

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE PRODUÇÃO E SISTEMAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Daniel Marques da Silva Chaves

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO
FOTOVOLTAICA PARA O SETOR COMERCIAL
DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Santa Maria, RS
2019

Daniel Marques da Silva Chaves

**VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O
SETOR COMERCIAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação
apresentado ao Centro de Tecnologia (CT) da
Universidade Federal de Santa Maria (UFSM),
como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador: Prof. Dr. Julio Cezar Mairesse Siluk

Santa Maria, RS
2019

VIABILIDADE ECONÔMICA DA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O SETOR COMERCIAL DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL

ECONOMIC FEASIBILITY OF PHOTOVOLTAIC GENERATION FOR THE COMMERCIAL SECTOR OF THE STATE OF RIO GRANDE DO SUL

Daniel Marques S. Chaves¹, Julio Cezar Mairesse Siluk²

RESUMO

A geração fotovoltaica nos últimos anos se tornou a fonte de energia que mais cresce, devido a seu privilegiado posicionamento, o Brasil, possui um dos maiores potenciais de geração de energia solar fotovoltaica do mundo. Entretanto, apesar de a geração de energia no Brasil possa ser considerada renovável, a geração fotovoltaica ainda é pouco representativa, sendo equivalente a menos de 1% na matriz energética. Contudo, esse artigo apresenta uma análise técnico-econômica da geração de energia elétrica por meio de módulos fotovoltaicos conectados a rede para o setor comercial do Rio Grande do Sul. Sete cidades são analisadas considerando fatores de irradiação solar, clima, temperatura e a demanda mínima para garantir a viabilidade dessas instalações é calculada por meio do método do custo nivelado de energia (LCOE). A metodologia proposta nesse estudo, dimensiona sistemas de geração para respectivas demandas mensais de consumo a partir de 301 kWh até 5MW, buscando a equidade do valor com a tarifa oferecida pela distribuidora. Utilizando os mais novos critérios regulatórios disponibilizados pela ANEEL, como o custo de disponibilidade e a taxa do ICMS sobre a diferença entre a energia injetada na rede e a energia consumida, obtêm-se os valores do LCOE respectivos a distribuidora de energia responsável pelas cidades analisadas.

Palavras-chave: Geração Fotovoltaica; LCOE; Energia Renovável; Conectado à Rede.

ABSTRACT

Photovoltaic generation in recent years has become the fastest growing source of electricity, due to its privileged positioning, Brazil has one of the biggest potentials of photovoltaic solar energy generation in the world. However, although the generation of energy in Brazil can be considered renewable, photovoltaic generation is still not very representative, being equivalent to less than 1% in the energy matrix. However, this article presents a technical-economic analysis of the photovoltaic generation through grid-connected installations in the commercial sector of Rio Grande do Sul. Seven cities are analyzed considering factors of solar irradiation, climate, temperature and the minimum demand to ensure the viability of these facilities is calculated using the LCOE method. Through the methodology proposed in this study generation systems were sized to find the respective monthly consumption demands from 301 kWh up to 5MWh, seeking the to obtain grid parity with the tariff offered by the distributor. Using the new regulatory criteria provided by ANEEL, such as the cost of availability and ICMS taxation on the difference between the energy injected into the grid and the energy consumed, the respective LCOE values are obtained by the energy distributor responsible for the analyzed cities.

Keywords: Photovoltaic Generation; LCOE; Renewable Energy; Grid-Connected.

¹ Autor, graduando do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria

² Orientador, professor do curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
2	ENERGIA SOLAR	2
3	PROCESSO REGULATÓRIO	5
4	ESTADO DA ARTE	7
5	MÉTODO DE PESQUISA	9
5.1	CENÁRIO	9
5.2	FASES DA PESQUISA	10
6	DADOS PARA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA	11
6.1	ASPECTOS TÉCNICOS	11
6.2	ASPECTOS ECONÔMICOS	15
7	RESULTADOS	19
7.1	CÁLCULO DA DEMANDA MÍNIMA	20
7.2	REVISÃO DA RN 482	23
7.3	FATOR DE VIZINHANÇA X FATOR DE SIMULTANEIDADE	23
8	DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	24
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	25

1 INTRODUÇÃO

O decréscimo na disponibilidade de combustíveis fósseis aliado a marca ambiental causada pelos tradicionais sistemas de geração de energia fez com que nos últimos anos muitos recursos disponibilizados para pesquisa fossem direcionados para a pesquisa de energias renováveis. Nesse cenário, as estratégias globais de desenvolvimento vêm sendo direcionadas para o uso de energias renováveis, que além de reduzir as emissões gradativamente tem se tornando economicamente viável.

No Brasil o atual cenário energético atingiu níveis preocupantes, onde os investimentos em energias renováveis ainda são discretos, e a geração de energia hidroelétrica corresponde a 70% da carga energética, sendo a principal fonte de geração da matriz nacional.

Já no cenário europeu sólidos investimentos visam acelerar a transição do atual modelo energético para um novo modelo constituído de menores emissões dos gases de efeito estufa. Segundo dados do Atlas Brasileiro de Energia Solar (2017), os valores de irradiação solar global incidentes no território brasileiro, cuja maior irradiação é encontrada no norte do Estado da Bahia, são superiores aos valores da maioria dos países da União Europeia (Miranda et al., 2015). Devido ao seu vantajoso posicionamento geográfico, o Brasil possui um grande potencial de geração de energia solar com médias gerais na incidência de irradiação solar entre 1900 e 2150 kWh/m² durante o ano (SOLARGIS, 2017).

Nos últimos anos, rápidos desenvolvimentos no mercado de instalações fotovoltaicas conectados à rede devem-se em parte a esforços governamentais para estimular o uso de energias renováveis e diminuição das emissões de gases poluentes na geração de energias. Programas como o *feed-in-tariffs* ou *net-metering* tem como objetivo regulamentar e fomentar o mercado tanto para geração distribuída (GD) como geração centralizada (GC), esses incentivos são justificados pelos potenciais benefícios a serem atingidos por esses programas como a diversificação do quadro energético nacional e redução dos níveis na demanda energética. Esses incentivos no Brasil estão diretamente ligados ao aumento no número de instalações fotovoltaicas (FV), sendo demonstrado por Silveira et al., (2013), quando adequados, esses esforços podem favorecer e muito a disseminação de sistemas FV tanto para consumidores do setor residencial como comercial e industrial.

A geração de energia FV ainda está evoluindo como uma nova tecnologia, sendo assim para evoluir e obter uma melhor consolidação no mercado deve manter sua atratividade para

investimentos. Essa evolução pode decorrer de fatores de inovação com o surgimento de novas tecnologias. Outra parte das mudanças devem ocorrer através de visões políticas e abordagens econômicas eficientes, aproximando-se de empreendedores atraídos pelos riscos associados com investimentos de alto retorno.

Esse artigo apresenta os painéis de geração FV como uma importante alternativa frente ao cenário de crise energética no país. Somada a baixa emissão de carbono, a energia solar não necessita de combustíveis fósseis para seu funcionamento e na maioria dos casos apresenta viabilidade econômica favorável sob adequadas condições de irradiação solar e incentivos governamentais.

Essas reflexões iniciais remetem ao problema de pesquisa considerado neste trabalho: Qual o potencial econômico de uma instalação FV pra empresas do setor comercial? Qual o consumo mínimo empresarial necessário para garantir a viabilidade econômica de um sistema FV? Esta oportunidade de pesquisa pode se sustentar pelo fato de haver poucos trabalhos práticos que envolvam estudos de viabilidade econômica na utilização de sistemas fotovoltaicos no setor comercial.

O principal objetivo desse trabalho é determinar o valor mínimo de consumo de energia para empresas do setor comercial em cidades do estado do Rio Grande do Sul do Brasil para garantir a viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico.

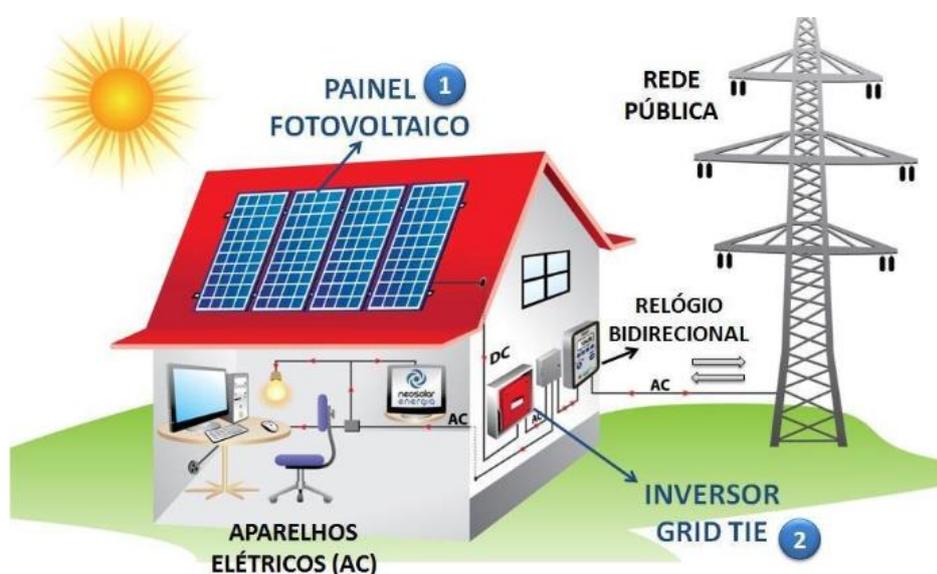
2 ENERGIA SOLAR

A energia solar FV é uma fonte de geração muito promissora, porém ainda apresenta um alto custo para sua viabilização tanto para residências como para empresas. Além disso, a geração distribuída FV não compete com as fontes tradicionais de geração de energia, pois como é incorporada em prédios já existentes, deve ser analisada pelo ponto de vista dos consumidores.

A energia proveniente da luz solar que atinge a terra possui um enorme potencial a ser explorado na geração de energia elétrica. Dentre a maioria das tecnologias disponíveis, a energia solar FV é a mais promissora. A luz solar, convertida diretamente em eletricidade quando a luz é projetada sobre a superfície ativa das células solares, resulta em elétrons energizados e uma diferença de potencial, essa corrente é então transmitida para uma carga externa resultando em uma energia limpa livre da emissão de gases poluentes.

A utilização de energias renováveis como a FV tem crescido em diversos países nos últimos anos, na maioria dos casos esse aumento esteve diretamente relacionado com inventivos de regulamentação governamental como o *feed in tariff* e o *net metering*, conhecido no Brasil como sistema de compensação.

Figura 1 – Instalação FV conectada à rede



Fonte: Neosolar (2019).

Devido a sua privilegiada posição geográfica o Brasil é um dos países com maior potencial de geração de energia fotovoltaica no mundo e tende a figurar, nos próximos anos, como um dos 10 maiores mercados mundiais, atingindo em 2017 seu primeiro GW instalado, encontra-se junto aos 30 primeiros países a ultrapassar essa marca.

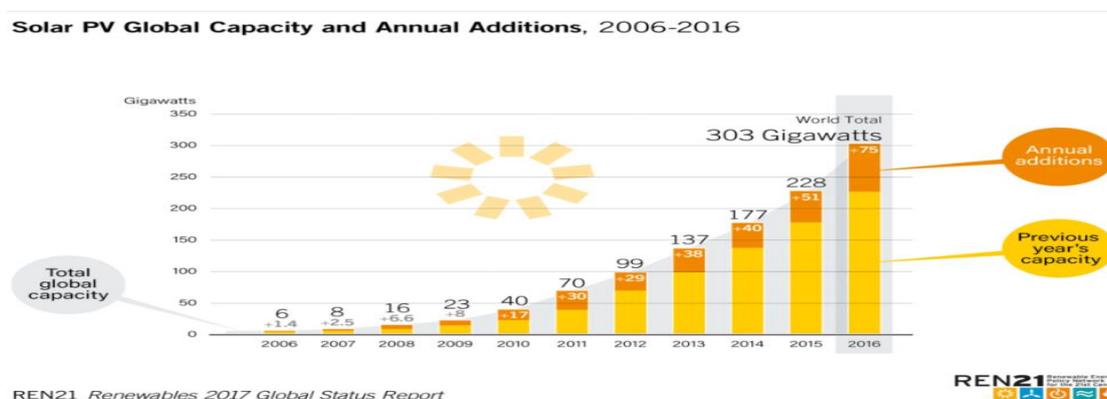
Segundo as informações da ANEEL, a capacidade total de geração elétrica no Brasil é da magnitude de 158 GW, sendo em sua maioria usinas hidrelétricas (60,4%) e usinas termelétricas (26,2%). Considerando a geração de energia FV, há apenas 85 projetos instalados de geração centralizada, com capacidade equivalente a 1,021 GW, correspondente a 0,65% da matriz energética brasileira. Além destes projetos já instalados, há ainda 27 em construção e 38 projetos com obras não iniciadas.

