do seu processo produtivo, que consiste na fabricação de modelos de cera da peça desejada, que recebem um revestimento cerâmico. Após o recebimento do revestimento a cera é retirada, sobrando somente a casca, que é onde o metal é vazado, conforme Figura 8.

Figura 8 - Etapas do processo de microfusão



Fonte: Banco de dados da empresa.

Como é percebido, na área de estudo, a carga de demanda de energia elétrica é essencialmente representada por alimentação de máquinas e equipamentos, iluminação, climatização, computadores e eletrônicos em geral.

Para o levantamento desta demanda de energia, foi solicitada a empresa as faturas de energia elétrica referentes ao período de avaliação, que corresponde de janeiro a dezembro de 2016.

3.2 MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR

O histórico das medições de radiação solar é essencial para um estudo de viabilidade de um projeto de geração fotovoltaico, pois irá garantir o máximo aproveitamento ao longo do ano do sistema a ser analisado.

Estes dados podem ser obtidos por meio de diversas bases de dados, sendo para estudo optado pelos dados da base SunData do CRESESB – CEPEL.

O programa SunData é uma ferramenta de apoio para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico. É baseado no banco de dados *Valores Medios de Irradiacion Solar Sobre Suelo Horizontal do Centro de Estudos de la Energia Solar* (além de outras fontes), e destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal no plano horizontal para cerca de 350 pontos no Brasil e em países limítrofes. Para saber a irradiação solar global diária média mensal de uma localidade, basta inserir suas coordenadas geográficas (CRESESB - CEPEL, 2014).

3.3 ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS

De acordo com a variação da posição da Terra em relação ao Sol ao longo do ano, são determinados os ângulos de inclinação dos módulos solares, em relação ao norte (azimute) e em relação ao plano horizontal, que proporcionam a otimização do aproveitamento solar no caso da utilização de módulos fixos, que não acompanham a trajetória diária do Sol (EPE, 2012).

No hemisfério Sul, os painéis solares devem estar voltados para o Norte Verdadeiro (Norte Magnético) e a inclinação com o plano horizontal pode ser ajustada para maximizar a produção em cada uma das estações do ano ou para maximizar a produção média ao longo do ano. Neste último caso, em geral a inclinação corresponde a ângulos próximos da latitude do local da instalação, e nunca menor que 15°, de forma a facilitar a autolimpeza dos módulos (EPE, 2012).

No entanto, é possível escolher a melhor inclinação para a aplicação desejada por meio de bases de dados. No Sundata do CRESESB – CEPEL, por exemplo, informando a latitude e longitude do local a ser instalado o sistema de captação, é possível obter os valores mensais e

médios anuais obtidos pela inclinação para o mesmo valor de latitude, o valor de maior média anual e maior mínimo mensal.

3.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para o dimensionamento do sistema, é utilizada a Equação 1, que determina a potência instalada dos módulos fotovoltaicos (SANTOS, 2014).

$$Pot = \frac{E}{G_{poa} * R} \qquad \text{Equação 1}$$

Onde:

Pot = Potência instalada dos módulos fotovoltaicos (comumente representada por kWp, mas que na realidade corresponde a kWp/kWp, ou seja, potência atingida a partir da radiação incidente no módulo);

E = Energia gerada pelo sistema, considerar o valor médio diário de consumo de energia da edificação (kWh/dia);

Gpoa = Média mensal do total diário da irradiação solar incidente no plano do arranjo fotovoltaico (kWh/m²/dia);

R = Rendimento do sistema, inversor e conexões (comumente utilizado o valor de 80% (SANTOS, 2014)).

A partir da potência a ser instalada, é feita a determinação do número de módulos que serão necessários para o sistema, por meio da Equação 2.

$$nMód = \frac{PotTotal}{Pot.Mód} \qquad \text{Equação 2}$$

Onde:

nMód = número de módulos a ser utilizado;

PotTotal = valor identificado na Equação 1 (kWp);

Pot.Mód = valor indicado pelo fabricante do módulo (kWp em STC).

