

Matheus Figueiredo Brito de Godoi

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA AGREGAÇÃO
DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM *CAMPUS*
UNIVERSITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Departamento de
Engenharia Elétrica e Eletrônica da
Universidade Federal de Santa Catarina
para a obtenção do título de Bacharel
em Engenharia Elétrica
Orientador: Prof.^a Dr.^a Helena Flávia
Naspolini
Co-orientador: Msc. Gustavo Xavier de
Andrade Pinto

Florianópolis
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária
da UFSC.

Godoi, Matheus Figueiredo Brito de
ANÁLISE DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA AGREGAÇÃO DA
ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO
/ Matheus Figueiredo Brito de Godoi ; orientadora,
Helena Flávia Naspolini, coorientador, Gustavo
Xavier de Andrade Pinto, 2019.
88 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro
Tecnológico, Graduação em Engenharia Elétrica,
Florianópolis, 2019.

Inclui referências.

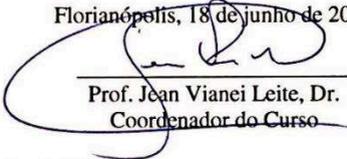
1. Engenharia Elétrica. 2. Minigerador solar
fotovoltaico. 3. Viabilidade econômica. 4. Custo
Nivelado de Energia. 5. UFSC. I. Naspolini, Helena
Flávia. II. Pinto, Gustavo Xavier de Andrade . III.
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em
Engenharia Elétrica. IV. Título.

Matheus Figueiredo Brito de Godoi

**ANÁLISE DA VIABILIDADE ECNONÔMICA DA AGREGAÇÃO
DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA EM CAMPUS
UNIVERSITÁRIO**

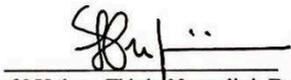
Esta Trabalho foi julgada adequada para obtenção do Título de Bacharel
em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pela Banca
Examinadora

Florianópolis, 18 de junho de 2019

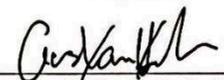


Prof. Jean Vianei Leite, Dr.
Coordenador do Curso

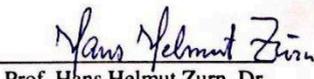
Banca Examinadora:



Prof.ª Helena Flávia Napolini, Dr.ª
Orientadora



Eng. Gustavo Xavier de Andrade Pinto, Msc.
Coorientador



Prof. Hans Helmut Zurn, Dr.



Eng. Julio Boing Neto

Dedico este trabalho aos meus pais, Gilberto, Peixoto e Merlyn, por seu apoio e incentivo durante todo o curso de graduação, e também aos meus amigos que estiveram ao meu lado durante os últimos anos.

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Pai, Deus, que sempre teve paciência comigo e esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis da graduação.

Aos meus pais pelo amor e paciência durante todos os anos de graduação.

Aos meus familiares que sempre me incentivaram.

Aos meus amigos por estarem ao meu lado me incentivando a estudar durante os últimos anos.

Aos amigos do grupo de estudo que esteve comigo nas disciplinas mais difíceis da graduação.

A minha Professora Orientadora, Helena Flávia Napolini, pelas suas contribuições e sugestões para a realização deste trabalho.

Ao meu Co-orientador, Gustavo Xavier de Andrade Pinto, pelas suas contribuições para a execução deste projeto.

Aos servidores da Universidade Federal de Santa Catarina, em especial aos que trabalham no restaurante universitário, por seus auxílios na minha formação universitária.

RESUMO

Este trabalho tem como objeto avaliar a viabilidade econômica de um minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp a ser instalada na unidade consumidora Cidade Universitária localizada no *Campus* Trindade da UFSC. Para análise da atratividade financeira foram analisados indicadores econômicos tais como, Taxa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Líquido (VPL), *Payback* Descontado e o Custo Nivelado de Energia (LCOE). Os resultados mostraram que o microgerador solar fotovoltaico de 5 MWp apresentaria viabilidade econômica nas condições analisadas para TMA de até 9,5% a.a. Adicionalmente, o valor de LCOE seria inferior ao valor correspondente à tarifa da energia elétrica cobrada pela Celesc Distribuição, em 2016, para TMA de até 9,0% a.a.

Palavras-chave: Energia solar fotovoltaica. Viabilidade econômica. UFSC. Energia fotovoltaica em *campus* universitário. LCOE.

ABSTRACT

This work evaluated the economic feasibility of a solar power plant of 5 MWp to be installed in Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) in Trindade Campus. To analyze the economic feasibility were analyzed some economic indicators such as, Internal Rate of Return (IRR), Net Present Value (NPV), Discounted Payback and Levelized Cost of Energy (LCOE). The results show that the power plant of 5 MWp would have positive result of economic feasibility in several analyzed conditions for Minimum Attractive Rate of Return (MARR) up to 9,5% per year. Additionally, the value of LCOE would be less than the value of the charged electricity rate by Celesc Distribuição, in 2016, for MARR up to 9,0% per year.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy. Economic feasibility. UFSC, Photovoltaic energy in university campus. LCOE.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Componentes de irradiação solar ao nível do solo.....	29
Figura 2 - Irradiação solar global horizontal média diária (kWh/m ² .dia).....	30
Figura 3 - Irradiação solar média diária no plano inclinado (Wh/m ² .dia).....	31
Figura 4 - Irradiação solar global horizontal média anual para a Alemanha.....	32
Figura 5 - Irradiação solar global horizontal média anual para o Brasil.....	33
Figura 6 - Evolução da capacidade instalada total de energia solar no mundo.....	34
Figura 7 - Participação no mercado de energia solar por regiões/países no final do ano de 2017.....	35
Figura 8 - Os 10 países com maior capacidade instalada acumulada de geração solar em 2017.....	36
Figura 9 - Os 10 países que tiveram maior capacidade instalada no ano de 2017.....	37
Figura 10 - Previsão de crescimento na capacidade total instalada para os próximos anos.....	38
Figura 11 - Potência instalada de geração solar distribuída no Brasil.....	40
Figura 12 - Número de sistemas e potência instalada por tipo de consumidores no Brasil.....	41
Figura 13 - Geração distribuída, Ranking Estadual.....	42
Figura 14 - Distribuição do consumo de energia elétrica na UFSC em 2016.....	43
Figura 15 - Energia ativa consumida e despesas com energia elétrica na UFSC em 2016.....	44
Figura 16 - Evolução mensal da demanda medida e contratada pela UFSC (Cidade Universitária) em Florianópolis no ano de 2016.....	45
Figura 17 - Evolução mensal da energia ativa consumida pela UFSC (Cidade Universitária) em Florianópolis no ano de 2016.....	45
Figura 18 - Sistema conectado à rede.....	48
Figura 19 - Curva I-V e P-V de um módulo fotovoltaico.....	49
Figura 20 - Efeito do sombreamento com diodo de desvio na curva I-V.....	50
Figura 21 - Ilustração didática do diodo de desvio.....	51

Figura 22 - Ilustração didática do diodo de bloqueio	52
Figura 23 - Ilustração didática do diodo de bloqueio em um circuito com baterias.	53
Figura 24 - Instalação de fusíveis de proteção em circuitos fotovoltaicos.....	54
Figura 25 - Edificações da cidade universitária UFSC em Florianópolis - SC.....	64
Figura 26 - Edificações selecionadas na cidade universitária UFSC em Florianópolis - SC.	65
Figura 27 - Evolução mensal das despesas com energia elétrica da UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com a inserção do minigerador FV de 5 MW.....	66
Figura 28 - VPL em função da TMA - Minigerador de 5 MWp.	69
Figura 29 - TIR em função de TMA - Minigerador de 5 MWp.	70
Figura 30 - Payback Descontado em função da TMA - Minigerador de 5 MWp.	71
Figura 31 - Fluxo de caixa - Minigerador de 5 MWp.	72
Figura 32 - LCOE em função de TMA- Minigerador de 5 MWp	73
Figura 33 - Evolução de VPL com a vida útil dos painéis fotovoltaicos – Minigerador de 5 MWp.....	75
Figura 34 - Evolução mensal da demanda original e da demanda com a contribuição do minigerador FV de 5 MWp que seria instalada na UC Cidade Universitária, localizada no Campus Central da UFSC em Florianópolis-SC.	85
Figura 35 - Evolução mensal da demanda simulada – P e FP para a UC Cidade Universitária – UFSC considerando a operação do minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp.	85
Figura 36 - Evolução mensal da energia consumida FP e contribuição do minigerador FV de 5 MWp na UC Cidade Universitária – UFSC em Florianópolis-SC.	86
Figura 37 - Evolução mensal da energia ativa consumida pela UC Cidade Universitária – UFSC em Florianópolis-SC, considerando a operação do minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp.....	86
Figura 38 - Demanda simulada e sugerida para o horário FP para a UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com inserção do minigerador de 5 MW.	87
Figura 39 - Evolução mensal das despesas com energia elétrica da UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com a inserção do minigerador FV de 5 MW.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Descrição do indicador LCOE.....	59
Tabela 2 - Características dos módulos fotovoltaicos.....	61
Tabela 3 - Edificações escolhidas, inclinações, potência instalada e geração fotovoltaica simulada.	62
Tabela 4 - Nº de módulos e de inversores instalados.....	63
Tabela 5 - Tarifas de energia elétrica (FP) e de demanda (com impostos) para contratação Horossazonal Verde - 2016.	67
Tabela 6 - Preços dos módulos e inversores do minigerador de 5 MWp.	68
Tabela 7 - Evolução do Payback Descontado, VPL, TIR e LCOE de acordo com a variação da TMA.....	74
Tabela 8 - Evolução do VPL do sistema FV para vida útil dos painéis variando 20 à 30 anos, com TMA fixa em 3% a.a.	75
Tabela 9 - Evolução mensal das despesas faturadas de energia FP e os custos evitados pela inserção do minigerador FV de 5 MW no Campus Central da UFSC em Florianópolis-SC.	88

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC - Corrente Contínua
CA - Corrente Alternada
W/m² - Watts por Metro Quadrado
MWp – Mega Watt Pico
MW – Mega Watt
MWh – Mega Watt Hora
kW – Kilo Watt
kWp – Kilo Watt Pico
kWh – Kilo Watt Hora
Wp – Watt Pico
Vmpp – Tensão de Máxima Potência
Impp – Corrente de Máxima Potência
Voc – Tensão de Circuito Aberto
Isc – Corrente de Curto Circuito
V – Tensão
A – Amperes
W – Watt
m² - Metros Quadrado
R\$/kW – Reais por Kilo Watt
R\$/kWh – Reais por Kilo Watt Hora

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	25
1.1	OBJETIVOS	26
1.1.1	Objetivo geral	26
1.1.2	Objetivos específicos	26
1.2	JUSTIFICATIVA.....	26
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	29
2.1	RECURSO SOLAR	29
2.2	ENERGIA SOLAR NO MUNDO	34
2.3	ENERGIA SOLAR NO BRASIL	38
2.4	APRESENTAÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFSC EM 2016	43
2.5	SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	47
2.5.1	Sistemas fotovoltaicos conectados a rede	47
2.6	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA PLANTA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA	48
2.6.1	Módulos solares	48
2.6.2	Características elétricas dos módulos	48
2.6.3	Efeito de sombreamento	49
2.6.4	Diodo de desvio (em inglês, <i>bypass</i>)	50
2.6.5	Diodo de bloqueio	51
2.6.6	Fusíveis de proteção da série fotovoltaica	53
2.6.7	Inversores	54
2.6.7.1	Eficiências dos inversores	55
2.6.8	Cabos CC	55
2.6.9	Cabos CA	56
2.6.10	Quadros de baixa tensão e de alta tensão	56
2.6.11	Transformador	56
2.6.12	Medidor de energia	56

3	METODOLOGIA	57
3.1	AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE FINANCEIRA DA AGREGAÇÃO DE UM MINIGERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE 5 MW _p À UC CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFSC	57
3.1.1	Juros simples e compostos.....	57
3.1.2	Taxa mínima de atratividade (TMA)	57
3.1.3	Valor presente líquido (VPL).....	57
3.1.4	Taxa interna de retorno (TIR).....	58
3.1.5	Payback descontado.....	58
3.1.6	Custo nivelado de energia (LCOE).....	58
3.1.7	Custos evitados pelo minigerador fotovoltaico.....	59
3.1.8	Minigerador solar fotovoltaico de 5 MW _p	60
4	RESULTADOS	67
4.1	ANÁLISE DA ATRATIVIDADE FINANCEIRA DA INSERÇÃO DO MINIGERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE 5 MW _p NA UC CIDADE UNIVERSITÁRIA UFSC	67
5	CONCLUSÃO.....	77
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	79
	ANEXO A – Curvas de demanda e de energia da UC Cidade Universitária (Ano base 2016).....	85

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se notado um aumento significativo no valor das faturas de energia elétrica em várias regiões brasileiras a ponto de superar o aumento da inflação (PEREIRA, 2018). Este fenômeno é influenciado por alguns fatores e dentre eles, a obtenção de energia gerada por termelétricas devido à falta de chuvas, e conseqüentemente, quantidade insuficiente de água em reservatórios de hidrelétricas (LIS, 2018).

No Brasil, a partir de 2012, existem normas específicas para regulamentar e normalizar a geração distribuída: Resolução Normativa (REN) da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) 482/2012, atualizada pela REN ANEEL 687/2015. A REN 482/2012 estabelece as condições para o acesso da mini e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição e compensação de energia elétrica. Porém, com a REN ANEEL 687/2015, essas definições foram modificadas. Para a microgeração a potência instalada deve ser menor ou igual a 75 kW e a minigeração superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Adicionalmente, a REN ANEEL 687/2015 aumentou o prazo para o uso de créditos energéticos pela unidade consumidora de 36 para 60 meses e incluiu na REN ANEEL 482/2012 a possibilidade dos consumidores utilizarem seus créditos energéticos em outras unidades dentro da área de concessão da concessionária, através de novos modelos de negócio, tais como, autoconsumo remoto, geração compartilhada por meio de consórcio ou de cooperativas e múltiplas unidades consumidoras.

O governo brasileiro também tem lançado programas de incentivos para financiamento de sistemas solares para a população com taxas de juros significativamente baixas (FARIELLO, 2015). Felizmente, a energia elétrica gerada por painéis fotovoltaicos tem-se tornado viável para os brasileiros, nos últimos anos.

É notável a confiança que as instituições estão colocando na aplicação dessa tecnologia, o que torna fundamental estudos detalhados de viabilidade econômica para a aplicação da mesma.

