



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Engenharia - FAEN

Tatiane Machado Barbosa

**CONSTRUÇÃO, AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E ANÁLISE
ECONÔMICA DE UM ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO
DE 4,24 kWp NO CAMPUS II DA UFGD**

Dourados - MS
2017



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
Faculdade de Engenharia - FAEN

**CONSTRUÇÃO, AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E ANÁLISE
ECONÔMICA DE UM ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO
DE 4,24 kWP NO CAMPUS II DA UFGD**

Trabalho de conclusão de curso, para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia De Energia, sob orientação do Professor Dr. Orlando Moreira Júnior.

Dourados - MS
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

B238c Barbosa, Tatiane Machado

Construção, avaliação do desempenho e análise econômica de um estacionamento fotovoltaico de 4,24 kWp no campus II da UFGD / Tatiane Machado Barbosa -- Dourados: UFGD, 2017.

121f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior

TCC (Graduação em Engenharia de Energia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Federal da Grande Dourados.

Inclui bibliografia

1. Energia Solar Fotovoltaica. 2. PVSol. 3. Sistemas Conectados à rede elétrica. 4. Análise Econômica. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

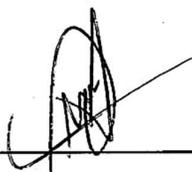
©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

**CONSTRUÇÃO, AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E ANÁLISE ECONÔMICA DE
UM ESTACIONAMENTO FOTOVOLTAICO DE 4,24 kWp NO CAMPUS II DA
UFGD**

Tatiane Machado Barbosa

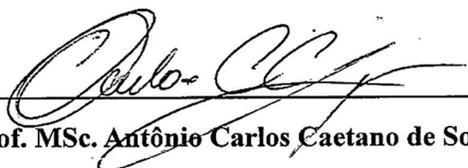
**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE
BACHAREL EM ENGENHARIA DE ENERGIA, SOB ORIENTAÇÃO DO
PROFESSOR DR. ORLANDO MOREIRA JÚNIOR.**

BANCA EXAMINADORA:



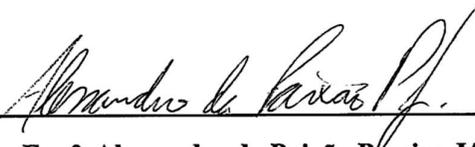
Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior – UFGD

Orientador



Prof. MSc. Antônio Carlos Caetano de Souza – UFGD

Examinador



Eng.º Alessandro da Paixão Pereira Júnior

Examinador

Dourados – MS, Brasil

2017

Dedico essa conquista aos meus pais, Oercitone e Tania, principais responsáveis por essa realização, sem os quais eu jamais chegaria até aqui.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço imensamente a Deus, pela dádiva da vida, por me ajudar a superar todos os obstáculos e tornar possível mais uma conquista em minha vida. E à Nossa Senhora, que, com tanto carinho me cobre e me protege com o seu manto sagrado.

Agradeço infinitamente aos meus pais, Oercitone Barbosa e Tania Sara Barbosa que sempre me apoiaram incondicionalmente ao longo de toda a minha graduação e principalmente nas fases difíceis dela, nunca medindo esforços para me proporcionar a melhor educação e suporte. Agradeço a Deus por ter me dado pais que sempre incentivaram meus estudos e me ajudarem tanto a alcançar essa conquista.

Agradeço a minha irmã, por se preocupar comigo, principalmente nos momentos mais difíceis dessa graduação, sempre tentando me animar e dar forças para seguir em frente. Obrigada por aguentar minha falta de paciência em épocas de provas e trabalhos.

Agradeço ao meu namorado, amigo e companheiro de todas as horas, Rafael Souza, por todo amor, carinho, compreensão e paciência durante os cinco anos de minha graduação, me apoiando em todos os momentos e compartilhando comigo os momentos de tristezas e alegrias.

Agradeço aos meus avós, tios, primas, amigos e demais familiares que direta ou indiretamente me auxiliaram nesse período, sempre estando presentes em minha vida dando suporte, conselhos, orações e torcendo por minhas conquistas.

Agradeço ao Prof. Dr. Orlando Moreira Júnior, por toda a orientação, apoio e dedicação ao longo de toda a minha formação através de projetos, pesquisas e principalmente durante todo o período destinado a esse trabalho.

Agradeço ao Prof. Antônio Caetano e ao Eng. Alessandro, por aceitarem o convite de fazerem parte da minha banca examinadora e me auxiliarem sempre que necessário.

Às minhas amigas de turma Gabriela Telles, Julia Pouso, Kelly Camargo e Talita Mitsue, por todos os momentos que vivemos juntas, pelo apoio nas inúmeras horas de estudo, pela companhia nos momentos de diversão, enfim, pela amizade não se encerra por aqui. Vocês sempre estarão em meu coração.

Aos técnicos do Laboratório de Engenharia, especialmente ao José Carlos Venturin e David Correia por todo auxílio, conhecimento transmitido, risadas e amizade durante esses anos em que convivemos.

Á todos os professores da Faculdade de Engenharia que tive o privilégio de conviver durante o curso e contribuíram grandemente para minha formação.

Confie no Senhor de todo o seu coração e não se apoie em seu próprio entendimento; reconheça o Senhor em todos os seus caminhos, e ele endireitará as tuas tendas.

Provérbios 3:5-6

SUMÁRIO

RESUMO	13
ABSTRACT	14
1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS.....	18
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	19
3.1. ENERGIA SOLAR.....	19
3.2. APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR	21
3.3. ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA	22
3.4. ESTUDO AMBIENTAL DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	25
3.5. CENTRAIS FOTOVOLTAICAS DE GRANDE PORTE	27
3.6. CENTRAIS FOTOVOLTAICAS DE PEQUENO PORTE.....	29
3.7. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	30
3.7.1. SISTEMAS ISOLADOS (OFF GRID)	31
3.7.2. SISTEMAS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (ON GRID).....	32
3.8. AS RESOLUÇÕES NORMATIVAS 482 E 687 DA ANEEL.....	33
3.9. CONTRIBUIÇÃO DA ENERGIA FV NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA ..	35
3.10. PERSPECTIVAS PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	36
3.11. INCENTIVOS PARA A INSERÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA	37
3.12. PASSOS PARA A SOLICITAÇÃO DE ACESSO DA CONCESSIONÁRIA.....	43
4. MATERIAIS E MÉTODOS	44
4.1. DESCRIÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	44
4.1.1. MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	45
4.1.2. INVERSOR GRID-TIE MONOFÁSICO	46
4.2. INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO	47
4.3. CUSTOS DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA	53
4.4. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES.....	55
4.5. ESTUDO DO RECURSO FV E CÁLCULO TEÓRICO DA GERAÇÃO.....	61
5. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA E FINANCEIRA	67
5.1. SOFTWARE PV*SOL	67
5.2. INFORMAÇÕES INICIAIS DO PROJETO.....	69
5.2.1. MÓDULO FOTOVOLTAICO.....	69
5.2.2. INVERSOR	70

5.2.3.	INSTALAÇÃO.....	71
5.3.	DADOS DE SAÍDA	74
5.3.1.	RESULTADOS DA SIMULAÇÃO.....	74
5.3.2.	BALANÇO ENERGÉTICO DA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA.....	77
5.3.3.	ANÁLISE DE RENTABILIDADE.....	79
5.4.	ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA UMA RESIDÊNCIA	81
6.	SIMULAÇÃO ESTRUTURAL	87
7.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	100
7.1.	MONITORAMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SISTEMA FV	100
7.2.	COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENERGÉTICOS OBTIDOS.....	100
7.3.	ANÁLISE FINANCEIRA TEÓRICA.....	102
7.3.1.	ESTACIONAMENTO FV	103
7.3.2.	RESIDÊNCIA ESTUDADA.....	105
8.	CONCLUSÕES.....	108
9.	REFERÊNCIAS.....	110

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energia renovável.	16
Figura 2. Movimentos do planeta Terra em torno do Sol	20
Figura 3. Mapa do potencial energético solar brasileiro de radiação solar no plano inclinado média anual	21
Figura 4. Fluxograma das aplicações práticas de energia solar	22
Figura 5. Conversão da energia solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas	24
Figura 6. Célula, Módulo, String e Arranjo	25
Figura 7. Análise do Ciclo de Vida dos módulos fotovoltaicos	26
Figura 8. Usina Solar de Tauá/CE.....	28
Figura 9. Evolução dos sistemas fotovoltaicos off grid e on grid.	31
Figura 10. Esquematização de um sistema isolado (Off-Grid).	31
Figura 11. Esquematização de um sistema conectado à rede elétrica (On-grid).....	32
Figura 12. Situação dos Estados em relação ao Convênio ICMS Nº 16/2015	39
Figura 13. Participação de Mercado das Empresas Fabricantes de Painéis Fotovoltaicos no Mundo.	41
Figura 14. Projeção do Crescimento da capacidade instalada e custos mundiais até 2050.....	42
Figura 15. Procedimentos e etapas de acesso.....	44
Figura 16. Módulo Fotovoltaico Canadian, Modelo: CS6P - 265.....	45
Figura 17. Inversor ABB Modelo: PVI -4.2-TL-OUTD.....	46
Figura 18. Ilustração da inclinação e deslocamento da estrutura.	48
Figura 19. Ilustração com vista superior da estrutura de sustentação	49
Figura 20. Ilustração com vista lateral da estrutura de sustentação	49
Figura 21. Vista Superior das Placas Fotovoltaicas	50
Figura 22. Grampos de fixação intermediária e final para painéis fotovoltaicos	50
Figura 23. Sistema Completo.....	51
Figura 24. Exemplo de ligação de módulos fotovoltaicos em série.	51
Figura 25. Exemplo de ligação de módulos fotovoltaicos em paralelo.....	52
Figura 26. Diagrama Multifilar do Sistema Fotovoltaico	53
Figura 27. Diagrama do quadro de ar condicionado do LPCS.....	53
Figura 28. Perfil de Alumínio escolhido para o orçamento.	54
Figura 29. Bandeiras Tarifárias no Brasil	56
Figura 30. Relação entre a geração de energia e as bandeiras tarifárias.	56
Figura 31. Estrutura do Sistema Tarifário.....	58
Figura 32. Dados do Faturamento da UFGD	59
Figura 33. Média anual da insolação diária em horas do Brasil.....	61
Figura 34. Média da radiação global (kWh/m ²).....	62
Figura 35. Variabilidade dos valores médios sazonais da irradiação solar para as cinco regiões geográficas do Brasil em kWh/ m ²	63
Figura 36. Base de dados do software.....	68
Figura 37. Barra inicial PV*Sol.....	68
Figura 38. Vista superior do Estacionamento Fotovoltaico gerada pelo PVSol	71
Figura 39. Disposição do sistema, prédios e árvore nas proximidades, gerada pelo PVSol	72
Figura 40. Visualização do sistema em 3D, gerada pelo PVSol	73
Figura 41. Diagrama elétrico gerado pelo Software.....	74
Figura 42. Resultados do sombreamento percentual nas placas, gerada pelo PVSol.....	75
Figura 43. Geração mensal de energia elétrica através da simulação	76
Figura 44. Curva característica da eficiência do inversor	78

Figura 45. Fluxo de Caixa do Investimento Total.....	80
Figura 46. Índice de Reajuste dos itens Fotovoltaicos	81
Figura 47. Fatura residencial - ENERGISA.....	82
Figura 48. Preços de sistemas fotovoltaicos atualizados.....	83
Figura 49. Fluxo de Caixa do investimento (R\$/ano) para a simulação residencial	86
Figura 50. Ilustração da estrutura de sustentação.....	87
Figura 51. Mapas de isopletas de vento, velocidade básica	89
Figura 52. Carga de vento em coberturas isoladas	94
Figura 53. Carregamento na estrutura devido ao Peso Próprio (kgf/m ²).....	95
Figura 54. Carregamento na estrutura devido à ação do vento (kgf/m ²).....	95
Figura 55. Carregamento na estrutura devido à sobrecarga – (kgf/m ²).....	95
Figura 56. Carregamento na estrutura devido ao peso das placas – (kgf/m ²)	95
Figura 57. Carregamento na estrutura devido à ação do vento – (kgf/m ²).....	96
Figura 58. Carregamento na estrutura devido à sobrecarga – (kgf/m ²).....	96
Figura 59. Carregamento na estrutura devido ao peso das placas – (kgf/m ²)	96
Figura 60. Carregamento na estrutura devido ao peso próprio – (kgf/m ²).....	96
Figura 61. Resultante Normal - (kgf).....	97
Figura 62. Momento fletor da estrutura – (kgf.m)	97
Figura 63. Deslocamento na direção X2 – (10 ³ cm)	97
Figura 64. Deslocamento da direção X1 (10 ³ cm)	97
Figura 65. Deslocamento na terça devido a ação do peso das placas – (10 ⁴ cm).....	98
Figura 66. Deslocamento da terça devido a ação do peso próprio – (10 ⁴ cm)	98
Figura 67. Deslocamento da terça devido a ação do vento – (10 ² cm)	98
Figura 68. Geração elétrica diária para o Mês de Março/2017 do sistema instalado na UFGD	100

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE)	35
Tabela 2. Faixa de Custos para instalações fotovoltaicas genéricas.....	43
Tabela 3. Custos Totais do Sistema FV	55
Tabela 4. Classificação dos consumidores de energia elétrica.....	57
Tabela 5. Rateio do custo específico da energia elétrica paga pela UFGD	60
Tabela 6. Irradiação solar diária média mensal sobre plano inclinado [kWh/m ² .dia]	64
Tabela 7. Resultados teóricos para geração fotovoltaica.....	66
Tabela 8. Dados de entrada do modelo de módulo utilizado	70
Tabela 9. Dados de entrada do inversor utilizado	71
Tabela 10. Dados iniciais da instalação.....	73
Tabela 11. Configuração da Instalação	74
Tabela 12. Dados resultantes da instalação gerados pelo software	75
Tabela 13. Comparação dos resultados da Energia Gerada em todos os meses do ano, na análise teórica e por simulação no PVSol	76
Tabela 14. Balanço energético gerado pelo software	77
Tabela 15. Análise econômica do Estacionamento FV	79
Tabela 16. Materiais necessários para a instalação e seus respectivos custos.	84
Tabela 17. Custos Totais para o estudo de caso de uma residência.	85
Tabela 18. Análise econômica do estudo de caso para a residência.....	85
Tabela 19. Critérios para determinação da Categoria do Projeto referente ao fator S2	90
Tabela 20. Classificação do projeto quanto a dimensão.....	90
Tabela 21. Determinação do Fator S2 através da Categoria e classe do projeto	91
Tabela 22. Classificação do projeto quanto à utilidade	92
Tabela 23. Velocidade básica do vento “Vk” e os fatores “S1”, “S2” e “S3”	92
Tabela 24. Resultados dos esforços máximos	99
Tabela 25. Comparação entre os valores obtidos para a geração de energia elétrica diária para o Mês de Março/2017	101
Tabela 26. Histórico de inflação e Selic (% a.a.)	103
Tabela 27. Fluxo de Caixa do Investimento para o Estacionamento FV	104
Tabela 28. Fluxo de Caixa do Investimento para o Residência FV	106

RESUMO

Neste trabalho serão discutidas diversas vantagens e avanços dos sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica considerando suas principais barreiras que impedem o desenvolvimento ainda maior dessa fonte energética no país e os incentivos realizados nos últimos anos. Será apresentado o detalhamento de um sistema fotovoltaico com potência de 4,24 kWp, instalado na Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) como cobertura de um estacionamento, com vagas para dois carros. Para o cálculo estrutural do elemento de sustentação do sistema fotovoltaico, foi utilizado o Software STRAP. Apresentar-se-ão os custos de instalação e aquisição dos componentes do sistema e os custos de construção da estrutura utilizada como suporte para os módulos fotovoltaicos, com o intuito de realizar a análise financeira e energético do sistema, que foi feita através de cálculos teóricos e simulação computacional, por meio do software PVSol, a qual também possui a finalidade de obter uma estimativa da produção de energia elétrica, comparando-a com a geração real durante determinado período de monitoramento. Além disso, foi feito um estudo de caso para a instalação em uma residência, com potência similar à do Estacionamento, alterando o valor do investimento e a tarifa para a modalidade Residencial.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, PVSol, Sistemas Conectados à rede elétrica, Análise Econômica.

ABSTRACT

In this paper will be discussed several advantages and advances of photovoltaic systems connected to the electricity grid considering their main restraint that prevent the further development of this energy source in the country and the achieved incentives in the last years. A photovoltaic system with a power of 4.24 kWp installed at the Federal University of Grande Dourados (UFGD) will be presented as coverage of a parking lot, with parking spaces for two cars. For the structural calculation of the support element of the photovoltaic system, the STRAP Software was used. The costs of installation and acquisition of the components of the system and the costs of building the structure used as support for the photovoltaic modules will be presented, with the purpose of performing the financial and energy analysis of the system, which was done through theoretical calculations and computational simulation, by PVSol software. Furthermore, it also has the purpose of obtaining an estimate of the electric power production, comparing it with the actual generation during a certain monitoring period. In addition to this, a previously study was carried out for the installation in a residence, with power similar to that of the Parking lot, changing the value of the investment and the tariff for the Residential modality.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, PVSol, Grid Connected Systems, Renewable Energy

1. INTRODUÇÃO

Durante todo o século XX a significativa oferta de energia obtida principalmente a partir dos combustíveis fósseis, como petróleo e carvão mineral, deu suporte ao crescimento e às transformações da economia mundial, com notáveis prejuízos ambientais, em especial contribuindo com a emissão de dióxido de carbono e outros gases de efeito estufa. Entretanto, nos primeiros anos do século XXI notou-se a necessidade de implantação de novos modelos de desenvolvimento, sendo proposta a geração renovável de energia (ANEEL, 2008).

Vários fatores contribuíram para a evolução das fontes renováveis, dentre eles podemos citar alguns: devido a atual queda do preço do petróleo no mercado internacional, a rentabilidade dos projetos de exploração do pré-sal foi afetada; O aquecimento global que pode trazer consequências catastróficas para a biodiversidade e para o ser humano; Os problemas ambientais causados pelo alagamento de grandes áreas, a queda nos valores de implantação de sistemas fotovoltaicos, entre outros fatos que motivam a utilização de novas tecnologias para produção de energia elétrica através de fontes alternativas (LEITE, 2013).

O Brasil se destaca no cenário mundial por ter sua matriz de energia elétrica composta majoritariamente por fontes renováveis. De acordo com o Balanço Energético Nacional (EPE, 2016) as fontes renováveis representam 75,5% da oferta interna de eletricidade no Brasil, sendo grande parte delas de origem hídrica. No entanto segundo o documento referente às Projeções da Demanda de Energia Elétrica 2014-2024 (EPE, 2015), há uma estimativa para o aumento no consumo energia elétrica no Brasil na ordem de 50% entre 2014 e 2024.

Nesse panorama, se faz necessária além do aumento da geração, uma diversificação da matriz energética brasileira com outras fontes renováveis, de forma que o Brasil aumente sua confiabilidade no fornecimento, e ao mesmo tempo mantenha uma matriz energética sustentável. Há algum tempo, os sistemas de suprimento de energia alternativa descentralizados, utilizando recursos renováveis, têm sido empregados, motivando o estudo desses sistemas que se mostram economicamente viáveis e/ou tecnicamente factíveis (MARINE, 2002). Sendo assim, o avanço da tecnologia, principalmente na área solar, vem criando opções para a geração de eletricidade de forma não poluente (PALZ, 2002).

Segundo o Relatório Final do Balanço Energético Nacional (BEN, 2016), em 2015, a geração distribuída atingiu 34,9 GWh com uma potência instalada de 16,5 MW, com destaque

para a fonte solar fotovoltaica, com 20,0 GWh e 13,3 MW de geração e potência instalada respectivamente. A geração elétrica a partir de fontes não renováveis representou 26,0% do total nacional, contra 26,8% em 2014. A geração de autoprodutores (APE) em 2015 participou com 16,6% do total produzido, considerando o agregado de todas as fontes utilizadas, atingindo um montante de 96,6 TWh. Desse total, 52,7 TWh são produzidos e consumidos in loco, ou seja, pela própria instalação geradora usualmente denominada como APE clássica.

Segundo a Figura 1, REN21 (2008), verifica-se o crescimento da capacidade instalada mundial das principais fontes enquadradas na categoria “Outras”, o que compreende várias fontes de energia renováveis, na qual é possível notar que a energia solar fotovoltaica conectada à rede elétrica apresenta a maior taxa de crescimento dentre as fontes renováveis, com aproximadamente 60% ao ano.

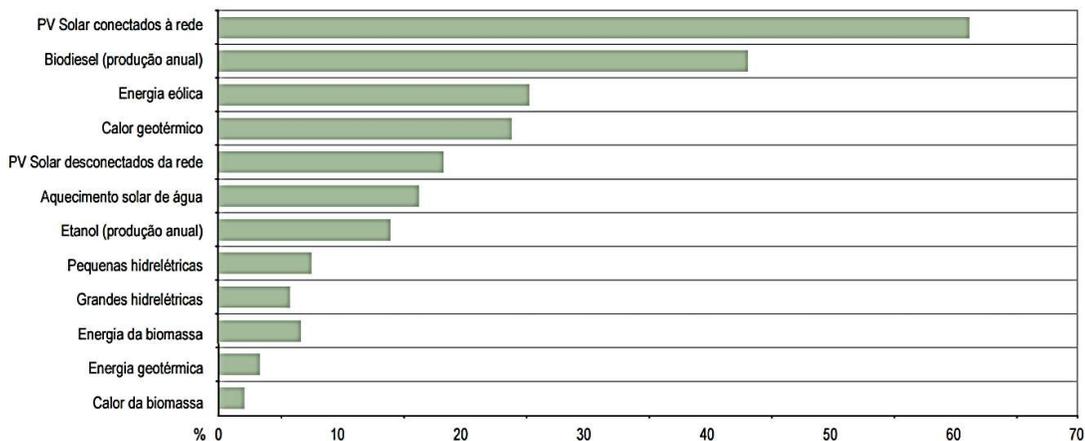


Figura 1. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energia renovável.

Fonte: REN21 (2008).

Países como a Alemanha, China, Itália, Estados Unidos e Japão são considerados os maiores investidores nessa tecnologia renovável. Segundo o site ENVOLVERDE (Portal de Sustentabilidade do Brasil, 2015) em 2014 o maior investimento em energia renovável ocorreu na China, com o recorde de US\$ 83,3 bilhões, aumento de 39% em relação a 2013. Os Estados Unidos vêm em seguida com US\$ 38,3 bilhões, equivalentes à uma alta de 7% no ano, embora esse valor esteja abaixo de seu máximo histórico alcançado em 2011. Em terceiro lugar ficou o Japão, com US\$ 35,7 bilhões, 10% a mais do que em 2013 e sua maior marca histórica.

Em 2012 a EPE publicou a nota técnica intitulada “Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Elétrica Brasileira”, contemplando as principais aplicações da energia solar para

geração de eletricidade no Brasil, dando especial enfoque aos SFCR (Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede). Os estudos mostraram que a inserção fotovoltaica estaria mais próxima de se realizar naturalmente via geração distribuída, especialmente na autoprodução residencial e comercial, dada a iminência da ocorrência da paridade tarifária, ou seja, a equiparação do custo da energia gerada por um SFCR e as tarifas praticadas pelas distribuidoras. Concomitantemente, em 2012, a Agência nacional de Energia Elétrica (ANEEL) publicou a Resolução Normativa nº 482/2012 e posteriormente sua atualização (Resolução Normativa nº 687/2015), que serão tratadas no Tópico 3.8, estabelecendo as condições gerais para micro e mini geração distribuída no país, assim como o sistema de compensação de energia elétrica através do sistema conhecido como *net metering*.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo principal realizar o estudo da instalação de um sistema fotovoltaico, de 4,24kWp, instalado no estacionamento da UFGD, campus II na cidade de Dourados-MS. Estudar o rendimento dos componentes do sistema, através de cálculos teóricos, simulação computacional e monitoramento da geração de energia elétrica. Verificar a resistência da estrutura de suporte do sistema fotovoltaico, utilizando o software STRAP. Além disso, para melhor entendimento do retorno financeiro que o sistema fotovoltaico pode oferecer, foi realizada uma comparação da viabilidade econômica da instalação do sistema fotovoltaico no estacionamento da UFGD e em uma residência, o que caracteriza duas categorias de consumo diferentes.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico serão abordados conceitos de energia solar, bem como algumas de suas formas de utilização, nas quais o foco estará na geração fotovoltaica, tratada no Tópico 3.3. Além disso, será realizada a contextualização da mesma no setor elétrico brasileiro e mundial.

3.1. ENERGIA SOLAR

A fonte solar está disponível de forma abundante desde o surgimento da vida, porém nunca foi aproveitada de forma eficiente quanto às outras formas de energia. O Sol, além de fonte de vida, pode ser a resposta para a questão do abastecimento energético no futuro, uma vez que se aprenda a aproveitar de maneira racional a luz que esta estrela constantemente derrama sobre o planeta Terra (PALZ, 2002).

A radiação solar que a Terra recebe equivale a uma quantidade de energia de 1×10^{18} kWh/ano, o que seria equivalente a aproximadamente centenas de milhões de vezes a geração de energia elétrica da usina de Itaipu, que é a atual maior geradora de energia elétrica renovável do mundo, sendo responsável por 9×10^{10} kWh/ano. Portanto a quantidade de energia solar que atinge a superfície da Terra corresponde, aproximadamente, a dez mil vezes a demanda global de energia. Logo teríamos de utilizar apenas 0,01% desta energia para satisfazer a demanda total da humanidade. (BARROS, 2011).

Segundo a ANEEL, (2009), A disponibilidade de radiação solar depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano). Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente (movimento de rotação) e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol (translação ou revolução). Desse modo, a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora (Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo) a 24 horas (Sol sempre acima da linha do horizonte), como explícito na Figura 2.



Figura 2. Movimentos do planeta Terra em torno do Sol

Fonte: MAGNOLI *et al.* (1998).

O Brasil está situado numa região com incidência vertical dos raios solares, condição essa que favorece elevados índices de irradiação em quase todo o território nacional. Além disso, a proximidade à linha do Equador faz com que haja pouca variação na incidência solar ao longo do ano, como pode ser observado na Figura 3. Dessa forma, mesmo no inverno pode haver bons níveis de irradiação, conferindo ao país vantagens para o aproveitamento energético do recurso solar (TOLMASQUIM, 2016).