Obs.: Deve-se atentar para as unidades de medida, pois normalmente os fabricantes divulgam as potências dos módulos em Wp, mas a unidade utilizada na fórmula é kWp (Wp/1000).

Já o dimensionamento do inversor depende da geração do sistema fotovoltaico, ele é diretamente proporcional a potência nominal do sistema. A potência máxima do inversor deve

ser igual ou superior à potência da demanda. De acordo com Santos et al. (2006), a potência do inversor deve ser definida de acordo com a Equação 3.

$$0{,}7xP_{SF} < P_{INV\ DC} < 1{,}2xP_{SF} \qquad \text{Equação 3}$$

Onde:

P_{SF} = Potência do Sistema Fotovoltaico;

$P_{INV\ DC}$ = Potência do Inversor.

3.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Após definir as características do sistema, foi solicitado um orçamento referente ao custo do mesmo para uma empresa especializada. De posse do orçamento, efetuou-se a estimativa do Tempo de Retorno Simples, por meio da Equação 4.

$$PBS = \frac{I}{A} \qquad \text{Equação 4}$$

Onde:

PBS = *Payback* Simples ou Tempo de Retorno Simples (anos);

I = Custo da implantação do empreendimento (R$);

A = Receita, custo evitado ou benefício auferido (R$).

Em seguida, efetuou-se o cálculo do Fator de Valor Presente (FVP), conforme Equação 5, que leva em consideração a taxa de juros, sendo considerado neste caso a taxa de juros CELIC referente a abril de 2017 de 11,25%, e a durabilidade do sistema.

$$FVP\ (i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i*(1+i)^n} \qquad \text{Equação 5}$$

Onde:

FVP = Fator de Valor Presente;

i = taxa de juros (a.a);

n = Durabilidade do sistema.

O Fator de Valor Presente foi utilizado no cálculo de viabilidade por meio do Valor Presente Líquido (VPL), conforme Equação 6.

$$VPL = -I + A * FVP(i, n) \qquad \text{Equação 6}$$

Onde:

VPL = Valor Presente Líquido;

I = Custo da implantação do empreendimento (R$);

A = Receita, custo evitado ou benefício auferido (R$);

FVP = Fator de Valor Presente.

Para que uma alternativa de investimento seja economicamente viável, deve-se encontrar um VPL positivo. Sendo que a alternativa torna-se tanto mais viável, quanto maior for o seu resultado. Já um VPL negativo indica que a alternativa é economicamente inviável, e um VPL nulo, indica que é indiferente do ponto de vista econômico realizar-se ou não o investimento (COSTA; ATTIE, 1987).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados do trabalho apresentam os dados da demanda de energia do empreendimento, das medições de radiação solar e orientação dos módulos, o dimensionamento do sistema fotovoltaico e a análise de viabilidade econômica de instalação do sistema.

4.1 DEMANDA DE ENERGIA

A Sulmaq está enquadrada na tarifa A4, Industrial, Consumidor Livre, sendo apresentada na Tabela 1 as características do empreendimento.