O estudo de viabilidade econômica diz às partes interessadas se o projeto gerará receita suficiente para assumir os riscos na execução dos empreendimentos, e também, noções sobre o retorno do capital investido em comparação com outros tipos de investimentos. Tais estudos se baseiam na obtenção de indicadores de viabilidade, tais como, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Descontado e *Levelized Cost of Energy* (LCOE).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desse trabalho é demonstrar o potencial econômico, através do estudo detalhado do retorno de investimento, de uma minigerador fotovoltaico de 5 MWp, localizada nas coberturas dos prédios do *Campus* Universitário Trindade da UFSC.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos são:

1. Selecionar indicadores a serem utilizados no estudo da viabilidade econômica do minigerador fotovoltaico de 5 MWp, localizada nas coberturas dos prédios do *Campus* Universitário Trindade da UFSC.
2. Orçar os recursos necessários à execução do minigerador fotovoltaico de 5 MWp.
3. Realizar o estudo de viabilidade econômica do projeto em questão.

1.2 JUSTIFICATIVA

A execução deste trabalho foi motivada por:

- a) O Brasil apresenta índices de irradiação solar abundantes, muito superiores ao de países líderes em utilização da energia solar na Europa, como por exemplo a Alemanha. Com isso, espera-se um crescimento no uso dessa tecnologia no país.
- b) As REN ANEEL 482/2012 e REN ANEEL 687/2015 possibilitaram à população brasileira o acesso da mini e microgeração distribuída aos sistemas de distribuição e a compensação de energia elétrica. Essas normas são marcos regulatório no Brasil que possibilitam crescimento expressivo do uso da tecnologia fotovoltaica pela população nos próximos anos.

- c) Pelo meu desejo de aprimorar conhecimentos na área de geração solar fotovoltaica. Sabe-se que o estudo de viabilidade econômica é fundamental para a execução de qualquer projeto de engenharia.
- d) Esse trabalho visa complementar a pesquisa realizada por Gustavo Xavier de Andrade Pinto intitulada “Impactos da Modalidade de Contratação da Energia Elétrica e da Geração Solar Fotovoltaica nas Despesas com Energia Elétrica em *Campus* Universitário” (Dissertação de Mestrado) no quesito: Avaliação econômica do minigerador fotovoltaico de 5 MWp projetada e simulada para ser inserida na UC Cidade Universitária, localizada no Campus Trindade da UFSC.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho foi dividido basicamente em três capítulos: Revisão Bibliográfica, Metodologia e Resultados.

O Capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica que aborda conceitos sobre o recurso solar, panorama da energia solar no Brasil e no mundo, o perfil de consumo da unidade consumidora Cidade Universitária da UFSC e componentes básicos de um minigerador fotovoltaico.

O Capítulo 3 mostra a metodologia utilizada no trabalho. Aborda com serão calculados indicadores de atratividade financeira do investimento no minigerador fotovoltaico de 5 MWp, tais como, VPL, TIR, *Payback* Descontado e LCOE.

Finalmente, no Capítulo 4 são apresentadas e discutidas as evoluções anuais do VPL, TIR, *Payback* Descontado e LCOE com a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) e a evolução do VPL com vida útil dos equipamentos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 RECURSO SOLAR

O Sol é essencial para a manutenção da vida na terra, ele está presente nos ciclos na natureza (como no ciclo da água), na geração de matérias orgânicas que se tornam combustíveis fósseis e biomassa (CRESESB, 2006) e, além disso, é uma fonte de energia praticamente inesgotável por fornecer, anualmente, 10.000 vezes o consumo mundial de energia. Por esta razão, há um significativo potencial de geração de energia (elétrica, térmica e outras) por meio dessa fonte (CRESESB, 2008).

Como existem diferentes camadas atmosféricas em torno da superfície terrestre, apenas parte da radiação solar incide sobre a terra devido aos fenômenos de absorção dos raios solares e de reflexão pela atmosfera, conforme mostra a figura 1. A porção que chega ao solo é formada por uma parte difusa e por uma parte direta (CRESESB, 2008).

Figura 1 - Componentes de irradiação solar ao nível do solo.



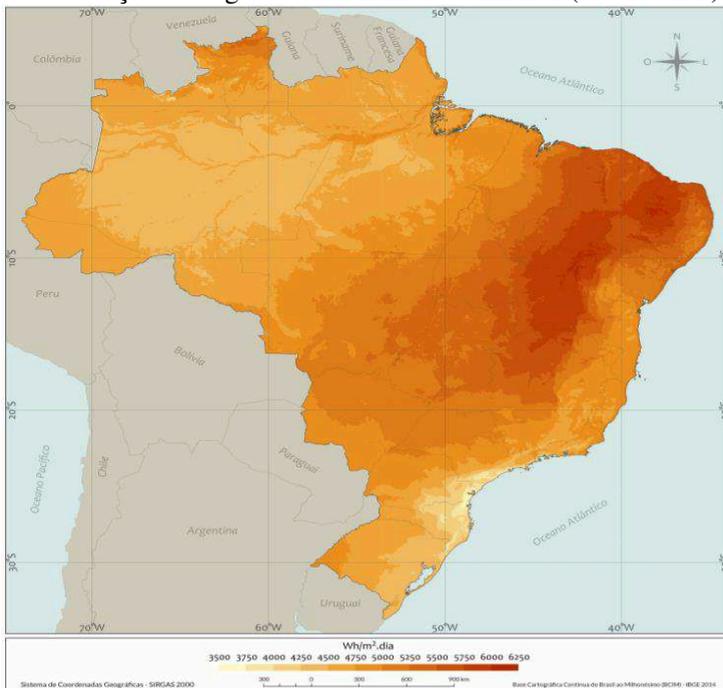
Fonte: CRESESB (2008).

A irradiação solar sofre influência da atmosfera, das estações do ano, intercalação de dia e noite, períodos nebulosos e/ou chuvosos entre outros fatores, resultando uma expressiva variabilidade no recurso energético solar anualmente (CRESESB, 2008).

No Brasil, foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em parceria com o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina, o Atlas Brasileiro de Energia Solar (LABSOLAR /UFSC). Tal Atlas foi atualizado em 2017 (PEREIRA,2017).

A figura 2 apresenta, para o Brasil, a irradiação solar global horizontal média diária. A escala varia entre 3.500 e 6.250 Wh/m².dia. Quanto mais escura a área, maior é a irradiação solar global horizontal média diária.

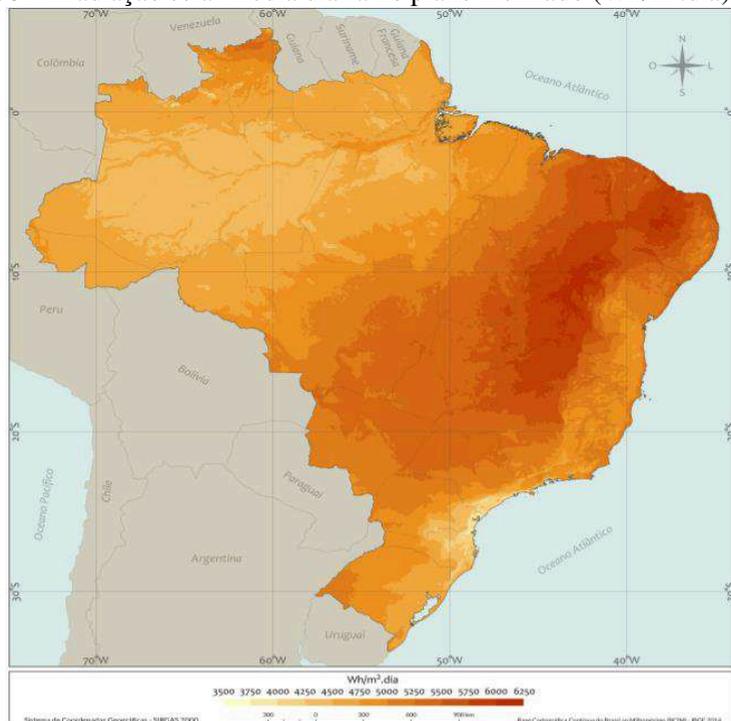
Figura 2 - Irradiação solar global horizontal média diária (kWh/m².dia).



Fonte: PEREIRA (2017).

A figura 3 apresenta a irradiação solar global horizontal média diária no plano inclinado na latitude. A escala varia entre 3.500 e 6.250 Wh/m².dia.

Figura 3 - Irradiação solar média diária no plano inclinado ($\text{Wh}/\text{m}^2.\text{dia}$).



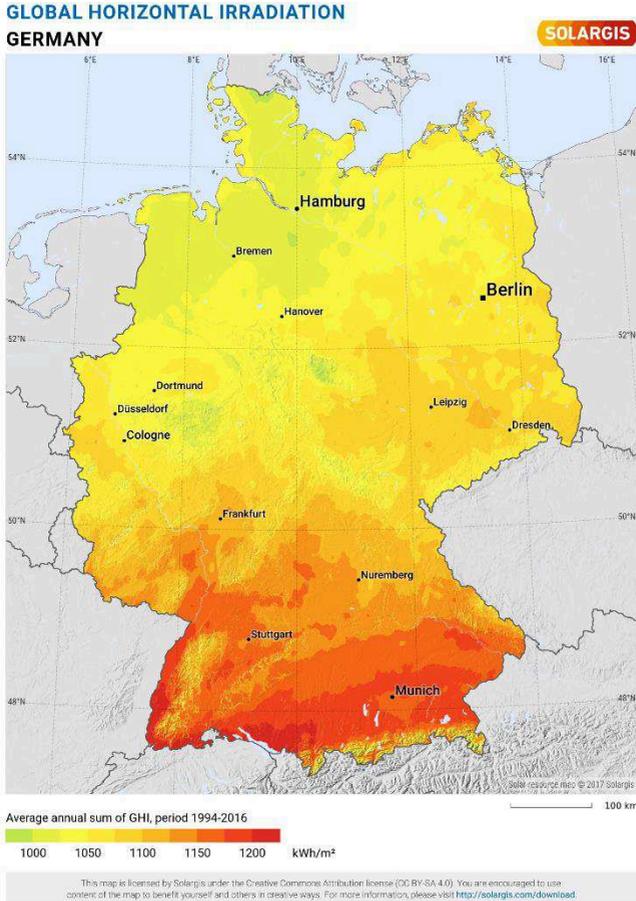
Fonte: PEREIRA (2017).

A irradiação solar global horizontal é o valor de energia (Wh) por unidade de área (m^2) que incide numa superfície horizontal, enquanto a irradiação solar no plano inclinado é o valor de energia por unidade de área que incide sobre um plano inclinado na latitude do local em relação à superfície da terra (PEREIRA, 2017).

O valor máximo de irradiação solar global horizontal no plano inclinado (na ordem de $6.250 \text{ Wh}/\text{m}^2.\text{dia}$) ocorre na região do nordeste, enquanto valores mínimos (na ordem de $3.750 \text{ Wh}/\text{m}^2.\text{dia}$) ocorrem no litoral sul do país.

Segundo IEA (2018), a Alemanha foi o país líder na Europa em geração solar fotovoltaica (FV) em 2017, com 42 GW de potência instalada, ou seja, é um país referência em questões solares. A figura 4 apresenta a irradiação solar global horizontal média anual para a Alemanha.

Figura 4 - Irradiação solar global horizontal média anual para a Alemanha.



Fonte: SOLARGIS (2019).

Nota-se que as regiões que gerariam mais energia elétrica anualmente na Alemanha possuem valores aproximadamente de 1.200 kWh/m²/ano.

A figura 5 apresenta a irradiação solar global horizontal média anual para o Brasil. Observa-se que a região brasileira com menor incidência anual de irradiação solar global horizontal (1.534 kWh/m²/ano) apresenta valores superiores aos da região com maior incidência de irradiação solar da Alemanha (1.200 kWh/m²/ano), aproximadamente

28% superior. Com isso, percebe-se que o Brasil possui grande potencial para a exploração de energia provinda do sol.

Figura 5 - Irradiação solar global horizontal média anual para o Brasil.



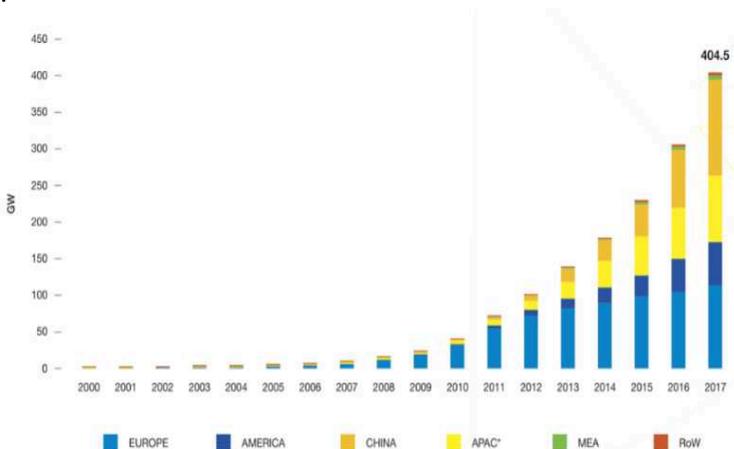
Fonte: SOLARGIS (2019).

2.2 ENERGIA SOLAR NO MUNDO

A utilização da tecnologia fotovoltaica no mundo tem crescido exponencialmente nos últimos anos. Em 2017, a capacidade mundial total instalada foi de 404,5 GW (SOLARPOWEREUROPE, 2018).

A figura 6 apresenta a evolução anual da capacidade instalada total de energia solar no mundo.

Figura 6 - Evolução da capacidade instalada total de energia solar no mundo.



Fonte: SOLARPOWEREUROPE (2018).

Onde:

Europe: Europa;

America: Américas;

China: China;

APAC*: Países da região asiática, exceto China;

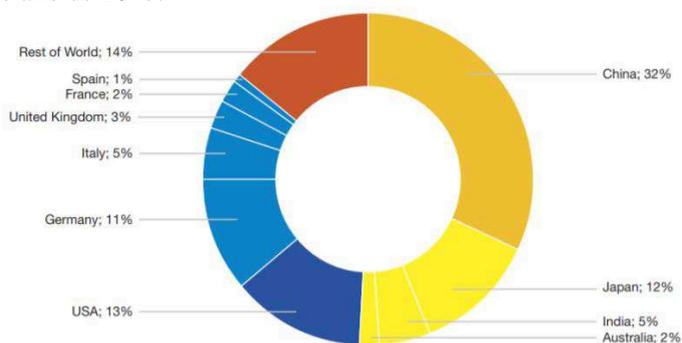
MEA: Países do Médio Oriente;

RoW: Resto do mundo.