Dentro do contexto estabelecido, geração de energia solar FV representa uma grande oportunidade para se atingirem metas de desenvolvimento sustentável como a redução na emissão de gases estufa e aumento da geração de energia renovável. De acordo com Bortolini (2013) esse desenvolvimento é suportado pelo enorme potencial de geração de energia de fonte solar, aliado a diversos avanços na performance tanto na física solar de células como nos módulos de conversão.

A geração de energia solar FV no mundo vem crescendo a cada dia, com índices de crescimento superiores a maioria das fontes de geração tradicionais existentes no planeta. A capacidade global instalada em 2016 foi de 303 GW, consistindo num aumento superior a 50 vezes a capacidade instalada em 2006.

Boa parte dessa capacidade foi instalada no período entre 2013 e 2016 (204 GW), aproximadamente 2/3 do total instalado de acordo com a figura 2 retirada do “Renewable Annual Report 2017”. Estima-se uma capacidade adicional de 100 GW foi adicionada, dos quais 53 GW estão instaladas apenas na China.

Figura 2 – Capacidade global de geração FV



Fonte: Renewable Annual Report 2017

Esse crescimento exponencial é explicado por dois fatores: i) grande redução nos preços de energias solar e dos equipamentos para sua geração, como os módulos e os inversores ii) incentivos realizados pelo governo de forma estimular a geração distribuída a partir de energias renováveis. De acordo com Silveira et al., (2013) considerando as diversas formas de geração de energia elétrica, o uso de energia solar vem crescendo com uma grande alternativa, economicamente falando apresenta viabilidade positiva e é ambientalmente aceita, própria para terraços de prédios e coberturas de áreas comuns de empresas e condomínios. Sistemas fotovoltaicos são caracterizados por um grande potencial de confiabilidade em sua operação e

uma baixa frequência de manutenção, porém seu elevado custo inicial denota contraste ao baixo custo de operação.

Essa seção aborda os principais tópicos de relevância no desenvolvimento dessa pesquisa, inicialmente discussões importantes acerca do panorama FV no Brasil e no mundo e seu processo regulatório, seguido de discussões relevantes sobre as principais pesquisas encontradas na área e no item a seguir as proposições técnico-econômicas da análise são detalhadas de forma preliminar para desenvolver um melhor entendimento junto as ferramentas utilizadas nesse estudo.

3 PROCESSO REGULATÓRIO

Segundo as informações divulgadas pela *International Energy Agency (IEA)*, em 2050 a capacidade instalada no mundo pode alcançar 3000 GW, fornecendo 4500 TWh por ano, cerca de 11% da produção mundial de energia. Além disso, 2.3 gigatonnes (GT) de CO₂ deixariam de ser emitidas por ano, garantindo benefícios substanciais em termos de segurança no fornecimento de energia e desenvolvimento socioeconômico.

De acordo com os dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), o potencial fotovoltaico brasileiro é de 28.519 GW (28.519.000 MW) na geração centralizada e de 164,1 GW (164.100 MW) na geração distribuída residencial. Com base em projeções, a EPE calcula que a potência instalada de energia solar em 2030 atingirá 25 GW, cerca de 10% da capacidade instalada nacional, cujo investimento será equivalente a R\$ 125 bilhões.

Em julho de 2017 foi lançado pela EPE o PDE 2017-2026 que define as metas para contratação de energia pelo governo de 1 GW por ano no período 2020-2026 e 3,5GW para a geração distribuída. Pode-se observar que as perspectivas do governo frente ao mercado para os próximos anos são de grande ampliação da geração FV na matriz brasileira. Diversas políticas foram implantadas pelo governo a partir de 2012 quando a ANEEL introduziu no Brasil a utilização do Sistema de Compensação, determinado pela Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012 definido como:

“Um arranjo no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa dessa mesma unidade consumidora ou de outra unidade consumidora de mesma titularidade”.

As informações apresentadas até então demonstravam que os incentivos haviam sido insuficientes para promover um aumento considerável no número de sistemas fotovoltaicos e que apesar disso, pode se afirmar que a energia FV é forma mais promissora de geração de energias alternativas no Brasil.

Tendo em vista esses dados em novembro de 2015, em uma atualização da norma definiram-se os limites de capacidade instalada na geração de energia distribuída e a descrição dos sistemas de compensação adotados. Atualmente, a normativa define a microgeração distribuída como uma instalação com capacidade igual ou inferior a 75kW e minigeração como uma unidade com capacidade superior a 75kW e menor ou igual a 5MW. (ANEEL 2015). O sistema de compensação corresponde a uma mudança considerável no cenário pois a partir de então deve se considerar o balanço mensal de energia no horizonte de planejamento. Nos próximos itens, detalha-se sobre as principais resoluções normativas em vigência no Brasil, seguido por um item onde as literaturas de maior relevância acerca do tema são abordadas.

3.1 Resolução normativa 482

A resolução normativa 482 apresentou o sistema de compensação, introduzido pela ANEEL em abril de 2012 com o objetivo de facilitar e reduzir as barreiras com as companhias de distribuição na criação e auxiliar na conexão à rede de novas usinas de geração de energia renovável.

O sistema proposto pela ANEEL permite ao consumidor das concessionárias instalar pequenos geradores de energia, como módulos FV ou pequenas turbinas eólicas em sua empresa ou residência, a totalidade da energia produzida será usada pela unidade consumidora/geradora. Essa foi a primeira estratégia pela ANEEL para reduzir as barreiras na integração de pequenas usinas de geração de energias renováveis como a FV.

O *net metering* é um mecanismo já conhecido na literatura acadêmica, e funciona como um incentivo para as companhias de distribuição no qual um cliente pode após os processos burocráticos injetar energia na rede para um uso futuro. Esse mecanismo permite o trânsito bidirecional entre a companhia de distribuição e a geração renovável própria do usuário, onde a rede de distribuição é usada para armazenar e transferir a energia gerada. Além disso, a norma define que o sistema de compensação irá retornar os créditos para os consumidores em até 60 meses se a energia injetada for maior que o consumo local.

3.2 Acordo 16

Entre os diversos impostos aplicados a energia elétrica gerada e injetada na rede deve-se citar o ICMS como o mais expressivo deles. Esse imposto definido por cada um dos estados do Brasil é independente e varia de 0% a 30%, sendo aplicado de duas formas a fatura de energia. O primeiro caso a base para o cálculo do ICMS é a energia suprida pela rede ao consumidor, e o segundo caso em que os impostos são aplicados ao balanço de energia, ou seja, a diferença entre a energia injetada na rede e a energia fornecida pela companhia de distribuição.

3.3 Resolução normativa 414

O custo de disponibilidade é introduzido através da RNR 414 (ANEEL, 2010). Esse custo representa a quantidade paga pelos consumidores das companhias de distribuição para garantir a disponibilidade de energia elétrica suprida mesmo que não utilizada. Essa compensação financeira varia de acordo com a conexão do consumidor a rede, variando entre conexões monofásicas, bifásicas e trifásicas com o custo equivalente a 30 kWh, 50 kWh e 100 kWh respectivamente. Ao considerar o balanço financeiro a RNR 414 tem vital importância impactando diretamente no investimento realizado no sistema como também no seu dimensionamento, pois o consumidor deve pagar o custo de disponibilidade todo mês, logo ao dimensionar o sistema não se utiliza a demanda total de energia, mas sim a demanda total menos o custo de disponibilidade. Diversos estudos têm abordado o tema de viabilidade econômica na geração distribuída FV utilizando como referência o sistema de compensação adotado pela ANEEL (ABINEE, 2012; EPE, 2012; JANNUZZI E DE MELO, 2012; MITSCHER E RÜTER, 2012)

4 ESTADO DA ARTE

Na literatura uma vasta gama de autores contribui para análises singulares do setor FV no Brasil e no mundo. Os autores Mondal; Islam (2011) estimam o potencial solar FV em Bangladesh através da viabilidade econômica considerando um sistema de geração solar FV de 1 MW conectado à rede, os dados foram simulados para 14 diferentes localizações utilizando o

software de simulação *RETScreen*. O potencial encontrado foi de cerca de 50174 MW para um sistema solar FV conectado à rede considerando fatores como taxa interna de retorno (TIR), valor presente líquido (VPL) e *payback* simples.

A referência Pereira et al., (2012) descreve um panorama do cenário no Brasil e o potencial das energias renováveis em 2012 após a divulgação da NR 482/2012. Em Holdermann et al., (2014) uma análise da viabilidade econômica de um sistema FV para os setores residências e comerciais após a introdução mecanismo de compensação é realizada, levando em conta os custos da tarifa e impostos, porém desconsiderando o custo da disponibilidade de energia incluído na atualização da norma.

Nos estudos de Lacchini e Ruther (2015) a NR 482/2012 é analisada e seus efeitos discutidos, os autores concluem que as ações de regulamentação são eficientes em locais onde o preço da tarifa de energia ofertada pela distribuidora é maior. Esses valores são comparados com o custo nivelado de energia (LCOE) na geração FV em telhados e a influência das políticas de regulamentação na viabilidade econômica do investimento é detalhada por diferentes zonas climáticas do Brasil.

Bustos et al (2016) analisa a instalação de uma planta PV de 30 MW no território do Chile. Já Harder e Gibson (2011) definiram uma área próxima ao aeroporto de Abu Dabhi (Emirados Árabes Unidos), para a instalação de uma usina PV de 10 MW. Em ambos os estudos, os indicadores econômicos Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback foram utilizados como parâmetro, de forma a obter os resultados sobre a viabilidade de cada instalação.

As contribuições previamente citadas geraram diversas análises sobre o tópico cujo tema depende de diversos parâmetros pertencentes a diferentes categorias, sejam esses técnicos, ambientais, legislatórios ou econômicos. Algumas contribuições integram em um único modelo ambas as peculiaridades do país e técnico-ambientais necessárias para a análise da viabilidade de um sistema FV sob diversas condições.

Miranda et al. (2015) avalia o potencial técnico-econômico de instalações FV no setor residencial brasileiro considerando características sociais como renda domiciliar, consumo de energia, disponibilidade de telhados, custo do investimento e financiamento. Ramírez-Sagner et. al. (2017) apresenta uma análise sobre a viabilidade econômica de sistemas FV no Chile. Os resultados da performance comercial e residencial foram obtidos demonstrando um grande potencial para a maioria das cidades do país com taxas de retorno de investimento superior ao valor de referência utilizado (5% ao ano) para ambos setores. Utilizando o método do LCOE

esse estudo é de importância vital no desenvolvimento de energias renováveis no país contribuindo para um maior entendimento da viabilidade econômica de sistemas FV.

Em Gomes et al., (2018) uma análise técnico-econômica é realizada a respeito do potencial de penetração da geração de energia FV considerando os mais atuais aspectos da NR 482/2012 e do Acordo 16, publicado pela CONFAZ, que autoriza alguns estados a adicionar o ICMS na diferença entre a energia injetada no sistema e a energia ofertada pela companhia distribuidora. O consumo mínimo residencial para viabilizar o sistema FV é calculado em cada uma das companhias de distribuição do país para consumidores conectados à rede com baixa voltagem (<2,3kV). De acordo com a metodologia desenvolvida pelos autores, existem no Brasil cerca de 4 milhões de prédios residenciais com viabilidade técnico econômica de investimento nos próximos 25 anos.