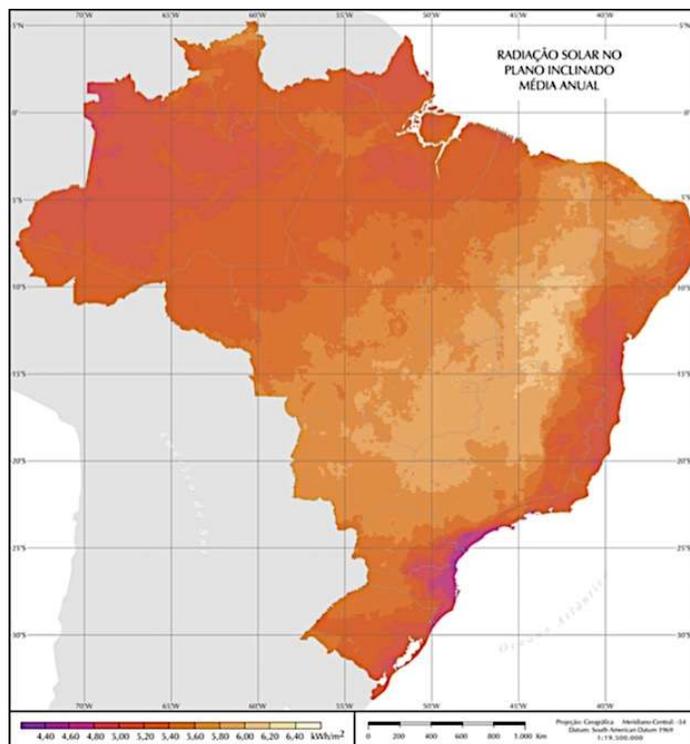


Figura 3. Mapa do potencial energético solar brasileiro de radiação solar no plano inclinado média anual

Fonte: PEREIRA, *et. al.* (2006).

3.2. APLICAÇÕES DA ENERGIA SOLAR

As aplicações diretas podem ser classificadas como energia solar ativa e a passiva. A primeira pode ser dividida como solar heliotérmica, fotovoltaica e solar térmica. A energia solar passiva, por sua vez, é resumida às aplicações da arquitetura solar. Um fluxograma com as aplicações práticas do uso da energia solar pode ser visualizado na Figura 4, (PEREIRA *et al*, 2004).

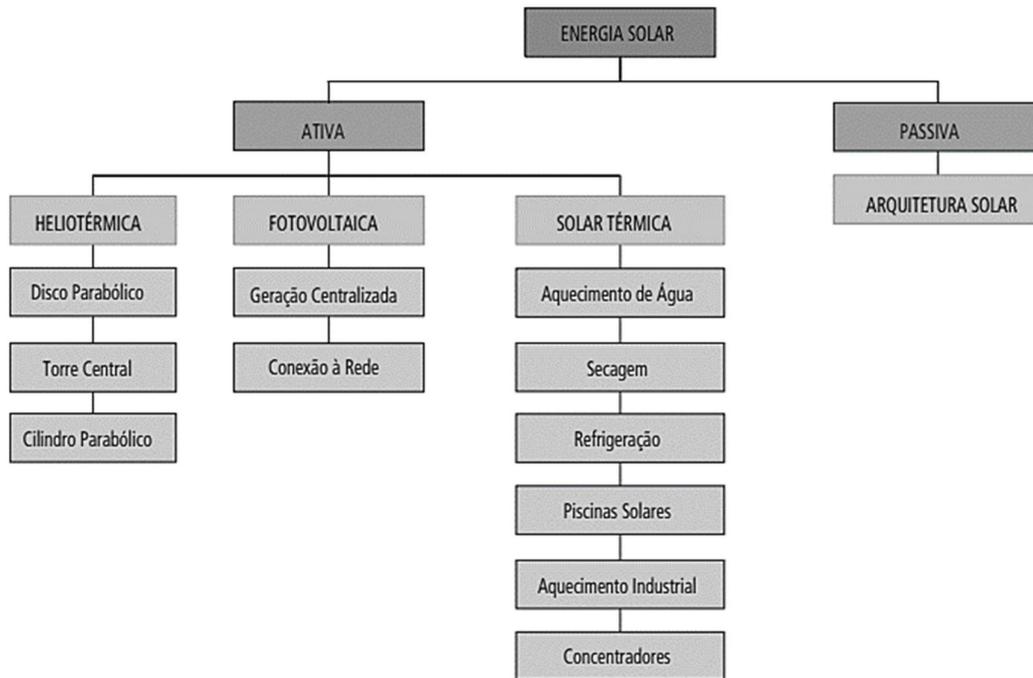


Figura 4. Fluxograma das aplicações práticas de energia solar

Fonte: PEREIRA *et al.* (2004).

Como a proposta deste trabalho está relacionada à produção de energia elétrica através de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica de baixa tensão, será apresentada uma análise mais detalhada somente dessa tecnologia.

3.3.ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Uma célula fotovoltaica é constituída por duas ou mais camadas finas de material, mais comumente de silício semicondutor. Quando a célula fotovoltaica é exposta à radiação solar, cargas elétricas são geradas, e estas podem ser conduzidas para fora através de contatos de metal, como corrente contínua. A potência elétrica a partir de uma única célula é pequena, de modo que várias células estão ligadas e encapsuladas de modo a formar um módulo, sendo ele o principal bloco de construção de um sistema fotovoltaico, e qualquer número de módulos pode ser conectado entre si para dar a saída elétrica desejada. Esta estrutura modular é uma vantagem considerável do sistema PV, no qual módulos adicionais podem ser somados a um sistema existente, conforme necessário (KALOGIROU, 2016)

O efeito fotovoltaico, relatado por Edmond Becquerel em 1839, é o aparecimento de uma diferença de potencial nos extremos de uma estrutura de material semicondutor, produzida pela absorção da luz. Esse material compõe

a célula fotovoltaica, unidade fundamental desse processo. Atualmente existem diversas tecnologias aplicadas à produção dessas células, sendo classificadas em três gerações (PINHO *et al*, 2014):

1º Geração:

- Silício Monocristalino (m-Si)
- Silício Policristalino (p-Si), que representa mais de 85% do mercado, por ser considerada uma tecnologia consolidada, confiável e alto rendimento.

2º Geração (Filmes Finos):

- Silício Amorfo (a-Si)
- Disseleneto de cobre e índio (CIS)
- Disseleneto de cobre, índio e gálio (CIGS)
- Telureto de cádmio (CdTe)

Essa geração apresenta menor eficiência do que a primeira e tem uma modesta participação do mercado. Existem dificuldades associadas à disponibilidade dos materiais, vida útil, rendimento das células e, no caso do cádmio, sua toxicidade, que retardam a sua utilização em maior escala.

3º Geração:

- Célula Fotovoltaica multijunção e célula fotovoltaica para concentração (CPV – *Concentrated Photovoltaics*)
- Células sensibilizadas por corante (DSSC - *Dye-Sensitized Solar Cell*)
- Células orgânicas ou poliméricas (OPV – *Organic Photovoltaics*)

Essa geração ainda está em fase de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), testes e produção em pequena escala. A tecnologia CPV, por exemplo, demonstrou um potencial para produção de módulos com altas eficiências, embora seu custo ainda não seja competitivo com as tecnologias que atualmente dominam o mercado.

De acordo com a cartilha publicada pelo Ministério de Minas e Energia, pode-se resumir o efeito fotovoltaico da seguinte forma:

O efeito fotovoltaico dá-se em materiais da natureza denominados semicondutores, que se caracterizam pela presença de bandas de energia onde é permitida a presença de elétrons (banda de valência) e de outra totalmente “vazia” (banda de condução) Ao adicionarem-se átomos com cinco elétrons de ligação, como o fósforo, por exemplo, haverá um elétron em excesso que não poderá ser emparelhado e que ficará "sobrando", fracamente ligado a seu átomo de origem. Isto faz com que, com pouca energia térmica, este elétron se livre, indo para a banda de condução. Diz-se assim, que o fósforo é um “dopante” doador de elétrons e denomina-se dopante n ou impureza n.

Se, por outro lado, introduzem-se átomos com apenas três elétrons de ligação, como é o caso do boro, haverá uma falta de um elétron para satisfazer as ligações com os átomos de silício da rede, esta falta de elétron é denominada “buraco” ou “lacuna” e ocorre que, com pouca energia térmica, um elétron de um sítio vizinho pode passar a esta posição, fazendo com que o buraco se desloque.

Diz-se, portanto, que o boro é um aceitador de elétrons ou um dopante p. Se, partindo de um silício puro, forem introduzidos átomos de boro em uma metade e de fósforo na outra, será formado o que se chama junção pn. O que ocorre nesta junção é que elétrons livres do lado n passam ao lado p onde encontram os buracos que os capturam; isto faz com que haja um acúmulo de elétrons no lado p, tornando-o negativamente carregado e uma redução de elétrons do lado n, que o torna eletricamente positivo. Estas cargas aprisionadas dão origem a um campo elétrico permanente que dificulta a passagem de mais elétrons do lado n para o lado p; este processo alcança um equilíbrio quando o campo elétrico forma uma barreira capaz de barrar os elétrons livres remanescentes no lado n.

Se uma junção pn for exposta a fótons com energia maior que o gap (quantidade de energia suficiente para um elétron passar para a banda de condução), ocorrerá a geração de pares elétron-lacuna; se isto acontecer na região onde o campo elétrico é diferente de zero, as cargas serão aceleradas, gerando assim, uma corrente através da junção; este deslocamento de cargas dá origem a uma diferença de potencial ao qual chamamos de Efeito Fotovoltaico. Se as duas extremidades do "pedaço" de silício forem conectadas por um fio, haverá uma circulação de elétrons. Esta é a base do funcionamento das células fotovoltaicas (MME, 2007).

A figura 5 ilustra, de forma resumida, o efeito fotovoltaico (FUKUROZAKI 2011).

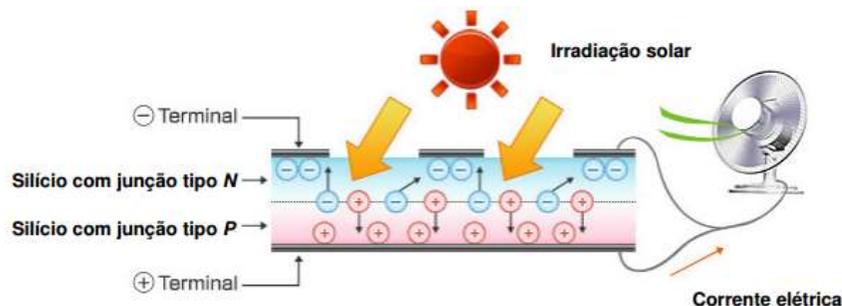


Figura 5. Conversão da energia solar em eletricidade por meio de células fotovoltaicas

Fonte: FUKUROZAKI (2011).

Essas células fotovoltaicas, em seu formato comercial, são agrupadas formando os módulos, e estes podem ser dispostos em séries e paralelos, formando os painéis fotovoltaicos,

os quais novamente podem ser dispostos de maneira a formar strings e arranjos, como pode ser visualizado na Figura 6.

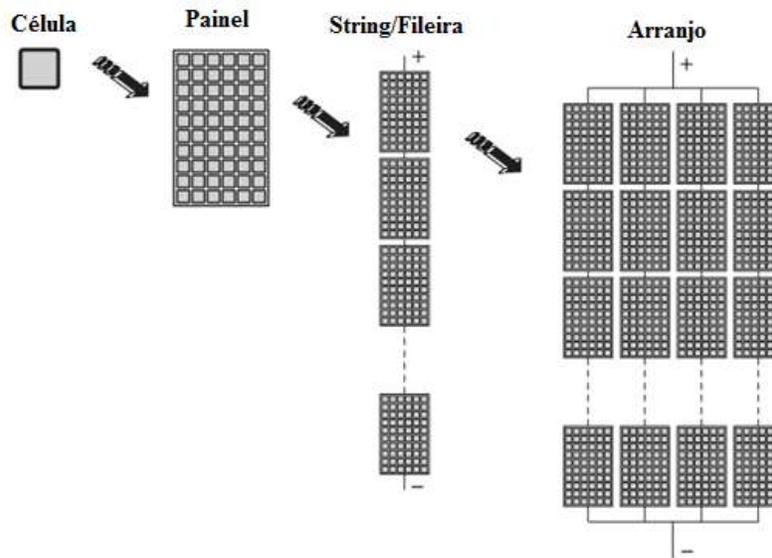


Figura 6. Célula, Módulo, String e Arranjo

Fonte: Adaptado de CANADIAN (2017)

3.4. ESTUDO AMBIENTAL DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A geração de energia elétrica por meio de conversão fotovoltaica é menos agressiva ao meio ambiente, pois elimina etapas importantes do processo de geração de eletricidade relacionadas à produção e transporte quando comparada com outras tecnologias de geração (TOLMASQUIM, 2004). Ainda assim, existem impactos ambientais importantes associados ao aproveitamento fotovoltaico. Considerando os impactos ambientais que podem vir a causar em qualquer estágio de seu ciclo de vida, a seguir, foi realizada uma breve Avaliação do Ciclo de Vida – ACV para analisar como a energia solar pode interferir no meio ambiente, seja durante seu processo de fabricação, seja durante seu uso ou até mesmo seu descarte e disposição final (ASSIS, 2009).

Conforme mostra a Figura 7, o início do ciclo é dado pela extração de sílica, que se trata uma matéria-prima muito abundante na terra. Posteriormente tem-se a produção da célula, sendo essa fase a de maior consumo energético. Durante o processo da extração da matéria-

prima para a produção dos módulos e componentes periféricos ocorrem emissões de produtos tóxicos, tais como ácidos e produtos cancerígenos, além de CO₂, SO₂, NO_x e particulados.



Figura 7. Análise do Ciclo de Vida dos módulos fotovoltaicos

Fonte: Adaptado Fthenakis & Kim (2011).

Existe a possibilidade de se realizar uma análise das emissões de CO₂ durante o ciclo de vida do módulo fotovoltaico. Para isto seria necessário um exame mais profundo das fontes de CO₂ que atuam no local de produção do módulo e também durante o seu ciclo de vida (produção, transporte, instalação e operação). No entanto, segundo Rosa (2008), o uso da energia fotovoltaica reduz as emissões de gás carbônico de um país de modo considerável.

Na produção e instalação do Painel Fotovoltaico as células são conectadas em cadeia com contatos de prata, alumínio ou cobre na parte frontal e posterior, através de uma evaporação a vácuo. O painel é finalmente moldado sobre pressão e calor e as conexões são isoladas (ADRIANO, 2015).

Na fase de operação, o sistema solar fotovoltaico tem a vantagem de não apresentar quaisquer emissões de poluentes. Durante a operação do sistema, os impactos provocados com a manutenção são considerados mínimos ou praticamente inexistentes. Porém, no caso de grandes centrais fotovoltaicas a manutenção poderá ter impactos significativos. Por fim, o final do ciclo corresponde ao desmantelamento, ou seja, quando o painel chega ao fim de vida é recolhido e direcionado para entidades competentes na área de recolha de resíduos, enviando alguns componentes para reciclagem e os que não podem ser reciclados seguem para aterro ou incineração. Os maiores benefícios são a reciclagem do alumínio e do vidro, sendo que os plásticos também podem ser reciclados, reduzindo assim alguns impactos. Outras tecnologias ainda se encontram em desenvolvimento, como métodos capazes de recuperar as bolachas de silício, que geram menos impactos ambientais, consomem menos energia e são economicamente viáveis (ADRIANO, 2015).

É possível observar que os indicadores mais relevantes na análise do ciclo de vida da produção do painel são a extração de recursos, a emissão de gases de efeito estufa e a poluição

da água e solo. O indicador extração de recursos está ligado à necessidade de matéria-prima para os painéis e ao consumo de energia, a emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE) é derivada do mix energético do país e do transporte de mercadorias entre locais (ADRIANO, 2015). Segundo ROSA, (2008), embora os sistemas fotovoltaicos não necessitem de uma fonte de energia fóssil ou nuclear para operar, é demandada uma grande quantidade de energia para produzir os componentes do sistema.

Segundo Stopatto, (2008), as plantas de energia fotovoltaica não podem ser consideradas ``limpas``, visto que os impactos significativos são decorrentes das atividades de mineração da matéria prima (silício) e da manufatura dos painéis. Apesar disso, é possível observar que a análise do ciclo de vida de sistemas fotovoltaicos reforça as vantagens ambientais da aplicação dessa energia, tais como baixas emissões durante todo o período de funcionamento, ausência ou mínima produção de ruídos, entre outros, durante a operação.

3.5. CENTRAIS FOTOVOLTAICAS DE GRANDE PORTE

Compreende as grandes usinas fotovoltaicas, que basicamente funcionam de forma centralizada, como se fosse uma usina convencional, ou seja, a energia é entregue em alta tensão e transmitida até os centros consumidores, geralmente longe da central. De acordo com a SUNEDISON, INC. (2015), líder mundial em tecnologia de energia solar fotovoltaica, algumas das principais instalações mundiais são: Rovigo, Itália, 70 MW; Atacama, Chile, 50.7 MW; Austin, EUA, 35 MW; Limpopo, África do Sul, 28 MW; Castelvolturno, Itália, 10 MW; Colorado, Estados Unidos, 8 MW.

A Figura 8 mostra a primeira usina solar fotovoltaica do Brasil, está localizada no município de Tauá no sertão do Ceará, aproximadamente 360 km de Fortaleza. Com uma capacidade de gerar 1 MW de energia, que é suficiente para abastecer 1500 casas populares, a usina MPX TAUÁ conta com 4.680 painéis fotovoltaicos instalados em uma área de aproximadamente 12.000 m². No futuro, a potência da usina poderá ser estendida até 5 MWp, já que possui autorização da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) e da Superintendência Estadual do Meio Ambiente do Ceará (SEMACE) para o aumento da capacidade instalada. E o projeto permite ainda, pelas características do terreno disponível, a ampliação gradual da usina para até 50 MWp (BEIGELMAN, 2013).



Figura 8. Usina Solar de Tauá/CE

Fonte: BEIGELMAN (2013)

O projeto teve um investimento inicial de R\$ 10 milhões, contando com apoio de US\$ 700 mil do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID). O empreendimento é uma oportunidade para ser tomada como exemplo e intensificar a participação do Brasil na corrida mundial por um mercado competitivo de energia complementar (BEIGELMAN, 2013).

Conforme notícia publicada no site do Governo do estado de Mato Grosso do Sul, a administração estadual entregou a Licença Prévia (LP) de instalação para 20 projetos de usinas solares fotovoltaicas para a empresa espanhola Solatio Energia Project Management, visando a mudança da matriz energética com a implantação do conceito de energia limpa e renovável. O projeto terá um investimento previsto de R\$ 7,5 bilhões na construção de 20 usinas solares fotovoltaicas em uma área total de 3.700 hectares distribuídos nos municípios de Cassilândia e Paranaíba (SEMADE, 2016).

Nesse tipo de geração há a vantagem de economia de escala, que pode aumentar a competitividade deste tipo de sistema frente aos sistemas de menor porte, em contrapartida, há necessidade de grandes linhas de transmissão para o transporte de energia, o que ocasiona perdas de energia na distribuição e transmissão, além da aquisição do terreno para a construção da usina (NAKABAYASHI, 2014).

3.6. CENTRAIS FOTOVOLTAICAS DE PEQUENO PORTE

Já as centrais de pequeno porte funcionam de forma integrada a edificação, próxima ao consumidor e descentralizada (inclui a micro e a minigeração). Esses sistemas geralmente aparecem nos telhados das casas ou prédios, isto é, esses módulos estão juntos ao ponto de consumo. A geração distribuída, instalada de maneira pulverizada e gerando energia próxima aos consumidores, é um mercado importante para o setor solar fotovoltaico (WWF-BRASIL, 2015).

Em diversos países, a contribuição da geração distribuída foi fundamental para o desenvolvimento de uma cadeia produtiva nacional. Ela contribui para aumentar a segurança energética, promovendo maior autonomia de suprimento de energia elétrica, pela instalação de diversas unidades geradoras descentralizadas ao redor do país. Isso reduz as perdas na transmissão e distribuição da energia elétrica e minimiza os custos de suprimento de energia elétrica. Além de evitar perdas e postergar investimentos adicionais em linhas de transmissão, também substitui ou complementa a energia da rede em áreas com tarifas elevadas, resultando em economia à população (WWF – Brasil, 2015).

As Resoluções 482/2012 e 687/2015 (Atualização), da ANEEL estabeleceram as condições gerais para o acesso à essas gerações distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica, o que representou um grande avanço para a regulamentação desse tipo de geração de energia no país.

De acordo com uma pesquisa do IEE (Instituto de Energia e Ambiente) realizada em 2015, o sistema conectado à rede no modelo de micro geração possui diversas vantagens:

- Além de produção de energia, há a possibilidade de exportação dos excedentes para a rede elétrica, conhecido como sistema de compensação;
- Utiliza a radiação solar como insumo, um recurso abundante no Brasil e não poluente;
- A geração de energia elétrica é feita nos centros de consumo, aliviando a carga nos sistemas de transporte de energia e, com isso, reduzindo as perdas no sistema elétrico;
- A Resolução Normativa da ANEEL 482/2012 possibilita que o fluxo de energia deixe de ser unidirecional (concessionária-consumidor) e passe a ser bidirecional, havendo a possibilidade de o consumidor gerar créditos de energia;
- O consumo da energia, principalmente nos prédios comerciais acontece no horário de maior produção da energia pelos módulos;

- A produção da energia ocupa um espaço já utilizado pela edificação;
- O sistema pode ser ampliado conforme a necessidade, desde que haja espaço na edificação (modularidade);

Um segundo ponto fundamental para o avanço da geração distribuída no país é o estabelecimento de linhas de financiamento adequadas para a aquisição de sistemas fotovoltaicos. Diferentemente do financiamento para geração centralizada, citado anteriormente, as condições de financiamento disponíveis para a geração distribuída ainda não atingiram um ponto que permita ao mercado desenvolver-se adequadamente.

Nesses sistemas interligados à rede elétrica de distribuição, os geradores fotovoltaicos podem ser dimensionados para atender parte ou toda demanda da edificação. Essa produção de energia ocorre em CC (Corrente Contínua) e a utilização de eletricidade é feita em CA (Corrente Alternada). Assim, é necessário um inversor que irá realizar tal transformação (CÂMARA, 2011).

Vale salientar que existem centrais fotovoltaicas de pequeno porte isoladas (*OFF GRID*) ou interligadas à rede elétrica (*ON GRID*), que serão descritos nos itens 3.7.1 e 3.7.2. Para o caso dos sistemas isolados seria necessária a utilização de acumulares, ou seja, baterias, no entanto o foco desse trabalho consiste no estudo de um SFCR, o que elimina a necessidade do uso das baterias (LISITA JÚNIOR, 2005).

3.7.TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os dois principais tipos de sistemas fotovoltaicos utilizados são: Conectados à rede elétrica (*ON GRID*) e os sistemas isolados (*OFF GRID*). A utilização de cada uma dessas configurações dependerá da aplicação e disponibilidade de recursos energéticos.

A *International Energy Agency* (IEA, 2013) composta por 29 países, fez um levantamento e verificou que na década de 90 os sistemas fotovoltaicos aplicados eram na maioria sistemas *off grid* (sistemas isolados), no entanto a partir da década seguinte os sistemas passaram a ser predominantemente *on grid* (conectados à rede elétrica). Na Figura 9, observa-se a capacidade instalada, em percentual, dos sistemas conectados à rede e isolados verificados neste levantamento.

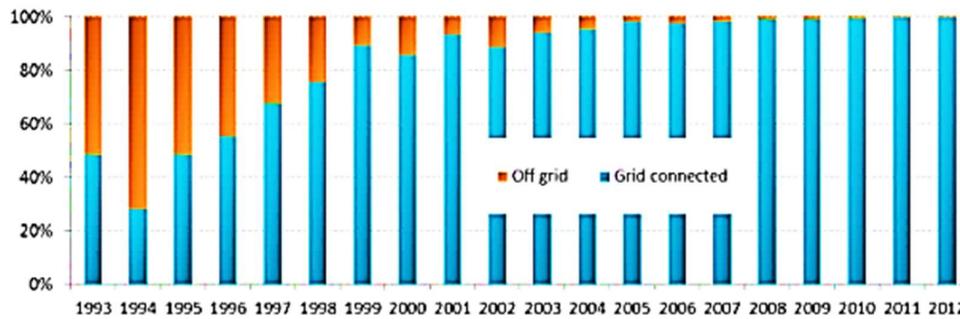


Figura 9. Evolução dos sistemas fotovoltaicos *off grid* e *on grid*.

Fonte: International Energy Agency. (2013).

Há também a geração híbrida, na qual o sistema fotovoltaico apresenta outras fontes complementares de energia tais como: gás natural, geradores à diesel, eólico, entre outros. No entanto, não será aprofundado o conhecimento em sistemas híbridos e isolados, pois não são o foco desse projeto, o foco será dado aos sistemas conectados à rede.

3.7.1. SISTEMAS ISOLADOS (*OFF GRID*)

Trata-se dos sistemas não conectados à rede elétrica, conforme ilustra a Figura 10, que geralmente são utilizados em locais remotos, principalmente para populações rurais, que podem apresentar certo grau de carência em termos de energia, visto que o custo de se conectar à rede elétrica é demasiado alto. (FIGUEIRA, 2014).



Figura 10. Esquemática de um sistema isolado (Off-Grid).

Fonte: (ANTUNES, 2016)

O sistema abastece diretamente nos aparelhos que utilizarão a energia, no entanto há a necessidade do uso de baterias que garantem o armazenamento da energia a ser utilizada em períodos sem, ou com baixa insolação. Esses sistemas podem ser instalados em casas de campo, refúgios, iluminação, telecomunicações, bombeio de água, entre outros.

3.7.2. SISTEMAS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA (ON GRID)

O sistema fotovoltaico conectado à rede também é conhecido como *on grid*, são os sistemas que dispensam o uso de baterias, pois toda potência gerada pelo sistema fotovoltaico é consumida pelas cargas ou é injetada diretamente na rede elétrica. A Resolução Normativa N° 687/2015 da Aneel permite que pessoas físicas e jurídicas tenham geração própria com sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica até a potência instalada de 5 MW (ANEEL, 2012).

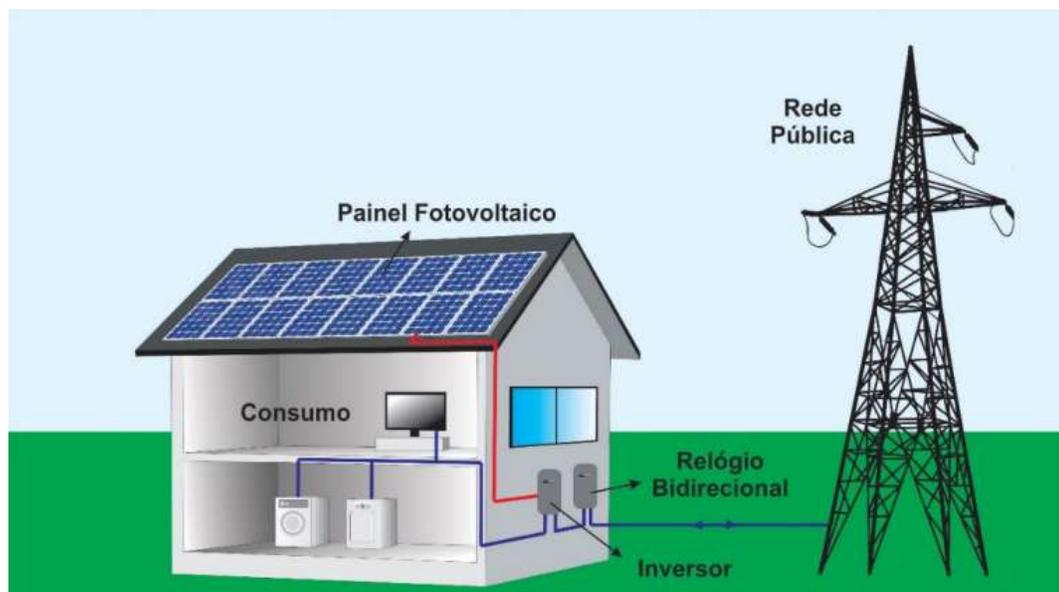


Figura 11. Esquemática de um sistema conectado à rede elétrica (On-grid)

Fonte: ANTUNES (2016)

A Figura 11 ilustra, a título de esclarecimento, como flui a energia em um SFCR:

- Geração: O painel fotovoltaico gera energia elétrica em CC sempre que há incidência de radiação solar. A geração oscila instantaneamente com a variação da luz, já que não há baterias para armazenar a energia.