Em 2017, houve um aumento de 32% em relação a 2016 (306,4 GW) de capacidade total instalada. E em 10 anos, houve um aumento de 4.300% (9,2 GW em 2007). Percebe-se um crescimento anual acelerado na capacidade total instalada (GW).

Em 2017, a região asiática (incluindo a China), foi a líder em capacidade total de potência instalada, com aproximadamente 221,3 GW, o que equivale a 55% de participação no mercado global, isto é, com mais da metade da capacidade de geração FV total global. A região europeia se posiciona em segundo lugar com capacidade instalada total de 114 GW, enquanto o continente americano se posiciona em terceiro lugar com capacidade instalada total de 59,2 GW. A China sozinha possui aproximadamente 1/3 da capacidade de geração de energia solar FV do mundo, como pode ser observado na figura 7.

Figura 7 - Participação no mercado de energia solar por regiões/países no final do ano de 2017.



Fonte: SOLARPOWEREUROPE (2018).

A figura 8 apresenta os 10 países com maior capacidade total instalada acumulada de geração solar FV em 2017.

Figura 8 - Os 10 países com maior capacidade instalada acumulada de geração solar em 2017.

1		China	131 GW
2		USA	51 GW
3		Japan	49 GW
4		Germany	42 GW
5		Italy	19,7 GW
6		India	18,3 GW
7		UK	12,7 GW
8		France	8 GW
9		Australia	7,2 GW
10		Spain	5,6 GW

Fonte: IEA (2018).

Como esperado, a China se posiciona em primeiro lugar com 131 GW de capacidade de geração solar FV instalada, seguida pelos Estados Unidos com 51 GW e Japão com 49 GW.

Em 2017 foram instalados o total de 99,1 GW, equivalente a 30% de crescimento em relação ao ano de 2016 (76,6 GW). Nesse ano, o país líder global em crescimento na participação de mercado foi a China com 52,8 GW instalados, o que equivale a 53% de crescimento em relação a 2016 (34,5 GW). A seguir vem os Estados Unidos com 10,6 GW de capacidade instalada (SOLARPOWEREUROPE, 2018).

A figura 9 apresenta a colocação dos 10 países que mais instalaram painéis solares em 2017.

Figura 9 - Os 10 países que tiveram maior capacidade instalada no ano de 2017.

1		China	53 GW
2		USA	10,6 GW
3		India	9,1 GW
4		Japan	7 GW
5		Turkey	2,6 GW
6		Germany	1,8 GW
7		Australia	1,25 GW
8		Korea	1,2 GW
9		UK	0,9 GW
10		Brazil	0,9 GW

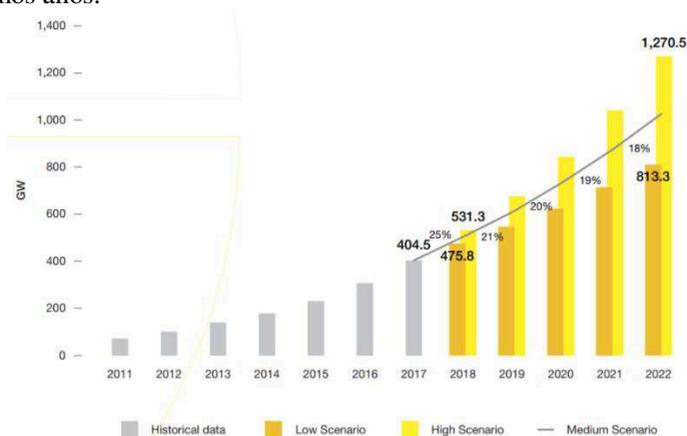
Fonte: IEA (2018).

Neste ano, o Brasil cresceu significativamente com 910 MW instalados, e com isso, entrou em décimo lugar em capacidade instalada (IEA, 2018). Este ano também, foi um ano histórico para a Índia, que cresceu 127% em relação ao ano anterior. (SOLARPOWEREUROPE, 2018).

Com o histórico de crescimento exponencial na capacidade de geração da energia solar, analistas esperam um crescimento expressivo para os próximos anos.

A figura 10 apresenta os cenários previstos para os próximos anos em total de capacidade instalada.

Figura 10 - Previsão de crescimento na capacidade total instalada para os próximos anos.



Fonte: SOLARPOWEREUROPE (2018).

Para o ano de 2018, o cenário médio é estimado que seja 505,2 GW de capacidade de potência acumulada em todo o mundo. E é esperado que no ano de 2022, a capacidade total instalada alcance o patamar de *Terawatt* (TW). O crescimento acelerado é devido ao fato de que os equipamentos fotovoltaicos tiveram declínios significativos de seus preços ao longo dos anos e a tendência, como visto acima, é que o comportamento exponencial de crescimento dos gráficos continue (SOLARPOWEREUROPE, 2018).

2.3 ENERGIA SOLAR NO BRASIL

A REN ANEEL 482/2012 foi o marco regulatório que possibilitou o acesso da microgeração e minigeração distribuída à rede elétrica da concessionária. Inicialmente, o limite para a microgeração foi de potência instalada menor ou igual a 100 kW e para a minigeração de potência instalada superior a 100 kW e menor ou igual a 1 MW. Porém, com a REN ANEEL 687/2015, essas definições foram modificadas. Para a microgeração a potência instalada deve ser menor ou igual a 75 kW e a minigeração superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW.

Adicionalmente, a REN ANEEL 687/2015 aumentou o prazo para o uso de créditos energéticos pela unidade consumidora de 36 para 60

meses e incluiu na REN ANEEL 482/2012 a possibilidade dos consumidores utilizarem seus créditos energéticos em outras unidades dentro da área de concessão da concessionária, conforme a seguir:

- **Autoconsumo remoto:** Para unidades consumidoras de uma mesma titularidade (Pessoa Jurídica ou Pessoa Física) que possuam unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras em que a energia excedente será compensada.
- **Geração compartilhada:** é definida pela reunião de consumidores por consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora de microgeração ou minigeração distribuída em local distinto das unidades consumidoras em que a energia excedente será compensada.
- **Múltiplas unidades consumidoras:** definida pelo uso da energia elétrica de forma independente, em que cada fração do uso individualizado seja uma unidade consumidora e as instalações das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, do proprietário ou administração do empreendimento, com minigeração ou microgeração distribuída.

Com isso, o Brasil tem crescido exponencialmente em capacidade instalada, como ocorre no mundo. A figura 11 apresenta a potência instalada de geração solar distribuída no Brasil.

Figura 11 - Potência instalada de geração solar distribuída no Brasil.

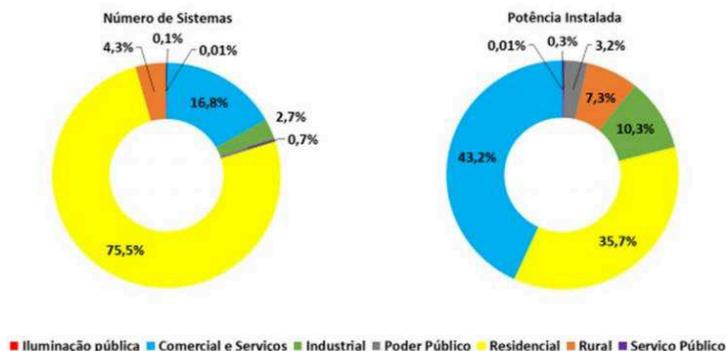


Fonte: ABSOLAR; ANEEL (2019).

Em 2019, o Brasil já atingiu 501,9 MW de potência instalada em sistemas solares de microgeração e minigeração distribuída. O crescimento na utilização dessa tecnologia para a geração de energia elétrica é positivo para o país, pois, gera empregos, reduz impactos ao meio ambiente, reduz perdas de transmissão na rede elétrica, proporciona alívio no sistema elétrico em horários de pico diários e atrai investimentos para o país. Considerando a potência solar total instalada no Brasil (geração centralizada, micro e mini geração distribuída), o país possui potência operacional total de aproximadamente 2,7 GW (ABSOLAR, 2019).

A figura 12 apresenta o número de sistemas e a potência instalada por tipo de consumidores.

Figura 12 - Número de sistemas e potência instalada por tipo de consumidores no Brasil.



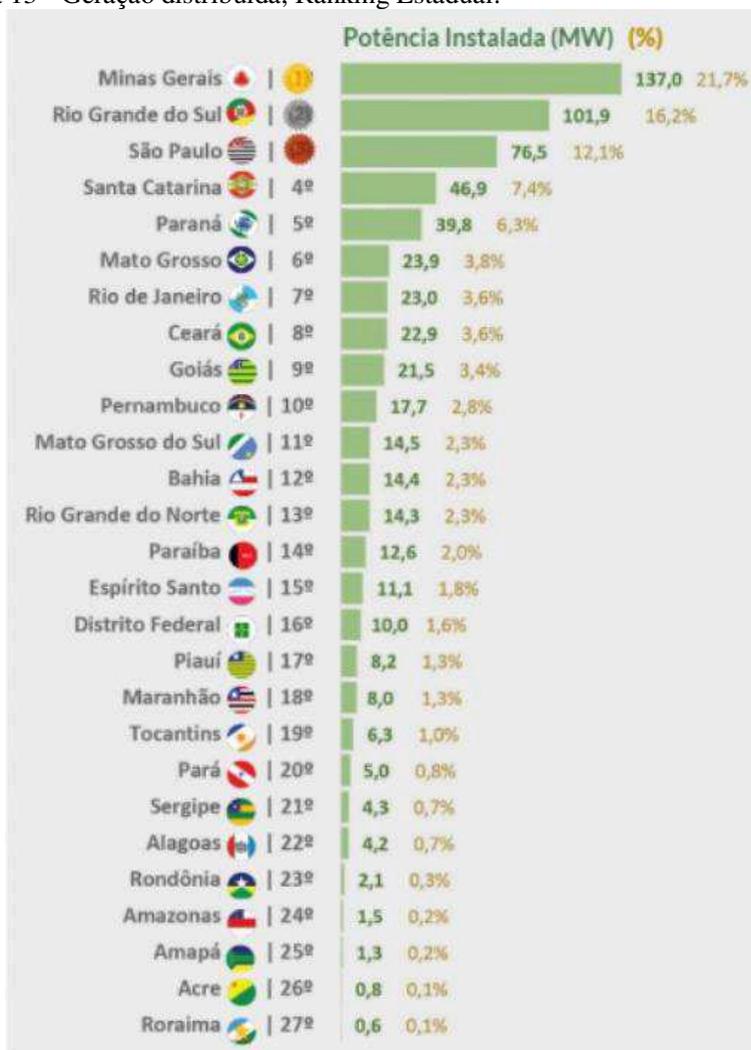
Fonte: ABSOLAR; ANEEL (2019).

O setor residencial lidera em números de sistemas, com 75,5% do total, seguido pelo setor comercial e serviços com 16,8%. Já em potência instalada, o setor comercial e de serviços lideram com 43,2% do total, enquanto o setor residencial possui 35,7% de participação.

De acordo com a ABSOLAR (2019), o Brasil possui 49.177 sistemas solares conectados à rede, proporcionando economia para 60.090 unidades consumidoras. Desde 2012, foram investidos R\$ 2,6 bilhões, e a previsão é que até o ano de 2022, haja o total de R\$ 21,3 bilhões em investimentos privados no setor fotovoltaico (referentes a projetos já contratados em leilões).

A figura 13 apresenta o *ranking* estadual de geração distribuída para os estados brasileiros para abril de 2019.

Figura 13 - Geração distribuída, Ranking Estadual.



Fonte: ABSOLAR; ANEEL (2019).

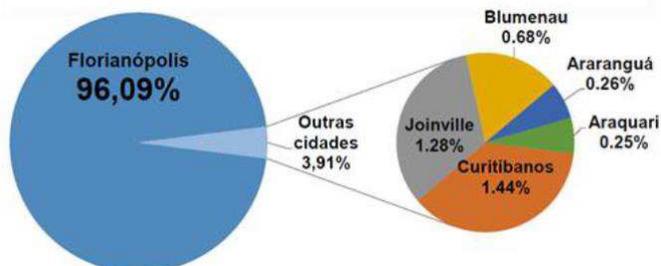
O estado de Minas Gerais lidera o *ranking* estadual com 137 MW de capacidade instalada, o que equivale a 21,7% do total, seguido por Rio Grande do Sul e São Paulo com capacidade instalada de 101,9 MW e 76,5 MW, respectivamente.

2.4 APRESENTAÇÃO DO PERFIL DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA DA UFSC EM 2016

Em 2016, a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) possuía 82 unidades consumidoras, das quais 23 pertenciam ao subgrupo A4 (alimentação em 13,8 kV), com contratação de energia elétrica junto à Celesc na modalidade de contratação tarifária Horossazonal Verde.

A figura 14 apresenta a distribuição do consumo de energia elétrica da UFSC em 2016. Nota-se que naquele ano, as unidades consumidoras localizadas em Florianópolis – Santa Catarina foram responsáveis por 96,09% do consumo de energia elétrica da UFSC.

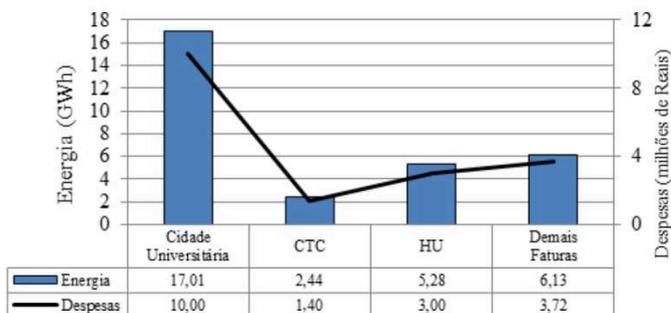
Figura 14 - Distribuição do consumo de energia elétrica na UFSC em 2016.



Fonte: DPAE (2017).

A figura 15 apresenta a energia ativa consumida e despesas com energia elétrica na UFSC em 2016.

Figura 15 - Energia ativa consumida e despesas com energia elétrica na UFSC em 2016.



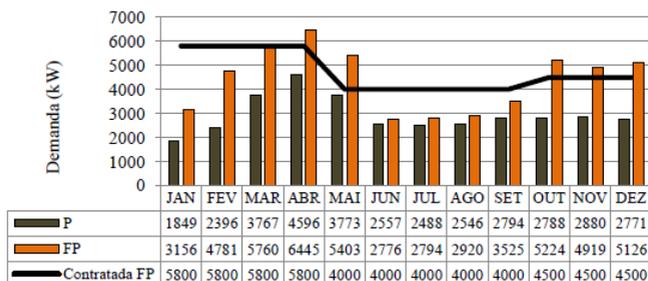
Fonte: DPAE (2017).