5 MÉTODO DE PESQUISA

Esta pesquisa é de natureza aplicada, pois engloba conteúdos de Engenharia de Produção na aplicação de métodos dirigidos à solução de um problema prático específico, quanto aos objetivos define-se como uma pesquisa descritiva, pois conforme Gil (2016) visa a identificação de possíveis relações entre variáveis. Já quanto aos procedimentos técnicos utiliza de modelagem e simulação, pois necessita variáveis de controle em simulações na obtenção de um modelo que compreenda as necessidades para a solução do problema proposto. Quanto à abordagem de pesquisa pode-se definir como quantitativa, pois segundo Pinheiro (2010) esse tipo de abordagem realiza a quantificação da coleta de informações, tratamento dos dados e uso estatístico nas análises. Quanto ao método de pesquisa define-se como axiomático, pois de acordo com Miguel (2012) a pesquisa produz conhecimento sobre o comportamento de certas variáveis do modelo, baseada em premissas sobre o comportamento de outras variáveis interdependes do modelo.

5.1 CENÁRIO

O local escolhido para a realização deste estudo é o estado do Rio Grande do Sul. Localizada na região sul do Brasil, o RS possui aproximadamente 11,6 milhões de habitantes (IBGE, 2010) e um PIB per capita de aproximadamente 18 mil reais (IBGE, 2013). Sete cidades foram analisadas considerando seus fatores técnico-ambientais necessários para o cálculo da viabilidade financeira através das técnicas propostas nesse estudo.

A escolha das cidades é originada de um projeto prévio, onde foi identificada as dez cidades mais competitivas do estado através de uma modelagem matemática onde considerou-se diversos aspectos de relevância para geração FV no estado. Nesse trabalho as simulações utilizarão um sistema de silício cristalino numa plataforma fixa sobre um telhado com a face orientada na direção norte considerando instalações industriais/comerciais e plantas de geração FV definidos dentro dos limites previstos pela ANEEL.

5.2 FASES DA PESQUISA

Esta pesquisa será dividida em três seções principais, a seção 1 corresponde a uma introdução aos conceitos, uma revisão bibliográfica das literaturas relevantes no contexto de viabilidade técnico econômica de sistemas FV e a demonstração da metodologia desenvolvida nesse estudo.

A seção 2 demonstra a análise e as proposições econômica definidas para o desenvolvimento de sistemas FV no setor comercial sob a legislação da ANEEL na região sul do Brasil. Essa seção será composta de duas etapas principais, a primeira onde serão definidos todos aspectos técnicos do sistema e a segunda a respeito dos aspectos financeiros da análise.

A primeira etapa que irá consistir da definição das proposições técnicas utiliza-se o software Global Solar Atlas que considera a instalação de sistemas FV para dimensionar os índices técnicos e financeiros utilizados no cálculo da viabilidade econômica. Na segunda etapa, o cálculo do valor mínimo de consumo de energia, requer a definição do custo nivelado de energia associado ao sistema.

Assim, quando o valor do LCOE associado ao sistema se torna igual ao preço da tarifa de energia elétrica a equivalência entre a geração FV e a energia fornecida pela rede é encontrada. Esse conceito é definido como *Grid Parity* (BHANDARI E STADLER, 2009).

Na seção 3 os resultados da análise serão apresentados, considerando as diferentes cidades do RS de modo a compreender melhor o cenário e o desenvolvimento dessa tecnologia no estado seguido pela discussão desses resultados, que consiste na seção 4.

Finalmente na seção 5 detalha-se as conclusões do estudo como forma de agregar valor à crescente discussão sobre energias renováveis no país.

6 DADOS PARA ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA

A fim de esclarecer como outros estudos abordam a análise técnico-econômica de sistemas fotovoltaicos, fez-se uma revisão teórica procurando em outros trabalhos circunstâncias e aplicações que se assemelham com o estudo proposto. Para tanto, dividiu-se esta seção em aspectos técnicos e aspectos econômicos.

6.1 ASPECTOS TÉCNICOS

De acordo com Weston, Gitman (2004), de forma a avaliar a viabilidade econômica de um potencial empreendimento, uma análise sistêmica dos componentes que afetam os resultados econômicos sobre o capital é necessária. Da perspectiva dos investidores e dos órgãos regulamentadores Lachini (2015) classifica os sistemas FV em três grupos, considerando o tamanho total do sistema e o custo relativo: i) pequenos sistemas residências que buscam em sua maioria a autossuficiência energética que satisfaça o consumo médio mensal e permita redução na conta de energia. ii) Instalações comerciais e industriais que principalmente buscam a redução na fatura mensal de energia utilizando a eletricidade gerada diretamente ou reservando-a para ser utilizada em horários de pico de consumo. iii) Planta de geração FV de grande escala, onde o objetivo principal é gerar energia e vender diretamente para a rede de distribuição dentro de acordos de compra por empresas privadas.

Diversos autores demonstram a utilização de ferramentas quando uma análise econômica depende de diversos fatores interdependentes entre diversas categorias. Dentre estes, vale destacar algumas como o *Global Solar Atlas* e o *Levelized Cost of Electricity* (LCOE) (LACCHINI E RUTHER, 2015; PEREIRA, 2012; E GOMES, 2018).

Estes métodos foram os mais citados ao se analisar o levantamento bibliográfico do presente trabalho. *Global Solar Atlas* é uma ferramenta efetiva e intuitiva para simular modelos de geração fotovoltaica que integra diversos valores médios de irradiação solar e parâmetros de temperatura de diferentes localizações. Essa ferramenta é utilizada para simular um modelo elétrico considerando a capacidade instalada de um sistema FV, modelando a trajetória do sol e sua irradiação sob o território. Dependendo dos níveis globais de irradiação em diferentes localizações, o sistema FV pode ser dimensionado para gerar mais ou menos energia.

6.1.1 Dimensionamento do sistema FV

O balanço mensal de energia é obtido pela leitura bidirecional entre a companhia de distribuição e o sistema de geração fotovoltaica. Utilizando a RN482 calcula-se o balanço financeiro para os créditos de compensação adotados na norma. O procedimento adotado para calcular a demanda limite necessita da definição da demanda mensal de consumo para garantir que o LCOE associado ao sistema seja equivalente a tarifa energética da companhia de distribuição.

Para o dimensionamento do sistema, inicialmente define-se a demanda comercial mínima como 301 kWh e adiciona-se 50 kWh a cada iteração de forma a encontrar o valor que seja equivalente ao custo de disponibilidade de energia associado ao tipo de ligação bifásica. Após isso, dimensiona-se o sistema para encontrar a demanda mínima associada ao valor do LCOE e obter a equivalência à tarifa energética.

De forma a considerar todo o estado do Rio Grande do Sul, investigou-se a respeito do potencial de geração isolada de cada uma das cidades. Através da ferramenta Global Solar Atlas simulou-se sistemas de diferentes tamanhos a partir de 1kWp para verificar os valores médios esperados na geração conforme cada condição de irradiação, posição geográfica e fatores climáticos.

Os valores demonstrados no quadro 1 foram retirados diretamente da plataforma de irradiação Global Solar Atlas. Sendo esses parâmetros definidos como valores médios diários e anuais para cada uma das cidades definidas no estudo

Quadro 1 – Parâmetros de irradiação e climáticos das cidades abordadas no estudo

	Caxias do Sul	Bento Gonçalves	Lajeado	Cruz Alta	Santa Cruz do Sul	Estrela	Porto Alegre
GHI anual (kWh/m ²)	1684	1691	1667	1773	1662	1665	1679
GHI diária (kWh/m ²)	4,61	4,63	4,57	4,86	4,55	4,56	4,60
DNI (kWh/m ²)	1647	1644	1586	1793	1582	1583	1614
DIF (kWh/m ²)	652	652	651	644	652	652	660
GTI (kWh/m ²)	1839	1841	1813	1930	1808	1812	1835
TEMP (°C)	16,1	16,7	26	26	26	26	26
ELE (m)	772	647	48	469	56	30	19,4

Fonte: Global Solar Atlas (2019)

Os parâmetros representam respectivamente FVOOUT – Potencial capacidade fotovoltaica, GHI – Irradiação global horizontal, DIF – Irradiação horizontal difusa, GTI – Irradiação global com superfície otimizada, e DNI – Irradiação normal direta. Estes por sua vez representam diversos pontos considerados quanto a irradiação, clima, altitude e temperaturas locais do estado. Pela devida localização então, definiu-se utilizar dos valores médios no modelo, que não busca detalhar o processo de dimensionamento e sim encontrar os valores médios associados a demanda mínima que garante a viabilidade dos sistemas FV.

Os índices de irradiação por apresentarem significativa semelhança não são aspectos abordados nesse trabalho, cujo foco está em encontrar os valores associados ao custo nivelado de energia e a demanda mínima necessária para garantir a viabilidade econômica dos sistemas, que serve de forma a facilitar na tomada de decisão para futuras instalações fotovoltaicas no setor comercial.

Assim, para contemplar as duas companhias de distribuição de energia mais utilizadas no estado optou-se por utilizar dos valores médios de irradiação no dimensionamento da energia gerada por cada sistema respectivo a demanda mínima associada.

No quadro 2, pode-se observar que os valores de irradiação apesar de variarem entre as cidades selecionadas mantêm-se próximos aos valores médios de todas cidades. Ao considerar os sistemas definidos buscou-se gerar faixas de dimensionamento possibilitando o cálculo da viabilidade a partir do sistema e da demanda selecionada.

Quadro 2 – Geração fotovoltaica por cidade considerando os sistemas definidos

CIDADES	FV OUT (kWh a.a.)		
	6,57 kWp	10,22 kWp	30,30 kWp
Caxias do Sul	9370	12238	42090
Bento Gonçalves	9114	12221	42032
Lajeado	9101	12204	41972
Cruz Alta	9737	13056	44905
Santa Cruz do Sul	9074	14115	41849
Estrela	9092	14144	41933
Porto Alegre	8957	13933	41309
Valores médios	9206	13056	41972

Fonte: Global Solar Atlas.

Assim, devido aos valores médios de geração associada a cada sistema não se alterar significativamente entre as cidades do Rio Grande do Sul, optou-se por definir o LCOE

associado a cada um dos sistemas utilizando os valores médios, que como demonstrados no quadro 2 não apresenta diferença representativa que possa alterar no cálculo. Como esse trabalho não busca detalhar a os valores do VPL associado e sim a demanda mínima e o LCOE para o estado do Rio Grande do Sul, o foco passa do dimensionamento dos sistemas para a análise e formulação econômica do VPL e LCOE associado ao investimento no item a seguir.

Abaixo demonstra-se as especificações técnicas utilizadas no estudo desenvolvidas para o dimensionamento dos sistemas utilizados nesse estudo. O quadro 3 demonstra as especificações do módulo FV seguido pelo quadro 4, que demonstra o dimensionamento de um sistema equivalente a demanda de 301 kWh mensais.

Quadro 3 – Especificações técnicas do módulo FV

Módulo	Policristalino	
Potência Nominal	365	Wp
Área	1,9305	m ³
Vida útil	25	anos
Vida útil do inversor	12,5	anos

Fonte: Próprio autor (2019)

Quadro 4 – Dimensionamento da potência equivalente a demanda de 301 kWh mensais

Dimensionamento da Potência a instalar		
Máx. Potência sem desperdício	kWp	1,57
Número de módulos necessários	-	4
Geração Anual Estimada	kWh	2730,79
Geração Mensal Estimada	kWh	227,57
Área necessária	m ²	8,37
Percentual atendido		75,60%

Fonte: Próprio autor (2019)

Os valores da demanda de consumo variam entre 301 e 5000 kWh e foram adicionados em passos equivalentes a geração de um módulo de silício policristalino de 365 Wp ou 50 kWh. A demanda mensal menos o custo de disponibilidade em kWh é então utilizado para dimensionar os sistemas definidos nesse estudo. Assim, os valores de irradiação médios foram utilizados para o balanço de energia anual dos sistemas e para computar o fluxo de caixa considerando os mais atuais aspectos das RN 482, 414 e do Acordo 16 publicado pela

CONFAZ. Já o quadro 5 demonstra os parâmetros da análise respectivos ao histórico de consumo e a irradiação média calculada para as cidades analisadas.