- O inversor transforma a energia elétrica de C.C. em corrente alternada (C.A), na frequência da rede. Para conseguir efetuar a injeção, o inversor gera uma tensão ligeiramente superior à da rede. Dependendo do modelo, o inversor é dotado de um sistema de monitoração que registra a geração diária, mensal e anual, além de outras informações.

- Consumo direto, também chamado de “consumo próprio”: A fração da energia gerada que é consumida diretamente dentro da unidade sem passar pelos medidores. Qualquer consumo no local da instalação usa preferencialmente a energia gerada no mesmo local.

- Injeção na rede: O excedente da energia gerada é injetado na rede da concessionária nos momentos em que o consumo local é inferior à geração e contabilizado pelo medidor de injeção.

- Consumo bruto da rede: Nos momentos em que o consumo é superior à geração, como à noite, a energia da concessionária entra para completar o consumo total. O medidor de consumo contabiliza esta energia.

- Consumo total: a energia total demandada pelos aparelhos elétricos.

- Consumo líquido: a diferença entre consumo bruto e energia injetada. É a energia realmente fornecida pela concessionária ao consumidor no período de faturamento.

Os sistemas conectados têm uma grande vantagem com relação aos sistemas isolados por não utilizarem baterias e controladores de carga. Isso os torna cerca de 30% mais eficientes e também garante que toda a energia seja utilizada (SIQUEIRA, 2013).

As orientações gerais para a inserção de sistemas fotovoltaicos conectados à rede foram estabelecidas pela resolução N° 482/2012 e atualizadas na resolução N° 687/2015, entretanto, as exigências e as características das conexões desses sistemas com a rede elétrica são estabelecidas pelas empresas concessionárias a partir de normas técnicas nacionais e internacionais.

3.8. AS RESOLUÇÕES NORMATIVAS 482 E 687 DA ANEEL

Um grande avanço para o mercado de energias renováveis no Brasil foi a aprovação da **Resolução Normativa (REN) 482/2012 da ANEEL**, que estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, assim como o sistema de compensação de energia elétrica, prevendo que consumidores

proprietários de pequenas centrais de geração de energia renovável possam fornecer a energia excedente para a rede pública durante o dia, e utiliza-la durante a noite. O foco são unidades geradoras de energia hidráulica, solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, por meio de termelétricas de alta potência (ANEEL, 2012).

Durante o ano de 2015, a REN 482/2012 passou por um processo de revisão, que originou a REN 687/2015. A nova resolução ampliou as possibilidades da micro e minigeração, aumentando o limite de potência, criando mecanismo de compartilhamento de geração, reduzindo prazos para resposta das distribuidoras, entre outros, visando o aperfeiçoamento da REN 482. Essas novas regras para a micro e minigeração começaram a valer a partir de março de 2016.

Com a revisão ocorrida em 2015, o consumidor que instalar o sistema passa a gerar sua própria eletricidade e ainda poderá realizar a injeção do excedente de energia na rede de distribuição e receber créditos em kWh que poderão ser descontados com um prazo de até 60 meses, conforme a REN 687/2015.

As disposições das Resoluções Normativas nº482/2012 e Nº687/2015 estabelecem que a microgeração distribuída de energia elétrica seja classificada com a potência instalada de menor ou igual a 75 kW, e a minigeração de energia com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW (ANEEL, 2015).

Após a publicação da Resolução 687/2015 (Atualização da Resolução 482/2012) houve algumas alterações para a microgeração, sendo elas:

- Estabelecimento das modalidades de autoconsumo¹ e geração compartilhada²;
- Possibilidade de compensação de crédito entre matrizes e filiais;
- Sistemas de geração distribuídas condominiais (pessoa física e jurídica);
- Ampliação da potência máxima de 1 MWp para 5 MWp;
- Ampliação da duração dos créditos de 36 meses para 60 meses;

¹ Caracterizado por unidades consumidoras de titularidade de uma mesma Pessoa Jurídica, incluídas matriz e filial, ou Pessoa Física que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras, dentro da mesma área de concessão ou permissão, nas quais a energia excedente será compensada.

² Caracterizada pela reunião de consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada.

- Redução dos prazos burocráticos entre o interessado e a concessionária;
- Padronização dos formulários de pedido de acesso em todo território nacional;
- Submissão e acompanhamento de novos pedidos via internet a partir de 2017.

3.9.CONTRIBUIÇÃO DA ENERGIA FV NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

A Tabela 1 mostra a contribuição das diversas fontes de energia na composição da Oferta Interna de Energia de 2014 e 2015.

Tabela 1. Oferta Interna de Energia Elétrica (OIEE)

ESPECIFICAÇÃO	GWh			Estrutura (%)	
	2014	2015	15/14 %	2014	2015
HIDRO	373.439	359.743	-3,7	59,8	58,4
BAGAÇO DE CANA	32.303	34.163	5,8	5,2	5,5
EÓLICA	12.210	21.626	77,1	2,0	3,5
SOLAR	16	59	266,4	0,003	0,010
OUTRAS RENOVÁVEIS	13.879	14.864	7,1	2,2	2,4
ÓLEO	31.668	25.662	-19,0	5,1	4,2
GÁS NATURAL	81.075	79.490	-2,0	13,0	12,9
CARVÃO	18.385	19.096	3,9	2,9	3,1
NUCLEAR	15.378	14.734	-4,2	2,5	2,4
OUTRAS NÃO-RENOVÁVEIS	12.125	12.049	-0,6	1,9	2,0
IMPORTAÇÃO	33.775	34.422	1,9	5,4	5,6
TOTAL	624.254	615.908	-1,3	100,0	100,0
<i>Dos quais renováveis</i>	<i>465.623</i>	<i>464.877</i>	<i>-0,2</i>	<i>74,6</i>	<i>75,5</i>

Notas: (a) inclui 52,7 TWh de autoprodutor cativo em 2015 (que não usa a rede básica); (b) Gás industrial inclui gás de alto forno, gás siderúrgico, gás de coqueria, gás de processo, gás de refinaria, enxofre e alcatrão

Fonte: (MME,2016)

De acordo com a Tabela 1 pode-se notar que em 2015 as fontes renováveis chegaram a 75,5% de participação na matriz de OIEE, além disso a maior evolução em percentual foi a fonte solar, no entanto apesar da alta taxa de crescimento, ainda é pouco significativo na matriz. A situação da oferta hidráulica mostrou-se negativa em razão da continuidade do baixo regime de chuvas. (MME,2016).

Em quatro anos, o número de conexões de micro e minigeração de energia superou 7 mil instalações. O número cresceu de 4 conexões registradas em dezembro de 2012 para 7.658 ligações registradas na ANEEL em 25 janeiro de 2017, o que representa uma potência instalada de 75.071,09 kW – suficiente para abastecer 60 mil residências. A fonte mais utilizada pelos consumidores-geradores é a solar com 7.568 adesões, seguida da eólica com 45 instalações (ANEEL, 2017).

O principal problema que ainda limita o uso disseminado de energia solar fotovoltaica é o alto custo de fabricação das camadas de materiais semicondutores necessárias para os sistemas de energia. No entanto, nos últimos anos a tecnologia fotovoltaica está se tornando cada vez mais competitiva, em razão, tanto dos seus custos decrescentes, quanto dos custos crescentes das outras formas de produção de energia, inclusive na importância de fatores que eram anteriormente ignorados, como a questão dos impactos ambientais (PINHO, 2014).

O relatório divulgado pelo Fórum Econômico Mundial (WEF) na edição de 2017, mostra que em 30 países, incluindo o Brasil, as energias solar e eólica já podem ser produzidas gastando-se menos do que com algumas oriundas de combustíveis fósseis, caso do carvão e do gás natural. Enquanto o Custo Nivelado de Energia, LCOE (do inglês “*Levelized Cost of Energy*”), do carvão gira em torno de US\$ 100 o MWh, o preço da energia solar caiu de US\$ 600 o MWh, como era há uma década, para US\$ 300 por MWh há cinco anos e em 2017 já está próximo de US\$ 100.94 o MWh (PORTAL SOLAR, 2017).

3.10. PERSPECTIVAS PARA GERAÇÃO FOTOVOLTAICA

Em um estudo realizado pela EPE (2014), foram apontadas algumas estimativas para comparação dos custos de instalações fotovoltaicas em um intervalo de 10 anos, (entre 2010 e 2020). Nos resultados obtidos, para os seguimentos residencial, comercial e planta centralizada os custos deverão cair, respectivamente, 48,70%, 46,3% e 54,8%. Além disso, a EPE estimou que em 2023, 140 mil consumidores residenciais e 21 mil consumidores comerciais utilizarão a geração fotovoltaica. Isso fará com que 0,33% do consumo residencial e 0,33% do consumo comercial sejam atendidos por tal fonte.

De acordo com a RBS Magazine, (2016) na publicação, A ENERGIA QUE VEM DO SOL, o aumento da geração distribuída tende a provocar impactos negativos sobre o equilíbrio econômico e financeiro das distribuidoras, podendo levar à seguinte lógica: O aumento da GD leva a uma queda do consumo de energia elétrica, o que resulta em um aumento da tarifa da eletricidade, em função do rateamento maior dos custos para um mercado remanescente menor. A elevação da tarifa, por sua vez, aumenta a atratividade da GD, acelerando a difusão desta nova tecnologia.

Martins (2015), ainda afirma que o aumento das instalações da GD pode reduzir o fator de utilização das distribuidoras, caso não seja sugerida nenhuma política econômica, ocasionando

um possível aumento no preço médio de fornecimento da energia elétrica, visto que podem ocorrer déficits nas contas das geradoras, transmissoras e distribuidoras, afetados pelo largo número de microgerações.

O constante aumento da demanda de energia elétrica no Brasil faz com que o país tenha que investir cada vez mais na geração de energia elétrica, onde a procura por fontes alternativas se faz cada vez maior. A matriz elétrica brasileira é composta majoritariamente pela geração hidrelétrica, no entanto devido à dependência de fatores hidrológicos, as usinas hidrelétricas podem ter sua produção variando ano a ano. Em anos nos quais o volume de chuvas é menor, a geração diminui, fazendo com que seja necessário o acionamento das usinas térmicas, que por sua vez, devido ao seu elevado custo, faz com que o valor pago à concessionária aumente. Diante disso, a energia solar apresenta bom potencial no Brasil, apesar de pouco explorada. (TOLMASQUIM, 2016)

3.11. INCENTIVOS PARA A INSERÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Devido ao notável desenvolvimento mundial do setor fotovoltaico, o Brasil, embora ainda com pequena capacidade instalada, tem buscado superar as barreiras econômicas e sociais para a inserção da fonte na matriz brasileira. Nos últimos anos houveram diversos avanços regulatórios, tributários, normativos, entre outros. (EPE, 2014)

O principal ponto são as Resolução da Aneel N°482/2012 e sua atualização N°687/2015, que é um forte estímulo para aquisição desse sistema para geração de energia elétrica conectado à rede. Aumentando a procura pelos painéis, seu custo diminui de maneira diretamente proporcional (SIQUEIRA, 2013).

De acordo com uma nota técnica realizada pela EPE (Empresa de Pesquisa Energética) (2014), é possível observar outros grandes avanços na microgeração de energia:

- Em março de 2014 a ANEEL publicou o Despacho n° 720, eximindo microgeradores que se conectam à rede através de inversores de instalarem o Dispositivo de Seccionamento Visível (DSV), uma vez que os inversores *grid-tie* utilizados já possuem mecanismos de proteção anti-ilhamento, dispensando tal dispositivo antes exigido. Essa alteração possibilita uma economia de aproximadamente R\$ 300,00 na instalação.

- No segundo semestre de 2014 foram incluídos aerogeradores e equipamentos de energia fotovoltaica como itens financiáveis através do Construcard, da CAIXA. Com o cartão, é oferecida a possibilidade à pessoa física adquirir os equipamentos de microgeração e quitar o financiamento em até 240 meses, a uma taxa de juros mensal que varia de 1,4% + TR a 2,33% + TR. Ressalta-se que esta linha de crédito não tem nenhum tipo de incentivo ou subsídio do Governo Federal (EPE, 2014).

- O Instituto Ideal também vem promovendo o desenvolvimento da geração fotovoltaica no país através do lançamento de outras ferramentas de informação ao consumidor. Destacam-se: o *Selo Solar*, que é concedido para empresas ou instituições públicas e privadas que consumirem um valor mínimo anual de eletricidade solar; o *Guia de Microgeradores Fotovoltaicos*, que apresenta informações de forma didática e objetiva para quem pensa em instalar uma pequena unidade de geração fotovoltaica em sua edificação; o *Simulador Solar*, o qual permite o cálculo do dimensionamento da potência de um sistema fotovoltaico (gerador de eletricidade solar) para atender à necessidade energética anual de uma residência, um escritório ou uma indústria, lançado em março e atualizado em agosto de 2013; e o *Mapa de Empresas do Setor Fotovoltaico*, que conta atualmente com mais de 300 empresas que trabalham com energia fotovoltaica no Brasil (EPE, 2014).

- Quanto ao imposto sobre a energia gerada, no dia 05 de abril de 2013, o CONFAZ (Conselho Nacional de Política Fazendária) publicou o Convênio ICMS 6. Este convênio estabelece a incidência do ICMS sobre o consumo bruto de eletricidade proveniente da distribuidora, antes de qualquer compensação da geração própria. Ou seja, o montante de energia elétrica gerado que não é consumido instantaneamente é exportado à rede de distribuição e, ao ser compensado em outra oportunidade, será tributado (EPE, 2014).

No entanto 22 estados já formalizaram a adesão ao convênio ICMS 16/2015 do CONFAZ, conforme ilustra a Figura 12, na qual cada condição é retratada por uma cor, sendo a verde para estados que aderiram e publicaram o decreto estadual efetivando o benefício, o amarelo representa os estados que apenas aderiram e não publicaram o decreto e o vermelho que ainda não aderiram.

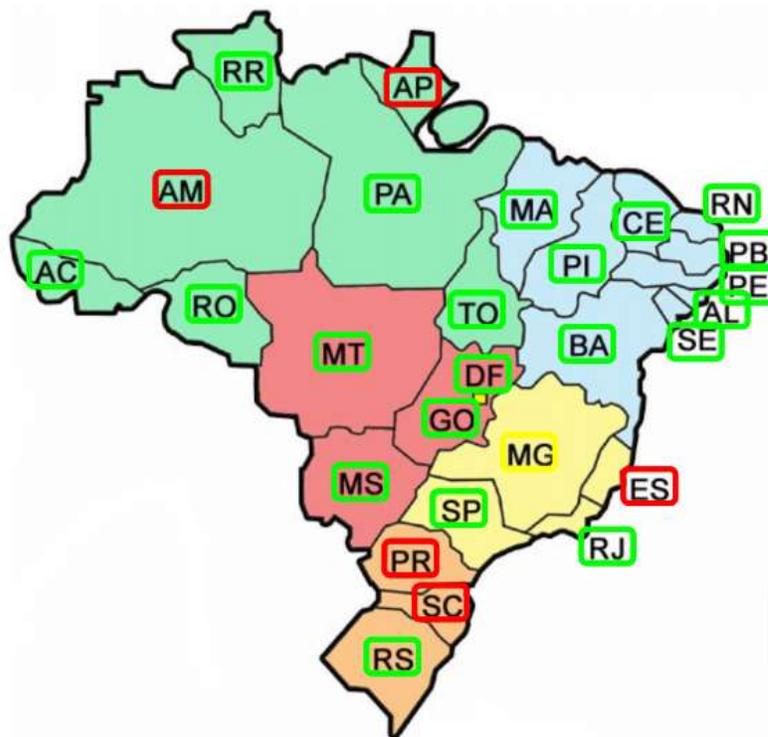


Figura 12. Situação dos Estados em relação ao Convênio ICMS N° 16/2015

Fonte: ABSOLAR (2017)

As cores representadas no gráfico representam as situações de cada estado, ou seja, para a cor verde e amarelo os estados já aderiram ao convênio, faltando para o amarelo apenas a publicação do decreto. Os estados em vermelho ainda não aderiram.

No dia 17 de outubro de 2016 foi anunciado que o estado de Mato Grosso do Sul aderiu ao Convênio, no qual os consumidores residenciais, comerciais e de empreendimentos rurais que investirem na microgeração de energia elétrica renovável, serão beneficiados com a isenção de ICMS sobre o excedente produzido. Dessa forma, evita-se que o consumidor seja tributado pela energia injetada na rede, sendo assim, o mesmo paga somente o imposto sobre a energia consumida, visto que com a geração excedente, acumula créditos junto à distribuidora que podem ser usados como abatimento. Outra proposta do governo consiste na disponibilização de uma linha de crédito do Fundo Constitucional de Financiamento do Centro-Oeste (FCO) para projetos de energia solar fotovoltaica, fator que ainda está sendo estudado pelo governo estadual (SEMADE, 2016).

Em 21 de março de 2014, o CONFAZ atualizou o convênio ICMS 101/97, no qual isenta dos impostos de IPI (Produtos Industrializados), PIS/PASEP e da Cofins os painéis fotovoltaicos e outros componentes dessa modalidade de energia renovável.

De acordo com a Resolução Normativa ANEEL 687/2015 os empreendimentos com múltiplas unidades consumidoras, caracterizado pela utilização da energia elétrica de forma independente, no qual cada fração com uso individualizado constitua uma unidade consumidora e as instalações para atendimento das áreas de uso comum constituam uma unidade consumidora distinta, de responsabilidade do condomínio, da administração ou do proprietário do empreendimento, com microgeração ou minigeração distribuída, e desde que as unidades consumidoras estejam localizadas em uma mesma propriedade ou em propriedades contíguas, sendo vedada a utilização de vias públicas, de passagem aérea ou subterrânea e de propriedades de terceiros não integrantes do empreendimento (ANEEL, 2015).

A Resolução 687/2015 também dá a possibilidade de geração compartilhada, ou seja, consumidores, dentro da mesma área de concessão ou permissão, por meio de consórcio ou cooperativa, composta por pessoa física ou jurídica, que possua unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída em local diferente das unidades consumidoras nas quais a energia excedente será compensada;

O crescimento da fonte solar é explicado, em parte, pela consolidação da indústria fotovoltaica. Segundo Esposito e Fuchs (2013), nos mercados desenvolvidos, os aumentos da demanda e da escala de produção e o desenvolvimento tecnológico viabilizaram a redução de preços e, em decorrência, a expansão do uso dessa fonte de energia limpa. A Figura 13 ilustra a participação das principais empresas fabricantes de painéis fotovoltaicos espalhados pelo mundo (Esposito & Fuchs 2013). EPE (2014), destaca também o papel dos programas de incentivos à fonte, promovidos por países como Alemanha, Austrália, China, Espanha e Estados Unidos.

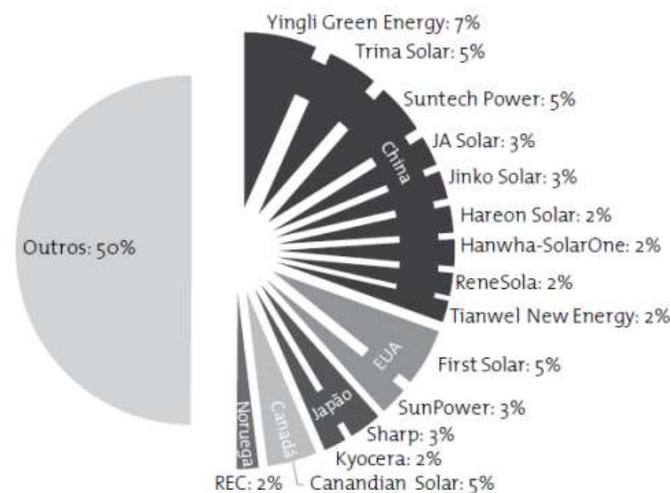


Figura 13. Participação de Mercado das Empresas Fabricantes de Painéis Fotovoltaicos no Mundo.

Fonte: Esposito & Fuchs (2013).

De acordo com dados apresentados na Figura 13, nota-se que a China lidera a fabricação de painéis fotovoltaicos no mundo, sendo assim, nota-se que o Brasil faz o uso de grande quantidade de equipamentos importados, visto que apesar de possuir empresas produtoras de Silício metalúrgico e montadoras das células, ainda não produz silício purificado até o grau solar.

Diante disso, incentivo necessário para o avanço da utilização dessa tecnologia no país consiste na promoção de estratégias para incentivar a nacionalização progressiva dos componentes usados na geração solar. Outra forma de proporcionar benefícios ao Brasil seria a isenção de Imposto de Importação para produtos voltados para a energia solar.

Uma pesquisa recente sobre conhecimento e intenção de aquisição de sistemas de microgeração distribuída de energia renovável mostrou que o grau de conhecimento dos brasileiros sobre o tema é ainda bastante limitado, já que muitos ainda desconhecem os benefícios que um investimento em micro ou minigeração pode trazer ao longo do tempo.

Segundo Bazillian et al. (2013) até recentemente a tecnologia era usualmente associada a desafios tecnológicos e limitações de performance, como falta de escala na indústria, dúvidas sobre a adequação dos materiais de fornecimento, além de problemas de ordem econômica associados aos altos custos do negócio. No entanto, este cenário foi alterado rapidamente acarretando um cenário positivo sobre as perspectivas de competitividade da energia fotovoltaica. Dentre os fatores que contribuíram para essas alterações está a rápida redução de

custos, mudanças estruturais na indústria de energia que resultaram em maior preocupação acerca de segurança energética (dada a abundância desta fonte) e preocupações relacionadas mudanças climáticas. Tal fator contribui substancialmente para a expansão do número de instalações no Brasil, visto que a maioria dos painéis comercializados são importados

De acordo com a Nota Técnica sobre a Inserção da Energia Solar Fotovoltaica no Brasil publicada pela EPE (2014), foi previsto pela IEA (*International Energy Agency*) em termos de perspectivas mundiais, que a capacidade instalada fotovoltaica passe de 27 GWp em 2010, para cerca de 280 GWp em 2020, o que representa expansão média anual de expressivos 26% ao ano neste período. A Figura 14 ilustra o cenário de expansão traçado pela IEA.

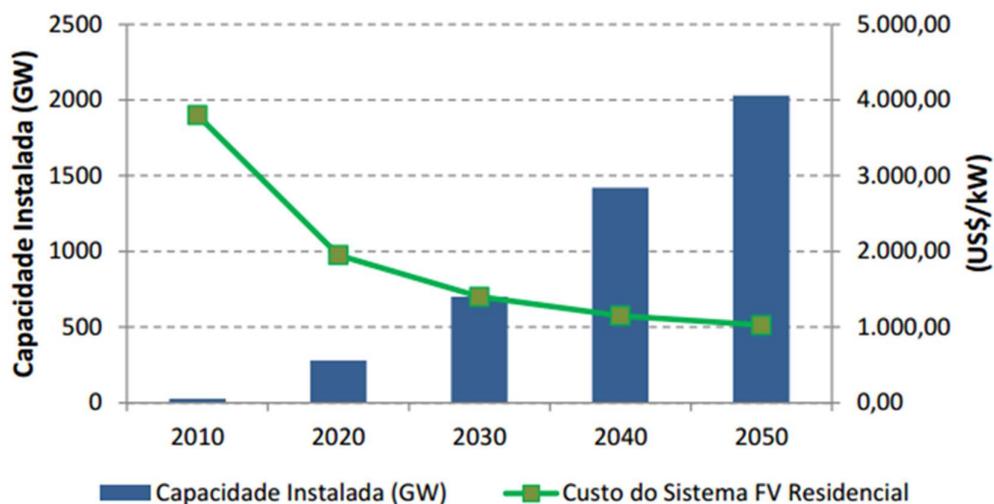


Figura 14. Projeção do Crescimento da capacidade instalada e custos mundiais até 2050

Fonte: EPE (2014)

Conforme divulgado pela EPE (2014) esta expansão do mercado da energia fotovoltaica contribui para prolongar o cenário de redução de custos da fonte verificado nos últimos anos. Atualmente, segundo o site Portal Solar (2017), o custo de um sistema de energia solar fotovoltaico depende principalmente do tamanho e da complexidade da instalação. A grande variação de preço entre os fornecedores é relacionada à qualidade dos componentes utilizados, o tamanho da empresa e a complexidade da instalação. No entanto é possível obter uma projeção dos custos médios de uma instalação de acordo com a potência requerida pelo consumidor, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Faixa de Custos para instalações fotovoltaicas genéricas

	Potência (kWp)	Faixa de Custo (R\$)
Casa Pequena – 2 a 3 pessoas	1,6	R\$12.700 à R\$16.900
Casa Média – 3 a 4 pessoas	2,2	R\$16.000 à R\$20.900
Casa Média – 4 pessoas	3,3	R\$20.000 à R\$26.000
Casa Grande – 4 a 5 pessoas	4,4	R\$26.500 à R\$34.500
Casa Grande – 5 pessoas	5,3	R\$31.000 à R\$40.500
Mansões – mais de 5 pessoas	Até 10	R\$60.000 à R\$72.000

Fonte: PORTAL SOLAR (2017)

3.12. PASSOS PARA A SOLICITAÇÃO DE ACESSO DA CONCESSIONÁRIA

Com a criação da Normativa 482/2012, as concessionárias tiveram que adequar seus sistemas comerciais e revisar normas técnicas, com isso foram criados documentos para auxiliar o contratante na solicitação de acesso, ou seja, cada concessionária das diversas regiões possui seus padrões de projeto, critérios técnicos e operacionais, procedimentos de acesso e o relacionamento operacional, que utilizem fontes alternativas.

A solicitação de acesso é o requerimento formulado pelo acessante (consumidor), e que, uma vez entregue à acessada (distribuidora), implica em prioridade de atendimento, de acordo com a ordem cronológica de protocolo. Nessa solicitação de acesso deve constar o projeto das instalações de conexão (memorial descritivo, localização, arranjo físico, diagramas), além de outros documentos e informações eventualmente solicitados pela distribuidora. As normas da concessionária ENERGISA, vigente no estado de Mato Grosso do Sul onde será instalado o sistema estudado, está exposto no ANEXO I.

A Figura 15 ilustra as etapas e prazos do procedimento de acesso que devem ser seguidos pelo consumidor (destacados em azul) e pela distribuidora (destacados em vermelho).