A Unidade Consumidoras (UC) denominada Centro Tecnológico (CTC) engloba as edificações da Engenharia Civil, Engenharia Química e de Alimentos e o Centro de Ciências Biológicas. Em 2016, as UC Cidade Universitária, Hospital Universitário (HU) e o CTC, foram responsáveis por 55%, 17% e 8% de despesas totais com energia elétrica, respectivamente. As outras unidades consumidoras foram responsáveis por aproximadamente 20% de despesas totais da UFSC com energia elétrica.

Naquele ano, o consumo total de energia elétrica da UFSC (abrangendo as 82 unidades consumidoras) foi de aproximadamente 30,1 GWh, e sua despesa anual (com impostos) com energia elétrica foi de aproximadamente R\$ 19,19 milhões.

Para a UC Cidade Universitária da UFSC, em 2016, a maior demanda medida ocorreu em abril e foi de 6.445 kW. Nos meses mais frios (junho a agosto) em que não há necessidade de fazer o uso de ar condicionado, as demandas medidas foram muito menores, como mostrado na figura 16.

Figura 16 - Evolução mensal da demanda medida e contratada pela UFSC (Cidade Universitária) em Florianópolis no ano de 2016.

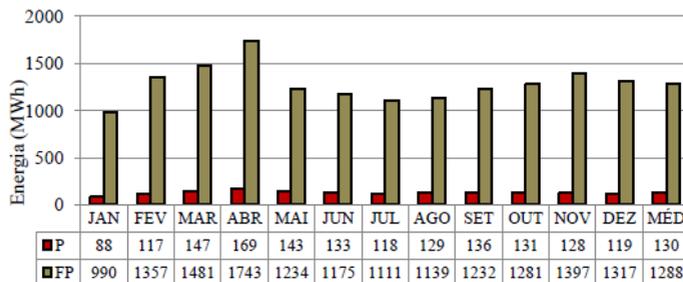


Fonte: PINTO (2018).

Observa-se que a UC Cidade Universitária contratou sua demanda, para os meses de janeiro a março, em 5800 kW, para os meses de maio a setembro, em 4000 kW e para os meses de outubro a dezembro, em 4500 kW.

A figura 17 apresenta a evolução mensal do consumo de energia elétrica ativa da UC Cidade Universitária no ano de 2016. Nota-se a predominância do consumo nos horários fora ponta (FP) devido a maioria dos cursos serem diurno e integral. Para o período FP, o consumo médio mensal foi de 1.288 MWh e para o período de Ponta (P), o consumo médio mensal foi de 130 MWh.

Figura 17 - Evolução mensal da energia ativa consumida pela UFSC (Cidade Universitária) em Florianópolis no ano de 2016.



Fonte: PINTO (2018).

2.5 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Existem três configurações de sistemas fotovoltaicos: sistemas isolados, sistemas conectados à rede e sistemas híbridos. Este trabalho visa analisar a atratividade financeira de um minigerador fotovoltaico (FV) de 5 MWp conectada à rede elétrica da UC Cidade Universitária, localizada no *Campus* Universitário Trindade da UFSC.

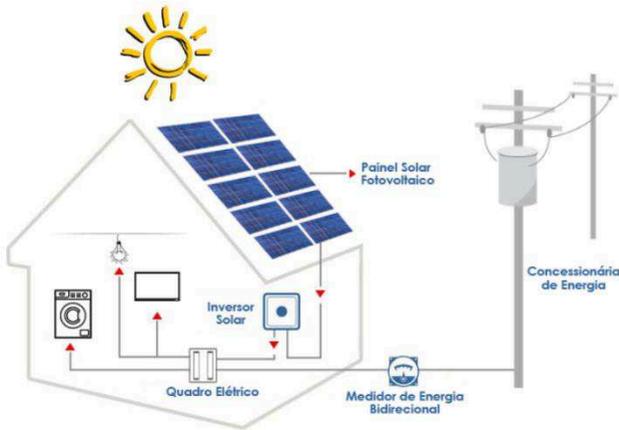
2.5.1 Sistemas fotovoltaicos conectados a rede

Esta configuração de sistema é ideal para consumidores que possuem conexão à rede e desejam complementar seu suprimento de energia elétrica por painéis fotovoltaicos. Em muitos casos, eles são instalados sobre os telhados das edificações aproveitando a área disponível e o contato direto com a irradiação solar. Neste caso, existem vantagens para os consumidores e para empresas que fornecem energia elétrica, porque além das unidades consumidoras poderem utilizar energia proveniente do sol “sem custos”, ocorre redução de perdas de transmissão e distribuição para as concessionárias (CRESESB, 2014).

Quando a rede de energia elétrica é desativada, o sistema também é desativado por questões de segurança porque geralmente quando as redes são desativadas para manutenção, eletricitistas que trabalham nelas precisam estar seguros de que não há nenhuma fonte de suprimento para o sistema de distribuição. Por essa razão, os inversores automaticamente identificam quando ocorre o desligamento das linhas através do dispositivo anti-ilhamento e com isso, desativam a geração de energia dos minigeradores solares. Porém, se for necessário que a unidade consumidora tenha suprimento de energia elétrica independente caso linha elétrica seja desativada, pode-se especificar bancos de baterias para sistemas conectados à rede para atendimento provisório a título emergencial (ZIPP, 2015).

A figura 18 ilustra um sistema fotovoltaico conectado à rede (sem banco de baterias), cujos componentes são painéis FV, inversor, medidor de energia e um quadro de distribuição para a aplicação.

Figura 18 - Sistema conectado à rede.



Fonte: SOLIGADO (2019).

2.6 PRINCIPAIS COMPONENTES DE UMA PLANTA DE GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA

2.6.1 Módulos solares

Um módulo fotovoltaico é formado por um agrupamento de células fotovoltaicas, encapsuladas e interligadas eletricamente. Como as células fotovoltaicas possuem relativamente baixos níveis de tensão (aproximadamente 0,5 a 0,8 V para células de silício), é necessário realizar a associação série e/ou paralelo para obter o nível de tensão desejado para a aplicação, com isso, temos os módulos e arranjos fotovoltaicos que também podem ser associados dependendo da utilização requerida. A estrutura do módulo FV permite a proteção mecânica das células pelo encapsulamento em placas rígidas ou flexíveis, e isso se faz necessário devido ao fato das células serem muito frágeis. Os vidros temperados estão presentes nos módulos rígidos para proteção mecânica que por sua vez podem ter perfis de alumínio em sua moldura (CRESESB, 2014).

2.6.2 Características elétricas dos módulos

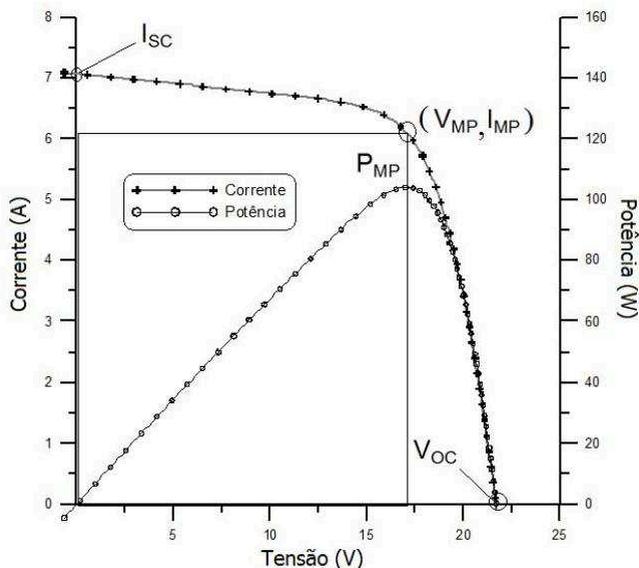
Os módulos são usualmente diferenciados pela potência elétrica de pico (Wp). A potência é medida sob condições-padrões de ensaios (STC

– *Standard Test Conditions*) em laboratório, tais como, irradiação solar de 1.000 W/m^2 , temperatura da célula de 25°C e distribuição espectral padrão para AM 1,5 (CRESESB, 2014).

Outras características dos módulos fotovoltaicos são: tensão de circuito aberto (V_{oc}) e corrente de curto circuito (I_{sc}).

A figura 19 apresenta a curva I-V de um módulo fotovoltaico.

Figura 19 - Curva I-V e P-V de um módulo fotovoltaico.



Fonte: CRESESB (2014).

É possível observar o ponto máximo de geração de potência elétrica (P_{mp}). Esse ponto é formado pelo produto da tensão e corrente de máxima potência (V_{pm} e I_{pm} , respectivamente) (CRESESB, 2014).

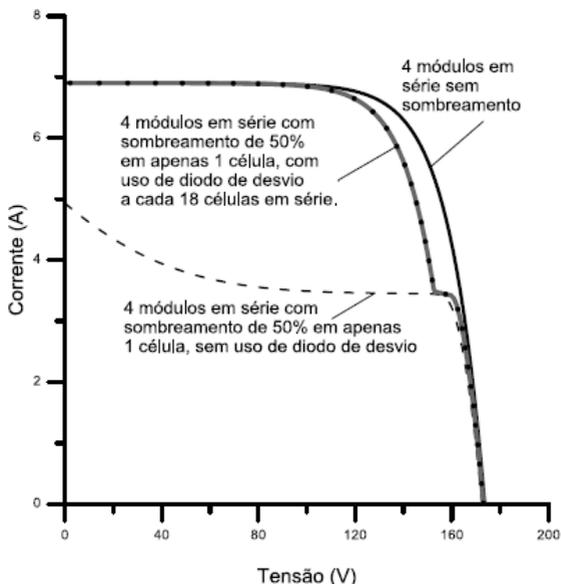
2.6.3 Efeito de sombreamento

O sombreamento é um inimigo da geração solar. Ele pode ocorrer por sujeiras sobre o vidro dos módulos, nuvens ou algum objeto que tenha caído sobre os painéis. Isso é um problema porque como parte das células estão ligadas em série, se uma delas for sombreada, a corrente gerada será reduzida e conseqüentemente, reduzida a corrente do circuito em série.

Por essa razão, esse problema tem efeito cascata e afeta outros módulos que também estão ligados em série (CRESESB, 2014).

A figura 20 demonstra o efeito de sombreamento na curva I-V de uma associação de 4 módulos.

Figura 20 - Efeito do sombreamento com diodo de desvio na curva I-V.



Fonte: CRESESB (2014).

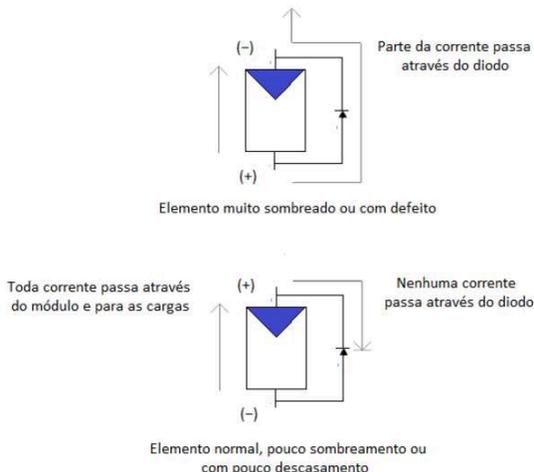
Observa-se que o diodo de desvio é fundamental para minimizar o efeito negativo do sombreamento na geração de energia elétrica (CRESESB, 2014), com isso, é fundamental o entendimento desse componente presente nas instalações fotovoltaicas.

2.6.4 Diodo de desvio (em inglês, *bypass*)

Os efeitos negativos dos “pontos quentes” ou *hotspot* causados pelos sombreamentos podem ser minimizados pela utilização do diodo de desvio, quando a célula é sombreada, ela que deveria gerar energia, vira uma carga e passa a consumir energia. Com isso, o diodo é conectado em paralelo em polaridade oposta, assim, quando as células fotovoltaicas ficarem energizadas, o diodo estará em circuito aberto por estar em

polaridade reversa. Dessa maneira, caso uma célula tenha ponto quente, tendo sua resistência aumentada, ela poderia bloquear o fluxo de corrente do circuito (SOLAR-FACTS, 2018), assim, o diodo é polarizado diretamente e o caminho da corrente é desviado, evitando que as características da célula com sombreamento prejudiquem a operação do sistema fotovoltaico, como ilustra a figura 21 (PVEDUCATION, 2018).

Figura 21 - Ilustração didática do diodo de desvio

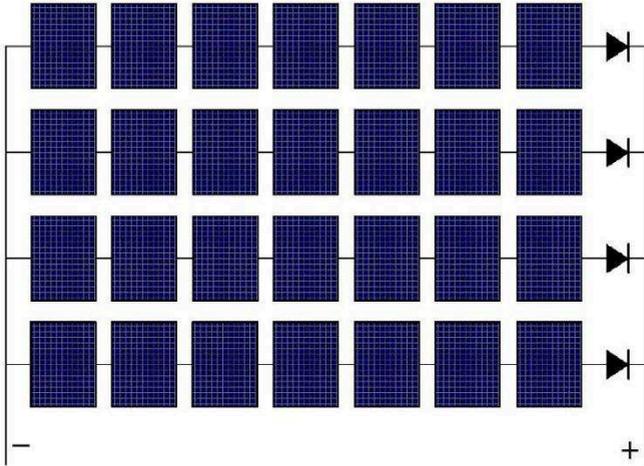


Fonte: CRESESB (2014).

2.6.5 Diodo de bloqueio

O diodo de bloqueio é usado para duas situações em instalações fotovoltaicas. A primeira ocorre quando se possui módulos em série e paralelo como mostrado na figura 22. Observa-se que há um agrupamento de 7 módulos em série (em inglês, *string*) e em paralelo com outros 4. O diodo de bloqueio é usado para impedir que correntes de conjuntos de módulos com tensões maiores fluam para conjuntos com tensões menores (CRESESB, 2014).

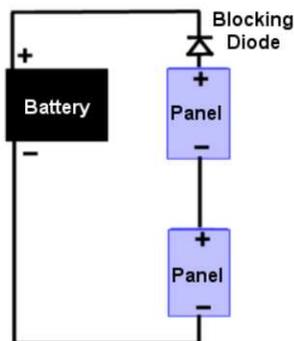
Figura 22 - Ilustração didática do diodo de bloqueio



Fonte: CRESESB (2014).