Quadro 5 – Parâmetros de Análise

Parâmetros da Análise		
Histórico de consumo	3.612,00	kWh/ano
Histórico de consumo	301,00	kWh/mês
Irradiação total	1734,57	kWh/m ² . ano
Potência	1,57	kWp
Área Necessária	8,37	m ²

Fonte: Próprio autor (2019)

6.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

A atratividade para o setor privado de investimentos depende diretamente da redução no valor da fatura mensal de energia quando a porção de energia suprida pela rede é substituída pela energia gerada. Essa redução na fatura mensal serve para o balanceamento dos investimentos e dos custos durante a vida útil do sistema FV. Para melhor entendimento, nessa seção demonstramos mais sobre os métodos de viabilidade econômica utilizados nessa pesquisa.

O Valor Presente Líquido (VPL) é representado como a diferença entre o valor presente, o valor futuro do fluxo de caixa e do custo do investimento. Desta forma, com base nas taxas e retornos, o VPL compara o valor de um investimento hoje com o valor futuro do capital investido. Assim como o *Payback* Simples o *Payback* descontado também é baseado no reembolso de um investimento inicial, considerando apenas o rendimento do dinheiro ao longo do período determinado (ROSS; WESTERFIELD; JORDAN, 2010).

O VPL nesse estudo é definido como o valor presente líquido associado ao investimento no sistema FV, no qual estão contidos os custos do sistema, os custos de manutenção e o custo da utilização da rede das companhias de distribuição. De acordo com o sistema proposto na RN 482 utiliza-se do balanço mensal de energia, que representa a diferença da energia gerada pelo sistema FV e a energia consumida da rede pela instalação. Como a totalidade de energia gerada é injetada na rede, esse balanço corresponde ao valor acumulado durante todo mês, tanto da energia gerada como da energia retirada da rede de distribuição. Assim, se o balanço de energia

é menor que o valor equivalente ao custo de disponibilidade, então a tarifa da energia é usada para gerar a fatura mensal de energia, de outra forma a demanda equivalente ao custo de disponibilidade é utilizada.

O custo nivelado de energia LCOE é um fator de custo amplamente utilizado para comparar diferentes fontes de geração de energia e auxiliar o investidor na tomada de decisão. O LCOE representa a razão entre o valor presente do fluxo de caixa descontado do custo total do sistema e a soma da energia gerada durante a vida útil do sistema como pode ser observado na equação 1.

Equação 1 – Cálculo do custo nivelado de energia

$$LCOE = \frac{\text{Custo total do ciclo de vida do sistema}}{\text{Energia total produzida}}$$

Fonte: Próprio autor (2019)

Diferentes formas de calcular o LCOE existem, a maioria considera apenas taxas, algumas considerando apenas as taxas de desconto, outras incluindo apenas as taxas de financiamentos (CHASE; BLAIR et al., 2014). Uma limitação do LCOE é o conjunto de proposições que são feitas no momento do cálculo, na definição da taxa de desconto, nas considerações de que todo produzido será vendido a um preço definido e os riscos associados a essas estimativas. O custo nivelado de energia nesse estudo indica o máximo valor de energia gerada considerando as taxas de atratividade para garantir o retorno esperado dentro do prazo de vida da instalação FV.

De acordo com Darling (2011) o LCOE pode ser entendido como o preço no qual a energia precisa ser vendida para atingir o retorno do investimento total sobre a vida útil da instalação, resultando em um valor presente por exemplo \$/W. Para ser calculado os seus custos, a equação deve considerar não só os custos do sistema como também financiamento, manutenção e diversos tipos de depreciação. Apesar disso, essa formulação pode ser modificada considerando não apenas taxas de juros como também subsídios do governo e outras complexidades.

A equação 1 corresponde ao LCOE, ou seja, a razão entre o valor presente líquido do investimento para aquisição do sistema FV e o somatório da energia elétrica gerada pelo sistema durante sua vida útil. Considerando que os sistemas dimensionados correspondem a uma taxa de 85 a 100% do consumo total estimado para as instalações comerciais. Dessa forma, o valor

presente líquido considera o custo de investimento inicial, o custo de manutenção e também os pagamentos que devem ser realizados a companhia de distribuição referentes ao custo de disponibilidade. Assim, a energia gerada durante a vida útil juntamente com a energia suprida pela companhia de distribuição corresponde a totalidade da demanda utilizada pela instalação comercial durante a o período considerado.

De acordo com a NR 482/2012 o sistema de compensação adotado pela ANEEL, nenhuma renda é gerada pela injeção da energia elétrica injetada na rede. Porém, a unidade consumidora que possui uma instalação FV economiza o dinheiro que de outra forma seria gasto com o pagamento da fatura de energia.

Considerando o dinheiro poupado como entrada de capital do sistema FV e uma vida útil de 25 anos garantida pelos fabricantes, os parâmetros demonstrados abaixo para o cálculo da viabilidade do sistema estão representados na equação 2.

Através do consumo médio obtido dimensiona-se o sistema e é possível calcular o valor presente líquido através da seguinte estrutura de custo e receita do sistema FV.

Equação 2 – Cálculo do valor presente líquido associado aos sistemas

$$VPL = -I + \frac{\sum_{t=1} (1 - t\gamma)G(1 + \alpha)^t T^{\circ} - Mt}{(1 + i)^t}$$

Fonte: Próprio autor (2019)

Através da geração FV o sistema produz $(1 - t\gamma)G$ unidades de energia, sendo G a energia elétrica produzida no primeiro ano de operação e $(1 - t\alpha)$ representa a perda anual de eficiência do sistema FV com relação a produção inicial de energia (MITSCHER, RÜTHER, 2012). $(1 + \alpha)^t T^{\circ}$ representa a tarifa T° no primeiro ano de operação e sua variação em relação ao ano anterior. Mt são os custos de operação e manutenção anuais representados por uma parcela do investimento inicial.

O parâmetro $(1 + i)^t$ é utilizado no desconto da receita de entrada e saída. Para os valores de I define-se pela taxa de retorno mínima para o investidor. Como o objetivo desse trabalho é encontrar os níveis de viabilidade para instalações FV e não seu custo efetivo, considera-se $VPL = 0$. Isolando I obtém-se os custos associados a vida útil do sistema.

Quadro 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do VPL

Parâmetros			
<i>VPL</i>	Valor Presente Líquido (\$)	<i>L</i>	Liquidação do custo [R\$]
<i>I</i>	Investimento [R\$]	<i>B</i>	Custo anual de Operação e Manutenção [%]
<i>Y</i>	Perda de eficiência anual [%]	<i>I</i>	Taxa de desconto [%]
<i>G</i>	Geração do sistema FV no primeiro ano [kWh/a]	<i>N</i>	Vida útil do sistema [a]
<i>α</i>	Taxa de aumento da tarifa [%]	<i>T</i>	Ano [a]
<i>T^o</i>	Tarifa de energia elétrica [R\$/kWh]	<i>Mt</i>	Custo de operação e manutenção anual [R\$]

Fonte: Holdermann (2012)

Para encontrar os custos de investimento respectivos de cada sistema nesse trabalho para facilitar o dimensionamento optou-se por dividir em níveis de geração. Percebe-se o aumento no custo por kWp inicialmente e um decréscimo a partir de 2,19 kWp. Os níveis de geração foram vitais no cálculo da demanda mínima associada a cada instalação, cujos resultados serão demonstrados no próximo item. Abaixo, no quadro 4 explana-se os custos de investimento de cada um dos sistemas detalhado pelos itens que os compõe.

Quadro 7 - Custo associado aos sistemas utilizados para os níveis de dimensionamento

Capacidade em kW	1,26	2,19	6,57	10,22	14,6	30,3
Custo dos módulos FV	R\$ 2.152,68	R\$ 4.305,36	R\$ 12.916,08	R\$ 20.091,68	R\$ 28.702,40	R\$ 59.557,48
Custo dos inversores	R\$ 2.400,00	R\$ 7.780,00	R\$ 12.789,00	R\$ 18.779,00	R\$ 22.790,00	R\$ 35.768,00
Custo de projeto	R\$ 4.552,68	R\$ 12.085,36	R\$ 25.705,08	R\$ 38.870,68	R\$ 51.492,40	R\$ 95.325,48
Custo de instalação	R\$ 455,27	R\$ 1.208,54	R\$ 2.570,51	R\$ 3.887,07	R\$ 5.149,24	R\$ 9.532,55
Custo da fios e proteção	R\$ 455,27	R\$ 1.208,54	R\$ 2.570,51	R\$ 3.887,07	R\$ 5.149,24	R\$ 9.532,55
Custo da substituição inversores	R\$ 720,00	R\$ 2.334,00	R\$ 3.836,70	R\$ 5.633,70	R\$ 6.837,00	R\$ 10.730,40
TOTAL (\$)	R\$ 8.583,22	R\$ 16.836,43	R\$ 47.471,80	R\$ 71.057,52	R\$ 91.417,88	R\$ 160.888,98
TOTAL (\$/kWp)	R\$ 6.812,08	R\$ 7.687,87	R\$ 7.225,54	R\$ 6.952,79	R\$ 6.261,50	R\$ 5.309,87
TOTAL (\$/Wp)	R\$ 6,81	R\$ 7,69	R\$ 7,23	R\$ 6,95	R\$ 6,26	R\$ 5,31

Fonte: Próprio autor (2019)

A partir do dimensionamento dos custos necessários de investimento no sistema FV, pode-se encontrar o custo do \$/Wp associado a cada sistema. É possível observar como estão separados os custos dentro de cada sistema, assim, esse trabalho possibilita o estudo de novas possibilidades energéticas para empresas do setor comercial com demanda a partir de 301 kWh até 5000 kWh mensais.

Quadro 8 – Parâmetros associados a performance do sistema

Parâmetros		Valores
Perda de eficiência anual do sistema	Ano 1	2,50% a.a.
	Após	0,70% a.a.
Reajuste da tarifa de energia		10% a.a.
Vida útil do sistema		25 anos
Custo anual de manutenção		1,00% a.a.
TMA		12% a.a.

Fonte: Holdermann (2012)

Para análise financeira de cada um dos sistemas os parâmetros demonstrados no quadro 5 foram utilizados. Considerou-se uma perda de eficiência no primeiro ano de 2,50% seguido de um decréscimo de 0,70% a partir de cada ano seguinte. Considerou-se um reajuste da tarifa de 10% ao ano que reflete o crescimento dos últimos anos. Para a vida útil do sistema considerou-se 25 anos para os módulos e 12,5 anos para os inversores, sendo adicionado ao valor do sistema o custo associado a substituição do mesmo. Definiu-se o custo de manutenção em 1% ao ano e uma TMA de 1% ao mês de forma a refletir o interesse mínimo atrativo em instalações do setor comercial. Esse e outros parâmetros estão definidos no quadro abaixo.

7 RESULTADOS

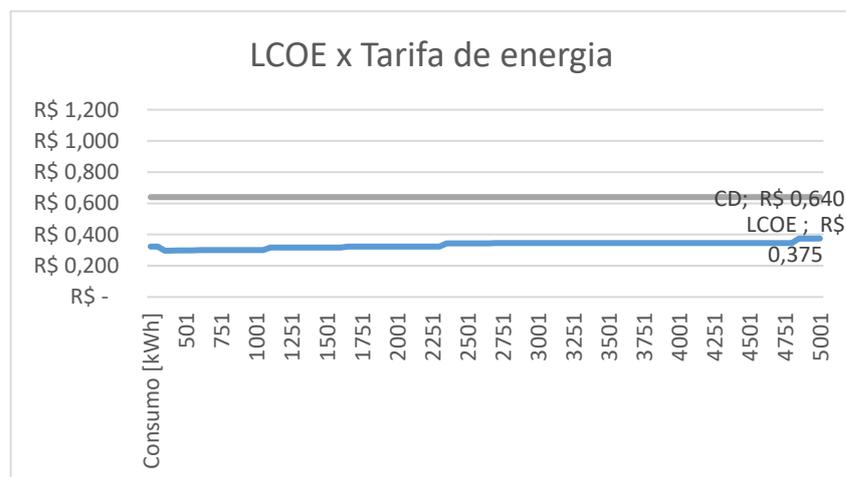
Essa seção detalha os resultados obtidos ao aplicar a metodologia descrita na seção anterior. De forma a estimar a demanda mínima necessária utilizou-se do processo inicialmente descrito por Gomes (2018) e adaptado de forma a encontrar os valores associados aos sistemas instalados no Rio Grande do Sul. Esse trabalho tem como foco apenas o setor comercial conectado à rede.