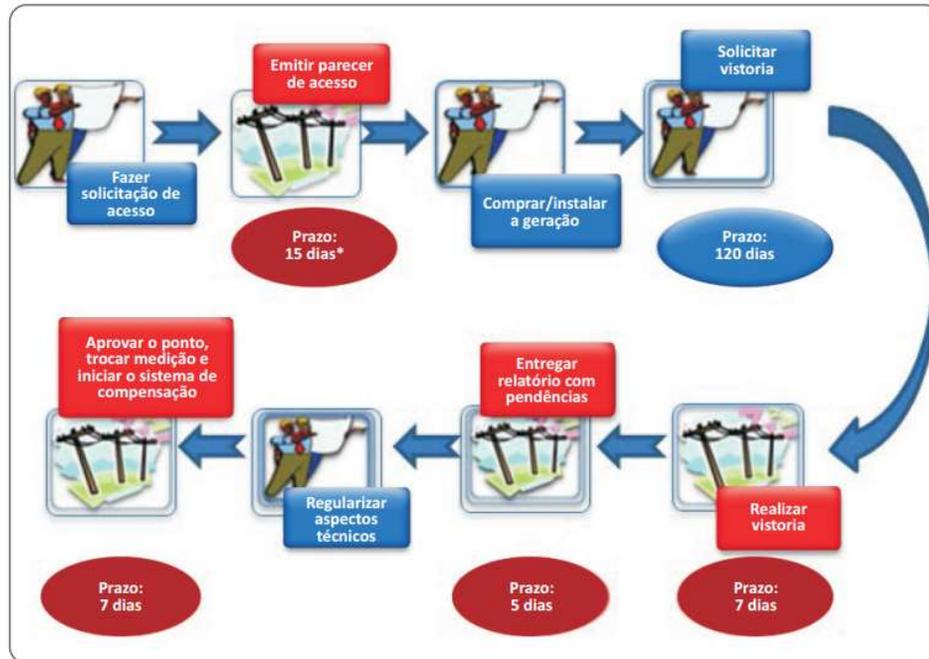


Figura 15. Procedimentos e etapas de acesso

Fonte: ANEEL (2016)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão abordadas todas as informações relativas ao sistema fotovoltaico adquirido e a metodologia empregada na instalação do mesmo, bem como o projeto e instalação da base de sustentação do sistema.

4.1.DESCRICÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

O sistema fotovoltaico objeto deste trabalho tem potência nominal de 4,24 kWp e é composto por 16 painéis de 265Wp cada. O local da instalação foi o estacionamento próximo ao prédio da Faculdade de Engenharia, no campus II da UFGD, com as seguintes coordenadas: latitude: 22° 13' 16" S e longitude 54° 48' 20" W. Os materiais escolhidos para a estrutura de suporte foram o alumínio e aço galvanizado, pois como a instalação seria exposta diretamente às condições meteorológicas, foi escolhido um material que oferecesse maior resistência a ação da chuva e do Sol.

O kit fotovoltaico adquirido pela universidade é composto pelos seguintes itens:

- ✓ 16 Módulos Fotovoltaicos Canadian 265Wp
- ✓ Inversor Grid-tie Monofásico 4,2kW
- ✓ String-box
- ✓ Conjunto de cabos flexíveis necessários para instalação do sistema
- ✓ Conectores MC4 Macho e Fêmea
- ✓ Trilhos para fixação dos painéis
- ✓ Placa de comunicação - VSN300 Wifi Logger Card

4.1.1. MÓDULO FOTOVOLTAICO



Figura 16. Módulo Fotovoltaico *Canadian*, Modelo: *CS6P - 265*

Fonte: *Canadian (2017)*.

As principais características elétricas e físicas fornecidas pelo fabricante dos módulos são:

- Potência máxima ($P_{m\acute{a}x}$): 265W;
- Tensão de máxima potência (V_m): 30,6 V;
- Corrente da máxima potência (I_m): 8,66 A;
- Tensão de circuito aberto (V_{oc}): 37,7 V;
- Corrente do curto-circuito (I_{sc}): 9,23 A;
- Tipo de células: Silício Policristalino;

- Número de células: 60;
- Eficiência do módulo: 16,47%;
- Temperatura de operação: -40°C a 85°C
- Dimensões (mm): 1638 x 982 x 40 (mm);
- Peso: 19,1 Kg;

4.1.2. INVERSOR GRID-TIE MONOFÁSICO



Figura 17. Inversor *ABB* Modelo: PVI -4.2-TL-OUTD

Fonte: ABB (2017)

➤ PARÂMETROS DA ENTRADA

- Potência CC nominal: 4200W
- Tensão máxima ($V_{cc,max}$): 600V
- Faixa de operação MPPT³ ($V_{cc,MPPT}$): 90 - 580V
- Corrente MPPT ($I_{cc,máx}$): 16A
- Número de MPPTs: 02

➤ PARÂMETROS DA SAÍDA:

- Potência Máxima em CA: 4600W
- Corrente MPPT ($I_{ca,máx}$): 20A
- Saída nominal CA: 230Vca - 60Hz
- Conexão CA: Monofásica

➤ EFICIÊNCIA:

- Eficiência máxima: 96,8%

³ - Maximum Power Point Tracking, ou seja, trata-se de um rastreador de ponto máximo de potência.

➤ **DADOS GERAIS:**

- Dimensões: 618mm x 325mm x 222mm
- Peso líquido: 17,5 kg
- Ambiente de operação: Interno ou externo
- Montagem: Fixação no poste
- Temperatura de operação: -25°C a +60°C
- Umidade relativa máxima: 0% a 100%
- Altitude: 2000m
- Topologia: Sem transformador
- Ventilação: Convecção natural
- Garantia: 05 anos contra defeitos de fabricação

4.2.INSTALAÇÃO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A instalação de um sistema fotovoltaico pode apresentar três configurações distintas: isolados ou autônomos, híbridos ou interligados à rede. Há duas regras básicas para qualquer instalação de um módulo solar, são elas: ajustar o ângulo de inclinação correto do módulo com relação ao solo, em função do ângulo da latitude geográfica da localidade onde o sistema será instalado; Sempre que possível, orientar o módulo com sua face voltada para o norte geográfico, maximizando a geração média diária de energia, visto que para telhados com face orientada para Nordeste ou Noroeste, as perdas variam entre 3% e 8%, enquanto para os telhados com orientação Leste ou Oeste, pode haver perda entre 12% e 20%. (PORTAL SOLAR, 2017).

A escolha incorreta da inclinação reduz a captação dos raios solares e compromete a produção de energia elétrica pelo módulo fotovoltaico. No entanto não existe um consenso geral sobre o melhor método de escolher o ângulo de inclinação para a instalação de um módulo, visto que é necessário analisar as características do local a ser instalado, principalmente as estações do ano, pois uma determinada inclinação privilegia a captação no inverno ou no verão (PINHO, 2014)

O posicionamento mais utilizado para os módulos é igual à latitude, no entanto, embora considerado como ideal, não é regra absoluta. Se for desejado maximizar a irradiação em determinada estação ou mês, é possível orientar os coletores ao ângulo que favoreça a aplicação. Destaca-se que, mesmo em regiões próximas à linha do Equador, é desejável que se empregue um ângulo mínimo de 10° nos projetos, de forma a evitar o acúmulo de sujeira sobre módulos, bem como para facilitar a limpeza natural por meio da chuva (PINHO, 2014).

Para o caso estudado, sabendo-se que a latitude local é de aproximadamente 22°, a inclinação utilizada para os painéis será de 40%, ou seja, valor igual à latitude. Em relação ao posicionamento do sistema, o mesmo foi instalado com a face voltada para o Norte, sendo deslocado 10°, acompanhando o posicionamento do pavimento do estacionamento. O sistema foi montado sobre a estrutura projetada como uma cobertura de um estacionamento, sendo ela composta por 3 perfis de aço galvanizado de 3 metros e 4 perfis de alumínio de 8,5 metros, com as dimensões mostradas nas Figuras 18, 19 e 20:



Figura 18. Ilustração da inclinação e deslocamento da estrutura.
Fonte: Própria.

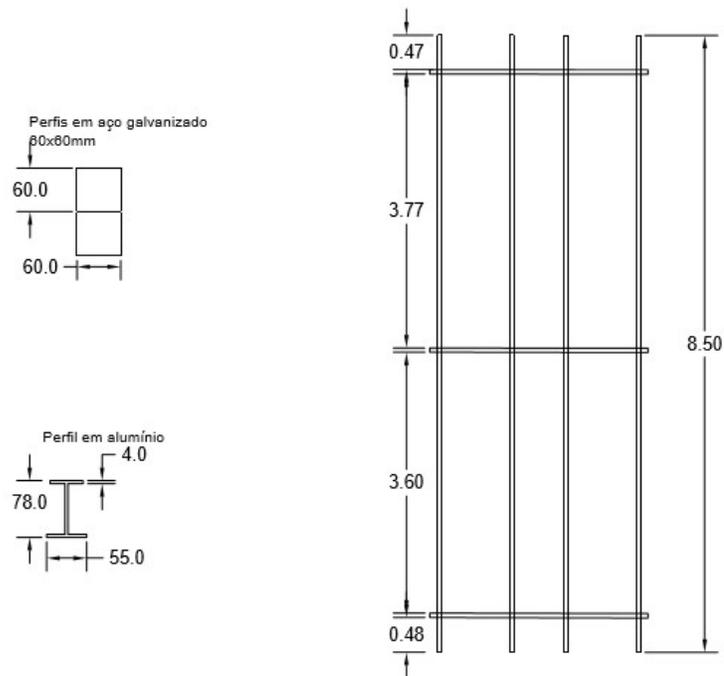


Figura 19. Ilustração com vista superior da estrutura de sustentação

Fonte: DIMAP (2017).

Posteriormente será demonstrada, no Capítulo 6, uma simulação com os cálculos estruturais necessários para certificar a resistência da base de sustentação do sistema fotovoltaico, em relação ao peso dos módulos e forças originadas dos ventos.

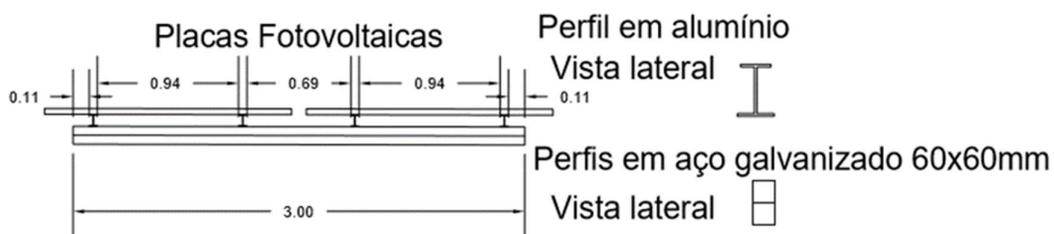


Figura 20. Ilustração com vista lateral da estrutura de sustentação

Fonte: DIMAP (2017).

Os postes de sustentação foram enterrados com cerca de 2 metros de profundidade e chumbados com concreto, garantindo a estabilidade e aterramento do sistema. A disposição das placas foi realizada como ilustrado na Figura 21, podendo abrigar dois veículos tipo passeio e/ou utilitário.

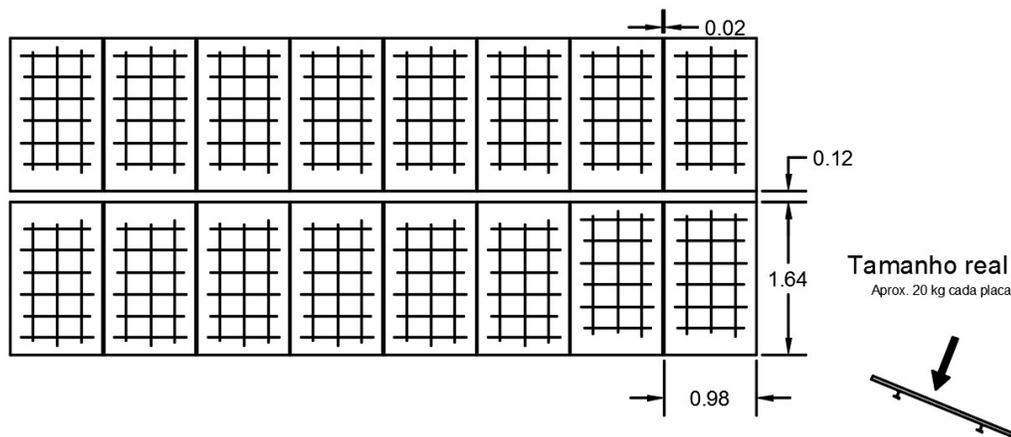


Figura 21. Vista Superior das Placas Fotovoltaicas

Fonte: DIMAP (2017).

A distância indicada entre os painéis é necessária para que haja a fixação dos mesmos através de grampos específicos para tal aplicação, conforme mostrado na Figura 22, sendo que os mesmos foram colocados sobre um trilho, que garante a devida fixação do sistema.



Figura 22. Grampos de fixação intermediária e final para painéis fotovoltaicos

Fonte: Canadian (2017)

O sistema tem aproximadamente 8,5 metros de largura e 3 metros de comprimento, conforme pode ser visto na Figura 23, totalizando uma área por volta de 26 m².



Figura 23. Sistema Completo

Fonte: Própria

4.2.1. Tipos de Ligação

Os módulos fotovoltaicos devem ser interligados a fim de se conseguir aumentar a potência máxima (P_{max}) de um painel fotovoltaico. Nesse sentido, existem duas possibilidades de se realizar a associação de módulos fotovoltaicos, sendo elas as ligações em série ou paralelo, que serão explicadas a seguir.

- *Ligação em série:* A conexão em série é feita do terminal positivo de um módulo ao terminal negativo de outro, e assim por diante. Neste tipo de ligação, a corrente que flui através do circuito é igual em todos os pontos, enquanto que a tensão final é obtida somando a tensão de cada módulo (STEIGLEDER, 2006). A Figura 24 representa esquematicamente a associação em série de n módulos fotovoltaicos.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

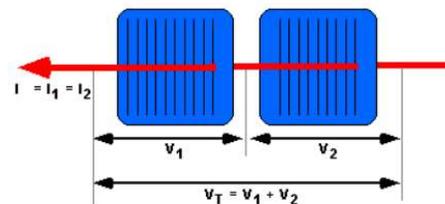


Figura 24. Exemplo de ligação de módulos fotovoltaicos em série.

Fonte: VERA (2004)

- *Ligação em paralelo:* A ligação em paralelo entre módulos é efetuada quando se pretende obter correntes mais elevadas e manter o nível de tensão estipulada do módulo (CARNEIRO, 2010). Na associação em questão, os terminais positivos são interligados entre si, assim como os terminais negativos. Neste tipo de ligação a corrente da associação é igual à soma das correntes que circula por cada um dos módulos, enquanto a tensão é a mesma sobre todos eles (HECKTHEUER, 2001). A Figura 25 ilustra a ligação em paralelo:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

$$V = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

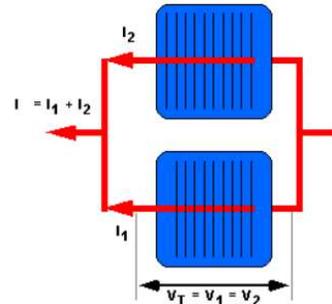


Figura 25. Exemplo de ligação de módulos fotovoltaicos em paralelo.

Fonte: VERA (2004)

Para o sistema em questão, os módulos foram todos ligados em série, visto que por meio dessa conexão a tensão das células são somadas. E quanto maior for a tensão, menor serão as perdas, ou seja, maior será a eficiência do arranjo fotovoltaico (FIGUEIRA, 2014).

O sistema apresenta uma *String Box* com 2 entradas e 2 saídas, no entanto, como o sistema está em série, foi utilizada apenas uma entrada MPPT. A saída desta está ligada diretamente no inversor, que possui duas entradas, sendo novamente utilizada apenas uma delas. Para essa ligação proposta, sabe-se que o cálculo da potência total é obtido através da somatória das potências de cada módulo, sendo assim tem-se:

$$16 \text{ módulos} \times 265 \text{ W} = 4.240 \text{ W}$$

No entanto o limite de potência para cada MPPT é 3000 W, sendo assim o inversor foi configurado em uma condição de paralelismo das duas strings (MPPT 1 + 2), utilizando-se os jumpers inclusos nos acessórios dos painéis. Tal configuração está esquematizada na Figura 26:

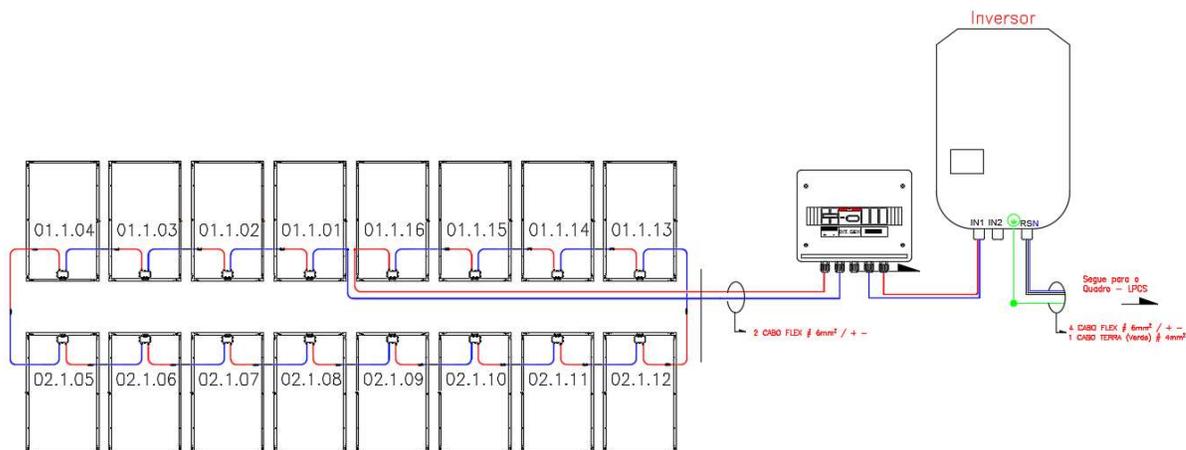


Figura 26. Diagrama Multifilar do Sistema Fotovoltaico

Fonte: Própria

A Figura 27 ilustra o quadro de ar condicionado, localizado no prédio Laboratório (LPCS – Laboratório de Pesquisa em Ciências da Saúde), destino à pesquisa em ciências da saúde, onde o sistema fotovoltaico está conectado, recebendo a energia gerada diariamente.

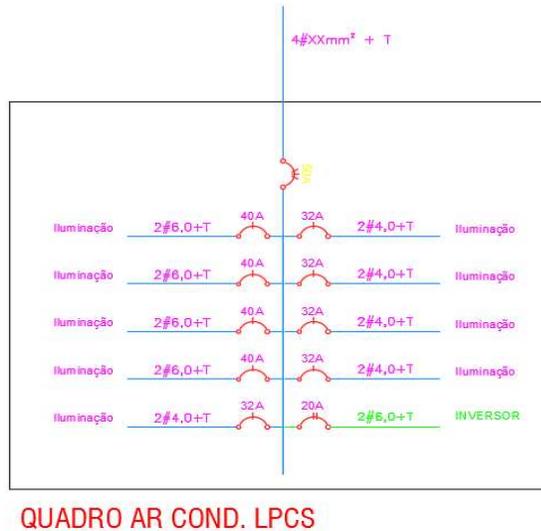


Figura 27. Diagrama do quadro de ar condicionado do LPCS

Fonte: DIMAP (2017).

4.3.CUSTOS DE AQUISIÇÃO DO SISTEMA

É conveniente evidenciar que o sistema FV foi adquirido por meio de um pregão eletrônico, sendo assim não é de conhecimento os valores individuais dos itens, portanto, está

incluso no valor total, todos os produtos, acessórios e serviços de instalação pertinentes ao sistema em questão.

A estrutura que sustenta o sistema fotovoltaico do estacionamento foi confeccionada através do setor de manutenção da UFGD, onde a empresa Rocha Artefatos de Cimento foi contratada para fornecer os postes, os quais foram instalados pela empresa Liderança (Terceirizada). A mesma também realizou os serviços de serralheria e soldagem, e fixação dos pré-moldados, sendo que a execução do serviço foi coordenada pelo Senhor Nelson, o qual informou o custo médio do serviço, no mercado local. O valor pago pelos postes também foi obtido através de contato com a empresa contratada.

A respeito dos perfis em alumínio e aço galvanizado, ambos foram reciclados de uma estufa antiga que estava na fazenda experimental da UFGD, portanto, por questões de análise econômica do projeto, foi realizado um orçamento aproximado a respeito dos itens, em uma loja virtual (ALU-CEK, 2017), na qual o valor do Perfil de Alumínio 35mm x 58mm x 5100mm é de R\$190,00. A escolha do perfil foi realizada com base no material utilizado, sendo essa então a mais próxima encontrada. Diante disso, sabendo que a estrutura é composta com 4 perfis de 8,5 metros e 3 perfis de 3 metros, conclui-se que seriam necessárias 9 barras para construção da estrutura, totalizando o valor de R\$ 1.710,00.



Figura 28. Perfil de Alumínio escolhido para o orçamento.

Fonte: ALU-CEK, (2017)

Vale ressaltar que não foi realizado nenhum teste de resistência nem simulação com o perfil descrito, o mesmo foi utilizado apenas como base de valor para o cálculo econômico.

Diante das informações descritas, elaborou-se a Tabela 3 com todos os custos aproximados, pertinentes à aquisição e instalação do sistema proposto.

Tabela 3. Custos Totais do Sistema FV

<i>Investimento Total</i>				
<i>Itens</i>	<i>Fabricante/Fornecedor</i>	<i>Modelo</i>	<i>Potência Total</i>	<i>Custo Total</i>
Módulo FV	Canadian	CS6P - 265	4,24 kWp	R\$ 30.087,00
Inversor	Renesola	PVI - 4,2	4,2 kW	
Materiais (Serralheria)	Alu-Cek			R\$ 1.710,00
Materiais (Pré-moldado)	Rocha Artefatos de Cimento			R\$ 285,00
Mão de Obra	Liderança			R\$ 1.800,00
Total				R\$ 33.882,00

Fonte: Própria

Como a potência do sistema é extremamente inferior à demanda da universidade não foram considerados custos de projeto.

4.4. TARIFAS DE ENERGIA ELÉTRICA E CLASSIFICAÇÃO DOS CONSUMIDORES

A tarifa de energia para os chamados consumidores cativos, que são a maioria dos consumidores no Brasil, é composta basicamente por três componentes: custos com geração de energia, custos com transporte por meio dos sistemas de transmissão e distribuição, e encargos e impostos. Em média, os custos com geração de energia representam 40% da fatura de energia e referem-se aos contratos de compra de energia com usinas de todos os tipos. (ABRADEE, 2014)

Desde 2014, o Sistema de Bandeiras Tarifárias já vem sendo divulgado nas contas de energia. No entanto desde o dia 1º de maio de 2015 (ANEEL, 2015), entrou em vigor o sistema de bandeiras tarifárias. A iniciativa foi criada pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, por meio da Resolução nº 626, de 30 de setembro de 2014, válida no país inteiro e obrigatória para todas as distribuidoras, inclusive para a ENERGISA. Trata-se de um sistema de cobrança do valor da energia gerada, regulamentada pela ANEEL, que vai indicar mensalmente, por meio de bandeiras se a energia custará um pouco mais ou não, em função do uso mais intenso da geração de energia com usinas termelétricas (ENERGISA, 2015). Há três bandeiras tarifárias, onde suas cores retratam uma analogia ao semáforo, e virão informadas nas

contas de luz com vigência para o mês posterior ao do recebimento. Sendo elas, verde, amarela e vermelha indicarão a seguinte situação (Figura 29):

		
VERDE	AMARELA	VERMELHA
A tarifa não sofre nenhum acréscimo	A tarifa sofre acréscimo de R\$ 0,025 para cada quilowatt-hora (kWh) consumidos;	A tarifa sobre acréscimo de R\$ 0,055 para cada quilowatt-hora kWh consumidos.

Figura 29. Bandeiras Tarifárias no Brasil

Fonte: ENERGISA (2016)

A Figura 30, mostra de uma forma mais simplificada o conceito das bandeiras tarifárias, ou seja, quando há pouca água armazenada, usinas termelétricas podem ser ligadas com o objetivo de poupar água nos reservatórios das usinas hidrelétricas. Com isso, o custo de geração aumenta, pois, as termelétricas são removidas a combustíveis como gás natural, carvão, óleo combustível e diesel (bandeira vermelha). Por outro lado, quando existe muita água armazenada, elas não precisam ser ligadas e o custo de geração é mais baixo (bandeira verde) (ENERGISA, 2015).



Figura 30. Relação entre a geração de energia e as bandeiras tarifárias.

Fonte: ENERGISA (2015)

Nas contas de energia também são incluídos tributos federais, estaduais e municipais. As distribuidoras de energia recolhem e repassam esses tributos às autoridades competentes pela sua cobrança. São eles (ENERGISA, 2015):

- **TRIBUTOS FEDERAIS:** Programas de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS). São alíquotas variáveis, cobrados pela União para manter programas voltados para o trabalhador e para atender a programas sociais do Governo Federal.
- **TRIBUTOS ESTADUAIS:** Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS). Previsto no art. 155 da Constituição Federal de 1988, o imposto incide sobre as operações relativas à circulação de mercadorias e serviços e é de competência de cada estado e do Distrito Federal, por isso as alíquotas são variáveis. A distribuidora tem a obrigação de realizar a cobrança do ICMS diretamente na conta de energia, repassando o valor ao Governo estadual.

Para determinar as tarifas aplicadas, é necessário detalhar os diversos tipos de consumidores para os quais são calculadas as tarifas de energia elétrica. Conforme observado na Tabela 4, eles são divididos de acordo com a finalidade da unidade consumidora (como residência, comércio, indústria, rural, poder público, iluminação pública e serviço público) e por nível de tensão no qual é feito o atendimento, como alta tensão (> 69 kV), média tensão (entre 1 kV e 69 kV), baixa tensão (< 1 kV) (ANEEL, 2011).

Tabela 4. Classificação dos consumidores de energia elétrica

Grupo A – Alta Tensão	Grupo B – Baixa Tensão
A1 - superior 230 kV;	B1 – Residencial;
A2 - de 88 kV a 138 kV;	B2 – Rural;
A3 – 69 kV;	B3 – Demais Classes;
A3a – de 30 kV a 44 kV;	B4 – Iluminação pública.
A4 – de 2,3 kV a 25 kV;	
AS – Inferior a 2,3 kV (Subterrâneo).	

Fonte: Adaptada da ANEEL (2011).

Dessa forma, a estrutura das tarifas de fornecimento de energia elétrica pode ser desenhada para abranger cada tipo unidade de consumidora classificada pelo nível de tensão de atendimento e pela sua finalidade (FUGIMOTO, 2010). Além disso, no Brasil, as tarifas do

Grupo A são constituídas em três modalidades de fornecimento, conforme mostrado na Figura 31:



Figura 31. Estrutura do Sistema Tarifário

Fonte: AUGUSTO (2010)

- **CONVENCIONAL (GRUPO B):** não há segmentação por período do dia, ou ao longo do ano, para o consumo e a demanda, ou seja, o valor da tarifa aplicável ao consumo e para demanda é único ao longo de todo o período. Essa estrutura tarifária é aplicável às unidades consumidoras atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV, desde que a Demanda Contratada seja inferior a 300 kW e não tenha havido opção pela estrutura HORO-SAZONAL.

Unidades consumidoras com valor de Demanda Contratada igual ou superior a 300 kW são enquadradas, obrigatoriamente, na estrutura HORO-SAZONAL. As unidades consumidoras horo-sazonais atendidas em tensão de fornecimento inferior a 69 kV, podem optar entre as modalidades VERDE e AZUL (PROCEL, 2011).