Já no segundo caso, o diodo de bloqueio é utilizado em sistemas de armazenamento com baterias. Quando não há luz solar para geração de energia elétrica pelas placas (como em um ambiente noturno), as baterias causariam corrente de descarga reversa. Com o diodo de bloqueio, esse efeito é bloqueado e a corrente não poderá fluir no sentido horário conforme mostrado na figura 23 (SOLAR-FACTS, 2018).

Figura 23 - Ilustração didática do diodo de bloqueio em um circuito com baterias.



Fonte: SOLAR-FACTS (2018).

Onde: Battery: Bateria;

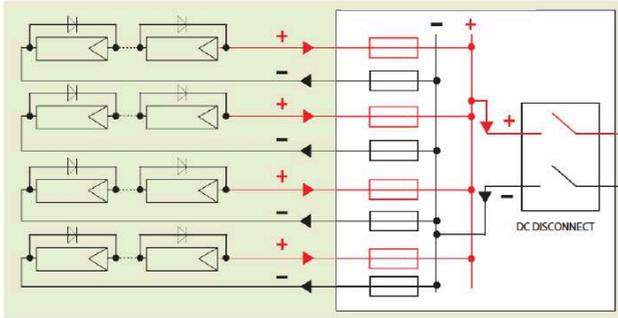
Blockng Diode: Diodo de bloqueio.

2.6.6 Fusíveis de proteção da série fotovoltaica

Os diodos de bloqueio são úteis em muitos casos para a primeira situação descrita na sessão 2.6.5, porém, tem-se observado que ele pode falhar e com isso, é aconselhável a presença de um fusível de proteção para impedir que correntes de conjuntos de placas em séries com tensões maiores fluam para conjuntos de placas em séries com tensões menores (CRESESB, 2014).

O fusível é colocado em série com cada agrupamento em série no polo positivo e negativo, e deve ser dimensionado para correntes inferiores às correntes reversas que os módulos toleram (CRESESB, 2014). A configuração descrita é ilustrada na figura 24.

Figura 24 - Instalação de fusíveis de proteção em circuitos fotovoltaicos.



Fonte: CRESESB (2014).

Pode-se observar a presença dos fusíveis, diodos de bloqueio e diodos de desvio em cada “string” do sistema fotovoltaico.

2.6.7 Inversores

Inversores (conhecido como conversor CC/AC) são dispositivos que utilizam tecnologia de eletrônica de potência para a conversão de corrente contínua (CC) em corrente alternada (CA). Em sistemas de grande porte, a preferência é a utilização de diversos inversores de baixa potência para descentralizar a conversão CC-CA e com isso, reduzir a dimensão (seção) dos cabos do circuito de corrente contínua. Adicionalmente, por motivos de segurança, caso algum inversor opere de forma indesejável, apenas uma pequena área da planta de geração de energia seria afetada (RODRIGUES, 2012).

Os inversores podem ser ligados à rede elétrica em que o sistema de geração primeiro supre o consumo do estabelecimento e posteriormente, fornece o excedente de energia à rede elétrica. Os inversores devem operar no ponto de máxima potência da geração solar, porém, como esse ponto é variável e muda de acordo com as condições do ambiente, o inversor é continuamente ajustado para esse ponto. Por essa razão, ele rastreia o ponto de máxima potência do gerador fotovoltaico e ajusta o nível de tensão para ser operado no ponto mencionado.

Eficiências dos inversores

Eficiência de conversão η_{CON} : Indicador que mensura a eficiência do inversor na conversão de corrente contínua (CC) para corrente alternada (AC). Essa grandeza não é 100% devido os inversores possuem perdas pelos comutadores eletrônicos (GREENPRO, 2004).

$$\eta_{CON} = \frac{\text{Potência de saída efetiva } P_{AC}}{\text{Potência de entrada efetiva } P_{DC}} \quad (1)$$

Eficiência de rastreamento η_{TR} : Indicador que mensura a qualidade em que o inversor rastreia o ponto de operação de máxima potência do gerador fotovoltaico (GREENPRO, 2004).

$$\eta_{TR} = \frac{\text{Potência de entrada efetiva instantânea } P_{DC}}{\text{Potência máxima instantânea do gerador } P_{PV}} \quad (2)$$

Eficiência estática η_{IV} : é o produto das duas eficiências citadas acima (GREENPRO, 2004), conforme na equação abaixo:

$$\eta_{INV} = \eta_{CON} * \eta_{TR} \quad (3)$$

Com isso, tem-se um indicador que mensura a eficiência de conversão e de rastreamento para poder realizar comparações entre conversores.

Devido às potências operacionais das plantas fotovoltaicas serem próximas de 50% de sua potência nominal, os inversores são frequentemente subdimensionados para atingir um nível de eficiência adequado (superior a 90%). Essa técnica de projeto é necessária devido o inversor ter uma eficiência relativamente baixa quando operado em uma tensão 10% menor do que a sua nominal (GREENPRO, 2004).

2.6.8 Cabos CC

São cabos de corrente contínua e estão presente em um minigerador solar entre os módulos fotovoltaicos e os inversores.

2.6.9 Cabos CA

São cabos de corrente alternada que serão utilizados no circuito após os inversores (mesmos cabos utilizados nas instalações convencionais e previstos pela NBR 5410).

2.6.10 Quadros de baixa tensão e de alta tensão

São quadros que permitem a proteção dos sistemas de baixa tensão e alta tensão. São constituídos de equipamentos de proteção tais como: fusíveis, disjuntores, dispositivos de proteção contra surtos elétricos (DPS) e interruptores diferencial residual (IDR).

2.6.11 Transformador

O transformador deve ser compatível ao lado de baixa tensão (primário) que será conectado à saída dos inversores e ao lado de alta tensão (secundário) que será conectado à rede de distribuição da concessionária de energia (RODRIGUES, 2012).

2.6.12 Medidor de energia

Existem dois tipos de medidores para a geração distribuída, a líquida (*net metering*) e a bruta (*gross metering*). No primeiro caso, é utilizado um medidor inteligente que subtrai a quantidade de energia produzida e consumida na edificação. Já no segundo caso, são utilizados dois medidores de energia elétrica, um para registrar a energia consumida e outro a energia gerada na edificação (RODRIGUES, 2012), ou ainda, medidores bidirecionais, que são mais utilizados.

3 METOLOGIA

3.1 AVALIAÇÃO DA ATRATIVIDADE FINANCEIRA DA AGREGAÇÃO DE UM MINIGERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE 5 MWp À UC CIDADE UNIVERSITÁRIA DA UFSC

As análises financeiras de projetos de engenharia baseiam-se no entendimento de conceitos de matemática financeira e de engenharia econômica, tais como, juros simples, juros compostos e indicadores de desempenho de projetos.

3.1.1 Juros simples e compostos

Juros simples são os acréscimos financeiros aplicados ao capital inicial no final da aplicação e juros compostos são os acréscimos financeiros aplicados ao capital no término de cada período de aplicação, formando um novo capital que será usado no término do próximo período de aplicação, conhecido como “juros sobre juros”.

3.1.2 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A TMA é a taxa de juros mínima desejável de rentabilidade de um investimento, ou seja, é a menor taxa de retorno para que o investidor aceite realizar o projeto. Para exemplificar, se o investidor deseja aplicar seu capital a um investimento que possui uma rentabilidade de 15% ao ano, a TMA usada nos cálculos será 15%.

3.1.3 Valor presente líquido (VPL)

Este indicador usa como base a TMA em seu cálculo. Ele diz qual é o valor presente líquido se todas as receitas e despesas fossem “trazidas” para o presente (CASAROTTO, 2010), descontadas a uma taxa de juros definida que é a TMA. FC_n significa o fluxo de caixa no período “n”.

$$VPL = FC_0 + \frac{FC_1}{(1 + TMA)^1} + \frac{FC_2}{(1 + TMA)^2} + \dots + \frac{FC_n}{(1 + TMA)^n} \quad (4)$$

Se o valor do VPL for positivo, as receitas do projeto são maiores do que as despesas presentes nele, com isso, os projetos são economicamente viáveis.

3.1.4 Taxa interna de retorno (TIR)

A TIR é usada como complemento ao método VPL. Ela diz qual é a taxa de juros de rentabilidade do investimento (CASAROTTO, 2010). Caso a TIR seja maior do que a TMA, o investimento é bom, caso não seja, o investimento não gerará a rentabilidade desejada ao longo do tempo.

$$0 = FC0 + \frac{FC1}{(1 + TIR)^1} + \frac{FC2}{(1 + TIR)^2} + \dots + \frac{FCn}{(1 + TIR)^n} \quad (5)$$

Esse indicador é a taxa exigida de retorno, que quando é utilizada como taxa de desconto na fórmula do VPL, este se resulta em zero, como pode ser observado na equação acima.

3.1.5 Payback descontado

O *payback* descontado representa o tempo de retorno do investimento. Usualmente, é usado o *payback* simples nos cálculos “rápidos” como forma de se obter uma aproximação do tempo de retorno do investimento, em que o cálculo consiste em dividir o investimento pelo lucro líquido médio previsto.

Porém, para o cálculo do *payback* descontando é necessário levar em consideração a taxa de juros (TMA) e com isso, basta calcular o valor presente líquido (VPL) para cada período do fluxo de caixa. Assim, tem-se um fluxo de caixa descontado com valores presente líquidos de cada período e o *payback* é obtido na troca do sinal no fluxo de caixa, isto é, no momento que o saldo devedor se torna positivo, temos o *payback* descontado.

3.1.6 Custo nivelado de energia (LCOE)

O custo nivelado de energia, também conhecido como LCOE (*Levelized Cost of Energy*) permite a comparação entre projetos de produção de energia elétrica com diferentes tecnologias e vida útil. Com esse indicador é possível comparar se a geração fotovoltaica em estudo possui custo de produção por kWh maior ou menor do que outras fontes

ou do que a taxa de cobrança de eletricidade (U.S. DEPARTMENT, 2019).

$$LCOE = \frac{\sum_{i=1}^n \left[\frac{It + Mt}{(1+r)^t} \right]}{\sum_{i=1}^n \left[\frac{Et}{(1+r)^t} \right]} \quad (6)$$

Tabela 1 - Descrição do indicador LCOE

Símbolos	Descrição
LCOE	Custo de produção de energia, expresso em R\$/kWh
It	Valor do investimento no ano t, expresso em R\$
Mt	Despesas de operação e manutenção no ano t, expressas em R\$
Et	Geração de eletricidade no ano t, expressa em kWh
r	Taxa de desconto
n	Vida útil do sistema

Fonte: U.S. DEPARTMENT (2019), adaptado.

3.1.7 Custos evitados pelo minigerador fotovoltaico

A energia fotovoltaica gerada proporciona um custo evitado (retorno financeiro), expresso em reais, conforme mostra a equação 7. Neste estudo, não está sendo considerada a variação da inflação no fluxo de caixa.

$$R_{FV_y} = T_y * G_y * Dep + D_{FV_y} - O\&M_y \quad (7)$$

Em que:

R_{FV_y} : Retorno financeiro da geração solar FV, no período y, expresso em R\$.

T_y : Tarifa da energia elétrica (com impostos), no período y, expressa em R\$/kWh.

Dep : Queda de rendimento da geração solar FV, no período y.

G_y : Energia FV gerada, no período y , expressa em kWh.

D_{FV_y} : Despesa evitada com demanda devido à inserção da geração solar FV, no período y .

$O\&M_y$: Despesas com operação e manutenção da geração solar FV, no período y , expressa em R\$.

Na análise de viabilidade econômica da agregação da energia solar fotovoltaica de 5 MWp à UC Cidade Universitária, serão considerados:

- Queda de rendimento anual dos módulos: 0,005.
- Custo de operação e manutenção: 1% ao ano do valor de investimento.
- Vida útil dos inversores: 10 anos.

Para avaliar a viabilidade econômica do projeto do minigerador fotovoltaico de 5 MWp, utilizou-se a precificação de equipamentos e de serviços e as tarifas de energia elétrica e da demanda (com impostos) para a modalidade de contratação Horossazonal Verde.

Para a análise dos principais indicadores usou-se a estratégia de variar o valor da TMA de 0,0% a.a. a 9,5% a.a. intervalos de 0,5%, e assim, analisar o comportamento dos indicadores VPL, TIR, *Payback* Descontado e LCOE.

3.1.8 Minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp

Pinto (2016) elaborou o projeto de viabilidade técnica de um minigerador solar de 5 MWp a ser conectada na UC Cidade Universitária da UFSC. O pesquisador utilizou o software PVsyst (MERMOUD, 2019) versão 6.6.3 (www.pvsyst.com) para simular a geração FV dos sistemas fotovoltaicos selecionados. No estudo realizado, foram importados dados meteorológicos de Florianópolis da base de dados BSRN (*Baseline Surface Radiation Network*) (KÖNIG-LANGLO, 2013), tais como, dados de irradiação solar global horizontal e de temperatura ambiente. A tecnologia escolhida para os módulos fotovoltaicos foi a de Silício Multicristalino (p-Si) por ter uma boa relação de custo/benefício.

A tabela 2 apresenta características dos módulos fotovoltaicos escolhidos. Tais módulos são formados por 60 células fotovoltaicas e apresentam dimensões de 100 x 160 cm.

Tabela 2 - Características dos módulos fotovoltaicos.

Tecnologia	V _{mpp} (V)	I _{mpp} (A)	V _{oc} (V)	I _{sc} (A)	Pot (W)
Silício Multicristalino	30,6	8,66	37,7	9,23	265

Fonte: PINTO (2018)

Em que:

V_{mpp}: Tensão de máxima potência;

I_{mpp}: Corrente de máxima potência;

V_{oc}: Tensão de circuito aberto;

I_{sc}: Corrente de curto circuito;

A tabela 3 apresenta as edificações escolhidas com respectivas inclinações/angulações azimutais, potência instalada e expectativa de geração de energia elétrica.

Tabela 3 - Edificações escolhidas, inclinações, potência instalada e geração fotovoltaica simulada.