7.1 CÁLCULO DA DEMANDA MÍNIMA

A demanda mínima é calculada estimando o fluxo de caixa do investimento durante a vida útil considerando o investimento inicial, os custos de manutenção e a tarifa vigente nas duas companhias de distribuição associados ao custo de disponibilidade. Para manter a viabilidade do sistema utiliza-se do processo de otimização, ao definir a demanda inicial, adiciona-se 50kWh no valor médio mensal e dimensiona-se o sistema para cada uma das alternativas considerando fatores climáticos e de irradiação. Dessa forma, o fluxo de caixa do investimento é encontrado considerando as normas RN482 e o acordo 16 além do custo de disponibilidade introduzido pela RN 414. A demanda comercial é alterada durante o processo de forma a dimensionar corretamente o sistema e por meio desse novo valor dimensiona-se o sistema para garantir a geração de energia equivalente ao consumo comercial. Assim, obtém-se o valor associado ao LCOE para os sistemas dimensionados de acordo com a capacidade de geração do sistema selecionado.

No Gráfico 1 pode-se observar que os valores do custo nivelado obtidos demonstram viabilidade favorável para os sistemas a partir de 301 kWh mensais considerando os parâmetros escolhidos.

Gráfico 1 – LCOE associado a tarifa de energia x Preço da tarifa de energia.



Fonte: Próprio autor (2019)

Em geral, espera-se que o valor do LCOE associado ao sistema FV diminua com o aumento da demanda já que ao dimensiona-lo utiliza-se da demanda original menos o valor

associado ao custo de disponibilidade. Os valores locais de irradiação solar foram considerados nas localizações definidas para balancear o sistema FV durante a vida útil de 25 anos para computar o fluxo de caixa e o respectivo LCOE.

Tabela 1 – Valor Presente Líquido e Taxa Interna de Retorno para o sistema de 1,57 kWp

Anos	VPL	TIR
25	R\$ 18.926,74	24,83%
20	R\$ 14.220,19	24,13%
15	R\$ 8.940,64	22,43%
10	R\$ 3.044,19	17,59%
05	-R\$ 3.497,01	-1,47%

Fonte: Próprio autor (2019)

Além disso, pode-se observar o desenvolvimento do LCOE comparado a tarifas energéticas vigente no estado. Como o foco desse trabalho é encontrar a demanda mínima necessária para garantir a viabilidade FV dos sistemas instalados no setor comercial, inicialmente com as condições selecionadas não é possível encontrar o ponto de equidade entre a tarifa e o valor do LCOE. Isso acontece devido ao valor da tarifa vigente ser superior à gerada pelo sistema, dessa forma, não é possível encontrar a equivalência a tarifa. A tabela 1 demonstra o valor obtido do VPL para o sistema de 1,57 kWp associado a demanda de 301 kWh mensais.

Para isso, decidiu-se realizar alterações no modelo de forma a encontrar a demanda mínima e contemplar os objetivos discutidos nesse artigo. Os parâmetros alterados estão demonstrados no quadro 8, onde o reajuste da tarifa de energia passou de 10% ao ano para 15%.

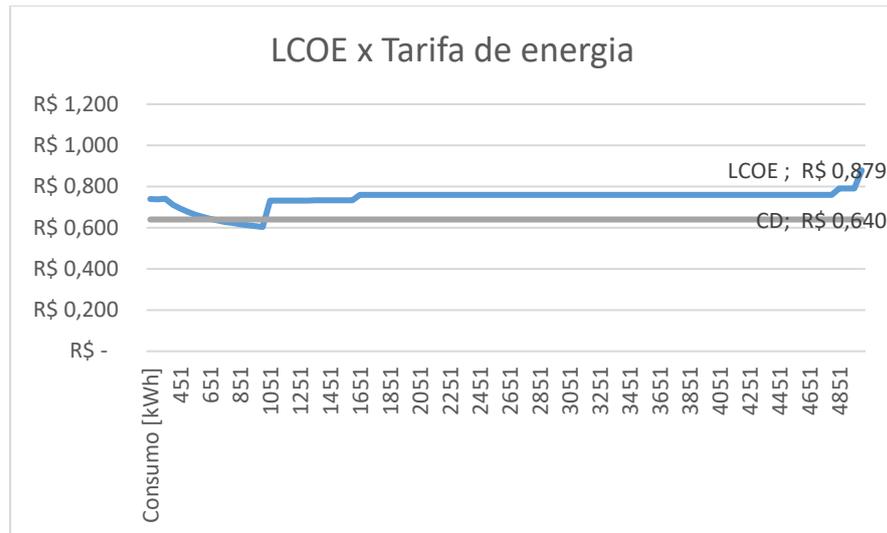
Quadro 9 – Parâmetros ajustados para encontrar a demanda mínima associada a instalações comerciais

Parâmetros	Valores	
Perda de eficiência anual do sistema	Ano 1	2,50% a.a.
	Após	0,70% a.a.
Reajuste da tarifa de energia		15% a.a.
Vida útil do sistema		25 anos
Custo anual de manutenção		1,00% a.a.
TMA		12% a.a.

Fonte: Holdermann (2012)

Dessa forma, demonstra-se no gráfico 2 abaixo os novos resultados das iterações calculados para obter a demanda mínima necessária para garantir a viabilidade do investimento utilizando o método do LCOE.

Gráfico 2 – LCOE considerando o aumento de 15% na tarifa de energia



Fonte: Próprio autor (2019)

Assim, foi possível encontrar o valor do LCOE equivalente a tarifa de energia associada ao consumo médio de 701 kWh mensais, como demonstrado no gráfico 2. Logo para o setor comercial, a viabilidade dos sistemas fotovoltaicos é favorável para consumos mensais a partir de 701 kWh.

Como a geração de energia não se altera entre os sistemas, apenas reduzindo sua capacidade com a perda de eficiência anual, somente os valores do VPL podem ser alterados de maneira a balancear a equação. Isso representa, que os valores associados ao LCOE podem ser obtidos de mais de uma forma, dependendo somente das variáveis selecionadas no momento do cálculo. Espera-se em geral que o valor associado ao LCOE do sistema decresça com o aumento da demanda já que o dimensionamento buscou atingir a demanda otimizada considerando o custo de disponibilidade.

Porém, observamos nos Gráficos 1 e 2 que os investimentos extras necessários para o arranjo ideal impuseram um aumento nos custos, ligados diretamente ao número de módulos utilizados no sistema e no custo do inversor selecionado.

7.2 REVISÃO DA RN 482

Em 2012 com a introdução da RN 482 foi apresentado o sistema de compensação de energia elétrica, permitindo que o excedente gerado em uma unidade consumidora seja injetado na rede da distribuidora e posteriormente ser utilizada para abater do consumo mensal. De acordo com a ANEEL, com a proposta buscou-se adequar a realidade brasileira onde o consumidor não pode comercializar diretamente a energia gerada. Por meio desse modelo definido, a energia injetada é utilizada integralmente para abater a energia consumida de modo que a energia gerada é valorada pela tarifa de energia elétrica estabelecida. Em 2019 a ANEEL requisitou contribuições da população por meio de uma audiência pública em que diversas discussões sobre a valoração da energia injetada na rede, que pode não refletir o real impacto da geração distribuída na sociedade. Dois pontos de vista norteiam a discussão, da visão das distribuidoras alega-se que o atual sistema de compensação não possibilita uma remuneração adequada pelo uso da rede de distribuição. Já do ponto de vista dos consumidores, instaladores e interessados no mercado de geração distribuída, ressaltam-se os benefícios conquistados pela GD e que o atual modelo deve prevalecer, de modo a garantir a consolidação do mercado que ainda está em fase inicial.

O principal ponto a ser analisado a partir das contribuições nas audiências públicas, diz respeito a quantificação dos custos e benefícios da geração distribuída no Brasil, o que leva o questionamento sobre um possível desalinhamento da forma de compensação em relação a realidade das instalações de mini e microgeração. Assim, entende-se que o desalinhamento é fruto de uma inadequação do modelo de compensação poderia estar causando uma transferência dos custos ou benefícios aos consumidores que não possuem GD e que dependem exclusivamente da energia das distribuidoras. Assim, o problema identificado pela análise do impacto regulatório é a valoração da energia injetada na rede, não refletindo o real impacto da geração distribuída para a sociedade.

7.3 FATOR DE VIZINHANÇA X FATOR DE SIMULTANEIDADE

Outro ponto discutido que foi levantado com frequência nas audiências públicas diz respeito ao fator de simultaneidade e o fator de vizinhança. Como a utilização da rede da companhia de distribuição é um fator a ser reajustado, aqui o fator de vizinhança é muito importante. Locais com maior proximidade a centros comerciais que utilizam uma grande carga energética da rede de distribuição seriam privilegiados pela nova tarifação, por estarem

próximos a esses centros a utilização da rede seria reduzida. Como instalações fotovoltaicas utilizam a energia proveniente do sol para gerar energia elétrica, é durante o dia que ocorre a geração, fica claro que a melhor utilização desses sistemas hoje é em instalações comerciais. O fator de simultaneidade diz respeito ao momento em que a energia está sendo gerado pelos módulos e injetada na rede e o consumo respectivo daquela instalação. Em instalações residenciais a maioria dos consumidores geralmente trabalha durante o dia, consumindo a energia elétrica para suas atividades e dispositivos no trabalho. Logo a energia gerada pela instalação residencial é injetada na rede e a energia da companhia de distribuição é utilizada durante a noite. Já instalações comerciais levam vantagem nesse critério, pois a energia utilizada seria a energia gerada pela instalação fotovoltaica durante o dia, e a noite sim o consumo seria proveniente das companhias de distribuição.

8 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A introdução do sistema de compensação, ou *net metering*, juntamente aos incentivos regulatórios no Brasil direcionados para geração distribuída auxiliou os usuários das companhias de distribuição a optarem pela geração própria conectada à rede, especialmente de sistemas fotovoltaicos. As estratégias de regulamentação através das resoluções normativas resultaram em um decréscimo nos custos de transição para um modelo de geração de energia descentralizado, mas somente isso não garante a viabilidade econômica do investimento.

Após a implementação do sistema de compensação em 2012, quase 25 MWp foram instalados em prédios residenciais no Brasil, mais de 92% deles após a publicação do acordo 16 em 2015. O presente trabalho descreve uma contribuição em direção a esses esforços, apresentando uma análise técnico-econômica e uma estimativa do potencial econômico considerando os fatores regulatórios no Brasil. Inicialmente, calculou-se o LCOE de cada uma das companhias de distribuição do estado associado aos sistemas dimensionados. Após isso, para encontrar a demanda mínima de consumo no setor comercial que garante a viabilidade econômica dos sistemas FV foi necessário alterar os parâmetros definidos inicialmente no estudo. Assim, foi possível obter os valores de demanda mínima para encontrar a equidade a tarifa ofertada pelas companhias de distribuição.