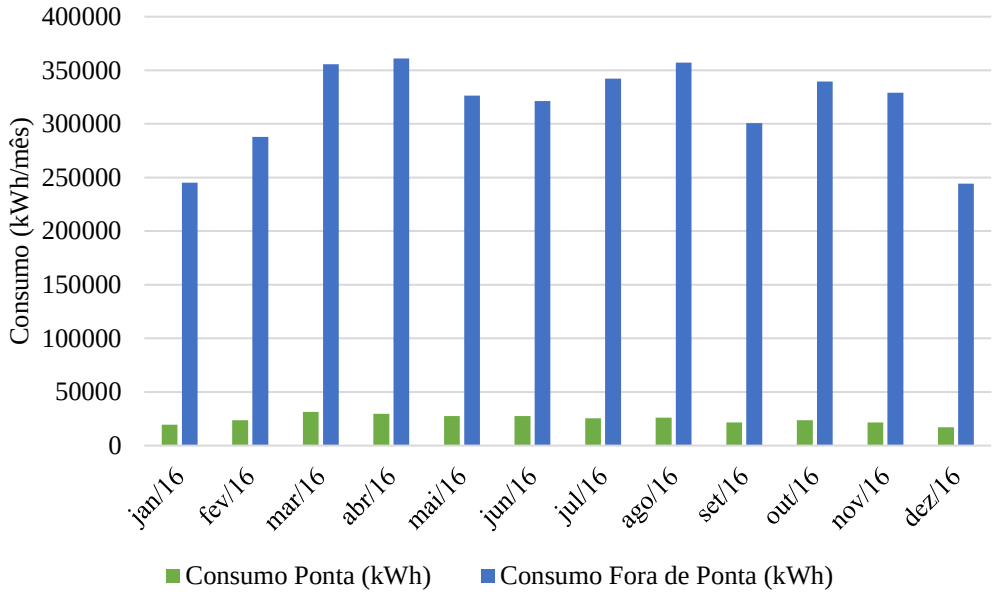
Tabela 1 - Características do empreendimento

Subgrupo	A4 - 2,3 kV / 25 kV
Classe	Industrial
Demanda contratada ponta	700 kW
Demanda contratada fora ponta	1.650 kW

Fonte: Autora.

A demanda de energia foi avaliada por meio do histórico de faturas de energia elétrica fornecidas pela empresa, sendo considerada a carga utilizada no estabelecimento durante o período anual compreendido de Janeiro a Dezembro de 2016, conforme Figura 9.

Figura 9 - Gráfico referente ao histórico de consumo de energia na Ponta e Fora de Pontano período avaliado



Fonte: Autora.

Através da análise das faturas de energia elétrica verificou-se que:

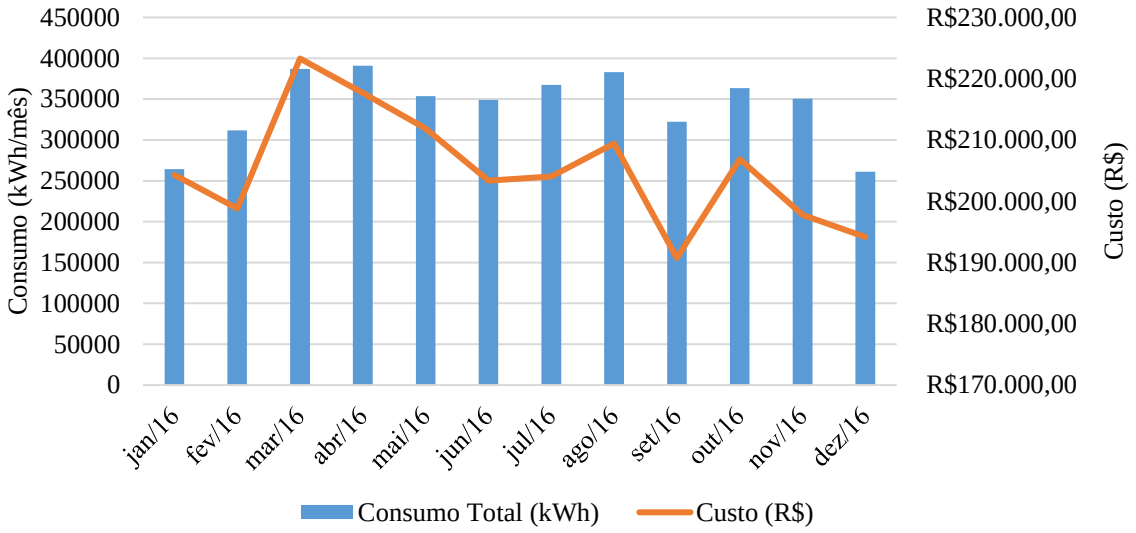
- consumo médio mensal na ponta: 24.532 kWh – 7,17%;
- consumo médio mensal fora de ponta: 317.519 kWh – 92,83%;
- consumo mensal médio de energia elétrica: 342.051 kWh.