Edificação		Inclinação / Angulação Azimutal	Potência inst. (kWp)	Geração (MWh)
1	Biblioteca Universitária	27° / - 4°	381,6	488,44
2	Prédios CDS	27° / 26°	62,01	78,57
3	CDS-Piscina Olímpica	41° / - 85° 19° / - 65° 0° / - 85° 19° / 115° 41° / 115°	643,42	739,62
4	Reitoria	30° / 0°	171,72	219,92
5	Centro de Cultura e Eventos	30° / - 4°	123,23	158,52
6	Prédios CCE	27° / 0°	147,87	190,71
7	Imprensa Universitária	27° / - 4°	100,17	126,49
8	Restaurante Universitário	16° / - 5° 16° / -184°	234,26	280,65
9	Prédios CFM	27° / - 41°	296,8	363,43
10	CDS-Ginásios 1 e 2	30° / - 5° 15° / - 5° 0° / - 5° 30° / 175° 15° / 175°	240,09	289,44
11	CDS-Ginásio 3	29° / - 5° 10° / - 5° 0° / - 5° 10° / 175° 29° / 175°	208,29	244,72
12	RU-Secretaria/Almoxarifado	30° / - 5°	65,45	84,9
13	Centro de Convivência	27° / - 5°	80,56	104,79
14	Prédios CFH	27° / - 5°	276,66	354
15	Prédios CSE	27° / 0°	201,4	260,53
16	Prédios Centro Tecnológico	27° / 17° 27° / - 4° 27° / 12°	542,72	688,13
17	Colégio de Aplicação	27° / 0°	200,34	248,49
18	Prédios CCS ²	27° / 0°	314,82	399,65
19	Prédios CCB/CFM/EFI	27° / - 5°	586,71	724,41
20	Fundação CERTI/LEPTEN	27° / - 4°	115,8	148,09
TOTAL			4.993,92	6.193,5

Fonte: PINTO (2018), adaptado.

A edificação que possui maior potência instalada e maior capacidade de geração de energia elétrica é a do CDS-Piscina Olímpica, Centro de Desportos (CDS), com 643,42 kWp e 739,62 MWh, respectivamente.

A tabela 4 apresenta a quantidade de módulos fotovoltaicos e inversores por edificação

Tabela 4 - Nº de módulos e de inversores instalados

	Edificação	Módulo	Inversor	Inversor	Inversor
		265 W	20 kW	25 kW	15 kW
1	Biblioteca Universitária	1440	20		
2	Prédios CDS	234	3		
3	CDS-Piscina Olímpica	2428		23	
4	Reitoria	648		6	
5	Centro de Cultura e Eventos	465		4	
6	Prédios CCE	558	6		
7	Imprensa Universitária	378	5		
8	Restaurante Universitário	884		8	
9	Prédios CFM	1120		10	
10	CDS-Ginásios 1 e 2	906			14
11	CDS-Ginásio 3	786		3	8
12	RU-Secretaria/Almoxarifado	247	3		
13	Centro de Convivência	304	4		
14	Prédios CFH	1044		2	
15	Prédios CSE	760	8		
16	Prédios Centro Tecnológico	2048	21	1	
17	Colégio de Aplicação	756	8		
18	Prédios CCS ²	1188	13		
19	Prédios CCB/CFM/EFI	2214		19	
20	Fundação CERTI/LEPTEN	437	5		
TOTAL:		18.845	96	76	22

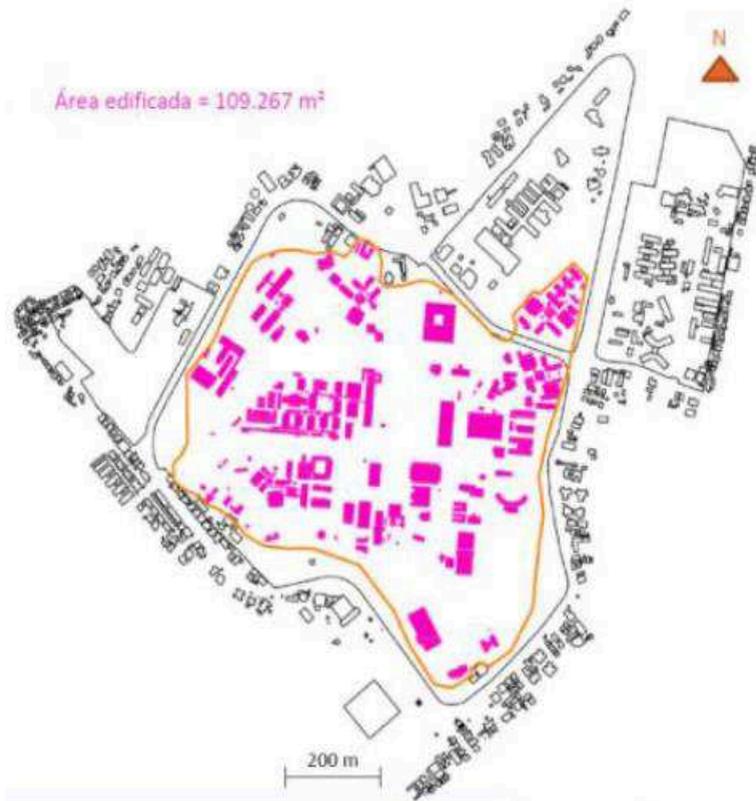
Fonte: PINTO (2018), adaptado.

O minigerador FV analisada é composta por 18.845 painéis fotovoltaicos. O número de inversores de 15 kW, 20 kW e 25 kW é de 22, 96 e 76, respectivamente, e o número total de inversores é de 194.

Para alcançar a capacidade de potência FV de 5 MWp, a ser instalada nas coberturas das edificações do *Campus Cidade Universitária* da UFSC, é necessária uma grande área de telhado sobre as edificações da universidade. Assim, foi necessário selecionar várias edificações para esse projeto.

A figura 25 apresenta as edificações integrantes da Cidade Universitária da UFSC em 2016.

Figura 25 - Edificações da cidade universitária UFSC em Florianópolis - SC.

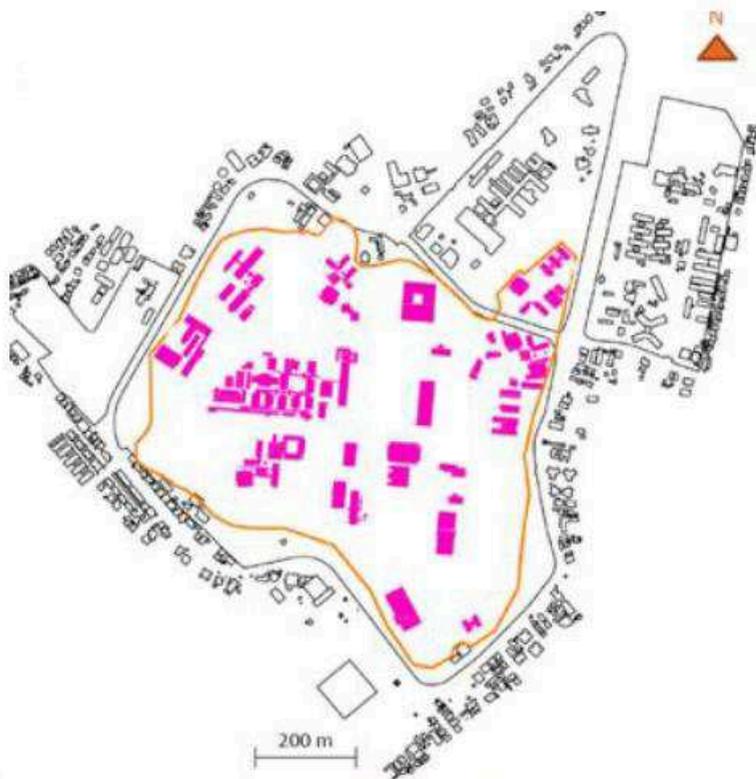


Fonte: CUSTÓDIO (2016).

A área edificada da cidade universitária é de 109.267m² (CUSTÓDIO, 2016). Para o minigerador solar, não é necessária a

utilização de todos prédios da UFSC para atingir a capacidade de potência de 5 MWp. A figura 26 apresenta as edificações selecionadas para a instalação da minigerador fotovoltaico.

Figura 26 - Edificações selecionadas na cidade universitária UFSC em Florianópolis - SC.



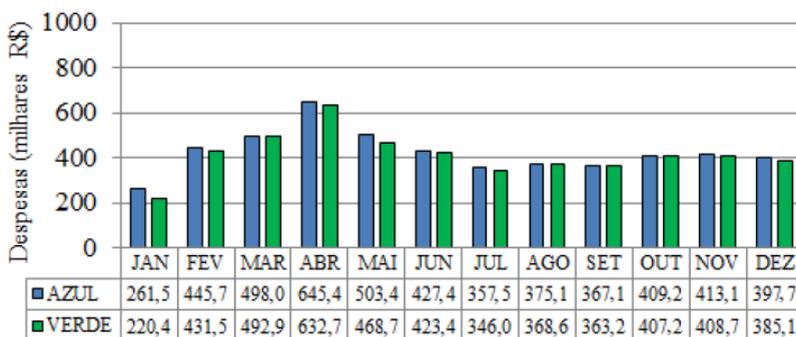
Fonte: CUSTÓDIO (2016) e PINTO (2018).

Pinto (2016) analisou a modalidade de contratação de energia elétrica da UC Cidade Universitária que proporcionaria menor despesa com energia elétrica para a UFSC após a inserção do minigerador fotovoltaico de 5 MWp.

A figura 27 apresenta as despesas com energia elétrica que a UC Cidade Universitária da UFSC teria após a inserção da minigerador FV

de 5 MWp, para duas modalidades de contratação da energia elétrica junto à Celesc, Horossazonal Azul e Horossazonal Verde.

Figura 27 - Evolução mensal das despesas com energia elétrica da UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com a inserção do minigerador FV de 5 MW.



Fonte: PINTO (2018).

Os resultados mostraram que para a modalidade de contratação Horossazonal Azul, as despesas com energia elétrica seriam de R\$ 5.101.840,84 (sem impostos) e para a modalidade de contratação Horossazonal Verde, as despesas seriam de R\$ 4.948.863,47 (sem impostos). Portanto, a melhor modalidade de contratação para esta UC após a inserção do minigerador FV de 5MWp seria Horossazonal Verde (Pinto, 2016).

Pinto (2018) demonstrou que, em 2016, para a modalidade de contratação de energia elétrica Horossazonal Verde a agregação do minigerador fotovoltaico de 5 MWp proporcionaria despesa evitada com demanda de R\$ 80.633,35 e com energia elétrica de R\$ 2.782.969,48 (considerando impostos).

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DA ATRATIVIDADE FINANCEIRA DA INSERÇÃO DO MINIGERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO DE 5 MW_p NA UC CIDADE UNIVERSITÁRIA UFSC

A tabela 4 apresenta as tarifas de energia elétrica e de demanda para contratação na modalidade Horossazonal Verde, tomando-se como data base o ano de 2016. O Anexo A contém as curvas de demanda e de energia da UC Cidade Universitária considerando a inserção do microgerador fotovoltaico de 5 MW_p.

Tabela 5 - Tarifas de energia elétrica (FP) e de demanda (com impostos) para contratação Horossazonal Verde - 2016.

Meses	Tarifa Energia - FP R\$/kWh	Tarifa Demanda R\$/KW
Janeiro	0,448433	12,689788
Fevereiro	0,453423	12,830984
Março	0,452594	12,807534
Abril	0,469560	13,287628
Maiο	0,469491	13,285690
Junho	0,460360	13,027313
Julho	0,462410	13,085320
Agosto	0,456285	13,016173
Setembro	0,431914	13,032255
Outubro	0,430987	13,004290
Novembro	0,442314	13,346055
Dezembro	0,429268	12,952405
MÉDIA	0,450587	13,030453

Fonte: Autor.

O preço médio referente aos serviços de instalação de um minigerador solar foi obtido através de ligação telefônica para a empresa WEG S.A. Foi obtida uma estimativa de valor, isto é, para cada 1 W_p do sistema, adota-se como R\$1,00 o preço da instalação, para sistema *turn-key*.

De acordo com a empresa Bluesol, em seu *website* (SOLAR, 2019), o sistema *turn-key* (ou chave na mão) é o sistema em que a empresa "fará tudo", ou seja, desde a elaboração até a entrega do projeto executado. No preço está incluso a mobilização do canteiro de obra, componentes para instalação, conexão junto à concessionária de energia, mão de obra de instalação, projeto elétrico, fotovoltaico, executivo e instruções para o usuário.

A tabela 5 apresenta os preços dos principais equipamentos integrantes do minigerador de 5 MWp.

Tabela 6 - Preços dos módulos e inversores do minigerador de 5 MWp.

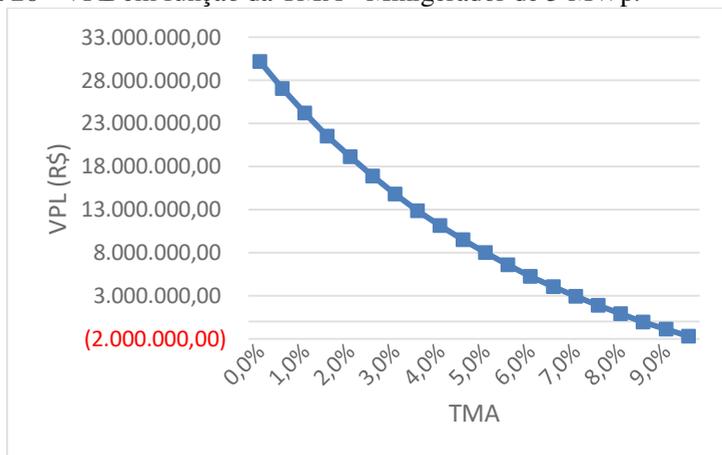
Itens		Unitário	Qtd	TOTAL
Módulo	265 W	R\$ 767,01	18.845	R\$ 14.454.303,45
Inversor	15 kW	R\$ 20.340,31	22	R\$ 447.486,82
	20 kW	R\$ 20.754,31	96	R\$ 1.992.413,76
	25 kW	R\$ 21.581,20	76	R\$ 1.640.171,20
Instalação <i>turn-key</i>				R\$ 4.993.920,00
TOTAL				R\$ 23.528.295,23

Fonte: Autor.

Para a simulação deste minigerador, foram utilizados 18.845 módulos fotovoltaicos de 265 W, 22 inversores de 15 kW, 96 inversores de 20 kW, 76 inversores de 25 kW. O investimento em instalação seria de R\$ 4.993.920,00. Está incluso neste valor o custo de elaboração dos projetos elétricos, mão de obra e materiais necessários para instalação do sistema solar.

A figura 28 apresenta a evolução do VPL com a variação da TMA (0,0% à 9,5%).

Figura 28 - VPL em função da TMA - Minigerador de 5 MWp.



Fonte: Autor.