- **HORO-SAZONAL VERDE:** a segmentação por período do dia e ao longo do ano, com tarifas diferenciadas, ocorre apenas para o consumo, portanto a tarifa de demanda é única ao longo de todo o período.
- **HORO-SAZONAL AZUL:** Existe a diferenciação por período do dia, tanto para a demanda, quanto para o consumo, com tarifas específicas para cada um dos períodos. No caso do consumo existe, ainda, diferenciação ao longo do ano. Quando a tensão de fornecimento for igual ou superior a 69 kV, ou quando a unidade consumidora

horosazonal não houver exercido qualquer opção, a estrutura aplicável será, obrigatoriamente, a HOROSAZONAL AZUL.

A UFGD possui tensão contratada de 13,8 kV, portanto se enquadra no grupo A4, pertencendo então à modalidade tarifária horária Verde. Além disso, corresponde à classe de poder público com administração pública federal.



Figura 32. Dados do Faturamento da UFGD

Fonte: DIPROJ, 2017

Além disso, para os cálculos e simulação será considerada apenas a tarifa para a modalidade fora de ponta (corresponde à 20% do valor da tarifa cobrada no período de ponta), pois compreende o período de geração fotovoltaica, e como a mesma é extremamente inferior ao consumo, não há injeção na rede que poderia justificar a economia de energia no horário de ponta.

Sendo assim, para obter o valor do custo específico do kWh no período fora de ponta deve-se realizar o rateio da fatura de energia, visando identificar a participação do consumo na ponta e fora de ponta e consequentemente os custos equivalentes à cada período, considerando as tarifas cobradas pela concessionária. Tal relação pode ser obtida a partir da equação (1):

$$Custo\ Específico_{fp} * Consumo_{fp} + CustoEspecífico_p * Consumo_p = Fatura\ total \quad (1)$$

Onde:

$Custo\ Específico_{fp}$ - Corresponde ao custo específico do consumo de energia elétrica no horário fora de ponta (R\$);

$Custo\ Específico_p$ - Corresponde ao custo específico do consumo de energia elétrica no horário de ponta (R\$);

$Consumo_{fp}$ - Corresponde ao consumo de energia elétrica, em kWh, na UFGD no horário fora de ponta (kWh);

$Consumo_p$ - Corresponde ao consumo de energia elétrica, em kWh, na UFGD no horário de ponta (kWh).

Sabendo que há uma relação entre as tarifas dos dois horários, é possível igualar a mesma para os custos específicos através da utilização das equações 2 e 3, ou seja:

$$\frac{Tarifa_p}{Tarifa_{fp}} = \frac{R\$ 1,4747}{R\$ 0,30632} = 4,8142 \quad (2)$$

Portanto,

$$\frac{CustoEspecífico_p}{Custo\ Específico_{fp}} = 4,8142 \quad (3)$$

Isolando uma das incógnitas e substituindo na equação 1 é possível obter os valores para os custos específicos, conforme mostra a Tabela 5 abaixo:

Tabela 5. Rateio do custo específico da energia elétrica paga pela UFGD

Mês	Consumo [kWh]			Valor (R\$)	Custo específico (R\$/kWh)	Rateio do custo específico por período	
	Ponta	Fora Ponta	Total	Total	Total	HFP	HP
nov/15	34.090	279.297	313.387	R\$ 195.375,59	R\$ 0,62	0,4406	2,1212
dez/15	25.678	225.398	251.076	R\$ 168.211,06	R\$ 0,67	0,4820	2,3202
jan/16	15.949	186.982	202.931	R\$ 138.304,67	R\$ 0,68	0,5243	2,5243
fev/16	36.099	299.151	335.250	R\$ 224.199,70	R\$ 0,67	0,4741	2,2822
mar/16	35.109	280.526	315.635	R\$ 216.430,95	R\$ 0,69	0,4814	2,3178
abr/16	38.565	334.499	373.064	R\$ 232.330,47	R\$ 0,62	0,4467	2,1503
mai/16	24.210	187.561	211.771	R\$ 136.352,71	R\$ 0,64	0,4484	2,1585
jun/16	21.979	182.486	204.465	R\$ 135.575,88	R\$ 0,66	0,4703	2,2640
jul/16	27.754	214.458	242.212	R\$ 166.915,02	R\$ 0,69	0,4795	2,3086
ago/16	32.211	236.770	268.981	R\$ 174.230,57	R\$ 0,65	0,4446	2,1406
set/16	26.695	229.937	256.632	R\$ 170.238,42	R\$ 0,66	0,4749	2,2864
out/16	26.766	246.767	273.533	R\$ 174.107,17	R\$ 0,64	0,4635	2,2315
					Média	0,4692	2,2588

Fonte: Própria

Sendo assim, o custo específico médio da energia adquirida pela universidade no período fora de ponta é dado por:

$$\text{Custo específico médio}_{fp} = \text{R\$ } 0,4692 / \text{kWh}$$

4.5. ESTUDO DO RECURSO FV E CÁLCULO TEÓRICO DA GERAÇÃO

Pereira et al (2006) ressaltam que as tendências regionais mostram, num período de 10 anos estudados, que o Centro-Oeste é a segunda região do país com maior disponibilidade energética para radiação solar com 5,7 kWh/m², inferior apenas ao potencial da região Nordeste com 5,9 kWh/m². Abaixo do Centro-Oeste tem-se o Sudeste com 5,6 kWh/m², em seguida a região Norte 5,5 kWh/m² e Sul com 5,2 kWh/m², valores médios no plano inclinado.

Para dar maior embasamento à pesquisa, utilizou-se as informações obtidas do Atlas Solarimétrico do Brasil (TIBA et al, 2000), para a região de Dourados, no qual pode ser observado que o estado do Mato Grosso do Sul possui uma insolação média de 6 horas por dia (Figura 33). A partir da análise das Figuras 33 e 34 percebe-se que a região onde foi instalado o sistema fotovoltaico, estado do MS, cidade de Dourados, está dentro da faixa de média de radiação solar global da ordem de 5,7 kWh/m². dia, portanto o local é favorável para tais sistemas, visto que o valor só é inferior ao encontrado na região Nordeste.

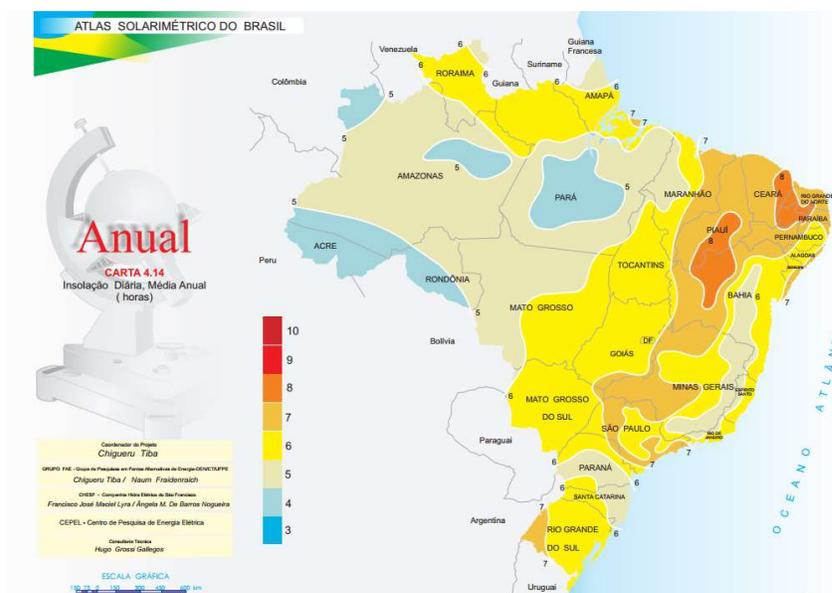


Figura 33. Média anual da insolação diária em horas do Brasil

Fonte: TIBA et al, (2000).



Figura 34. Média da radiação global (kWh/m²)

Fonte: PEREIRA *et al.* (2006)

A Figura 34 apresenta o potencial anual médio de energia solar para o período de 10 anos em que este estudo se baseia, ou seja, trata-se da quantidade de energia por unidade de área.

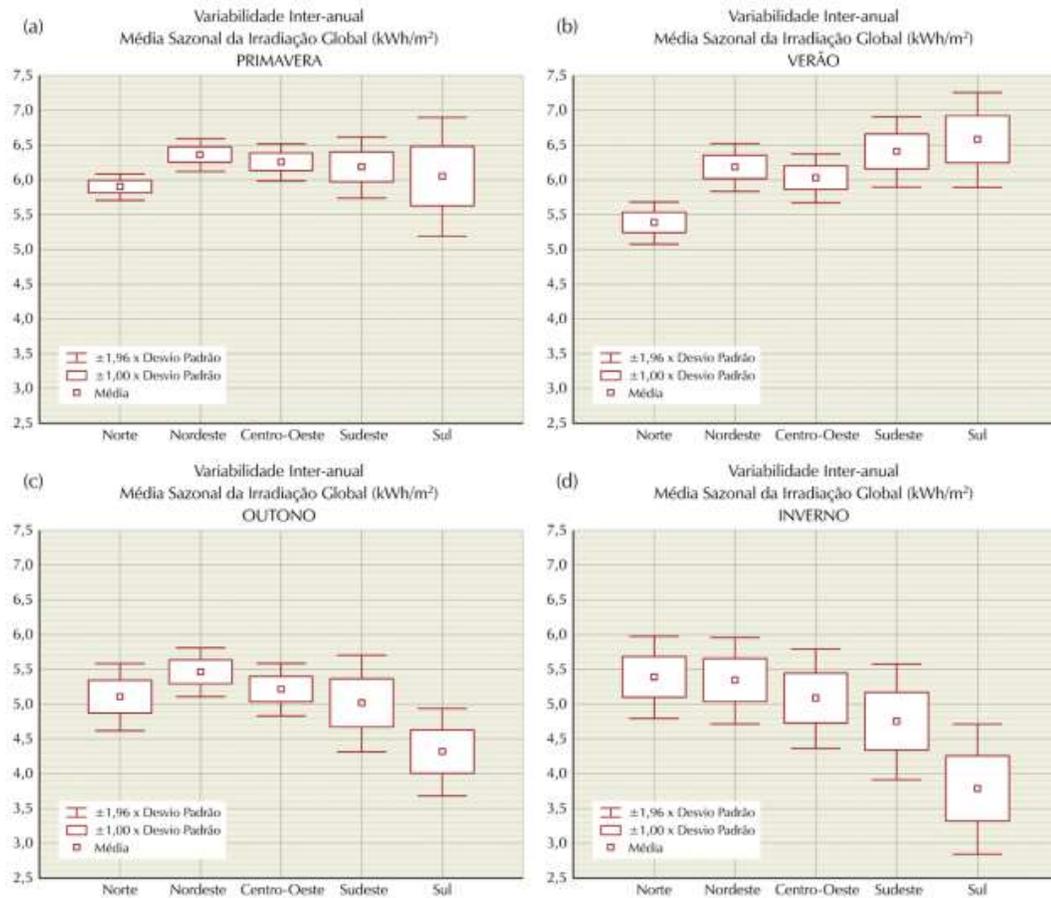


Figura 35. Variabilidade dos valores médios sazonais da irradiação solar para as cinco regiões geográficas do Brasil em kWh/ m²

Fonte: PEREIRA *et al.* (2006)

Os gráficos da Figura 35 mostram as variabilidades interanuais das médias sazonais do total diário de irradiação solar global incidente na superfície para cada uma das regiões brasileiras. Nessas figuras, os quadrados centrais representam as médias no período, os quadrados maiores externos, as dispersões de um desvio-padrão (nível de confiança de 67%), e as barras verticais as dispersões de 2 desvios-padrão (nível de confiança de 95%) (PEREIRA *et al.*, 2006). É possível notar que durante a primavera o nível de insolação é maior quando comparada com o verão. Tal diferença pode ocorrer devido ao regime de chuvas, fazendo com que o céu fique encoberto, diminuindo a incidência dos raios solares.

As estações do ano com maior variabilidade para a Região Centro-Oeste são Inverno e Outono, ou seja, apresentam maior dispersão medida pela distância entre as barras nas figuras. Isso se deve ao aumento da nebulosidade

provocando uma redução acentuada da irradiação solar na superfície durante alguns dias consecutivos (PEREIRA *et al*, 2006).

As estimativas de irradiação solar utilizadas para o estudo foram fornecidas pelo Projeto SWERA (*Solar and Wind Energy Resource Assessment*) o qual tem foco principal em promover o levantamento de uma base de dados visando auxiliar no planejamento, desenvolvimento, incentivos e iniciativas de políticas públicas e privadas para a área de energias renováveis. A base de dados levantada é compatível com sistemas de informação geográfica (SIG) e, portanto, pode ser facilmente empregada em estudos de viabilidade econômica no desenvolvimento de projetos. (PEREIRA *et al*, 2006). A base de dados e produtos gerados pelo Projeto SWERA estão disponíveis para acesso público em <http://swera.unep.net/>.

Para a seleção dos dados, utiliza-se a seguinte classificação "TILT INPE High Resolution" para radiação incidente sobre superfície inclinada em ângulo igual à latitude local, e voltada para o Equador, cujos dados de irradiação são fornecidos pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Sendo assim, através do mapa de radiação disponibilizado pelo site do Projeto SWERA é possível acessar os dados locais para a UFGD, conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6. Irradiação solar diária média mensal sobre plano inclinado [kWh/m².dia]

Irradiação solar diária média mensal sobre plano inclinado [kWh/m ² .dia]	
Janeiro	6,422
Fevereiro	6,357
Março	5,701
Abril	6,350
Mai	5,315
Junho	4,313
Julho	4,683
Agosto	5,582
Setembro	5,570
Outubro	6,742
Novembro	6,742
Dezembro	6,121
Média Anual	5,825

Fonte: SWERA (2006)

Portando com os dados presentes na Tabela 6 pode-se calcular a previsão da energia produzida pelo sistema fotovoltaico em um período determinado, sendo essa medida em kWh e calculada através da seguinte equação (4) (COSTA, 2010):

$$E_p = A * \eta_{módulo} * I_{solar} * \eta_{inversor} * n^{\circ} \text{ dias} \quad (4)$$

Sendo:

E_p – Energia produzida pelo gerador fotovoltaico, em kWh.

A – Área do módulo fotovoltaico, em m².

I_{solar} – Irradiação solar diária média mensal sobre plano inclinado [kWh/m².dia].

$\eta_{inversor}$ – Rendimento do inversor.

$\eta_{módulo}$ – Rendimento do módulo.

$n^{\circ} \text{ dias}$ – Número de dias do mês em questão.

Como já foi dito anteriormente, o sistema que foi instalado possui potência nominal de 4,24 kWp. Tem-se também a irradiação solar média de Dourados para um plano inclinado de 22°, tomando os rendimentos do inversor e do módulo, fornecido pelo fabricante, respectivamente, de 97,6% e 16,47%. Além disso, tem-se que a área do módulo é de aproximadamente 1,60 m². Portanto é possível calcular a previsão da geração de energia elétrica a cada mês. A Tabela 7 apresenta os valores calculados usando esta metodologia.

Tabela 7. Resultados teóricos para geração fotovoltaica

Mês	Dias	Área total dos módulos (m²)	Irradiação Solar (kWh/m².dia)	Rendimento do inversor	Rendimento do módulo	Energia produzida (kWh)
Janeiro	31	25,60	5,10	0,9680	0,1647	645,27
Fevereiro	28	25,60	5,12	0,9680	0,1647	585,11
Março	31	25,60	5,37	0,9680	0,1647	679,43
Abril	30	25,60	5,03	0,9680	0,1647	615,88
Mai	31	25,60	5,02	0,9680	0,1647	635,15
Junho	30	25,60	4,54	0,9680	0,1647	555,89
Julho	31	25,60	4,94	0,9680	0,1647	625,03
Agosto	31	25,60	4,83	0,9680	0,1647	611,11
Setembro	30	25,60	4,36	0,9680	0,1647	533,85
Outubro	31	25,60	5,38	0,9680	0,1647	680,70
Novembro	30	25,60	5,57	0,9680	0,1647	682,00
Dezembro	31	25,60	5,15	0,9680	0,1647	651,60
Média Mensal	30	25,60	5,03	0,9680	0,1647	616,39
TOTAL						7501,00

Fonte: Própria

Vale ressaltar que os cálculos não consideram perdas relevantes aos sistemas fotovoltaicos, que serão discutidas no Tópico 5.3.2.

5. SIMULAÇÃO ENERGÉTICA E FINANCEIRA

Diversos sistemas energéticos são dimensionados e simulados através de softwares que permitem descrever, explicar e prever o comportamento dos mesmos em variadas condições de configuração. A maioria destas aplicações simulam o sistemas através de uma descrição matemática das condições de operação dos seus componentes e do fluxo de energia no sistema, e frequentemente incorporam também uma análise financeira da configuração do sistema. Estas aplicações são úteis para avaliar uma determinada planta, e permitir observar os parâmetros de operação avaliando antecipadamente o seu desempenho energético, econômico e ambiental.

Para o trabalho em questão, a simulação do sistema fotovoltaico foi realizada utilizando o software PVSol, que será descrito no Tópico 5.1.

5.1.SOFTWARE PV*SOL

O Software PVSol trata-se de uma ferramenta utilizada para simulação de geração de energia elétrica através de painéis fotovoltaicos, possibilitando uma simulação dinâmica com visualização 3D e capacidade de análise com sombreamento detalhado de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica ou montado integrado no telhado, com sistemas de armazenamento.

O software foi desenvolvido em 1998 pela empresa *Valentin Software GmbH*, localizada em Berlin, na Alemanha, e anualmente sofre atualizações. A empresa conta com cerca de 30 colaboradores e distribui seus produtos em mais de 50 países, principalmente para a Europa e Estados Unidos. Atualmente o PVSol está entre os softwares mais utilizados para tais simulações, por permitir que o usuário faça o planejamento, interpretação, simulação dinâmica e cálculo de suprimento de energia solar em diversos sistemas, no qual o mesmo insere todos os dados dos componentes do sistema a ser simulado. A biblioteca que o programa disponibiliza conta com centenas de fabricantes e modelos de painéis, inversores e bateriais, além de fornecer dados de tarifas de diversas concessionárias do mundo.

Ao iniciar a simulação é permitida a inserção de todos os dados do cliente e do projeto em questão. Posteriormente, acessando a base de dados é possível escolher todos os itens que irão compor o sistema, conforme ilustra a Figura 36:



Figura 36. Base de dados do software

Fonte: PVSOL (2015)

A condução do usuário ao longo do processo é feita a partir de uma barra de progresso, sempre realizada da direita para a esquerda, contando com 8 etapas, conforme a Figura 37:



Figura 37. Barra inicial PV*Sol

Fonte: PVSOL (2015)

As etapas são organizadas da seguinte forma:

1. Bem-vindo (Informações do programa)
2. Dados do projeto e cadastro do cliente
3. Tipo de sistema e dados climáticos.
4. Modelagem 3D
5. Cabeamento
6. Diagrama do circuito
7. Análise financeira
8. Resultados
9. Relatórios

As principais vantagens na utilização do software são:

- Visualização no modo 3D, fornecendo informações detalhadas sobre sombras lançadas em várias horas do dia e ano. Tal função é possível pois o programa permite que o usuário insira prédios, recortes no telhado, vegetação, antenas e outros objetos para o cálculo do sombreamento durante todas as estações do ano através do rastreamento do caminho do sol e, conseqüentemente, sobre as prováveis reduções de rendimento.
- Os resultados são apresentados em um relatório, que permite a definição de saídas, custos, indicadores de desempenho e economia de combustível de CO₂ para uma ampla gama de variáveis e otimizar o desempenho do sistema solar. O relatório de síntese produz representações gráficas precisas de rendimentos, razão de desempenho, fração solar e temperatura do módulo. Podendo ser exportados para PDF, Excel ou Word.
- O menu orienta o usuário na elaboração do projeto, passo a passo, numa seqüência lógica e simples;
- A simulação usa dados climáticos precisos e detalhados para milhares de locais de dados climáticos globais;
- Análise financeira e gráfica do desempenho do sistema mostram os resultados de fluxo de caixa anual que podem ser exportados para uma planilha e o programa inclui retorno sobre o investimento, amortização (retorno) e subsídios de energia (fixos e por kWh) com fatores de inflação.

5.2.INFORMAÇÕES INICIAIS DO PROJETO

Neste tópico será abordada a descrição da metodologia utilizada nas simulações, os dados e itens inseridos no software de acordo com o sistema adquirido e as condições locais. O software possui uma ampla biblioteca, na qual foi possível escolher a cidade de Dourados e automaticamente o mesmo busca todos os dados climáticos necessários da cidade.

5.2.1. MODULO FOTOVOLTAICO

Ao entrar na biblioteca do fabricante Canadian, já possuía o modelo do módulo utilizado, sendo assim não foi necessário inserir nenhuma informação do mesmo, conforme apresentado na Tabela 8.

Tabela 8. Dados de entrada do modelo de módulo utilizado

Módulo FV: CS6P-265P	
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Dados elétricos	
Tipo de célula	Si policristalino
Número de células	60
Número de diodos de by-pass	3
Dados mecânicos	
Largura	982 mm
Alto	1638 mm
Profundidade	40 mm
Largura do Quadro	35 mm
Peso	19,2 kg
Característica. U/I- STC	
Tensão na MPP	30,5 V
Corrente na MPP	8,68 A
Potência nominal	265 W
Tensão do circuito aberto	37,7 V
Corrente de curto-circuito (STC)	9,23 A
Características U/I com carga parcial – Dados do Fabricante	
Irradiação	250 W/m ²
Tensão no MPP com carga parcial	30,5 V
Corrente no MPP com carga parcial	2,15 A
Tensão do circuito aberto com carga parcial	35,7 V
Corrente de curto-circuito com carga parcial	2,31 A
Outros	
Coefficiente de tensão	-130 mV/K
Coefficiente de corrente	6 mA/K
Coefficiente de potência	-0,43 %/K
Fator de correção angular	95 %
Tensão máxima do sistema	1000 V
Capacidade térmica espec.	920 J/(kg.K)
Coefficiente de absorção	70 %
Coefficiente de emissão	85 %

Fonte: PVSol (2015)

5.2.2. INVERSOR

Já para o inversor, na biblioteca da fabricante ABB havia pouco modelos disponíveis. No entanto, o software permite que o usuário configure um novo modelo, sendo assim foram inseridos todos os dados necessários, de acordo com o catálogo da ABB, Tabela 9.

Tabela 9. Dados de entrada do inversor utilizado

Inversor: PVI-4.2-TL-OUTD	
Fabricante	ABB
Dados elétricos	
Potência nom. DC	4,37 kW
Potência nom. AC	4,2 kW
Potência DC máx.	4,37 kW
Potência AC máx.	4,2 kW
Consumo Stand-by	1 W
Consumo noturno	1 W
Injeção na rede a partir de	10 W
Corrente máx. de entrada	32 A
Tensão máxima de entrada	680 V
Tensão nominal DC	360 V
Número de fases de injeção	1
Número de entradas DC	2
Modificação do grau de rendimentos em caso de desvio da tensão de entrada e da tensão nominal	0,2 %/100V
Seguidor MPP	
Faixa de potência < 20% da potência nominal	99,9 %
Faixa de potência > 20% da potência nominal	100 %
Número de seguidores MPP	2
Corrente máxima de entrada por seguidor MPP	7,5 A
Potência de entrada máxima recomendada por MPP	3 kW
Tensão MPP min.	140 V
Tensão MPP máx.	530 V

Fonte: PVSol (2015)

5.2.3. INSTALAÇÃO

Além de gerar energia elétrica para suprimento de parte do consumo da universidade, outro intuito do sistema consiste na cobertura de um estacionamento, sendo assim é necessário configurá-lo fisicamente para obter tal função. Portanto foi inserido no software a a distribuição das placas, que gerou a Figura 38:



Figura 38. Vista superior do Estacionamento Fotovoltaico gerada pelo PVSol

Fonte: PVSol (2015)

A distância horizontal das placas é necessária para que ocorra sua correta fixação. Já a distância longitudinal, foi adotada para promover uma melhor circulação do ar entre as placas, favorecendo seu resfriamento, já que a eficiência na conversão da energia dos raios solares em energia elétrica está relacionada com a temperatura de operação das placas fotovoltaicas (GNOATTO, 2003).

Ainda sobre a disposição física do sistema, foram inseridos todas as informações do local onde foi instalado, ou seja, prédios, ruas, árvores, para que pudesse ser feito o estudo do sombreamento total ao longo do ano e suas possíveis perdas. A figura 39 mostra a simulação em 3D do local e a Figura 40 dá destaque ao estacionamento fotovoltaico, onde a legenda representa:

- 1- Prédio da Engenharia Agrícola
- 2- Bloco D
- 3- Prédio da FAEN (Faculdade de Engenharia)
- 4- Prédio da Engenharia de Energia
- 5- Centro de Laboratórios FINEP (Financiadora de Estudos e Projetos)
- 6- NUPACE (Núcleo de Pesquisas em Administração, Contabilidade e Economia)
- 7- LAPCA (Laboratório de Pesquisa em Agroenergia e Conservação Ambiental)
- 8- LPCS (Laboratório de Pesquisa em Ciências da Saúde)
- 9- Estacionamento Fotovoltaico

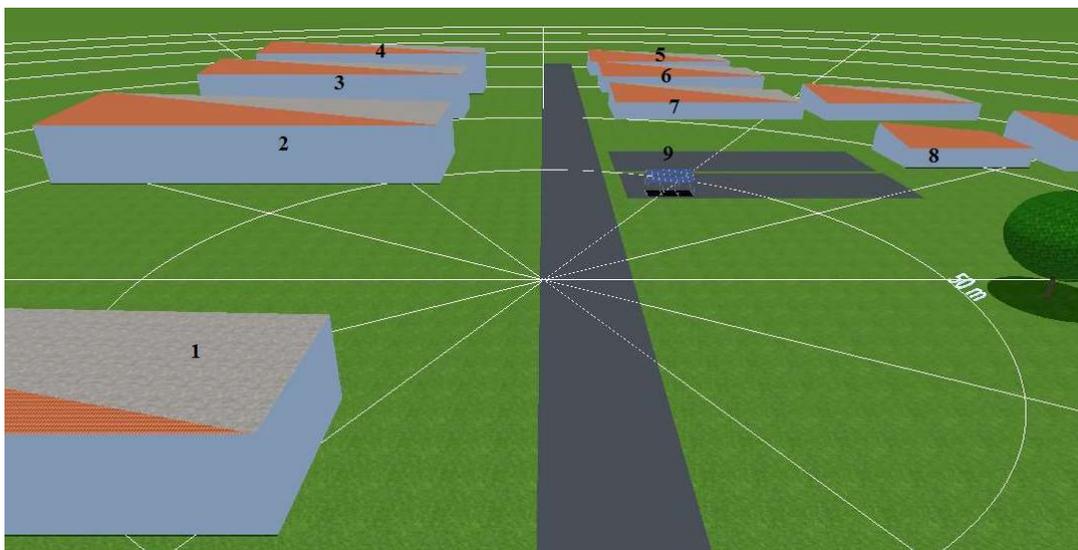


Figura 39. Disposição do sistema, prédios e árvore nas proximidades, gerada pelo PVSol
Fonte: PVSol (2015)

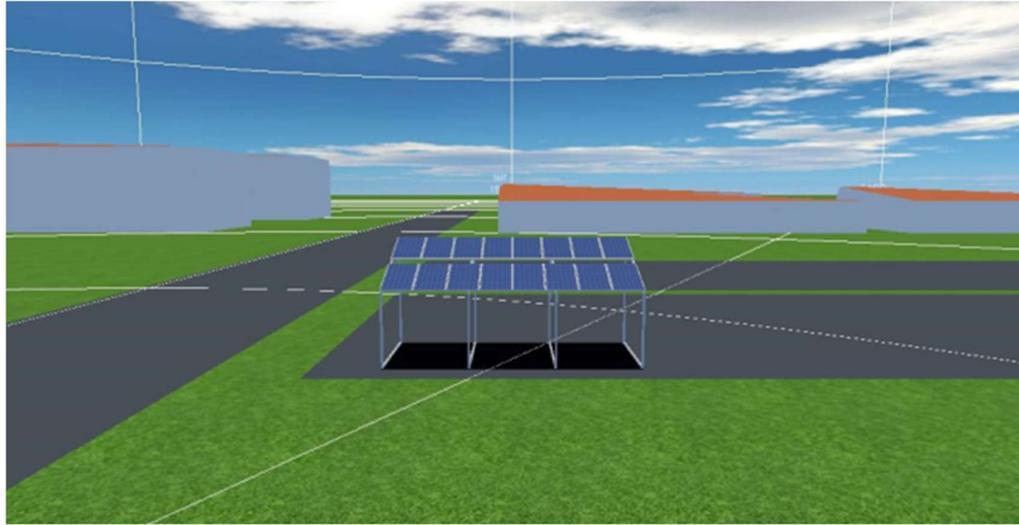


Figura 40. Visualização do sistema em 3D, gerada pelo PVSol

Fonte: PVSol (2015)

Seguem os demais dados inseridos (Tabela 10), relacionados à instalação do sistema, sendo que a orientação dos módulos foi medida através de um bússola no local da instalação.