Sendo assim, durante o período avaliado obteve-se uma média de 342.051 kWh/mês. Nota-se uma redução de demanda nos meses de dezembro e janeiro (apesar do verão e consequente maior utilização de ar condicionado) devido à parada de férias coletivas da empresa, que ocorreu dentro deste período.

Como a Sulmaq compra sua energia diretamente de uma comercializadora de energia por meio do Mercado Livre, ela paga uma fatura referente ao serviço de distribuição para a concessionária local e uma fatura referente à compra da energia.

A Figura 10 apresenta o histórico de consumo e dos custos totais com a utilização da energia elétrica no empreendimento durante o período de avaliação.

Figura 10 - Histórico de consumo de energia elétrica x custo de energia



Fonte: Autora.

Sendo assim, durante o período de avaliação, o consumo total de energia foi de 4.104.607 kWh, representando um custo total de R$ 2.462.345,79.

4.2 MEDIÇÕES DE RADIAÇÃO SOLAR E ORIENTAÇÃO DOS MÓDULOS

Para este estudo, foram utilizados os dados da base SunData do CRESESB - CEPEL, para a localização mais próxima da área de estudo, que corresponde a cidade de Bento Gonçalves – RS, os quais são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados de Radiação Solar para 29,1° S - 51,519166° O (Bento Gonçalves – RS)

Radiação Solar (kWh/m².dia) em função do ângulo de inclinação				
	Plano Horizontal	Ângulo Igual a Latitude	Maior Média Anual	Maior Mínimo Mensal
Mês/ Ângulo	0° N	29° N	24° N	49° N
Jan/16	5,28	4,73	4,88	3,93
Fev/16	5,81	5,55	5,66	4,80
Mar/16	4,81	5,07	5,09	4,70
Abr/16	4,08	4,90	4,82	4,91
Mai/16	3,06	4,09	3,97	4,34
Jun/16	2,56	3,60	3,47	3,91
Jul/16	2,92	4,06	3,91	4,38
Ago/16	3,33	4,13	4,04	4,22
Set/16	4,39	4,84	4,83	4,63
Out/16	5,39	5,31	5,39	4,70
Nov/16	6,14	5,55	5,72	4,63
Dez/16	6,36	5,54	5,75	4,50
Média	4,51	4,78	4,79	4,47
Delta	3,80	1,95	2,28	1,00

Fonte: Adaptado de CRESESB - CEPEL, 2017.

Apesar de a radiação solar ser variável ao longo do ano, a radiação global horizontal, que é a aproveitada pela geração fotovoltaica, possui baixa variação. Mesmo a variabilidade interanual, em relação à média de longo prazo, é menor do que a observada na geração eólica ou hidrelétrica (EPE, 2012).

De acordo com os dados obtidos, deve-se realizar a instalação dos módulos voltados para o Norte e com uma inclinação de 24°, o que proporcionará um melhor rendimento do sistema.

4.4 DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Com base no consumo médio mensal de energia do empreendimento, efetuou-se o dimensionamento do sistema visando atender 100% da demanda. Também adotou-se um

coeficiente de 10% sobre o consumo médio de energia, a fim de proporcionar um excedente de energia que será utilizado para equilibrar os meses de menor produção, e o restante servirá para compensação em outro imóvel do grupo.

$$Pot = \frac{E}{G_{poa} * R}$$

$$Pot = \frac{(\frac{376256,1}{30})}{4,79 * 0,8}$$

$$Pot = 3272,93\ kWp$$

Tomando por base um módulo de silício policristalino, de tamanho 1,645m x 0,99m x 0,035 m, com proteção IP65 e potência 260W, o número de módulos será de:

$$nMód = \frac{PotTotal}{Pot.Mód}$$

$$nMód = \frac{3272,93}{0,26}$$

$$nMód = 12588\ módulos$$

Para a instalação dos módulos serão necessários 2,05 ha de área. Como a empresa não dispõe de área suficiente apenas em telhados, será necessária a construção de estruturas para a instalação dos módulos.