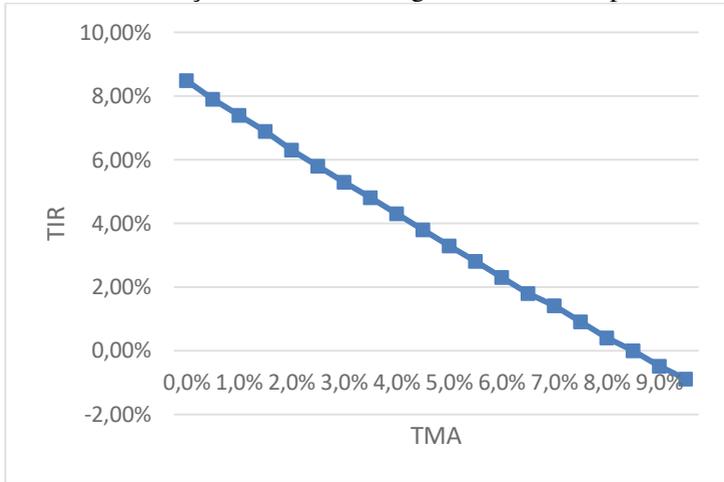
Os valores de VPL para TMAs de 0,0% a.a., 3,0% a.a. e 8,0% a.a. são apresentados abaixo:

- TMA = 0,0% a.a. – VPL = R\$ 30.183.103,29
- TMA = 3,0% a.a. – VPL = R\$ 14.776.111,63
- TMA = 8,0% a.a. – VPL = R\$ 862.912,72

Como esperado, quanto maior a TMA, menor será o VPL e menos atrativo será o investimento, porém, percebe-se que mesmo com uma taxa de juros elevada, o VPL ainda é positivo e indica que o projeto é viável para TMA de até 8,0% a.a., para uma TMA de 8,5% a.a. até a TMA de 9,5% a.a., o VPL apresentou valores negativos, estes valores serão apresentados mais à frente em uma tabela detalhada de resultados.

A figura 29 apresenta a evolução da TIR em função da variação da TMA (0,0% à 9,5%).

Figura 29 - TIR em função de TMA - Minigerador de 5 MWp.



Fonte: Autor.

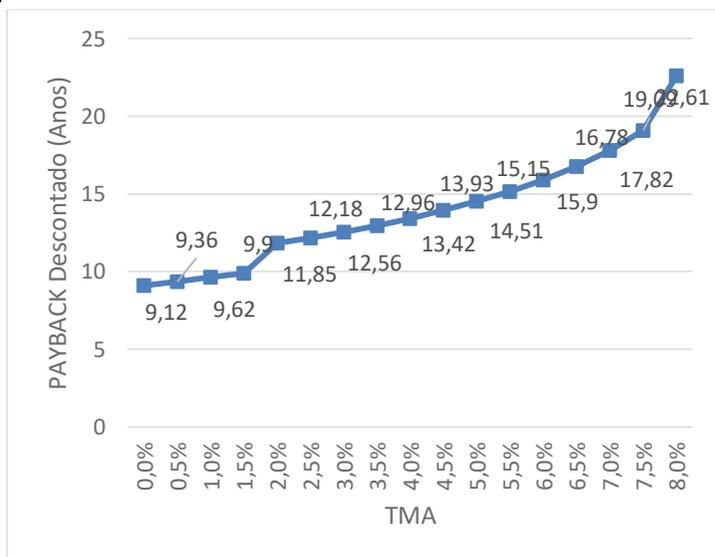
Os valores da TIR para TMAs de 0,0% a.a., 3% a.a. e 8,0% a.a. são apresentados abaixo:

- TMA = 0,0% a.a. – TIR = 8,5%
- TMA = 3,0% a.a. – TIR = 5,3%
- TMA = 8,0% a.a. – TIR = 0,4%

Assim, quanto maior a TMA, menor será o valor da TIR, e menor atratividade financeira terá o projeto. Para uma TMA maior que 8,0% a.a., o projeto apresentou inviabilidade de acordo com a TIR.

A figura 30 apresenta a evolução do *Payback* Descontado com a variação da TMA (0,0% a.a. a 8,0% a.a.).

Figura 30 - Payback Descontado em função da TMA - Minigerador de 5 MWp.



Fonte: Autor.

Os valores do *Payback* Descontado para TMAs de 0,0% a.a., 3% a.a. e 8,0% a.a. são apresentados abaixo:

- TMA = 0,0% a.a. – 9,12 anos
- TMA = 3,0% a.a. – 12,56 anos
- TMA = 8,0% a.a. – 22,61 anos

Para valores de TMA acima que 8,0% a.a., o *Payback* Descontado superaria a vida útil (25 anos) do sistema fotovoltaico, com isso, não foi calculado.

A figura 31 apresenta o *Payback* Descontado para TMA fixa de 3,0% a.a. e vida útil de 25 anos,

Figura 31 - Fluxo de caixa - Minigerador de 5 MWp.

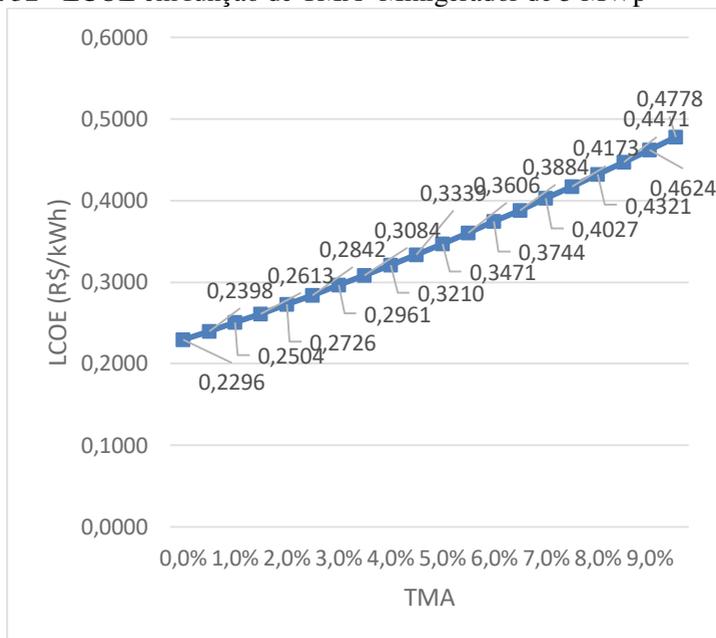


Fonte: Autor.

Nessas condições, o *payback* ocorre no período de aproximadamente 12,56 anos e o VPL é de aproximadamente R\$ 14.776.111,63. Percebe-se que no décimo primeiro e vigésimo primeiro ano ocorre um aumento de despesa no fluxo de caixa (rapidamente recuperado) devido à reposição dos inversores.

A figura 32 apresenta a evolução do LCOE com a variação da TMA (0,0% à 9,5%).

Figura 32 - LCOE em função de TMA- Minigerador de 5 MWp



Fonte: Autor.

Os valores do LCOE para TMAs de 0,0% a.a., 3% a.a. e 9,5% a.a. são apresentados abaixo:

- TMA = 0,0% a.a. – LCOE = 0,2296 R\$/kWh
- TMA = 3,0% a.a. – LCOE = 0,2961 R\$/kWh
- TMA = 9,5% a.a. – LCOE = 0,4778 R\$/kWh

Comparando os valores dos LCOE com o custo unitário da energia elétrica FP (com impostos), cobrado pela empresa Celesc Distribuição (valor de 0,4506 R\$/kWh), verifica-se que para TMA de até 8,5% a.a. o projeto de geração solar fotovoltaica apresentaria atratividade financeira.

A tabela 6 resume os resultados apresentados anteriormente.

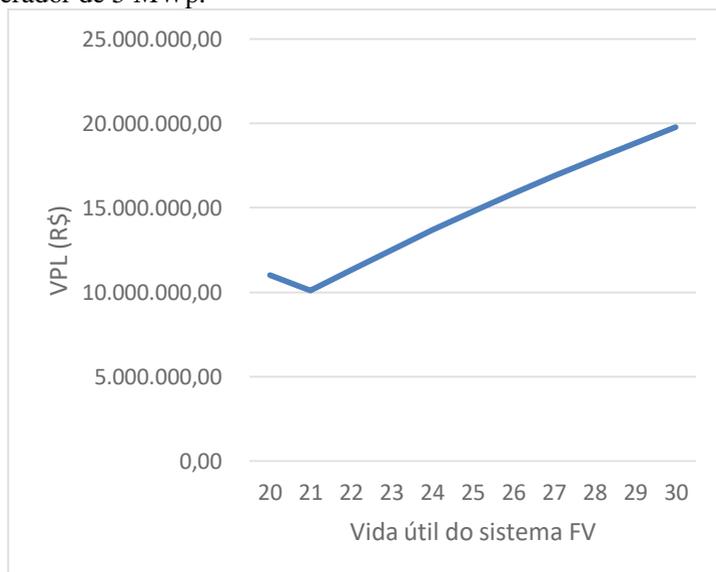
Tabela 7 - Evolução do Payback Descontado, VPL, TIR e LCOE de acordo com a variação da TMA.

TMA a.a.	PAYBACK (Anos)	VPL (R\$)	TIR	LCOE (R\$/kWh)
0,0%	9,12	30.183.103,29	8,5%	0,2296
0,5%	9,36	27.039.935,02	7,9%	0,2398
1,0%	9,62	24.158.287,99	7,4%	0,2504
1,5%	9,9	21.512.656,79	6,9%	0,2613
2,0%	11,85	19.080.280,88	6,3%	0,2726
2,5%	12,18	16.840.827,22	5,8%	0,2842
3,0%	12,56	14.776.111,63	5,3%	0,2961
3,5%	12,96	12.869.854,20	4,8%	0,3084
4,0%	13,42	11.107.464,11	4,3%	0,3210
4,5%	13,93	9.475.850,33	3,8%	0,3339
5,0%	14,51	7.963.254,89	3,3%	0,3471
5,5%	15,15	6.559.105,82	2,8%	0,3606
6,0%	15,9	5.253.887,39	2,3%	0,3744
6,5%	16,78	4.039.025,47	1,8%	0,3884
7,0%	17,82	2.906.786,14	1,4%	0,4027
7,5%	19,09	1.850.186,01	0,9%	0,4173
8,0%	22,61	862.912,72	0,4%	0,4321
8,5%	-	-60.745,54	0,0%	0,4471
9,0%	-	-925.962,55	-0,5%	0,4624
9,5%	-	-1.737.429,69	-0,9%	0,4778

Fonte: Autor.

A figura 33 e tabela 7 apresentam a evolução do VPL com a variação da vida útil dos painéis fotovoltaicos.

Figura 33 - Evolução de VPL com a vida útil dos painéis fotovoltaicos – Minigerador de 5 MWp.



Fonte: Autor.

Tabela 8 - Evolução do VPL do sistema FV para vida útil dos painéis variando 20 à 30 anos, com TMA fixa em 3% a.a..

Vida Útil (anos)	VPL (R\$)
20	11.021.993,09
21	10.102.666,82
22	11.332.888,31
23	12.520.914,36
24	13.668.190,20
25	14.776.111,63
26	15.846.026,70
27	16.879.237,32
28	17.877.000,88
29	18.840.531,72
30	19.771.002,66

Fonte: Autor.

Percebe-se que para vida útil de 21 anos ocorre uma queda na curva de VPL x Vida Útil devido a necessidade de reinvestir em inversores de frequência, porém, a partir deste ano, os VPLs seguintes são superiores à vida útil de 20 anos.

Abaixo, são apresentados valores de VPL para vida útil dos painéis fotovoltaicos de 20, 25 e 30 anos:

- Vida útil = 20 anos. – VPL = R\$ 11.021.993,09
- Vida útil = 25 anos. – VPL = R\$ 14.776.111,63
- Vida útil = 30 anos. – VPL = R\$ 19.771.002,66

Os resultados mostram que o investimento no minigerador fotovoltaico de 5 MWp conectado à UC Cidade Universitária é viável na maioria dos vários cenários analisados.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho visou avaliar, sob a ótica do investidor, a atratividade financeira de um minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp, que poderia ser instalada nas coberturas de diversas edificações que integram o Campus Universitário Trindade da UFSC, através de indicadores de desempenho tais como, Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), *Payback* Descontado e Custo Nivelado de Energia (LCOE).

Para a taxa de juros típica de 3% a.a. e vida útil de 25 anos, os resultados mostram:

- VPL = R\$ 14.776.111,63
- TIR = 5,3% a.a.
- *Payback* Descontado = 12,56 anos
- LCOE = 0,2961 R\$/kWh

Os resultados mostraram que, nas condições analisadas, o minigerador solar FV de 5 MWp apresenta viabilidade financeira para taxas de juros (TMA) de até 8,0% a.a. considerando todos indicadores utilizados.

Vale ressaltar que o custo nivelado de produção da energia elétrica fotovoltaica, expresso em R\$/kWh, é menor do que a tarifa da Celesc, expressa em R\$/kWh, para taxas de juros de até 8,5% a.a. isto é, foi o único indicador que apresentou viabilidade financeira a uma taxa de juros superior a 8,0% a.a. Porém, para TMAs de 9,0% a.a. e 9,5% a.a., o LCOE apresentou valores maiores que a tarifa de energia elétrica cobrada pela Celesc Distribuição nesta data, e com isso, inviabilidade financeira.

Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se:

- a) Elaboração do projeto elétrico para o minigerador solar FV de 5 MWp a ser inserido na UC Cidade Universitária;
- b) Avaliação técnica e econômica do minigerador solar FV de 5 MWp a ser inserido na UC Cidade Universitária, sob a ótica de um Projeto de Eficiência Energética integrante do Programa de Eficiência Energética da concessionária local - Celesc.

- c) Análise técnica e financeira de um minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp a ser instalado na fazenda pertencente a UFSC.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABSOLAR. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA ATINGE MARCA HISTÓRICA DE 500 MW EM MICROGERAÇÃO E MINIGERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL. 2019. Disponível em: <<http://absolar.org.br/noticia/noticias-externas/energia-solar-fotovoltaica-atinge-marca-historica-de-500-mw-em-microgeracao-e-minigeracao-distribuid.html>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

ABSOLAR. INFOGRÁFICO ABSOLAR. 2019. Disponível em: <<http://absolar.org.br/infografico-absolar-.html>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2012. **Resolução Normativa Nº 482, de 17 de Abril de 2012.** Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>.

Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL, 2015a. **Resolução Normativa Nº 687, de 24 de Novembro de 2015.** Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>

All Nobel Prizes in Physics (NOBEL). Nobelprize.org. **Nobel Media AB 2013.** Disponível em: http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/

CASAROTTO F., Nelson & KOPITKE, Bruno H. - Análise de Investimentos. São Paulo: ed. Atlas, 11ª. 2010.