Com a proposta de alteração da RN 482 realizada pela ANEEL em janeiro de 2019, a valoração dos sistemas FV entra em análise, diversos setores podem ser afetados por alterações na legislação que ainda é bem discreta no Brasil. Além disso, atualmente o cenário encontra-se

em crescimento, e mudanças na legislação atual podem diminuir ou até retardar esse crescimento, que frente ao patamar de transição mundial para energias renováveis podem sim ser um retrocesso.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Como conclusão, os resultados obtidos no cálculo do LCOE e na análise desses valores demonstram que apesar de a penetração dessa tecnologia na região ainda ser discreta, a viabilidade econômica para os sistemas se mostrou viável dentro das condições analisadas. Assim, apesar dos índices de irradiação serem mais baixos que na maioria do Brasil, dentro das condições definidas foi possível obter o LCOE equivalente a tarifa da companhia de distribuição, garantindo a viabilidade de sistemas a partir do consumo de 701 kWh mensais. Para isso, esse trabalho identificou as principais ferramentas utilizadas na análise da viabilidade econômica na geração distribuída fotovoltaica, dimensionou sistemas de geração para respectivas demandas mensais de consumo e encontrou o ponto de equivalência entre a geração própria do consumidor da companhia de distribuição e a tarifa local. Assim, a viabilidade dos sistemas de geração fotovoltaica foi encontrada para os valores médios de irradiação das sete cidades selecionadas no estudo. Os resultados demonstram um aumento no valor do LCOE com a capacidade de geração dos sistemas, isso acontece devido aos custos extras para dimensionar os sistemas principalmente com a compra do inversor. Com a evolução dessa tecnologia espera-se uma queda nos valores para os próximos anos. Os resultados foram discutidos considerando os possíveis aspectos a serem alterados na RN 482 que podem impactar diretamente o balanço de caixa do investimento analisado. Assim, espera-se que o crescimento dessa nova tecnologia se mantenha e que novas políticas públicas eficientes sejam capazes de acelerar esse crescimento. Como recomendações, entretanto, as cidades analisadas necessitam desenvolver novas políticas de mercado e estratégias que possam fomentar o crescimento de consumidores da geração de energia descentralizada. Além disso, sugere-se explorar ainda mais as variações na tarifa dentro do estado, e dimensionar sistemas para outros níveis de capacidade conforme a abranger a demanda de todas as empresas do RS. Além disso, uma das limitações do estudo são as premissas utilizadas no cálculo do LCOE, que pode ser encontrado de diversas formas. Para futuros trabalhos espera-se encontrar o potencial econômico utilizando dos dados das companhias de distribuição quanto ao consumo e a parcela de clientes que utilizam a rede no estado, que não foram obtidos ao concluir esse estudo.

REFERÊNCIAS

- BERTOLINI M., GAMBERI, M., GRAZIANI, A., MORA, C., REGATTIERI, A., 2013. **Multi-parameter analysis for the technical and economic assesment of photovoltaic systems in the mais european union contries.** *Energy Conversion and Management* 74, 117-128
- BHANDARI, R., STADLER, I. **Grid parity analysis of solar photovoltaic systems in Germany using experience curves.** *Sol. Energy* 83, 1634–1644, 2009.
- BRANKER, K.; PANTHAK, M.; PEARCE, J. **A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity.** *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 9, p. 4470 – 4482, 2011.
- BRASIL, ABINEE. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Brasileira,** ABINEE, Brasília, 2012. Disponível em <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>> Acesso em 11 mai. 2018.
- BRASIL, ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa** N°482/2012, Brasília, 2012. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em 11 mai. 2018.
- BRASIL, ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Resolução Normativa** N°687/2015, Brasília, 2015. Disponível: <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 11 mai. 2018.
- BRASIL, ANEEL. **Capacidade de geração do Brasil.** Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/capacidadebrasil.cfm>> Acesso em: 11 jun. 2018.
- BUSTOS, F. et al. **Sensitivity analysis of a photovoltaic solar plant in Chile.** *Renewable Energy*, v. 87, p. 145 – 153, 2016.
- BYRNES, L. et al. Reviewing the viability of renewable energy in community electrification: The case of remote Western Australian communities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 59, p. 470 – 481, 2016.
- CONFAZ, 2015. Acordo 16. Disponível em <https://www.confaz.fazenda.gov.br/legislacao/convenios/2015/cv016_15> Acesso: 11 mai. 2018
- DAVI, G. et al. **Energy performance evaluation of a net plus-energy residential building with grid-connected photovoltaic system in Brazil.** *Energy and Buildings*, v. 120, p. 19 – 29, 2016.
dos Campos.
- EPE, 2012. **Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira,** EPE, Rio de Janeiro.
<http://www.epe.gov.br/geracao/Documents/Estudos_23/NT_EnergiaSolar_2012.pdf>
Acesso: 11 mai. 2018

G. RAMIREZ-SAGNER, C. MATA-TORRES, A. PINO, R. A. ESCOBAR 2017. **Economic feasibility of residential and commercial PV technology: The Chilean case.** Renewable Energy 111, 332-243

GIL, A. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa.** 5 ed. São Paulo: Atlas, 2016.

GOMES, J. **Elaboração e análise de viabilidade econômica de projetos: tópicos práticos de finanças para gestores não financeiros.** São Paulo: Atlas, 2013.

GOMES, P. V., NETO, N.N., CARVALHO, L., SUMAILI, J., SARAIVA, J. T., DIAS, B. H., HARDER, E.; GIBSON, J. The costs and benefits of large-scale solar photovoltaic power production in Abu Dhabi, United Arab Emirates. **Renewable Energy**, v. 36, n. 2, p. 789 – 796, 2011.

HOLDERMANN, C., KISSEL, J., BEIGEL, J., 2014. **Distributed photovoltaic generation in Brazil: an economic viability analysis of small-scale photovoltaic systems in the residential and comercial sectors.** Energy Policy 67.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, 2010. **Solar Photovoltaic Roadmap** <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/pv_roadmap_foldout.pdf>

J. CHASE, EIA (Ed.), **Levelised Cost of Electricity e PV**, Bloomberg New Energy Finance, 2014. Disponível em: <<https://www.iea.org/media/workshops/2014/solarelectricity/BNEF2LCOEofPV.pdf>> Acesso em 11 jun. 2018

J.F. WESTON, E.F. BRIGHAM, **Fundamentos da Administração Financeira**, 2004, ~ ISBN 85-346-0795-8.

JANNUZZI, G., DE MELO, C., 2012. **Grid-connected photovoltaic in Brazil: policies and potential impacts for 2030.** Energy Sustain. Dev. 17 (1), 40–46.

L.J. GITMAN, **Principios de Administração Financeira**, 10ª ed., 2004, ISBN 85-88639-12-2.

LACCHINI, C., DOS SANTOS, J.C.V., 2013. **Photovoltaic energy generation in Brazil – Cost analysis using coal-fired power plants as comparison.** Renew. Energy 52, 183–189.

LACCHINI, C., RÜTHER, R., 2015. **The influence of government strategies on the financial return of capital invested in PV systems located in different climatic zones in Brazil.** Renew. Energy 83, 786-798.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2026.** Brasília: MME/EPE, 2017. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-40/PDE2026.pdf>> Acesso em 11 jun. 2018

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO INDÚSTRIA E COMÉRCIO EXTERIOR. **Relatório final grupo de trabalho solar fotovoltaico.** MDIC, 2018. Disponível em <https://www.dropbox.com/s/f0wxs3kdq4xtpzo/MDIC_RELAT%C3%93RIO%20FINAL%2

OGRUPO%20DE%20ESTUDO%20FOTOVOLTAICA_2018.pdf?dl=0> Acesso em 11 jun. 2018

MIRANDA, R. F. C., SZKLO, A., SCHAFFER, R., 2015. **Technical-economic potencial of PV systems on Brazilian rooftops**. *Renew. Energy* 75, 694-713.

MIRANDA, V., SOUZA S.M, 2018 **Technical-economic analysis for the integration of PV systems in Brazil considering policy and regulatory issues**. *Energy Policy* 115(2018) 199-206.

MITSCHER, M.; RÜTHER, R. **Economic performance and policies for grid-connected residential solar photovoltaic systems in Brazil**. *Energy Policy*, v. 49, p. 688 – 694, 2012.

N. BLAIR, A. DOBOS, J. FREEMAN, T. NEISES, M. WAGNER, in: **System Advisor Model e NREL**, NREL, 2014.

PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; DE LLIMA, F. J. L.; RÜTHER, R.; de ABREU, S. L.; TIEPOLO G. M.; PEREIRA, S. V.; de SOUZA, J. G., 2017. INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais. **Atlas brasileiro de energia solar**. - 2.ed. - São José dos Campos, 88p.: ISBN 978-85-17-00089-8.

PEREIRA, M.G., CAMACHO, C.F., FREITAS, M.A.V., SILVA, N.F., 2012. **The renewable energy market in Brazil: current status and potential**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 16 (6), 3786–3802.

PINHEIRO, J. **Da Iniciação Científica ao TCC: Uma Abordagem para os cursos de Tecnologia**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2010.

ROSS, S.; WESTERFIELD, R.; JORDAN, B. (2010). **Fundamentals of Corporate Finance** (9 ed., Vol., pág.). New York, New York: The McGraw-Hill.

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

RÜTHER, R.; ZILLES, R. **Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil**. *Energy Policy*, v. 39, n. 3, p. 1027 – 1030, 2011.

S.B. DARLING, F. YOU, A. VELOSA, **Environmental Science Assumptions and the levelized cost of energy for photovoltaics**, *Energy Environ. Sci.* 4 (2011),

SILVEIRA, J.L., TUNA, C.E., LAMAS, W. de Q., 2013. **The need of subsidy for the implementation of photovoltaic solar energy as supporting of decentralized electrical power generation in Brazil**. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 20, 133–141.

SOLARGIS, 2017. **Brazil global horizontal irradiation. Yearly sum of global horizontal irradiation**. Disponível em <<https://solargis.com/assets/graphic/free-map/GHI/Solargis-Brazil-GHI-solar-resource-map-en.png>> Acesso em 11 jun. 2018

SOLARGIS, **Solargis – iMap**. Disponível em <<http://solargis.info>> Acesso em 11 jun. 2018

SOLARGRIS, **Solargis pvPlanner User Manual**, Disponível em <<http://solargis.com>>
Acesso em 20 mai. 2018

APÊNDICE A – BALANÇO ENERGÉTICO PARA 301 kWh

Balanço Energético (kWh) - de acordo com potência instalada definida no dimensionamento															
Mês	jan	fev	ma	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez	Soma		
Consumo total	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	301	3.612	Consumo total	
Geração de Energia	213	191	212	211	225	228	241	251	247	250	236	227	2.731	Geração de Energia	75,60 %
Consumo Líquido	88	110	89	90	76	73	60	50	54	51	65	74	881	Consumo Líquido	
Consumo faturado	88	110	89	90	76	73	60	50	54	51	65	74	881	Consumo faturado	
Economia sem crédito	213	191	212	211	225	228	241	251	247	250	236	227	2.731	Economia sem crédito	
Crédito gerado	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Crédito gerado	Crédito Desperdiçado
Abatível com crédito	38	60	39	40	26	23	10	0	4	1	15	24	281	Abatível com crédito	0
Economia TOTAL	213	191	212	211	225	228	241	251	247	250	236	227	2.731	Economia TOTAL	100,0 0%
Desperdiçado	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Desperdiçado	0,00 %

APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DA POTÊNCIA

Dimensionamento da Potência a instalar		
Máxima Potência na área disponível	kWp	30,30
Número de módulos instaláveis	-	83
Geração Anual Estimada	kWh	52.548,92
Geração Mensal Estimada	kWh	4.379,08
Área ocupada	m ²	161,05
Percentual atendido		1454,84%
Percentual desejado do Consumo	%	160,00
Geração Anual Desejada	kWh	5.779,20
Percentual Possível		157,75%
Potência fotovoltaica calculada	kWp	3,29
Número de módulos necessários	-	9
Geração Anual Estimada	kWh	5.698,08
Geração Mensal Estimada	kWh	474,84
Área necessária	m ²	17,46
Máx. Potência sem desperdício	kWp	1,57
Número de módulos necessários	-	4
Geração Anual Estimada	kWh	2730,79
Geração Mensal Estimada	kWh	227,57
Área necessária	m ²	8,37
Percentual atendido		75,60%

APÊNDICE D – DEFINIÇÃO DO MÓDULO

2 - DEFINIÇÃO DO MÓDULO FOTOVOLTAICO

Características do Módulo desejado

JKM330P

Potência nominal	P _{mpp}	Wp	365
Tensão do ponto de máxima potência	V _{mpp}	V	39,38
Corrente do ponto de máxima potência	I _{mpp}	A	9,27
Tensão de circuito aberto	V _{oc}	V	48,16
Corrente de curto circuito	I _{sc}	A	9,75
Comprimento	L	m	1,956
Largura	b	m	0,992
	STC	°C	25
Temperature coefficient of P _{max}	γ	%/°C	-0,39
Temperature coefficient of V _{oc}	β	%/°C	-0,28
Temperature coefficient of V _{mpp}	β	%/°C	-0,28
Temperature coefficient of I _{sc}	α	%/°C	0,040