Já a potência total dos inversores deverá ficar entre:

$$0,7xP_{SF} < P_{INV\ DC} < 1,2xP_{SF}$$

$$0,7x3273,93 < P_{INV\ DC} < 1,2x3272,93$$

$$2291 < P_{INV\ DC} < 3928$$

Tomando por base o inversor BB 20 kW, trifásico 380V, proteção IP65, o total de inversores será de 164 unidades.

4.5 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

O custo de implementação do sistema, incluindo todos os equipamentos/materiais necessários, bem como a mão-de-obra necessária para a instalação, corresponde a R$15.445.808,29. Sendo assim, o *Payback* Simples é de 6,27 anos.

$$PBS = \frac{I}{A}$$

$$PBS = \frac{15445808{,}29}{2462345{,}79}$$

$$PBS = 6{,}27\ anos$$

Calculando-se o Fator de Valor Presente (FVP), chegou-se a um resultado de

$$FVP\ (i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i*(1+i)^n}$$

$$FVP\ (i, n) = \frac{P}{A} = \frac{(1+0{,}1125)^{6{,}27} - 1}{0{,}1125*(1+0{,}1125)^{6{,}27}}$$

$$FVP\ (i, n) = 4{,}33$$

O Fator de Valor Presente foi utilizado no cálculo de viabilidade por meio do Valor Presente Líquido (VPL), conforme Equação 6.

$$VPL = -15445808{,}29 + 2462345{,}79 * 4{,}33$$

$$VPL = -4772421{,}80$$

Como o VPL obtido foi negativo, significa que para este tempo de retorno o investimento se torna inviável. Porém, repetindo-se o cálculo de VPL com a mesma taxa de juros, mesmo investimento e mesma economia, para um período maior, verificou-se que o investimento se torna viável quando o tempo de retorno for superior a 12 anos, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Cálculo do VPL em função da variação no tempo de retorno do investimento

Tempo de retorno do investimento (anos)	**VPL**
10	-1095252,10
11	-333087,41
12	352004,45
13	967817,35
14	1521357,04
15	2018920,81

Fonte: Autora.

Nos cálculos de viabilidade econômica não foram levados em consideração os custos decorrentes de manutenção do sistema no período avaliado, bem como os custos referentes a construção de estruturas extras para instalação do sistema, em função da ausência de área de telhados suficiente para a instalação.

5 CONCLUSÕES

Utilizar tecnologias cada vez mais eficientes e sustentáveis é essencial para a rentabilidade de qualquer negócio conforme demonstrado por este estudo, onde a aplicação de um sistema fotovoltaico em uma unidade industrial com alta demanda de energia mostrou-se viável e com tempo de retorno do investimento satisfatório.

Este tipo de sistema possui vida útil de aproximadamente 30 anos, deste modo, pode-se afirmar que antes da metade da vida útil do sistema, o investimento já estará pago e trazendo retorno financeiro para a empresa.

Quanto a área de cobertura de telhado disponível para a instalação dos módulos, esta não é suficiente, sendo necessária a construção de estruturas extras para a instalação do sistema. Para tal, sugere-se a construção de áreas de estacionamento cobertas por placas, que trazem proteção aos veículos, além de proporcionar uma estratégia de marketing para a empresa, tendo em vista que o estacionamento encontra-se localizado às margens da rodovia.

Investir na geração de energia solar fotovoltaica é uma estratégia para as empresas, pois elas tem benefícios econômicos, estão investindo em uma fonte de energia limpa e sustentável, fogem da instabilidade do setor elétrico e ainda podem utilizar o excedente produzido como compensação em outra unidade consumidora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABINEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA, 2012. **Propostas para inserção da energia solar fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** Disponível em: <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>. Acesso em 20 fev. 2017.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 482**, de 17 de abril de 2012. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Brasília, DF, 2012, 9 p.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa n. 687**, de 24 de novembro de 2015. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Brasília, DF, 2015, 25 p.