Tabela 10. Dados iniciais da instalação

Disposição da Instalação	
Dados climáticos	Dourados
Tipo de instalação	Sistema FV conectado à rede - Injeção total na rede
Gerador FV - Superfície fotovoltaica	
Nome	Superfície fotovoltaica 1
Módulos FV*	16 x CS6P-265P
Fabricante	Canadian Solar Inc.
Inclinação dos módulos FV	22 °
Orientação	Norte (10 °)
Situação de montagem	Paralelo à cobertura
Superfície geradora FV	25,7 m ²
Perdas devido Sombreamento	0 %

Fonte: PVSol (2015)

O software PVSol também recebeu as informações de ligação dos painéis com o inversor e sua ligação com a rede elétrica da UFGD, assim como as informações de cabeamento e conexão MPP 1+2, como ilustrado na Tabela 11.

Tabela 11. Configuração da Instalação

Superfície Fotovoltaica	Superfície fotovoltaica 1
Inversor 1*	1 x PVI - 4.2 - TL - OUTD
Fabricante	ABB
Conexão	MPP 1 + 2 : 1 x 16
Rede Corrente Alternada	
Número de fases	1
Tensão da rede	230V
Fator de defasagem	+/- 1
Perdas Totais devido ao cabeamento	3,55 %

Fonte: PVSol (2015)

Outras informações adicionais também foram inseridas, como seção do cabeamento utilizado, no caso 6 mm², disjuntor utilizado (K32A) e as distâncias entre os painéis e o inversor (2 metros), e do inversor até o quadro de distribuição (80 metros). Além disso, para realizar a simulação completa da instalação, foram inseridos também os valores da tarifa e custos totais do projeto.

5.3.DADOS DE SAÍDA

Após o preenchimento de todos as informações necessárias, foi possível obter os dados de saída do sistema, apresentando via relatório, o desfecho do estudo de caso com os dados elétricos, ambientais e financeiros da instalação.

5.3.1. RESULTADOS DA SIMULAÇÃO

O esquema elétrico do sistema foi gerado pelo software, constando os módulos, inversor e painel de distribuição, conforme mostra a Figura 41.

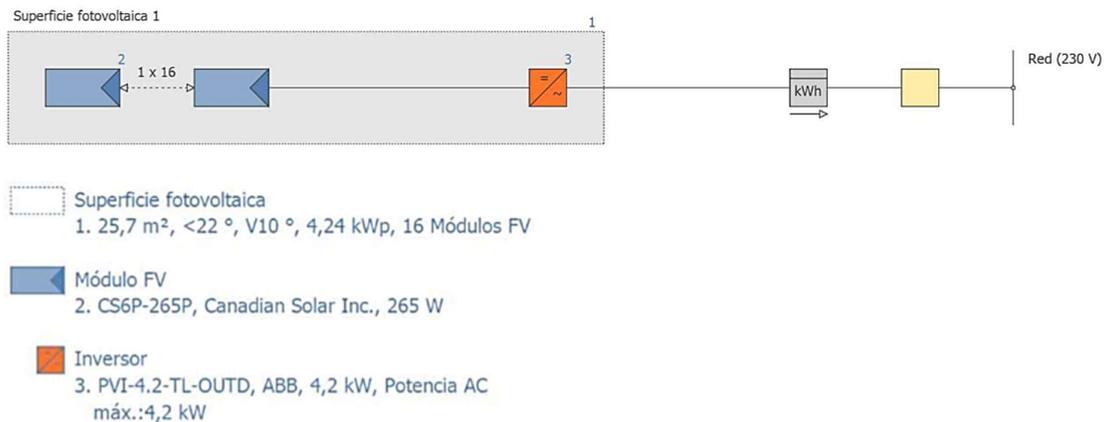


Figura 41. Diagrama elétrico gerado pelo Software

Fonte: PVSol (2015)

Por meio da análise de sombreamento na simulação em 3D foi possível notar que não há perdas, visto que os obstáculos não geram sombras nos painéis ao longo do dia, Figura 42.

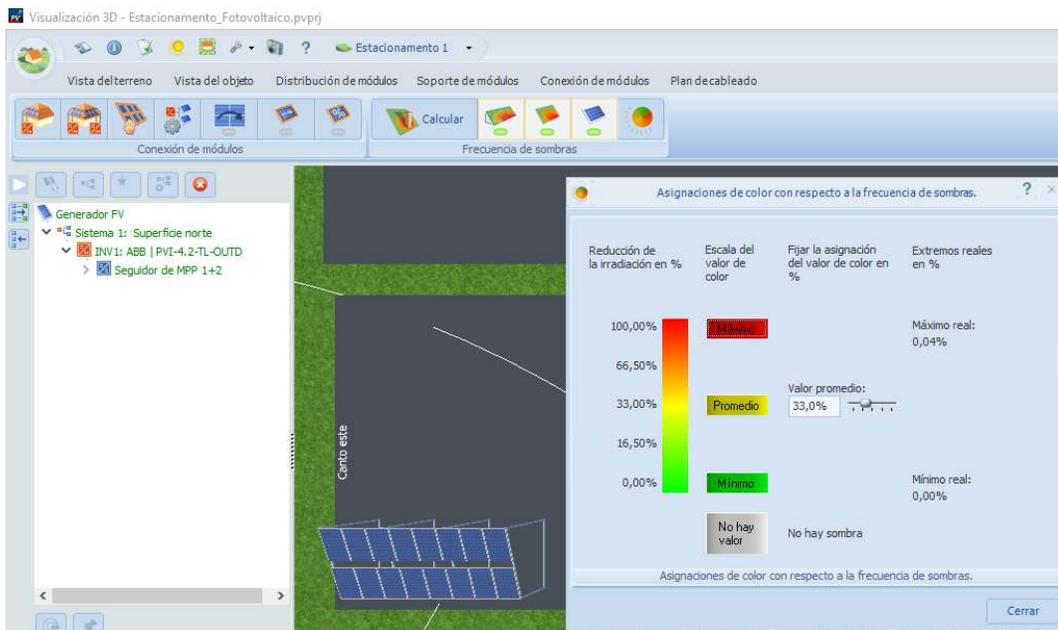


Figura 42. Resultados do sombreamento percentual nas placas, gerada pelo PVSol

Fonte: PVSol (2015)

Por fim, os resultados gerais da instalação foram obtidos, conforme ilustra a Tabela 12 a seguir:

Tabela 12. Dados resultantes da instalação gerados pelo software

Instalação FV	
Potencia gerador FV	4,2 kWp
Rendimento anual específico	1.422,90 kWh/kWp
Coefficiente de rendimento da instalação	79,1 %
Injeção na rede	6.090 kWh/ano
Injeção na rede no primeiro ano	5.958 kWh/ano
Consumo Stand-by	5 kWh/ano
Emissões de CO ₂ evitadas	3.651 kg / ano

Fonte: PVSol (2015)

Além dos dados anuais mostrados na Tabela 12, o software gerou um gráfico, vide Figura 43, da geração média mensal do sistema, utilizando os valores de insolação e radiação contidos na biblioteca do mesmo.

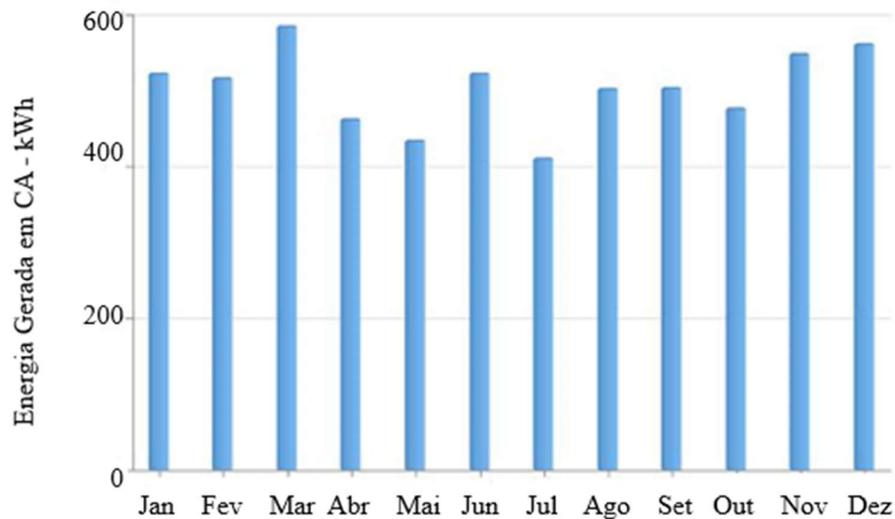


Figura 43. Geração mensal de energia elétrica através da simulação

Fonte: PVSol (2015)

Na Tabela 13 constam os valores utilizados pelo software para construção do gráfico da Figura 43. Vale resaltar que os dados solarimétricos utilizados pelo PVSol foram retirados do software METEONORM, o qual possui milhares de estações meteorológicas espalhadas em toda a superfície da Terra e 5 satélites geoestacionários. (METEONORM, 2015)

Tabela 13. Comparação dos resultados da Energia Gerada em todos os meses do ano, na análise teórica e por simulação no PVSol

Mês	Energia Gerada (PV SOL) - kWh	Energia Gerada (TEÓRICA) - kWh
Janeiro	522	648,89
Fevereiro	515	588,40
Março	584	683,25
Abril	461	619,34
Mai	433	638,71
Junho	522	559,01
Julho	410	628,54
Agosto	501	614,54
Setembro	503	536,85
Outubro	475	684,52
Novembro	547	685,83
Dezembro	560	655,25
Total	6033	7543,12

Fonte: PVSol (2015)

É notável a grande divergência entre os valores obtidos para a geração média mensal teoricamente e através da simulação, a qual atingiu um valor aproximadamente 30% menor que os cálculos teóricos. Basicamente, essa diferença pode ser explicada devido aos valores diferentes de radiação utilizados nos dois métodos, visto que o software possui uma biblioteca própria (METEONORM, 2015). E os cálculos teóricos, foram realizados com os dados disponibilizados pelo SWERA, PEREIRA *et al.* (2006), conforme apresentado no Tópico 4.5.

5.3.2. BALANÇO ENERGÉTICO DA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

Através do balanço energético gerado pelo software é possível detalhar o rendimento total do sistema, com a geração total e suas perdas até a injeção na rede, como detalhado na Tabela 14.

Tabela 14. Balanço energético gerado pelo software

Radiação global horizontal	1.744,1 kWh/m²	
Desvio do espectro padrão	-17,44 kWh/m ²	-1,00 %
Orientação e Inclinação da superfície de módulos	73,34 kWh/m ²	4,25 %
Sombreado	0,00 kWh/m ²	0,00 %
Reflexão da superfície do módulo	-76,65 kWh/m ²	-4,26 %
Irradiação global sobre módulo	1.723,3 kWh/m²	
	1.723,3 kWh/m ²	
	x 25,74 m ²	
	= 44.351,9 kWh	
Irradiação global fotovoltaica	44.351,9 kWh	
Sujeiras	0,00 kWh	0,00 %
Conversão (eficiência nominal de módulo 16,46 %)	-37.052,17 kWh	-83,54 %
Energia fotovoltaica nominal	7.299,7 kWh	
Rendimento com luz débil	-127,68 kWh	-1,75 %
Desvio da temperatura nominal do módulo	-603,28 kWh	-8,41 %
Diodos	-32,84 kWh	-0,50 %
Inadequação (dados do fabricante)	-130,72 kWh	-2,00 %
Inadequação (Conexão/sombreado)	0,00 kWh	0,00 %
Cond. de linha	-0,44 kWh	-0,01 %
Energia na entrada do inversor	6.404,7 kWh	
Desvio da tensão de entrada da tensão nominal	-9,80 kWh	-0,15 %
Conversão DC/AC	-248,22 kWh	-3,88 %
Consumo Stand-by	-4,52 kWh	-0,07 %
Linha de CA	-113,55 kWh	-1,85 %
Energia fotovoltaica (CA) menos consumo no modo de espera	6.028,6 kWh	
Injeção na rede	6.033,1 kWh	

Fonte: PVSol (2015)

Através da análise do balanço energético gerado pelo software é possível notar inúmeras perdas pertinentes ao sistema, dentre as quais pode-se destacar:

- Perdas por Aumento de Temperatura - A corrente produzida nas células fotovoltaicas é diretamente proporcional à irradiância solar e é afetada pela temperatura da célula. Portanto com o aumento da temperatura, a tensão e a potência gerada diminuem. Sendo assim, para minimizar tais perdas os módulos fotovoltaicos devem ser montados de forma a dissipar calor facilmente, ou seja, com boa ventilação (MANCILHA, 2013)

- Perdas no Inversor – Mesmo inversores modernos, que apresentam elevada eficiência em uma grande faixa de operação, vide Figura 44, apresentam baixo rendimento quando operam com baixa relação entre a potência na saída do inversor e sua potência nominal, ambas em corrente alternada, sendo que o rendimento é a relação entre a potência na saída do inversor em CA e a potência na entrada em CC. Além disso também há perdas em condução, visto que o inversor é o ponto que interliga os módulos FV à rede elétrica, em outras palavras, é através dele que o fluxo de potência é transmitido para a rede (ALMEIDA, 2012; URBANETZ, 2010).

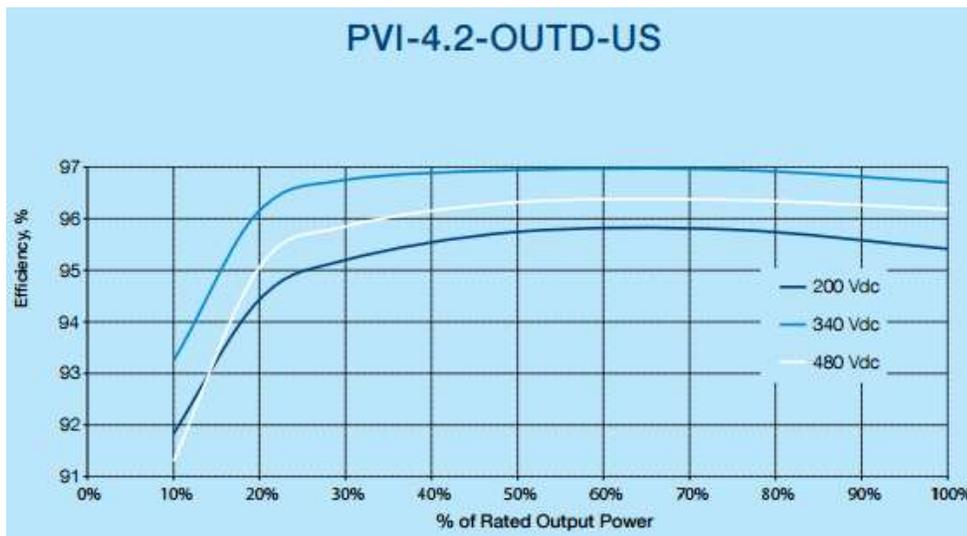


Figura 44. Curva característica da eficiência do inversor

Fonte: ABB (2017)

- Eficiência do Módulo - Essa inevitável perda é originada devido às características físicas dos materiais que compõe a célula e limitam sua eficiência. Pesquisas são realizadas constantemente visando à melhora da pureza dos semicondutores e de seu processo de dopagem, visando torná-las mais eficientes, aumentando sua competitividade (VITTI; ALVARES, 2006).

- Linha de Corrente Alternada – Tais perdas ocorrem no cabeamento do inversor ao quadro de distribuição, devido à distância entre os mesmos, conforme citado no Tópico 5.2.3.

Em relação às perdas por acúmulo de sujeira e sombreamento, as mesmas foram desconsideradas, visto que não há nenhum obstáculo próximo à instalação que cause sombreamento, a ventilação sobre os módulos é favorável. Sua inclinação facilita a autolimpeza dos módulos e em sua área de localização não é excessivo o acúmulo de poeira, pois não há nenhuma atividade ao redor que favoreça o mesmo.

5.3.3. ANÁLISE DE RENTABILIDADE

Utilizando os dados de geração, os custos de aquisição do sistema fotovoltaico e a tarifa da energia comprada da concessionária, foi possível obter a análise financeira do sistema, mostrada na Tabela 15.

Tabela 15. Análise econômica do Estacionamento FV

Análises financeira	
Dados do sistema	
Injeção na rede no primeiro ano (incluso degradação do módulo)	5.983kWh
Potência do gerador FV	4,24 kWp
Início da operação do sistema	05/03/2016
Período de consideração	25 anos
Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	0,57 %
Fluxo de Caixa acumulado	2.040,30 R\$
Prazo de amortização	19,1 anos
Vista Geral de Pagamento	
Investimento específica	33.882,00 R\$
Custo do investimento	7.991,0417 R\$/kWp
Subsídios	0,00 R\$
Custos anuais	0,00 R\$/ano
Remuneração total no primeiro ano	R\$ 2.807,36

Fonte: PVSol (2015)

A Figura 45 retrata o fluxo de caixa do projeto, no qual o tempo de retorno do investimento ocorreu no vigésimo ano.

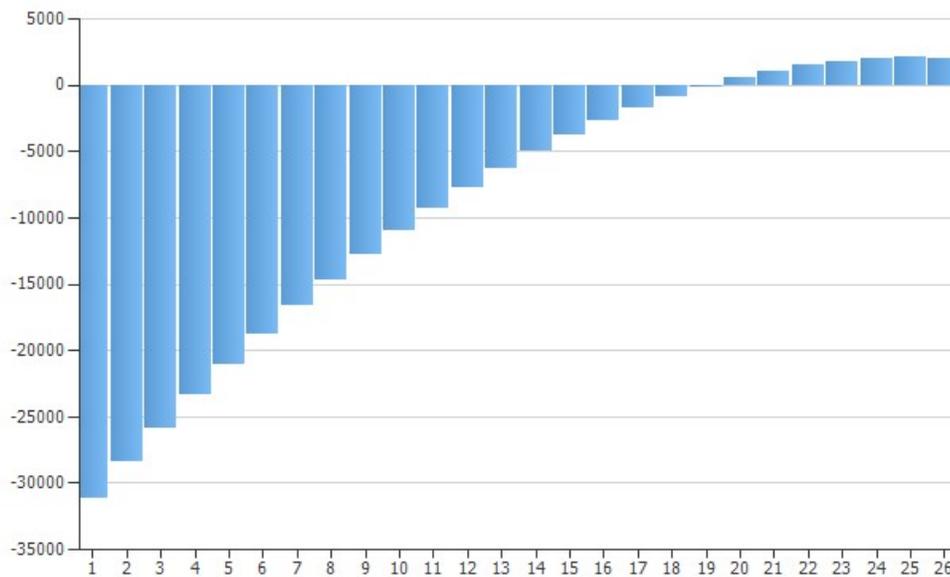


Figura 45. Fluxo de Caixa do Investimento Total

Fonte: PVSol (2015)

Por meio dos resultados obtidos é possível verificar a atratividade dos sistemas fotovoltaicos, por mais que o retorno não tenha sido alcançado em um curto período de tempo isso pode ser justificado pelo período em que o sistema fotovoltaico foi comprado pela universidade, visto que foi através do Edital do Pregão Eletrônico N° 23 no ano de 2015 e conforme ilustra a Figura 46, houve uma redução acumulada de aproximadamente 40% dos custos dos sistemas fotovoltaicos desde então.

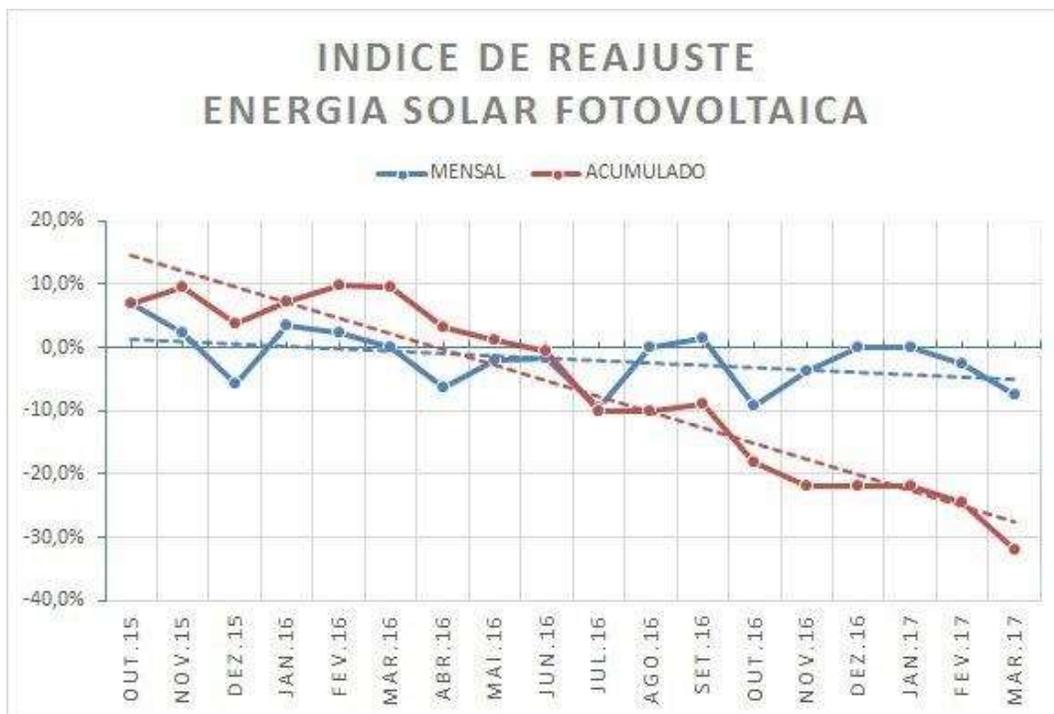


Figura 46. Índice de Reajuste dos itens Fotovoltaicos

Fonte: SICES BRASIL (2017)

Além disso, por se tratar das tarifas para a Universidade, a qual compreende a classe de poder público, os valores cobrados são reduzidos. Diante disso será realizado um estudo de caso simplificado para uma residência qualquer, na qual será utilizado o valor atual de um sistema fotovoltaico e um custo específico para um cliente residencial, conforme será mostrado adiante.

5.4. ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA UMA RESIDÊNCIA

Conforme levantamento da Aneel, 2016, a grande maioria (72%) das instalações fotovoltaicas ocorreram no grupo tarifário residencial. Isso mostra o desenvolvimento do setor nos últimos anos, reflexo principalmente do aumento das tarifas de energia e pelo fato da tarifa residencial ser a mais elevada dentre as classes tarifárias (CASTRO, 2016).

Para uma comparação mais direta com uma instalação residencial, foi realizada uma simulação de um sistema fotovoltaico com um valor próximo de potência e com custos atualizados dos produtos e valor de tarifa da energia paga para a concessionária por consumidores residenciais. Além disso, foi considerada a instalação no telhado da residência, o que reduz gastos com estrutura e mão de obra. Portanto, foi utilizada uma residência real,

localizada na cidade de Dourados com consumo mensal de 548 kWh e valor da fatura de R\$435,32, conforme pode ser observada na Figura 48. Entretanto, para o correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico o ideal é a utilização de um histórico longo de consumo para que não seja realizado um sobre ou sub dimensionamento do sistema. No caso de um sobredimensionamento, não é possível vender a energia excedente à concessionária além de aumentar o custo do sistema e no caso de um subdimensionamento, parte da demanda de energia local não seria atendida (PORTAL SOLAR, 2017)

Mês	Vencimento	Consumo Faturado kWh	Valor (R\$)
03/2017	13/03/2017	548	435,32

Dados da U.C.				Dados do Fornecimento				Dados da Leitura			
Classe: RESIDENCIAL				Tensão nominal ou contratada (V): 127 / 220				Leitura Atual: 06/03/2017			
SubClasse: RESIDENCIAL				Limites adequados de tensão (V): 117 a 133 / 202 a 231				Leitura Anterior: 02/02/2017			
Tipo de Tarifa: CONVENCIONAL				Equipamento: R47840				Próxima Leitura: 03/04/2017			
Grupo de Tensão: B				Perdas de Transformações (%): 0				Número de Dias Faturados: 32			
Fase: BIFÁSICO								Origem da Leitura Atual: Lida			
Local: 8010								Consumo médio diário: 17,13			
Etapa / Livro / Seq: 02 / B1001X / 142								Média dos 12 últimos meses: 422,33			
Perdas do Ramal:								Emissão: 06/03/2017			
Fator de Potência:								Apresentação: 06/03/2017			

Dados de Medição	Unidade Medida	Leitura Atual	Leitura Anterior	Constante de Faturamento	Medido	Faturado	Dados do Faturamento	Faturado	Tarifa (R\$)	Total (R\$)	
Consumo	kWh	20026	19478	1,0000	548,00	548,00	Consumo	548	0,490250	273,58	
							Adic. Band Amarela			1,78	
							Icms			97,88	
							Cofins			15,05	
							Pis			3,27	
							Subtotal (R\$)			391,56	
Tributos		Base de Cálculo (R\$)		Alíquota (%)		Valor (R\$)					
ICMS		391,56		25,00000		97,88					
COFINS		391,56		3,84360		15,05					
PIS		391,56		0,83450		3,27					
							Subtotal (R\$)			43,76	
Composição do Preço (Art. 21, Resolução 195/2005)											
Distribuição	Enr. Setorial	Energia	Transmissão	Tributos	Soma (R\$)						
78,26	55,70	131,79	8,57	116,20	391,26						
							Lançamentos e Serviços				
							Contr. Custo de Serv. P. Pública				43,76
							Subtotal (R\$)				43,76

Figura 47. Fatura residencial - ENERGISA

Fonte: Própria

A partir de tais informações é possível obter o valor do custo específico da energia através da seguinte equação 5:

$$\text{Custo específico da energia} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{Valor da Fatura (R\$)}}{\text{Consumo Total (kWh)}} \quad (5)$$

$$\text{Custo específico da energia} \left(\frac{\text{R\$}}{\text{kWh}} \right) = \frac{\text{R\$ } 435,32}{548 \text{ kWh}}$$

$$\text{Custo específico da energia} = 0,7944 \text{ R\$/kWh}$$

Para fins de cálculos será considerada que a instalação na residência possui as mesmas configurações da instalação no estacionamento FV, ou seja, inclinação de 40°, face dos módulos voltados para o norte geográfico com deslocamento de 10°, todos os módulos estão em série,

na configuração MPP 1 + 2 e considerou-se as mesmas perdas, tanto em relação às distâncias entre os itens do sistema, quanto por sombreamento.