APÊNDICE E – DEFINIÇÃO DO INVERSOR

3 - DEFINIÇÃO DO INVERSOR FOTOVOLTAICO

Características do Inversor desejado

Número de Fases	1		Mppt	
Entrada - CC			A	B
Potência de entrada máx. DC power	Pccmax	W	7500	7500
Tensão de entrada máx.	Vccmax	V	600	600
Faixa de tensão do seguidor - MAX mpp	Vmpp	V	500	500
Tensão nominal	Vmpp	V	365	365
Faixa de tensão do seguidor - MIN mpp	Vmpp	V	175	175
Corrente máxima do MPPT	Imp	A	15	15
Corrente de curto circuito máx.	Iccmax	A	15	15
Numero de entradas DC (Strings)	Unid		2	2
Saída - CA				
Potência de saída nominal	Pca	W	5000	
Tensão de saída nominal	Vca	V	220	
Corrente de saída máx.	Icamax	A	22	

APÊNDICE F – PARÂMETROS DA ANÁLISE

Parâmetros da Análise		
Histórico de consumo	3.612,00	kWh/ano
Histórico de consumo	301,00	kWh/mês
Irradiação total	1679	kWh/m ² . ano
Potência	1,57	kWp
Área Necessária	8,37	m ²
Performance Ratio	100%	
Geração de Energia	2.730,79	kWh/ano
Geração de Energia	227,57	kWh/mês
Percentual atendido	75,60%	
Desperdício de energia gerada	0,00%	
Energia não desperdiçada	2.730,79	kWh/ano
Percentual injetado na rede	24%	
Alíquota do ICMS	25%	
Tarifa homologada pela ANEEL	0,54	/kWh
Preço/Wp	R\$	6,80
Preço Total	R\$	10.705,44
Tarifa com encargos	0,64	R\$/kWh
Reajuste da tarifa	15,0%	ao ano
Degradação no 1º ano	2,5%	
Degradação após o 1º ano	0,7%	ao ano
Manutenção (OPEX) - % do CAPEX	1,0%	ao ano
Reajuste OPEX	5%	ao ano
Juros (TMA)	12,00%	ao ano

APÊNDICE G – LCOE PARA OS SISTEMAS 10% DE AUMENTO NA TARIFA

Consumo [kWh]	Potência [kWp]	Geração total [kWh]	VPL	LCOE	CD
			R\$	R\$	R\$
301	1,57	58652	18.926,74	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
351	1,89	70606	22.790,16	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
401	2,20	82187	24.449,37	0,297	0,640
			R\$	R\$	R\$
451	2,52	94142	28.004,68	0,297	0,640
			R\$	R\$	R\$
501	2,83	105722	31.559,99	0,299	0,640
			R\$	R\$	R\$
551	3,14	117303	35.115,30	0,299	0,640
			R\$	R\$	R\$
601	3,46	129258	38.670,62	0,299	0,640
			R\$	R\$	R\$
651	3,77	140839	42.225,93	0,300	0,640
			R\$	R\$	R\$
701	4,08	152420	45.781,24	0,300	0,640
			R\$	R\$	R\$
751	4,40	164374	49.336,55	0,300	0,640
			R\$	R\$	R\$
801	4,71	175955	52.891,86	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
851	5,02	187536	56.447,18	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
901	5,34	199490	60.002,49	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
951	5,65	211071	63.557,80	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
1001	5,96	222652	67.113,11	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
1051	6,28	234607	70.668,42	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
1101	6,59	246188	74.223,73	0,301	0,640
			R\$	R\$	R\$
1151	6,91	258142	81.709,38	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1201	7,22	269750	85.447,29	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1251	7,53	281482	89.185,20	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1301	7,85	293214	92.923,12	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1351	8,16	304946	96.661,03	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1401	8,48	316678	100.398,94	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1451	8,79	328410	104.136,85	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1501	9,11	340142	107.874,77	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1551	9,42	351874	111.612,68	0,317	0,640
			R\$	R\$	R\$
1601	9,73	363607	115.350,59	0,317	0,640

			R\$	R\$	R\$
1651	10,04	375072	119.088,51	0,318	0,640
			R\$	R\$	R\$
1701	10,36	387026	125.138,27	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
1751	10,67	398607	128.946,71	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
1801	10,99	410535	132.755,15	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
1851	11,30	422267	136.563,60	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
1901	11,62	433999	140.372,04	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
1951	11,93	445731	144.180,49	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
2001	12,25	457463	147.988,93	0,323	0,640
			R\$	R\$	R\$
2051	12,56	469196	151.797,38	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2101	12,87	480928	155.605,82	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2151	13,19	492660	159.414,26	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2201	13,50	504392	163.222,71	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2251	13,82	516124	167.031,15	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2301	14,13	527856	170.839,60	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2351	14,44	539588	174.648,04	0,324	0,640
			R\$	R\$	R\$
2401	14,76	551320	189.961,64	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2451	15,07	563052	194.014,99	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2501	15,39	574785	198.068,35	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2551	15,70	586517	202.121,71	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2601	16,01	598249	206.175,07	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2651	16,33	609981	210.228,42	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2701	16,64	621713	214.281,78	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2751	16,96	633445	218.335,14	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2801	17,27	645177	222.388,49	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2851	17,58	656909	226.441,85	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2901	17,90	668641	230.495,21	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
2951	18,21	680374	234.548,57	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3001	18,53	692106	238.601,92	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3051	18,84	703838	242.655,28	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3101	19,15	715570	246.708,64	0,345	0,640

			R\$	R\$	R\$
3151	19,47	727302	250.762,00	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3201	19,78	739034	254.815,35	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3251	20,10	750766	258.868,71	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3301	20,41	762498	262.922,07	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3351	20,72	774230	266.975,43	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3401	21,04	785963	271.028,78	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3451	21,35	797695	275.082,14	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3501	21,67	809427	279.135,50	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3551	21,98	821159	283.188,86	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3601	22,30	832891	287.242,21	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3651	22,61	844623	291.295,57	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3701	22,92	856355	295.348,93	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3751	23,24	868087	299.402,29	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3801	23,55	879819	303.455,64	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3851	23,87	891552	307.509,00	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3901	24,18	903284	311.562,36	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
3951	24,49	915016	315.615,72	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4001	24,81	926748	319.669,07	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4051	25,12	938480	323.722,43	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4101	25,44	950212	327.775,79	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4151	25,75	961944	331.829,15	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4201	26,06	973676	335.882,50	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4251	26,38	985408	339.935,86	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4301	26,69	997141	343.989,22	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4351	27,01	1008873	348.042,58	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4401	27,32	1020605	352.095,93	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4451	27,63	1032337	356.149,29	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4501	27,95	1044069	360.202,65	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4551	28,26	1055801	364.256,01	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4601	28,58	1067533	368.309,36	0,345	0,640

			R\$	R\$	R\$
4651	28,89	1079265	372.362,72	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4701	29,20	1090998	376.416,08	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4751	29,52	1102730	380.469,43	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4801	29,83	1114462	384.522,79	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4851	30,15	1126194	388.576,15	0,345	0,640
			R\$	R\$	R\$
4901	30,46	1137926	426.543,84	0,375	0,640
			R\$	R\$	R\$
4951	30,77	1149658	430.946,90	0,375	0,640
			R\$	R\$	R\$
5001	31,09	1161390	435.349,95	0,375	0,640

APÊNDICE H – LCOE PARA OS SISTEMAS 15% DE AUMENTO NA TARIFA

Consumo [kWh]	Potência [kWp]	Geração total [kWh]	VPL	LCOE	CD
301	1,57	58652	43.367,47	R\$ 0,739	R\$ 0,640
351	1,89	70606	52.099,56	R\$ 0,738	R\$ 0,640
401	2,20	82187	60.835,51	R\$ 0,740	R\$ 0,640
451	2,52	94142	67.051,42	R\$ 0,712	R\$ 0,640
501	2,83	105722	73.267,33	R\$ 0,693	R\$ 0,640
551	3,14	117303	79.483,25	R\$ 0,678	R\$ 0,640
601	3,46	129258	85.699,16	R\$ 0,663	R\$ 0,640
651	3,77	140839	91.915,08	R\$ 0,653	R\$ 0,640
701	4,08	152420	98.130,99	R\$ 0,644	R\$ 0,640
751	4,40	164374	104.346,90	R\$ 0,635	R\$ 0,640
801	4,71	175955	110.562,82	R\$ 0,628	R\$ 0,640
851	5,02	187536	116.778,73	R\$ 0,623	R\$ 0,640
901	5,34	199490	122.994,64	R\$ 0,617	R\$ 0,640
951	5,65	211071	129.210,56	R\$ 0,612	R\$ 0,640
1001	5,96	222652	135.426,47	R\$ 0,608	R\$ 0,640
1051	6,28	234607	141.642,38	R\$ 0,604	R\$ 0,640
1101	6,59	246188	180.311,03	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1151	6,91	258142	188.917,51	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1201	7,22	269750	197.523,99	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1251	7,53	281482	206.130,46	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1301	7,85	293214	214.736,94	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1351	8,16	304946	223.343,42	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1401	8,48	316678	231.949,89	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1451	8,79	328410	240.556,37	R\$ 0,732	R\$ 0,640
1501	9,11	340142	249.162,84	R\$ 0,733	R\$ 0,640
1551	9,42	351874	257.769,32	R\$ 0,733	R\$ 0,640
1601	9,73	363607	266.375,80	R\$ 0,733	R\$ 0,640

			R\$	R\$	R\$
1651	10,04	375072	274.982,27	0,733	0,640
			R\$	R\$	R\$
1701	10,36	387026	293.979,86	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
1751	10,67	398607	302.901,62	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
1801	10,99	410535	311.823,37	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
1851	11,30	422267	320.745,13	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
1901	11,62	433999	329.666,89	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
1951	11,93	445731	338.588,65	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2001	12,25	457463	347.510,40	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2051	12,56	469196	356.432,16	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2101	12,87	480928	365.353,92	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2151	13,19	492660	374.275,67	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2201	13,50	504392	383.197,43	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2251	13,82	516124	392.119,19	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2301	14,13	527856	401.040,95	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2351	14,44	539588	409.964,52	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2401	14,76	551320	418.884,46	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2451	15,07	563052	427.806,22	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2501	15,39	574785	436.727,98	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2551	15,70	586517	445.649,55	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2601	16,01	598249	454.571,13	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2651	16,33	609981	463.492,70	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2701	16,64	621713	472.414,28	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2751	16,96	633445	481.335,85	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2801	17,27	645177	490.257,43	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2851	17,58	656909	499.179,00	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2901	17,90	668641	508.100,58	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
2951	18,21	680374	517.022,15	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3001	18,53	692106	525.943,73	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3051	18,84	703838	534.865,30	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3101	19,15	715570	543.786,88	0,760	0,640

			R\$	R\$	R\$
3151	19,47	727302	552.708,45	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3201	19,78	739034	561.630,03	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3251	20,10	750766	570.551,60	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3301	20,41	762498	579.473,18	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3351	20,72	774230	588.394,75	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3401	21,04	785963	597.316,33	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3451	21,35	797695	606.237,90	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3501	21,67	809427	615.159,48	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3551	21,98	821159	624.081,05	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3601	22,30	832891	633.002,63	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3651	22,61	844623	641.924,20	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3701	22,92	856355	650.845,78	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3751	23,24	868087	659.767,35	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3801	23,55	879819	668.688,93	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3851	23,87	891552	677.610,51	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3901	24,18	903284	686.532,08	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
3951	24,49	915016	695.453,66	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4001	24,81	926748	704.375,23	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4051	25,12	938480	713.296,81	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4101	25,44	950212	722.218,38	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4151	25,75	961944	731.139,96	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4201	26,06	973676	740.061,53	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4251	26,38	985408	748.983,11	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4301	26,69	997141	757.904,68	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4351	27,01	1008873	766.826,26	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4401	27,32	1020605	775.747,83	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4451	27,63	1032337	784.669,41	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4501	27,95	1044069	793.590,98	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4551	28,26	1055801	802.512,56	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4601	28,58	1067533	811.434,13	0,760	0,640