ANGELIS-DIMAKIS, A.; et al. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1182-1200, 2011.

BAPTISTA, A. S. C. **Análise da viabilidade econômica da utilização de aquecedores solares de água em resorts no Nordeste do Brasil.** 2006. 158 p. Dissertação (Mestrado) - COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

BARBOSA FILHO, W. P. et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **R. gest. sust. ambient.,** Florianópolis, n. esp, p.628-642, dez. 2015.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO; CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Energia Solar - Princípio e Aplicações.** Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2006.

CRESESB – CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO BRITO; CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. Rio de Janeiro: CEPEL-CRESESB, 2014.

CONGRADAC, V.; PREBIRACEVIC, B.; JORGOVANOVIC, N.; STANISIC, D. **Assessing the energy consumption for heating and cooling in hospitals.** Energy and Buildings, v. 48, p.146-154, 2012.

COSTA, P. H. S.; ATTIE, E. V. **Análise de Projetos**, Rio de Janeiro: Editora da Fundação Getúlio Vargas, 1987.

CRUZ, A. A. P**. Usina solar fotovoltaica de Juiz de Fora.** 2012. 58 p. Trabalho Final de Curso (Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora (MG), 2012.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Nota Técnica, Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira**. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

FARRET, F, A. **Aproveitamento de pequenas fontes de energia elétrica**. Santa Maria: Editora da UFSM, 1999.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **Portaria n. 004**, de 04 de janeiro de 2011. Aprova o Regulamento de Avaliação da Conformidade para sistemas e equipamentos para energia fotovoltaica. Brasília, DF, 2011, 50 p.

LACROIX, M. A. D. **Uso de células fotovoltaicas de filmes finos para geração de energia elétrica em edifícios urbanos: estimativa de potencial**. 2013. 107 p. Dissertação (Mestrado em Sistemas de Potência) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MOLINA-AZORÍN, J. F.; CLAVER-CORTÉS, E.; PEREIRA-MOLINER, J.; TARÍ, J. J. **Environmental practices and firm performance: an empirical analysis in the Spanish hotel industry.** Journal of Cleaner Production, v. 17, n. 5, p. 516-524, 2009.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. DE; RÜTHER, R. **Atlas brasileiro de energia solar.** São José dos Campos: INPE, 2006.

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

RÜTHER, R. et al. **Desempenho Energético de Três Sistemas Solares Fotovoltaicos Integrados a Edificações Urbanas e Conectados à Rede Elétrica**. Florianópolis, 2007.

SANTOS, I. P. dos. **Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) para Arquitetos e Engenheiros Civis**: Apostila. International Energy Initiative: 4° INOVA FV – Workshop Inovação para o Estabelecimento do Setor de Energia Solar Fotovoltaica no Brasil. 2014. 137 p.

SILVA, G. T. F. da; WEISS, M. A.; FREITAS, A. **Energias renováveis e potenciais efeitos para o desenvolvimento regional no Brasil.** RCE, v. 15, n. 28, Jan./Jun. 2011.

SILVA, J. A. da, et al. Energia Solar Fotovoltaica: Um tema gerador para o aprendizado de Física. **Scientia Plena**, v. 13, n. 01, p. 1-8, 2017.

SILVA, V. B. A. da. **O Impacto da Ligação de Fontes de Energia Renovável nas Redes de BT**. 2012. 138f. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Energia) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

SUZUKI, E. V.; REZENDE, F. D. **Estudo da utilização da geração fotovoltaica para auxiliar a suprir a demanda crescente de energia elétrica no Brasil**. 2013. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VASCONCELOS, Y. O Desafio do Sol. **Revista Pesquisa FAPESP**, ed. 207, maio, 2013.