Similar a análise do estacionamento FV, para o caso em questão será utilizado como base a geração obtida através da simulação no software PVSol. Sendo assim, nota-se que a mesma é suficiente para atender aproximadamente todo o consumo, visto que de o sistema possui uma geração média mensal por volta de 570 kWh (Dado este obtido através geração anual dividido pelo número de meses no ano), portanto utiliza-se o custo específico, o qual considera o valor final do kWh economizado, já que os tributos são aplicados proporcionalmente à Fatura.

Em relação aos custos dos sistemas, tomou-se como referência os valores comercializados pela SICES Brasil para o fornecimento dos produtos. Sendo assim realizou-se um orçamento com a empresa Mega Soft, a qual prestou o serviço de instalação na UFGD. Como o sistema instalado possui potência de 4,24 kWp, será usado como base o sistema de 4,68 kWp que consta na Figura 49, sendo que o kit é composto por módulos, inversor, String box, estruturas, cabos e conectores necessários para a instalação.



Figura 48. Preços de sistemas fotovoltaicos atualizados

Fonte: SICES BRASIL (2017)

Os preços podem sofrer variação ao longo do tempo, devido a variações cambiais e dependendo das condições de pagamento. Neste estudo, não considerou-se nenhuma taxa de juros para casos de financiamentos, visto que o sistema foi adquirido com forma de pagamento à vista pela universidade.

Além disso, para o caso residencial é necessário adicionar o custo do projeto. Para isso, segundo Ribeiro (2012) para a aquisição de projetos considera-se o valor de 0,75 R\$/Watt, portanto para o caso em questão, com um potência de 4,68 kW tem-se que o valor de projeto é de R\$3.510,00.

Deve-se notar que nesses cálculos não foram considerados os valores relativos à margens de lucro presentes quando há intermediários, sendo considerado que o comprador final adquira os produtos diretamente dos fornecedores, adquirindo os componentes sem o auxílio de uma empresa especializada.

Em contato com a Empresa Informática Mega Soft, (MEGASOFT, 2017) foi informado que o valor para a instalação de um sistema fotovoltaico desse porte, no telhado da casa é de R\$1.200,00, no qual devem ser somados valores referentes aos materiais necessários, como mostra a Tabela 16:

Tabela 16. Materiais necessários para a instalação e seus respectivos custos.

Itens	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Parafusos e porcas para calha	62 unidades	0,25	15,50
Abraçadeira plástica 6"x 4mm	140 unidades	0,17	23,80
Locação de Andaime Tubular	6 metros	10,00	60,00
		Valor Total:	R\$ 99,30

Fonte: Megasoft (2017)

O valor atualizado do sistema, usando essa metodologia, está descrito na Tabela 17:

Tabela 17. Custos Totais para o estudo de caso de uma residência.

<i>Investimento Total</i>				
<i>Itens</i>	<i>Fabricante/Fornecedor</i>	<i>Modelo</i>	<i>Potência Total</i>	<i>Custo Total</i>
Painel FV	Canadian	CS6K – 260W	4,68 kWp	R\$ 13.999,00
Inversor	Canadian	Canadian		
Instalação	MegaSoft			R\$ 1.200,00
Projetista	(RIBEIRO, 2012)			RS 3.510,00
Materiais Necessários	MegaSoft			R\$ 99,30
Total				R\$ 18.808,30

Fonte: Própria

Sendo assim, realizando a simulação para tal valor, utilizando o software PVSol, tem-se os seguintes resultados na análise de rentabilidade, Tabela 18:

Tabela 18. Análise econômica do estudo de caso para a residência

Análises financeira	
Dados do sistema	
Injeção na rede no primeiro ano (incluso degradação do módulo)	6.836 kWh
Potência do gerador FV	4,68 kWp
Início da operação do sistema	05/03/2016
Período de consideração	25 anos
Parâmetros econômicos	
Taxa interna de retorno	22,67 %
Fluxo de Caixa acumulado	43.606,14 R\$
Prazo de amortização	3,8 anos
Vista Geral de Pagamento	
Investimento específico	4.018,86 R\$/kWp
Custo do investimento	18.808,86 R\$
Remuneração total no primeiro ano	R\$ 4.732,70

Fonte: PVSol, (2015)

Através da comparação entre as simulações feitas para o estacionamento e para a residência, nota-se a grande disparidade dos valores obtidos, principalmente no período de amortização do investimento, a qual reduziu de aproximadamente 19 para 4 anos, conforme observado na Figura 50, comprovando a rentabilidade do projeto. Isso foi possível devido a redução do valor do investimento inicial, na compra e instalação do sistema fotovoltaico e pelo aumento do custo da energia elétrica adquirida da concessionária, que no caso residencial é

mais alto devido sua classificação tarifária ser diferente da que se enquadra a UFGD e todo o setor público.

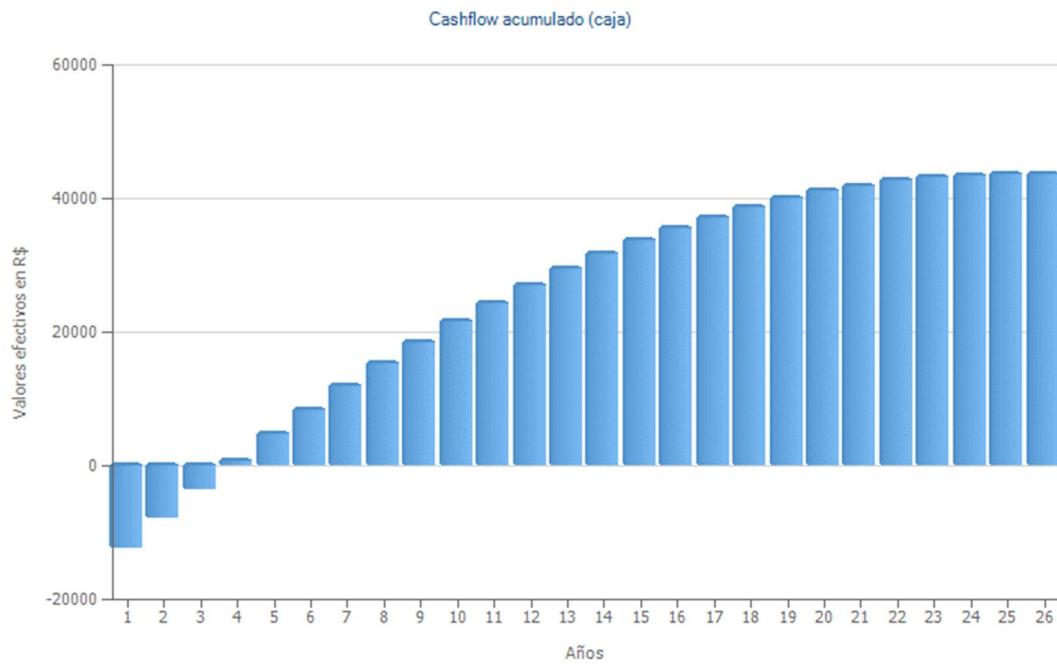


Figura 49. Fluxo de Caixa do investimento (R\$/ano) para a simulação residencial

Fonte: PVSol (2015)

6. SIMULAÇÃO ESTRUTURAL

Foi realizado um estudo da estrutura que sustenta o sistema fotovoltaico, que deu origem ao estacionamento. A simulação consiste em prever o comportamento estrutural do sistema submetido a variadas condições atmosféricas, certificando-se que o mesmo esteja em conformidade com a norma NBR 8800/2008 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Para isso, foi utilizado o software STRAP, o qual será descrito nos Tópicos 6.1 e 6.2.

6.1.SOFTWARE STRAP

O Software STRAP (*Structural Analysis Programs*) consiste em uma ferramenta de análise estrutural estática por elementos finitos (barras, paredes, planos e sólidos), o qual dispõe de um ambiente totalmente gráfico e com uma grande variedade de recursos que facilitam a modelagem e análise de diversas estruturas. O mesmo foi desenvolvido em Israel, pelo ATIR – Engenharia de Desenvolvimento de Software, sendo utilizado nas principais empresas de projetos do Brasil e do mundo. (STRAP, 2014).

6.2.SIMULAÇÃO

A estrutura principal de sustentação do sistema fotovoltaico no estacionamento da UFGD é composta por pórticos, sendo os pilares tipo H, de concreto, os quais são engastados na base e fixados no topo.



Figura 50. Ilustração da estrutura de sustentação.

Fonte: Própria.

As tesouras (1) estão espaçadas entre si em 3,8 metros. A estrutura secundária da cobertura é composta por terças (2) de chapa dobrada formados a frio, tipo I, bi-apoiadas, vencendo vãos de aproximadamente 3,8 metros, garantindo a estabilidade com o auxílio das mãos-francesas (3). A simulação foi dividida em duas partes, sendo a primeira para a estrutura e a segunda para as terças. Existem duas situações de carregamento que são admitidas na simulação do da estrutura principal e das terças, o carregamento gravitacional, ou seja, o peso das placas e estrutura, e a ação do vento. Estas e outras informações foram inseridas no software para simulação.

1. ESPECIFICAÇÕES DO AÇO

- Aço estrutural A-36, com $F_y^4 = 240$ Mpa para perfis soldados e formados a frio;

2. NORMAS UTILIZADAS

- ABNT (2008) - NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios;
- ABNT (1998) - NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações;

3. CARGAS GRAVITACIONAIS (PP)

- Peso Próprio – calculado automaticamente pelo programa
- Placas – 13 kgf/m²;
- Terças⁵ - 5,34 kgf/m;

O Peso das placas é obtido através da multiplicação entre o peso de cada uma e a quantidade de placas, sendo então o resultado dividido pela área de cobertura. Segundo NBR 8800 (ABNT, 2008), para cobertura comum deve-se considerar a seguinte sobrecarga:

- Sobrecarga (NBR 8800) – 25,0 kgf/m².;

Por fim, a última carga gravitacional a ser calculada é a do vento:

4. CÁLCULO DO VENTO (ABNT, 1988)

⁴ A grandeza F_y mede a resistência característica do escoamento de determinado material.

⁵ Terças são estruturas metálicas de cobertura para telhado.

Para cálculos de projeto relacionado ao vento, é utilizada a velocidade característica V_k , a qual é calculada utilizando a Equação (6) da velocidade:

$$V_k = V_0 \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (6)$$

Onde:

V_0 : velocidade básica

S1: fator topográfico

S2: fator de rugosidade e dimensões da edificação

S3: fator estatístico

Sendo que a velocidade básica do vento (V_0) é obtida através do Gráfico de *Isopletas* (Isopletas são curvas que apresentam determinado valor de uma grandeza física, nesse caso o valor dos ventos). Utilizando a norma NBR 6123 para cada local do país, tem-se as seguintes Isopletas, mostrada na Figura 51:

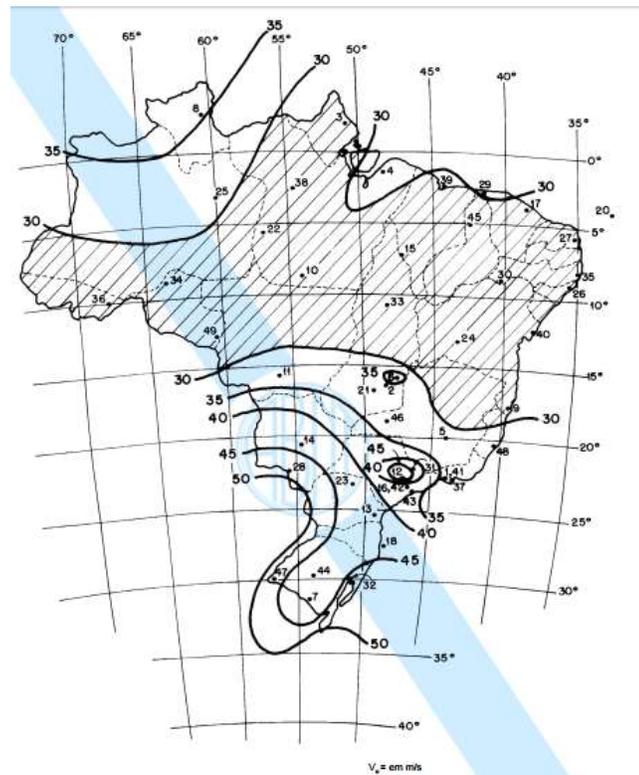


Figura 51. Mapas de isopletas de vento, velocidade básica

Fonte: ABNT (1988)

Como a região de Dourados está localizada entre as linhas de 45 e 50 m/s, considerou-se para os cálculos a velocidade básica de 48 m/s.

A determinação do fator topográfico (S1) leva em consideração as variações do relevo no entorno da edificação, sendo assim para o caso do terreno plano seu fator é igual a 1,0 (ABNT, 1988). O fator S2 considera o perfil de velocidade do vento na atmosfera do terreno, ou seja, o efeito combinado da rugosidade do mesmo e a variação da velocidade do vento com a altura total da edificação. Sendo assim, primeiramente seleciona-se a categoria de rugosidade, como descrito na Tabela 19:

Tabela 19. Critérios para determinação da Categoria do Projeto referente ao fator S2

CATEGORIA	DESCRIÇÃO
I	Superfícies lisas de grandes dimensões, com mais de 5 km de extensão, medida na direção e sentido do vento incidente.
II	Terrenos abertos em nível ou aproximadamente em nível, com poucos obstáculos isolados, tais como árvores e edificações baixas.
III	Terrenos planos ou ondulados com obstáculos, tais como sebes e muros, poucos quebra-ventos de árvores, edificações baixas e esparsas.
IV	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos e pouco espaçados, em zona florestal, industrial ou urbanizada.
V	Terrenos cobertos por obstáculos numerosos, grandes, altos e pouco espaçados.

Fonte: Adaptada de ABNT (1988)

Para o projeto foi utilizada a categoria II, que mais se aproxima do caso estudado. Diante disso, deve-se então selecionar a classe pertencente ao projeto, como descrito na Tabela 20:

Tabela 20. Classificação do projeto quanto a dimensão

CLASSE	DESCRIÇÃO
A	Maior dimensão horizontal ou vertical não exceda 20 m.
B	Maior dimensão horizontal ou vertical da superfície esteja entre 20 e 50 m.
C	Maior dimensão horizontal ou vertical da superfície frontal exceda 50 m.

Fonte: Adaptada de ABNT (1988)

Devido às dimensões do sistema, foi escolhida a Classe A. Através das classificações é possível determinar o fator S3 utilizando a Tabela 21.

Tabela 21. Determinação do Fator S2 através da Categoria e classe do projeto

	CLASSE I			CLASSE II			CLASSE III			CLASSE IV			CLASSE V		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
≤ 5	1,06	1,04	1,01	0,94	0,92	0,89	0,88	0,86	0,82	0,79	0,76	0,73	0,74	0,72	0,67
10	1,10	1,09	1,06	1,00	0,98	0,95	0,94	0,92	0,88	0,86	0,83	0,80	0,74	0,72	0,67
15	1,13	1,12	1,09	1,04	1,02	0,99	0,98	0,96	0,93	0,90	0,88	0,84	0,79	0,76	0,72
20	1,15	1,14	1,12	1,06	1,04	1,02	1,01	0,99	0,96	0,93	0,91	0,88	0,82	0,80	0,76
30	1,17	1,17	1,15	1,10	1,08	1,06	1,05	1,03	1,00	0,98	0,96	0,93	0,87	0,85	0,82
40	1,20	1,19	1,17	1,13	1,11	1,09	1,08	1,06	1,04	1,01	0,99	0,96	0,91	0,89	0,86
50	1,21	1,21	1,19	1,15	1,13	1,12	1,10	1,09	1,06	1,04	1,02	0,99	0,94	0,93	0,89
60	1,22	1,22	1,21	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11	1,09	1,07	1,04	1,02	0,97	0,95	0,92
80	1,25	1,24	1,23	1,19	1,18	1,17	1,16	1,14	1,12	1,10	1,08	1,06	1,01	1,00	0,97
100	1,26	1,26	1,25	1,22	1,21	1,20	1,18	1,17	1,15	1,13	1,11	1,09	1,05	1,03	1,01
120	1,28	1,28	1,27	1,24	1,23	1,22	1,20	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,07	1,06	1,04
140	1,29	1,29	1,28	1,25	1,24	1,24	1,22	1,22	1,20	1,18	1,16	1,14	1,10	1,09	1,07
160	1,30	1,30	1,29	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23	1,22	1,20	1,18	1,16	1,12	1,11	1,10
180	1,31	1,31	1,31	1,28	1,27	1,27	1,26	1,25	1,23	1,22	1,20	1,18	1,14	1,14	1,12
200	1,32	1,32	1,32	1,29	1,28	1,28	1,27	1,26	1,25	1,23	1,21	1,20	1,16	1,16	1,14
250	1,34	1,34	1,33	1,31	1,31	1,31	1,30	1,29	1,28	1,27	1,25	1,23	1,20	1,20	1,18
300	-	-	-	1,34	1,33	1,33	1,32	1,32	1,31	1,29	1,27	1,26	1,23	1,23	1,22
350	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,33	1,32	1,30	1,29	1,26	1,26	1,26
400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,32	1,32	1,29	1,29	1,29
420	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,35	1,35	1,33	1,30	1,30	1,30
450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,32	1,32	1,32
500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,34	1,34	1,34

Fonte: Adaptada de ABNT (1988)

Portanto, para categoria II e classe A, tem-se o valor do fator S2 igual a 0,94. Segue-se para a determinação do último fator, o qual considera a aplicação do projeto, conforme ilustra a Tabela 22 com as descrições para os 5 grupos.

Tabela 22. Classificação do projeto quanto à utilidade

GRUPO	DESCRIÇÃO	S3
1	Edificações cuja ruína total ou parcial pode afetar a segurança ou possibilidade de socorro a pessoas após uma tempestade destrutiva.	1,10
2	Edificações para hotéis e residências. Edificações para comércio e indústria com alto fator de ocupação.	1,00
3	Edificações e instalações industriais com baixo fator de ocupação	0,95
4	Vedações (telhas, vidros, painéis de vedação, etc)	0,88
5	Edificações temporárias. Estruturas dos grupos 1 a 3 durante a construção	0,83

Fonte: Adaptada de ABNT (1988)

Para o projeto do estacionamento, adotou-se o valor de S3 igual à 0,95, referente ao grupo 3 para edificação com baixo fator de ocupação. Sendo assim, com os dados obtidos foi possível construir a Tabela 23 com as informações necessárias para o cálculo da velocidade do vento.

Tabela 23. Velocidade básica do vento “Vk” e os fatores “S1”, “S2” e “S3”

Velocidade básica do vento	Vo = 48,0m/s	Cidade de Dourados, MS
Fator topográfico "S1"	S1 = 1,0	Terreno fracamente acidentado
Fator de rugosidade "S2"	S2 = 0,94	Categoria II, Classe A e Z < 5,0m
Fator estatístico "S3"	S3 = 0,95	Edificação com alto fator de ocupação

Fonte: Própria

Calculou-se então a velocidade característica do vento pela equação (6):

$$V_k = V_0 \cdot S1 \cdot S2 \cdot S3 \quad (6)$$

$$V_k = 48 \cdot 1,0 \cdot 0,94 \cdot 0,95$$

$$V_k = 42,86 \text{ m/s}$$

Após o cálculo da velocidade característica a partir da Equação 6, é possível obter a pressão dinâmica do vento, a qual de acordo com a NBR 6123 (ABNT, 1998), é dada pela Equação 7:

$$P_{dinâmica} = V_k^2 / 16 \quad (7)$$

$$P_{dinâmica} = \frac{(42,86 \text{ m/s})^2}{16}$$

$$P_{dinâmica} = 114,81 \approx 115 \text{ kgf/m}^2$$

Como a superfície do estacionamento possui uma inclinação, a ação do vento é diferente em seus extremos, portanto para simular corretamente o carregamento é necessário inserir no software o fator de carga de vento em superfícies isoladas, conforme ilustra a Figura 52.

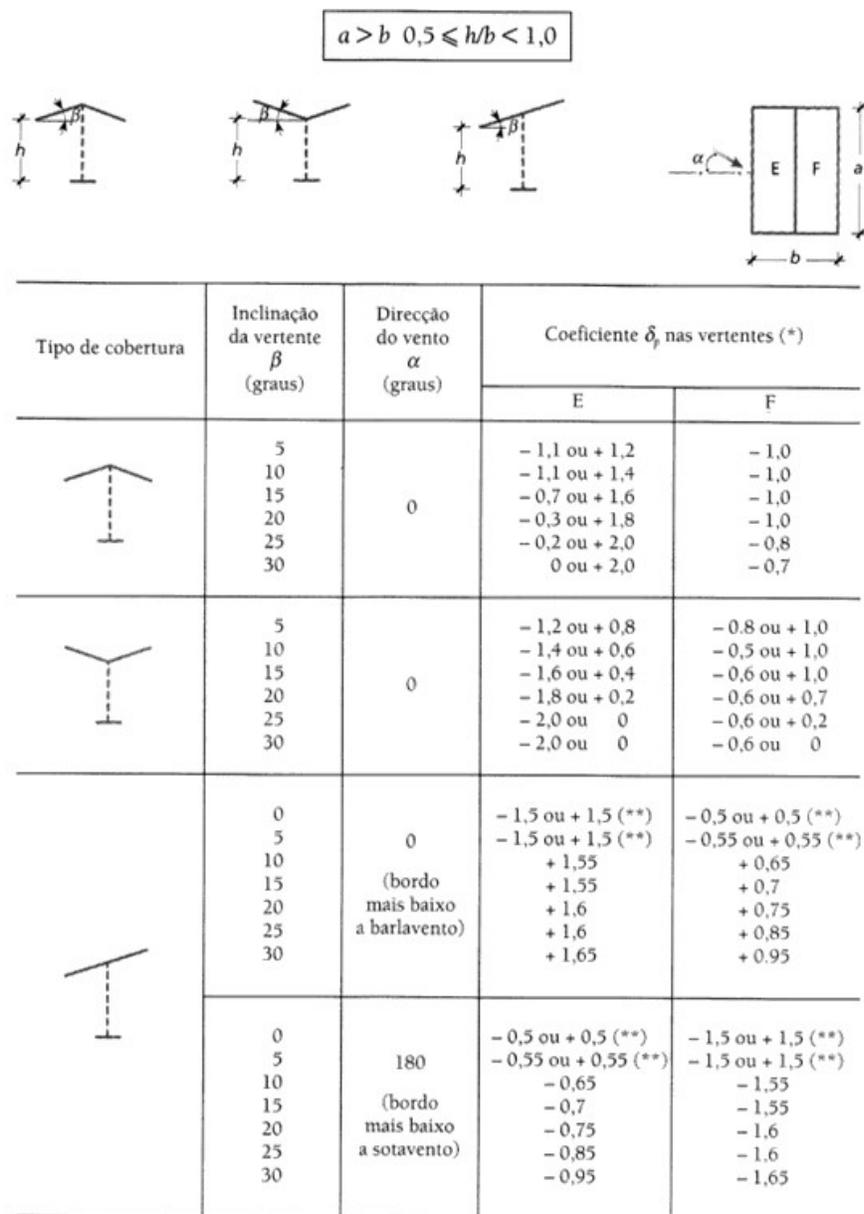


Figura 52. Carga de vento em coberturas isoladas

Fonte: ABNT, 1998

Por fim, após serem inseridos todos os dados citados, realizou-se a simulação no software STRAP para a estrutura e para as terças, representados respectivamente nas Figuras 53, 54, 55 e 56 e Figuras 57, 58, 59 e 60.

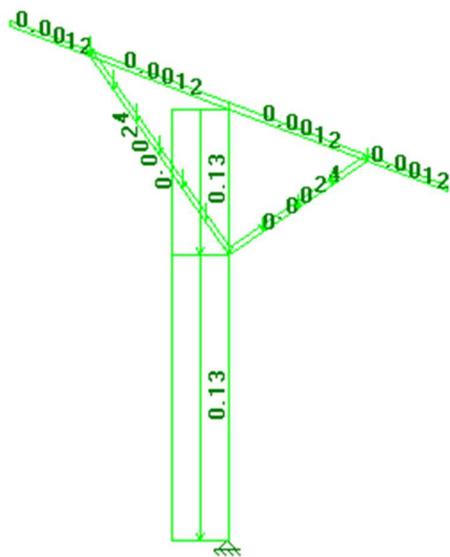


Figura 53. Carregamento na estrutura devido ao Peso Próprio (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)

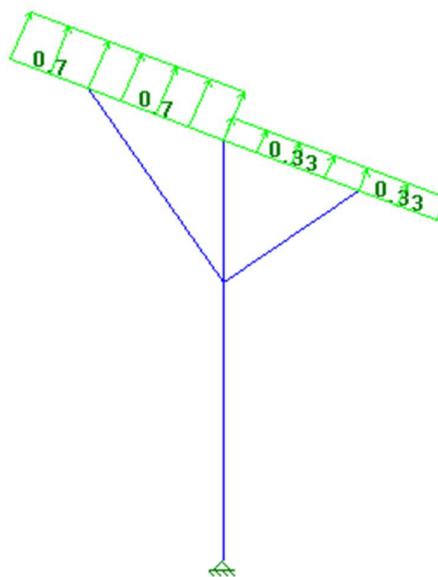


Figura 54. Carregamento na estrutura devido à ação do vento (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)

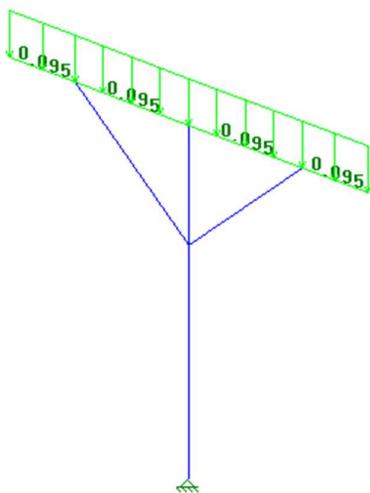


Figura 55. Carregamento na estrutura devido à sobrecarga – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)

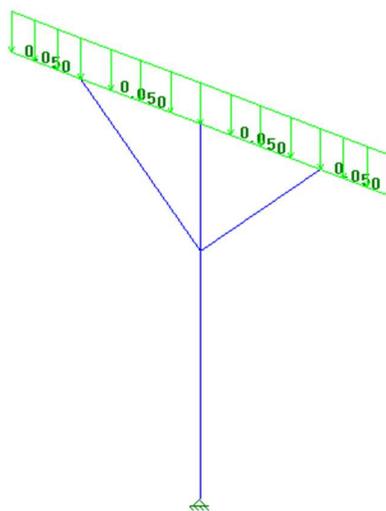


Figura 56. Carregamento na estrutura devido ao peso das placas – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)



Figura 57. Carregamento na estrutura devido à ação do vento – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)



Figura 58. Carregamento na estrutura devido à sobrecarga – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)



Figura 59. Carregamento na estrutura devido ao peso das placas – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)

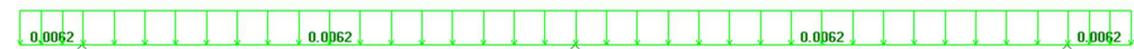


Figura 60. Carregamento na estrutura devido ao peso próprio – (kgf/m²)

Fonte: STRAP (2014)

A seguir são apresentadas as resultantes da força normal, momento fletor e deslocamentos da estrutura obtidos através da simulação, nas Figuras 61, 62, 63 e 64. E nas Figuras 65, 66 e 67 será mostrado o deslocamento nas terças devido às forças atuantes.