			R\$	R\$	R\$
4651	28,89	1079265	820.355,71	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4701	29,20	1090998	829.277,28	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4751	29,52	1102730	838.198,86	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4801	29,83	1114462	847.120,43	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4851	30,15	1126194	856.042,01	0,760	0,640
			R\$	R\$	R\$
4901	30,46	1137926	898.902,29	0,790	0,640
			R\$	R\$	R\$
4951	30,77	1149658	908.174,02	0,790	0,640
			R\$	R\$	R\$
5001	31,09	1161390	917.445,75	0,790	0,640
			R\$	R\$	R\$
5051	31,40	1054492	926.717,47	0,879	0,640

APÊNDICE I – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR CAXIAS DO SUL

SITE INFO

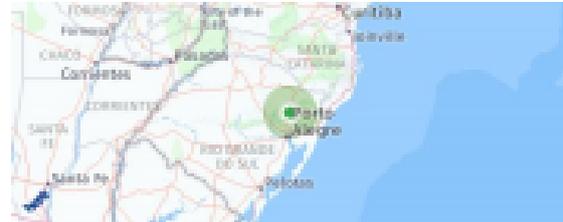


Site name: **Rádio São Francisco Alternativa,
Caxias Do Sul, Rio Grande Do Sul
95020, Brazil**

Latitude: **-29.168500°**

Longitude: **-51.179400°**

Altitude: **772 m a.s.l.**



SOLAR RESOURCE AND AIR TEMPERATURE



Long-term yearly and daily averages

Global horizontal irradiation [kWh/sq m]:	1684 per year (4.614 per day)
Direct normal irradiation [kWh/sq m]:	1647 per year (4.512 per day)
Diffuse horizontal irradiation [kWh/sq m]:	652 per year (1.786 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1839 per year (5.038 per day), for surface tilted at 26° facing 0°
Air temperature [°C]:	16.1

PHOTOVOLTAIC POWER OUTPUT



Photovoltaic system of size 1 kWp with modules facing 0° tilted at 28°, long-term yearly and daily averages

Photovoltaic electricity [kWh]:	1389 per year (3.806 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1831 per year (5.017 per day)

APÊNDICE J – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR BENTO GONÇALVES

SITE INFO

Site name: **Rua Livramento 670, Juventude Da Enologia, Bento Gonçalves - Rio Grande Do Sul, 95700, Brazil**

Latitude: -29.165400°

Longitude: -51.520900°

Altitude: 647 m a.s.l.



SOLAR RESOURCE AND AIR TEMPERATURE

Long-term yearly and daily averages

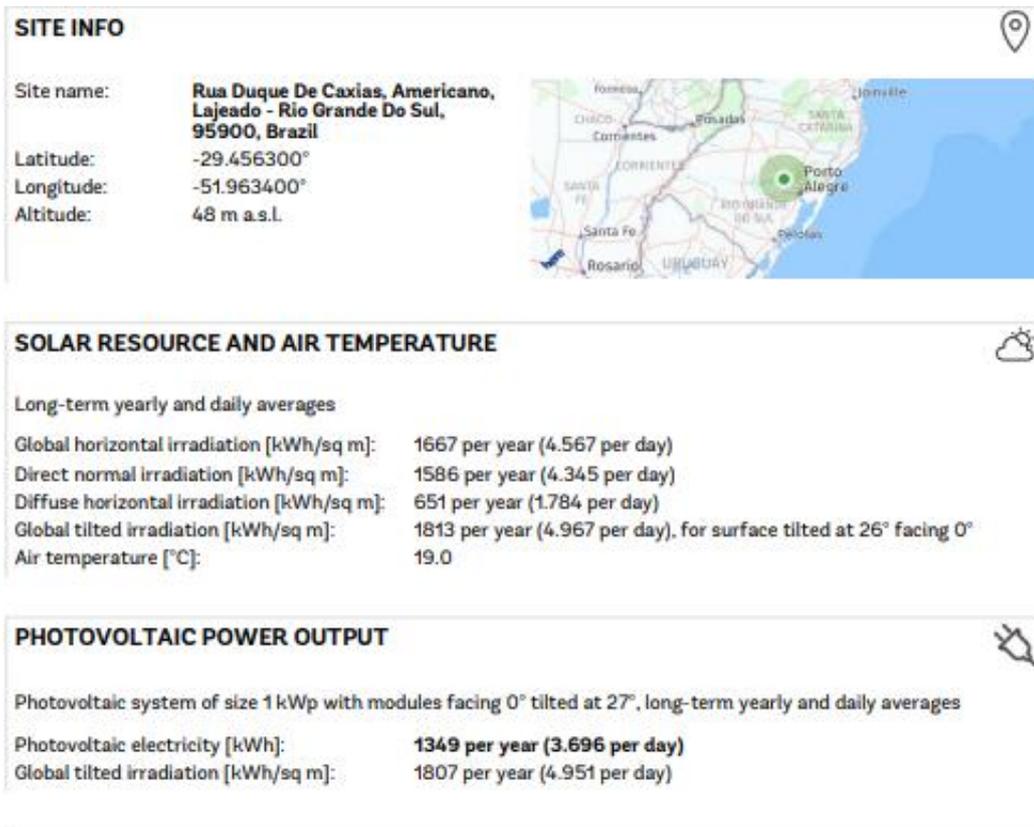
Global horizontal irradiation [kWh/sq m]:	1691 per year (4.633 per day)
Direct normal irradiation [kWh/sq m]:	1644 per year (4.504 per day)
Diffuse horizontal irradiation [kWh/sq m]:	652 per year (1.786 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1841 per year (5.044 per day), for surface tilted at 26° facing 0°
Air temperature [°C]:	16.7

PHOTOVOLTAIC POWER OUTPUT

Photovoltaic system of size 1 kWp with modules facing 0° tilted at 27°, long-term yearly and daily averages

Photovoltaic electricity [kWh]:	1387 per year (3.8 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1835 per year (5.029 per day)

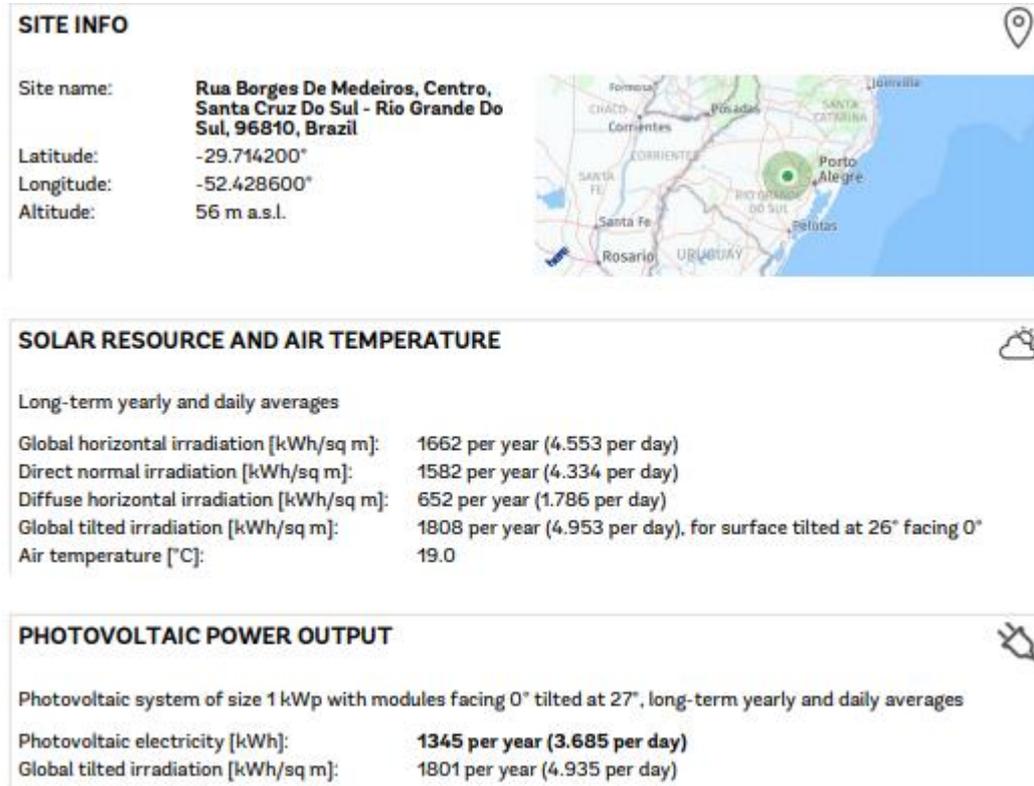
APÊNDICE K – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR LAJEADO



APÊNDICE L – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR CRUZ ALTA

SITE INFO		
Site name:	Lojas Colombo, Av General Osorio, Cruz Alta, Rio Grande Do Sul 98005, Brazil	
Latitude:	-28.645000°	
Longitude:	-53.604800°	
Altitude:	469 m a.s.l.	
SOLAR RESOURCE AND AIR TEMPERATURE		
Long-term yearly and daily averages		
Global horizontal irradiation [kWh/sq m]:	1773 per year (4.858 per day)	
Direct normal irradiation [kWh/sq m]:	1793 per year (4.912 per day)	
Diffuse horizontal irradiation [kWh/sq m]:	644 per year (1.764 per day)	
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1930 per year (5.288 per day), for surface tilted at 26° facing 0°	
Air temperature [°C]:	18.3	
PHOTOVOLTAIC POWER OUTPUT		
Photovoltaic system of size 1 kWp with modules facing 0° tilted at 27°, long-term yearly and daily averages		
Photovoltaic electricity [kWh]:	1443 per year (3.953 per day)	
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1927 per year (5.279 per day)	

APÊNDICE M – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR SANTA CRUZ DO SUL



APÊNDICE N – GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR ESTRELA

SITE INFO		
Site name:	Rua Coronel Brito 496, Centro, Estrela - Rio Grande Do Sul, 95880, Brazil	
Latitude:	-29.501100°	
Longitude:	-51.962200°	
Altitude:	30 m a.s.l.	
SOLAR RESOURCE AND AIR TEMPERATURE		
Long-term yearly and daily averages		
Global horizontal irradiation [kWh/sq m]:	1665 per year (4.562 per day)	
Direct normal irradiation [kWh/sq m]:	1583 per year (4.337 per day)	
Diffuse horizontal irradiation [kWh/sq m]:	652 per year (1.786 per day)	
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1812 per year (4.964 per day), for surface tilted at 26° facing 0°	
Air temperature [°C]:	19.1	
PHOTOVOLTAIC POWER OUTPUT		
Photovoltaic system of size 1 kWp with modules facing 0° tilted at 27°, long-term yearly and daily averages		
Photovoltaic electricity [kWh]:	1348 per year (3.693 per day)	
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1806 per year (4.949 per day)	

APÊNDICEO– GERAÇÃO FOTOVOLTAICA E IRRADIAÇÃO SOLAR PORTO ALEGRE

SITE INFO



Site name: **Praça Marechal Deodoro, Centro Histórico, Porto Alegre - Rio Grande Do Sul, 90020, Brazil**

Latitude: -30.033000°

Longitude: -51.230500°

Altitude: 26 m a.s.l.



SOLAR RESOURCE AND AIR TEMPERATURE



Long-term yearly and daily averages

Global horizontal irradiation [kWh/sq m]:	1679 per year (4.600 per day)
Direct normal irradiation [kWh/sq m]:	1614 per year (4.422 per day)
Diffuse horizontal irradiation [kWh/sq m]:	660 per year (1.808 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1835 per year (5.027 per day), for surface tilted at 26° facing 0°
Air temperature [°C]:	19.4

PHOTOVOLTAIC POWER OUTPUT



Photovoltaic system of size 1 kWp with modules facing 0° tilted at 28°, long-term yearly and daily averages

Photovoltaic electricity [kWh]:	1363 per year (3.735 per day)
Global tilted irradiation [kWh/sq m]:	1830 per year (5.014 per day)