CASTRO, Rui M.g.. **Energias Renováveis e Produção Descentralizada: INTRODUÇÃO À ENERGIA FOTOVOLTAICA.** 2002. Disponível em: <http://www.troquedeenergia.com/Produtos/LogosDocumentos/Introducao_a_Energia_Fotovoltaica.pdf>.

CRESESB (Brasil). **Tutorial de Energia Solar Fotovoltaica: Radiação Solar.** 2008. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&language=pt&cid=301>.

CRESESB. **ENERGIA SOLAR: PRINCÍPIOS E APLICAÇÕES.** 2006 Disponível em:

<http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf>.

CRESESB. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf>.

CUSTÓDIO, I., P. 2016. **UFSC Solar: ensaios de energia fotovoltaica integrada à arquitetura**. TCC, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina.

DPAE, 2017. Departamento de Projetos de Arquitetura e Engenharia. **Mapas da localização das faturas de energia elétrica**. Disponível em: <http://dpae.seoma.ufsc.br/mapas/>

ENERGY, Alternative. **Common Types of Solar Cells**. Disponível em: <<http://www.altenergy.org/renewables/solar/common-types-of-solar-cells.html>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

FARIELLO, Danilo. **Governo cria programa de incentivo à geração de energia solar** Leia mais: <https://oglobo.globo.com/economia/governo-cria-programa-de-incentivo-geracao-de-energia-solar-18302233#ixzz5JTbulJII> stest.2015. Disponível em: <<https://oglobo.globo.com/economia/governo-cria-programa-de-incentivo-geracao-de-energia-solar-18302233>>.

GREENPRO. **Energia fotovoltaica – manual sobre tecnologias, projecto e instalação**: Portugal, 2004.

International Energy Agency (IEA). **Snapshot of global photovoltaic markets**. Mary Brunisholz, IEA PVPS, 2018.

KNIER, Gil. **How do Photovoltaics Work?** 2008. Disponível em: <https://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>

KÖNIG-LANGLO, G., SIEGER, R., SCHMITHÜSEN, H., BÜCKER, A., RICHTER, F., DUTTON E.G. 2013. **The Baseline Surface Radiation Network and its World Radiation Monitoring Centre at**

the Alfred Wegener Institute. GCOS - 174, WCRP Report 24/2013, 30 pp.

LIS, Laís (Brasília). **Conta de luz acumula alta média de 31,5% entre 2014 e 2017, diz estudo.** 2018. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/noticia/conta-de-luz-acumula-alta-media-de-315-entre-2014-e-2017-diz-estudo.ghtml>>.

MERMOUD, A. **PVsys: Software for the Study and Simulation of Photovoltaic Systems.** 1993-2017.

MRSOLAR. **What is the Photovoltaic Effect?** 2014. Disponível em: <<https://www.mrsolar.com/photovoltaic-effect>>.

NASCIMENTO, Rodrigo Limp. **ENERGIA SOLAR NO BRASIL: SITUAÇÃO E PERSPECTIVAS.** Brasília: Camara dos Deputados, 2017.

PEREIRA, E.B; MARTINS, F.R; GONÇALVES, A.R; COSTA, R.S; LIMA, F.J.L; RÜTHER, R; ABREU, S.L; TIEPOLO, G.M; PEREIRA, S.V; SOUZA, J.G, 2017. **2ª Edição Atlas Brasileiro de Energia Solar**, INPE, São José dos Campos, Brazil. ISBN: 978-85-17-00089-8.

PEREIRA, Renée (Brasília). **Despesas básicas sobem mais que a inflação e tiram R\$ 14,5 bi do consumo.** 2018. Disponível em: <<https://economia.estadao.com.br/noticias/geral,despesas-basicas-sobem-mais-que-a-inflacao-e-tiram-r-14-5-bi-do-consumo,70002268757>>.

PINTO, Gustavo Xavier de Andrade. **IMPACTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA E DA MODALIDADE DE CONTRATAÇÃO DA ENERGIA ELÉTRICA SOBRE AS DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO.** 2018. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

PINTO, Gustavo Xavier de Andrade et al. **IMPACTOS DA GERAÇÃO SOLAR FOTOVOLTAICA NAS DESPESAS COM ENERGIA ELÉTRICA EM CAMPUS UNIVERSITÁRIO.** In: VII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 2018,

Gramado. Disponível em:
<<http://www.lecie.ufsc.br/arquivos/publicacoes/Artigo%20Cidade%20Universit%C3%A1ria.pdf>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

PVEDUCATION. **Bypass Diodes**. Disponível em:
<<https://www.pveducation.org/pvcdrom/7-modules-and-arrays/bypass-diodes>>. Acesso em: 30 set. 2018.

PVSyst - **Software de dimensionamento fotovoltaico**. Modelo 6.63, 2017. Disponível em: www.pvsyst.com

RODRIGUES, Marcos Willian. **ANTEPROJETO DE UMA USINA SOLAR FOTOVOLTAICA INTEGRADA À REDE ELÉTRICA**. 2012. 88 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

RÜTHER, Ricardo. **Edifícios solares fotovoltaicos**. Florianópolis: Ufsc, 2004. 118 p. Disponível em:
<<http://fotovoltaica.ufsc.br/sistemas/livros/livro-edificios-solares-fotovoltaicos.pdf>>.

SAGA, Tatsuo. **Advances in crystalline silicon solar cell technology for industrial mass production**. Disponível em:
<<https://www.nature.com/articles/am201082>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

SALAMONI, I.; RÜTHER, R. **Potencial Brasileiro da Geração Solar Fotovoltaica conectada à Rede Elétrica: Análise de Paridade de Rede**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Ouro Preto, 2007.

SCHWANDT, M., CHHATBAR, K., MEYER, R., FROSS, K., MITRA, I., VASHISTHA, R., GIRIDHAR, G., GOMATHINAYAGAM, S., KUMAR, A. 2013. **Development and test of gap filling procedures for solar radiation data of the Indian SRRA measurement network**, Energy Procedia.

SENDY, Andrew. **Pros and Cons of Monocrystalline vs Polycrystalline solar panels**. 2017. Disponível em:

<<https://www.solarreviews.com/blog/pros-and-cons-of-monocrystalline-vs-polycrystalline-solar-panels>>.

SOLAR, Blue Sol Energia. **Como Ler Sua Proposta de um Sistema de Energia Solar?: O Quê Contempla Uma Proposta?**. 2018. Disponível em: <<https://blog.bluesol.com.br/proposta-sistema-de-energia-solar/>>. Acesso em: 19 jan. 2019.

SOLAR, Portal. **Tipos de Painel Solar Fotovoltaico**. 2018. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/tipos-de-painel-solar-fotovoltaico.html>

SOLAR, Portal. **Tudo sobre a Eficiência do Painel Solar**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/tudo-sobre-a-eficiencia-do-painel-solar.html>>. Acesso em: 24 mar. 2019.

SOLAR-FACTS. **What is a Diode: Blocking Diodes**. Disponível em: <<https://www.solar-facts.com/panels/panel-diodes.php>>. Acesso em: 30 set. 2018

SOLAR-FACTS. **What is a Diode: By-Pass Diodes**. Disponível em: <<https://www.solar-facts.com/panels/panel-diodes.php>>. Acesso em: 30 set. 2018.

SOLARGIS. **Solar resource map**. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/germany>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SOLARGIS. **Solar resource map**. Disponível em: <<https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/brazil>>. Acesso em: 13 abr. 2019.

SOLARPOWEREUROPE. **Global Market Outlook**. 2018. Disponível em: <<http://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2018/09/Global-Market-Outlook-2018-2022.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2019.

SOLIGADO. **Sistema conectado à rede: como funciona**. Disponível em:

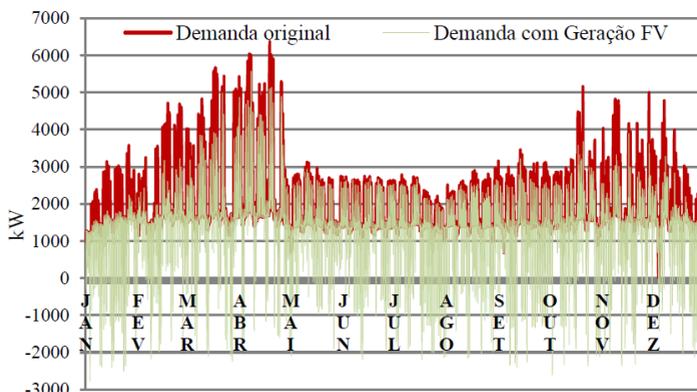
<<https://www.soligado.com.br/blog/sistema-conectado-a-rede-como-funciona/32>>. Acesso em: 12 mar. 2019.

U.S DEPARTMENT OF ENERGY. **Levelized Cost of Energy (LCOE)**. Disponível em: <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2019.

ZIPP, Kathie. **What are some common types of solar PV and storage installations?** 2015. Disponível em: <<https://www.solarpowerworldonline.com/2015/10/what-are-some-common-types-of-solar-pv-and-storage-installations/>>.

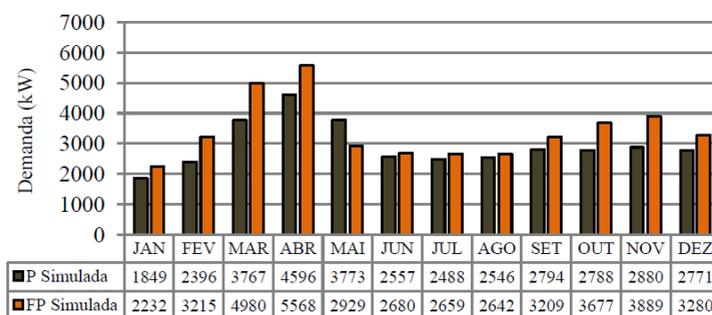
ANEXO A – Curvas de demanda e de energia da UC Cidade Universitária (Ano base 2016)

Figura 34 - Evolução mensal da demanda original e da demanda com a contribuição do minigerador FV de 5 MWp que seria instalada na UC Cidade Universitária, localizada no Campus Central da UFSC em Florianópolis-SC.



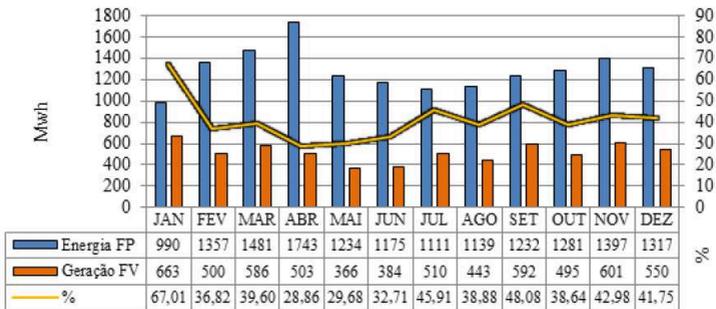
Fonte: PINTO (2018).

Figura 35 - Evolução mensal da demanda simulada – P e FP para a UC Cidade Universitária – UFSC considerando a operação do minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp.



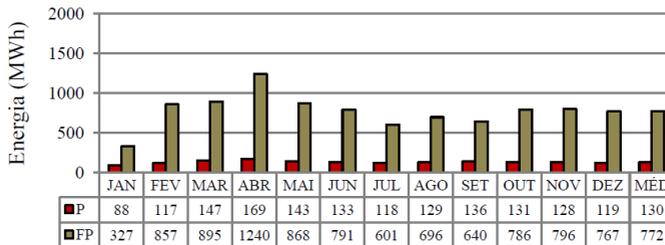
Fonte: PINTO (2018).

Figura 36 - Evolução mensal da energia consumida FP e contribuição do minigerador FV de 5 MWp na UC Cidade Universitária – UFSC em Florianópolis-SC.



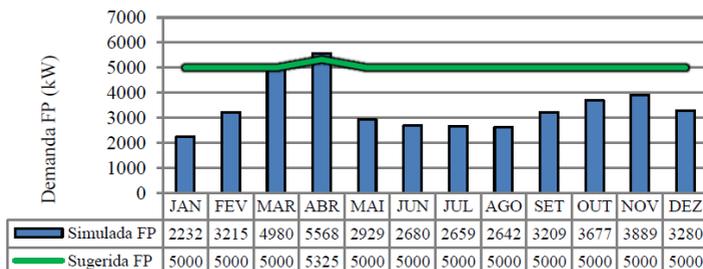
Fonte: PINTO (2018).

Figura 37 - Evolução mensal da energia ativa consumida pela UC Cidade Universitária – UFSC em Florianópolis-SC, considerando a operação do minigerador solar fotovoltaico de 5 MWp.



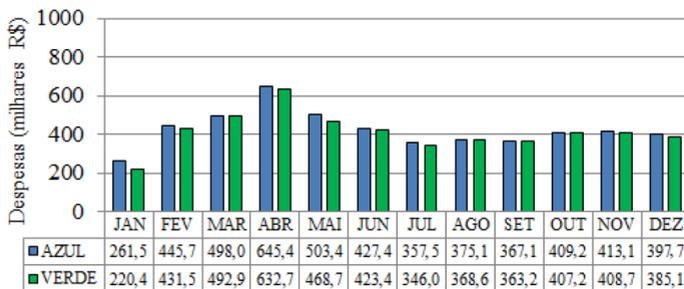
Fonte: PINTO (2018).

Figura 38 - Demanda simulada e sugerida para o horário FP para a UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com inserção do minigerador de 5 MW.



Fonte: PINTO (2018).

Figura 39 - Evolução mensal das despesas com energia elétrica da UC Cidade Universitária da UFSC em Florianópolis-SC com a inserção do minigerador FV de 5 MW.



Fonte: PINTO (2018).

Tabela 9 - Evolução mensal das despesas faturadas de energia FP e os custos evitados pela inserção do minigerador FV de 5 MW no Campus Central da UFSC em Florianópolis-SC.

Mês	Despesas Faturadas (R\$)	Despesas Evitadas pela usina FV de 5 MW (R\$)
JAN	443.916,30	297.448,58
FEV	615.107,56	226.490,13
MAR	670.212,26	265.379,17
ABR	818.431,89	236.196,25
MAI	579.377,27	171.969,88
JUN	540.842,39	176.895,05
JUL	513.681,81	235.841,44
AGO	519.595,01	201.996,10
SET	531.979,37	255.762,90
OUT	552.201,38	213.349,32
NOV	617.951,44	265.626,23
DEZ	565.362,14	236.014,44
ANUAL	6.968.658,82	2.782.969,48

Fonte: PINTO (2018).