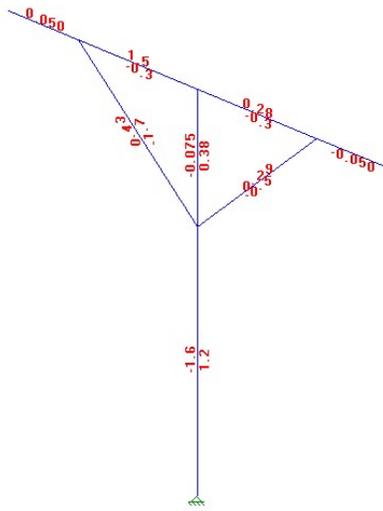


Figura 61. Resultante Normal - (kgf)
 Fonte: STRAP (2014)

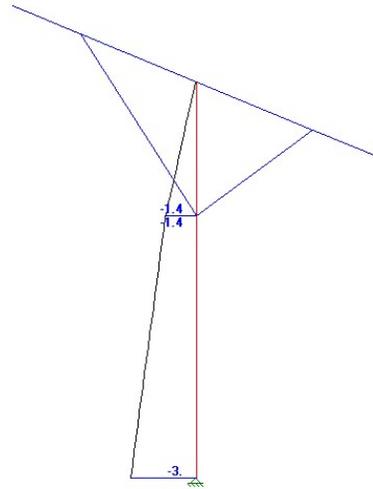


Figura 62. Momento fletor da estrutura – (kgf.m)
 Fonte: STRAP (2014)

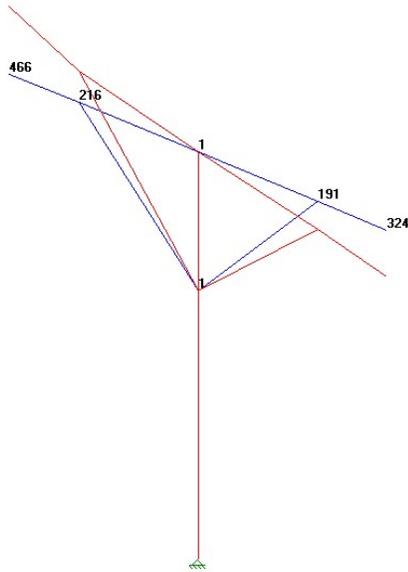


Figura 63. Deslocamento na direção X2 – (10^3 cm)
 Fonte: STRAP (2014)

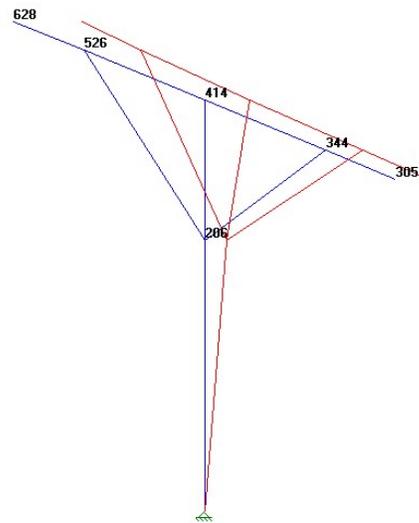


Figura 64. Deslocamento da direção X1 (10^3 cm)
 Fonte: STRAP (2014)



Figura 65. Deslocamento na terça devido a ação do peso das placas – (10^4 cm)

Fonte: STRAP (2014)



Figura 66. Deslocamento da terça devido a ação do peso próprio – (10^4 cm)

Fonte: STRAP (2014)



Figura 67. Deslocamento da terça devido a ação do vento – (10^2 cm)

Fonte: STRAP (2014)

Diante das informações de esforços calculadas a partir dos dados gerados pelo software, é possível a construção da Tabela 24, e realizar a comparação com os esforços máximos permitidos pela norma NBR 6123 (ABNT, 2008). Utilizando as porcentagens obtidas para o deslocamento dadas através da relação entre o deslocamento simulado e a norma vigente, para as terças o máximo deslocamento é dado pela relação $h/120$, enquanto para as vigas de cobertura a mesma é dada por $h/250$, onde h é a comprimento da estrutura em questão. Considerou-se o caso mais crítico das simulações para o cálculo.

A variável Combinada (Axial + Momento) foi gerada pelo software com a análise de toda a estrutura e a pior combinação entre vento, peso das placas e peso da própria estrutura. Portanto tal resultado é a análise final do sistema, ou seja, quando menor que 100% a estrutura resiste à todos os esforços presentes na mesma.

Tabela 24. Resultados dos esforços máximos

Barra	Seção	Comp.	Flecha/ Deslocamento		Axial	Cortante	Momento	Combinada Axial + Momento
		(m)		%	%	%	%	%
TERÇA	I-78X4X55X4	3,90	h/120	41%	0	12%	81%	81%
TERÇA	I-78X4X55X4	3,90	h/120	41%	0	12%	81%	81%
VIGA DE COBERTURA	120X60	3,00	h/250	52%	18%	20%	46%	55%
MÃO FRANCESA	120X60	1,62			27%	1%	32%	55%
MÃO FRANCESA	120X60	1,09			8%	2%	18%	22%

Fonte: Adaptada de STRAP (2014)

Vale ressaltar que toda a simulação foi realizada com o auxílio do Engenheiro Civil Domingos Jorge, o qual analisou a estrutura com intuito de verificar se a mesma atende aos esforços de momento cortante e normal, resultantes do peso próprio (Estrutura + Placas), vento e sobrecarga. Os resultados foram examinados e concluiu-se que os esforços solicitantes na estrutura são menores que os resistentes, ou seja, mesmo considerando a combinação mais crítica (peso, vento) a estrutura não se romperá por cisalhamento, flexão ou torção.

7. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir serão apresentados os resultados na geração elétrica real do sistema os quais serão comparados com os resultados obtidos através dos cálculos teóricos e da simulação energética. Por fim, serão mostrados os cálculos financeiros realizados.

7.1. MONITORAMENTO DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PELO SISTEMA FV

Devido à tardia instalação do sistema, resultante de problemas internos e burocráticos nas diversas instâncias da UFGD e da empresa vencedora da licitação, não foi possível realizar uma análise da geração de energia elétrica pelo sistema durante o ano completo, conforme era esperado. Portanto após a instalação, foi realizado o monitoramento do sistema do dia 05 ao dia 30 de março de 2017, devido à data da apresentação do trabalho. Diante disso, será realizada uma análise comparativa de confiabilidade dos valores obtidos no Tópico 7.2 referentes aos resultados da simulação no software PVSol e dos cálculos teóricos.



Figura 68. Geração elétrica diária para o Mês de Março/2017 do sistema instalado na UFGD

Fonte: ABB (2017)

Em relação aos espaços em branco na Figura 68, os mesmos são devido à problemas de conexão do *Wifi Logger Card* à rede da UFGD, porém a falha já está sendo resolvida, garantindo monitoramento constante da geração.

7.2. COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS ENERGÉTICOS OBTIDOS

Como foram obtidos dados do dia 05 ao dia 30 de março de 2017, realizou-se a comparação dos valores reais com os resultados obtidos através da simulação no PVSol e dos cálculos teóricos, conforme pode ser observado na Tabela 25, sendo que para o cálculo teórico

não foi encontrado em nenhuma fonte um diário, utilizando-se então a média para o mês de março:

Tabela 25. Comparação entre os valores obtidos para a geração de energia elétrica diária para o Mês de Março/2017

Dias	Cálculo Teórico (kWh)	Simulação PVSol (kWh)	Geração (kWh)
05/mar	20,53	19,53	6,08
06/mar	20,53	22,18	18,65
07/mar	20,53	20,18	20,89
08/mar	20,53	17,44	10,16
09/mar	20,53	16,49	22,24
10/mar	20,53	19,25	20,42
11/mar	20,53	11,72	23,76
12/mar	20,53	12,96	18,09
13/mar	20,53	27,02	18,12
14/mar	20,53	10,68	24,74
15/mar	20,53	8,92	13,41
16/mar	20,53	20,91	14,05
17/mar	20,53	20,25	1,08
18/mar	20,53	16,45	11,56
19/mar	20,53	25,00	12,32
20/mar	20,53	24,72	23,69
21/mar	20,53	25,01	26,81
22/mar	20,53	25,90	22,51
23/mar	20,53	22,45	19,14
24/mar	20,53	11,17	20,46
25/mar	-	-	-
26/mar	-	-	-
27/mar	20,53	24,86	8,84
28/mar	20,53	21,21	20,28
29/mar	20,53	14,85	24,74
Médias	20,53	19,09	17,48

Fonte: Própria

Como pode ser visualizado na Tabela 25, a média da geração do sistema fotovoltaico ficou mais próxima do cálculo gerado a partir da simulação no software PVSol. Em média, o desvio percentual foi de 14,85% a menos de produção quando comparado a média teórica, e de

9% quando comparado ao cálculo gerado na simulação do PVSol. Para que a análise financeira realizada no Tópico 7.3 ficasse mais próxima da realidade, ela foi feita utilizando-se os dados gerados pelo PVSol.

7.3. ANÁLISE FINANCEIRA TEÓRICA

Segundo MOTTA (2009) para realizar a análise de um investimento é necessário dominar o conceito e aplicabilidade dos vários indicadores existentes na análise econômica e financeira, como TIR, VPL, PAYBACK, entre outros. Portanto a seguir serão detalhados os indicadores utilizados para a análise nos estudos de caso apresentados.

- ✓ *Payback* - É o período de tempo necessário de recuperação do investimento realizado.
- ✓ *TIR* - A Taxa Interna de Retorno é a taxa “i” que se iguala as entradas de caixa ao valor a ser investido em um projeto. Em outras palavras, é a taxa que iguala o VPL de um projeto a zero.
- ✓ *VPL* - O cálculo do Valor Presente Líquido de um investimento é igual ao valor presente do fluxo de caixa líquido do projeto em análise, descontado pelo Custo médio ponderado de capital, ou seja, o projeto só será viável se o VPL for positivo.

Esse recurso financeiro permite avaliar o nível de atratividade financeira de um determinado projeto, no qual utiliza-se a seguinte equação (7):

$$VPL = -X_0 + \sum_{j=1}^N \frac{X_j}{(1+i)^j} \quad (07)$$

Onde:

X_0 = Investimento Total

N = Período de Capitalização (Garantia de vida útil do sistema)

X_i = Receitas líquidas (Economias)

i = Taxa de atratividade financeira

Será considerada a taxa SELIC (Sistema Especial de Liquidação e de Custódia), conforme a média dos últimos anos.

Tabela 26. Histórico de inflação e Selic (% a.a.)

Ano	SELIC
2007	11,25%
2008	13,75%
2009	8,75%
2010	10,75%
2011	11,00%
2012	7,25%
2013	10,00%
2014	11,75%
2015	14,25%
2016	14,07%
Meta 2017	11,25%
Média	11,28%

Fonte: IBGE (2016)

7.3.1. ESTACIONAMENTO FV

A seguir serão apresentados os cálculos para o sistema instalado na faculdade, sendo que para isso é necessário fazer as seguintes afirmações e considerações:

- Toda a energia gerada é consumida.
- Custo específico fora de ponta: R\$ 0,4692 / kWh
- Garantia de vida útil do sistema FV: 25 anos.
- Despesas anuais com O&M: 1% do valor investido (NAKABAYASHI, 2015).
- Reajuste tarifário: 1% ao ano.
- Índice de depreciação dos módulos: 0,50% ao ano.

Os custos foram utilizados segundo a Tabela 3 mostrada no Tópico 4.3. Portanto foi possível construir o fluxo de caixa do investimento e os indicadores citados:

Tabela 27. Fluxo de Caixa do Investimento para o Estacionamento FV

Fluxo de Caixa (À vista)						
Ano	Investimento	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo evitado	Total de economia	Total em giro
0	R\$ 33.882,00			-R\$ 33.882,00		-R\$ 33.882,00
1	R\$ 338,82	5928,21	0,4692	R\$ 2.442,70	R\$ 2.442,70	-R\$ 31.439,30
2	R\$ 338,82	5898,57	0,4739	R\$ 2.456,46	R\$ 4.899,16	-R\$ 28.982,84
3	R\$ 338,82	5869,08	0,4786	R\$ 2.470,30	R\$ 7.369,46	-R\$ 26.512,54
4	R\$ 338,82	5839,73	0,4834	R\$ 2.484,21	R\$ 9.853,67	-R\$ 24.028,33
5	R\$ 338,82	5810,53	0,4883	R\$ 2.498,18	R\$ 12.351,85	-R\$ 21.530,15
6	R\$ 338,82	5781,48	0,4931	R\$ 2.512,22	R\$ 14.864,07	-R\$ 19.017,93
7	R\$ 338,82	5752,57	0,4981	R\$ 2.526,34	R\$ 17.390,41	-R\$ 16.491,59
8	R\$ 338,82	5723,81	0,5030	R\$ 2.540,52	R\$ 19.930,93	-R\$ 13.951,07
9	R\$ 338,82	5695,19	0,5081	R\$ 2.554,77	R\$ 22.485,70	-R\$ 11.396,30
10	R\$ 338,82	5666,71	0,5132	R\$ 2.569,09	R\$ 25.054,79	-R\$ 8.827,21
11	R\$ 338,82	5638,38	0,5183	R\$ 2.583,49	R\$ 27.638,28	-R\$ 6.243,72
12	R\$ 338,82	5610,19	0,5235	R\$ 2.597,95	R\$ 30.236,24	-R\$ 3.645,76
13	R\$ 338,82	5582,14	0,5287	R\$ 2.612,49	R\$ 32.848,73	-R\$ 1.033,27
14	R\$ 338,82	5554,23	0,5340	R\$ 2.627,10	R\$ 35.475,83	R\$ 1.593,83
15	R\$ 338,82	5526,46	0,5393	R\$ 2.641,78	R\$ 38.117,61	R\$ 4.235,61
16	R\$ 338,82	5498,82	0,5447	R\$ 2.656,54	R\$ 40.774,15	R\$ 6.892,15
17	R\$ 338,82	5471,33	0,5502	R\$ 2.671,36	R\$ 43.445,51	R\$ 9.563,51
18	R\$ 338,82	5443,97	0,5557	R\$ 2.686,26	R\$ 46.131,77	R\$ 12.249,77
19	R\$ 338,82	5416,75	0,5612	R\$ 2.701,24	R\$ 48.833,01	R\$ 14.951,01
20	R\$ 338,82	5389,67	0,5668	R\$ 2.716,29	R\$ 51.549,29	R\$ 17.667,29
21	R\$ 338,82	5362,72	0,5725	R\$ 2.731,41	R\$ 54.280,70	R\$ 20.398,70
22	R\$ 338,82	5335,91	0,5782	R\$ 2.746,61	R\$ 57.027,31	R\$ 23.145,31
23	R\$ 338,82	5309,23	0,5840	R\$ 2.761,88	R\$ 59.789,19	R\$ 25.907,19
24	R\$ 338,82	5282,68	0,5899	R\$ 2.777,23	R\$ 62.566,42	R\$ 28.684,42
25	R\$ 338,82	5256,27	0,5958	R\$ 2.792,65	R\$ 65.359,07	R\$ 31.477,07
Economia Média Anual				R\$ 2.614,36		

Fonte: Própria

O payback, ou seja, o tempo de retorno do investimento é de 13 anos, no entanto é conveniente ressaltar que o cálculo não considera nenhuma perda durante a geração. O Valor acumulado nos 25 anos equivale a R\$ 31.477,07, conforme indicado no fluxo de caixa.

A taxa interna de retorno e o valor presente líquido foram calculados pelo Excel, cujos resultados seguem abaixo:

<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>
5,7%

<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>
<i>-R\$ 131.730,94</i>

7.3.2. RESIDÊNCIA ESTUDADA

Para a análise do caso em questão, realizou-se de forma similar ao caso anterior, sendo que as únicas alterações consistem no custo médio da energia elétrica e custo de aquisição (Tabela 16) e instalação do sistema (Tópico 5.4). Portanto as considerações são:

- Toda a energia gerada é consumida.
- Custo específico: R\$ 0,7944 / kWh
- Garantia de vida útil do sistema FV: 25 anos.
- Despesas anuais com O&M: 1% do valor investido (NAKABAYASHI, 2015)
- Reajuste tarifário: 1% ao ano.
- Índice de depreciação dos módulos: 0,50% ao ano.

Diante disso foi possível construir o fluxo de caixa para o estudo de caso atualizado e os indicadores citados:

Tabela 28. Fluxo de Caixa do Investimento para o Residência FV

Fluxo de Caixa (À vista)						
Ano	Investimento	Geração (kWh/ano)	Tarifa (R\$/kWh)	Custo evitado	Total de economia	Total em giro
0	R\$ 18.808,30			-R\$ 18.808,30		-R\$ 18.808,30
1	R\$ 188,08	5928,21	0,7944	R\$ 4.521,29	R\$ 4.521,29	-R\$ 14.287,01
2	R\$ 188,08	5898,57	0,8023	R\$ 4.544,60	R\$ 9.065,89	-R\$ 9.742,41
3	R\$ 188,08	5869,08	0,8104	R\$ 4.568,03	R\$ 13.633,91	-R\$ 5.174,39
4	R\$ 188,08	5839,73	0,8185	R\$ 4.591,57	R\$ 18.225,48	-R\$ 582,82
5	R\$ 188,08	5810,53	0,8267	R\$ 4.615,23	R\$ 22.840,71	R\$ 4.032,41
6	R\$ 188,08	5781,48	0,8349	R\$ 4.639,00	R\$ 27.479,71	R\$ 8.671,41
7	R\$ 188,08	5752,57	0,8433	R\$ 4.662,90	R\$ 32.142,61	R\$ 13.334,31
8	R\$ 188,08	5723,81	0,8517	R\$ 4.686,91	R\$ 36.829,52	R\$ 18.021,22
9	R\$ 188,08	5695,19	0,8602	R\$ 4.711,04	R\$ 41.540,56	R\$ 22.732,26
10	R\$ 188,08	5666,71	0,8688	R\$ 4.735,29	R\$ 46.275,85	R\$ 27.467,55
11	R\$ 188,08	5638,38	0,8775	R\$ 4.759,66	R\$ 51.035,51	R\$ 32.227,21
12	R\$ 188,08	5610,19	0,8863	R\$ 4.784,15	R\$ 55.819,67	R\$ 37.011,37
13	R\$ 188,08	5582,14	0,8951	R\$ 4.808,77	R\$ 60.628,43	R\$ 41.820,13
14	R\$ 188,08	5554,23	0,9041	R\$ 4.833,50	R\$ 65.461,93	R\$ 46.653,63
15	R\$ 188,08	5526,46	0,9131	R\$ 4.858,36	R\$ 70.320,29	R\$ 51.511,99
16	R\$ 188,08	5498,82	0,9223	R\$ 4.883,34	R\$ 75.203,63	R\$ 56.395,33
17	R\$ 188,08	5471,33	0,9315	R\$ 4.908,44	R\$ 80.112,07	R\$ 61.303,77
18	R\$ 188,08	5443,97	0,9408	R\$ 4.933,67	R\$ 85.045,74	R\$ 66.237,44
19	R\$ 188,08	5416,75	0,9502	R\$ 4.959,02	R\$ 90.004,76	R\$ 71.196,46
20	R\$ 188,08	5389,67	0,9597	R\$ 4.984,50	R\$ 94.989,26	R\$ 76.180,96
21	R\$ 188,08	5362,72	0,9693	R\$ 5.010,10	R\$ 99.999,36	R\$ 81.191,06
22	R\$ 188,08	5335,91	0,9790	R\$ 5.035,84	R\$ 105.035,20	R\$ 86.226,90
23	R\$ 188,08	5309,23	0,9888	R\$ 5.061,69	R\$ 110.096,89	R\$ 91.288,59
24	R\$ 188,08	5282,68	0,9987	R\$ 5.087,68	R\$ 115.184,57	R\$ 96.376,27
25	R\$ 188,08	5256,27	1,0087	R\$ 5.113,79	R\$ 120.298,37	R\$ 101.490,07
Economia Média Anual				R\$ 4.811,93		

Fonte: Própria

Portanto o Payback calculado foi de 4 anos, ou seja, o investimento teria um rápido retorno e alto valor acumulado no final da vida útil equivalente à R\$101.490,07, conforme indicado no fluxo de caixa.

A taxa interna de retorno e o valor presente líquido foram calculados pelo Excel, cujos resultados seguem abaixo:

<i>Taxa Interna de Retorno (TIR)</i>
24,4%

<i>Valor Presente Líquido (VPL)</i>
R\$ 120.456,74

8. CONCLUSÕES

Os resultados da simulação de geração de energia elétrica, teórico e pelo software PVSol, em um sistema fotovoltaico de 4,24kWp mostraram que as viabilidades econômicas e energéticas do sistema são altamente influenciadas pelo investimento inicial na aquisição do sistema, pelo nível de irradiação solar local e pelas condições tarifárias a que o consumidor está enquadrado.

O cálculo estrutural do suporte utilizado para sustentação do sistema fotovoltaico no estacionamento da UFGD, mostrou-se dentro das exigências das normas NBR 6123 e NBR 8800, ou seja, não haverá ruptura da estrutura por esforços de cisalhamento, flexão ou torção, mesmo considerando o caso mais crítico para a estrutura, levando-se em conta o peso do sistema fotovoltaico, o peso da estrutura, forças do vento e sobrecarga.

O foco principal do trabalho tratou-se da análise detalhada do sistema fotovoltaico instalado na UFGD, no entanto, com o intuito de atualizar os custos do sistema e a tarifa para a modalidade residencial, visto que se trata do setor com maior utilização e com forte crescimento na microgeração, realizou-se um estudo de caso para uma residência situada na cidade de Dourados, na qual foi possível observar o avanço econômico da energia solar fotovoltaica. Para os dois casos estudados, o investimento mostrou-se viável, visto que a garantia de vida útil dos sistemas fotovoltaicos é de 25 anos. No entanto, para o estacionamento o VPL resultou em um valor negativo, comprometendo a atratividade do sistema. Vale ressaltar que a análise econômica foi realizada através de duas formas: Cálculos teóricos e Simulação computacional.

No caso 1 (Estacionamento), com os dados obtidos pelo Software PVSol, o retorno do valor investido ocorrerá em 19,1 anos, com TIR de 0,57%, enquanto pelos cálculos teóricos realizados, o mesmo ocorreria em 14 anos, com TIR de 5,7% e VPL de -R\$ 130.730,94. No caso 2 (Residência), pela simulação o retorno ocorreria em 3,8 anos, com TIR de 22,67% e pelos cálculos teóricos, obteve-se um retorno após 4 anos, com TIR de 24,4% e VPL de R\$ 120.456,74. Estes resultados mostram que a divergência nos valores é devido as perdas consideradas no software e a diferença nos valores de radiação utilizadas para a previsão de geração, no cálculo teórico e com o software PVSol, que foram adquiridos com metodologias diferentes.

Por fim, em linhas gerais pode-se considerar a geração fotovoltaica como uma alternativa interessante às fontes tradicionais no sistema elétrico brasileiro. Apesar de existirem limitações, principalmente, ao seu custo de aquisição. A microgeração mostrou-se uma

modalidade com potencial e com retorno financeiro atrativo para os consumidores de energia elétrica, com uma TIR podendo chegar a 30%.

Além disso, para o caso do estacionamento, o maior benefício adquirido é a fonte de estudos, visto que a instalação está localizada em um ambiente acadêmico, possibilitando a realização de várias análises, pesquisas e ensaios. Diante disso é possível sugerir trabalhos futuros para a instalação fotovoltaica, dentre eles:

- ✓ Análise de geração anual do sistema, com o intuito de comprovar a confiabilidade do Software PVSol, e verificar a interferência das estações do ano na geração de energia elétrica.
- ✓ Aquisição de um luxímetro para verificar a radiação solar no local da instalação, com a finalidade de comparar a confiabilidade dos dados utilizados no trabalho;
- ✓ Realização de um estudo da viabilidade de implantação de um sistema de armazenamento da energia gerada, para que fosse utilizada no período de ponta, devido ao elevado valor da tarifa.
- ✓ Estudar o impacto para as distribuidoras, no que diz respeito à tarifa de energia elétrica, quando ocorrer aumento significativo do número de domicílios que são autogeradores.

9. REFERÊNCIAS

ABB. **Plant Viewer: UFGD Solar.** 2017. Disponível em: <<https://easyview.auroravision.net/easyview/?entityId=11177265&lang=es>>. Acesso em: 31 mar. 2017.

ABNT. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações.** 1998. Disponível em: <<https://docs.google.com/viewer?a=v&pid=sites&srcid=dW5uYS5lbmcuYnJ8aG9tZXxneDozZTVmNjQ1MTM2YWwEwYjly>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

ABNT. **NBR 8800: Projetos de estrutura de aço e de estruturas mistas e concreto de edifícios.** 2008. Disponível em: <https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/acero/NBR8800_2008_1.pdf>. Acesso em: 29 mar. 2017.

ADRIANO, Guilherme Luís Martins **Análise de ciclo de vida da tecnologia fotovoltaica em Portugal.** 2015. Monografia Disponível em: <https://run.unl.pt/bitstream/10362/17062/1/Adriano_2015.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2017.

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados à rede.** 2012. Monografia (Programa de pós-graduação em energia) Universidade de São Paulo. São Paulo. 2012.

ALU-CEK. **Perfil de Alumínio 35mm x 58mm x 5100mm.** 2017. Disponível em: <http://loja.alu-ek.com.br/index.php?route=product/product&path=83&product_id=465>. Acesso em: 24 mar. 2017.

ANEEL. **Altas de Energia Elétrica do Brasil: Parte 2 Fontes Renováveis.** Brasília 2008. Disponível em: [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar\(3\).pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em: 14 mar. 2017

ANEEL. **Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015.** 2015. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2017

ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012.** 2012. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>. Acesso em: 20 set. 2016

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias.** 2015. Disponível em: <<http://www2.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=758&idPerfil=4>>. Acesso em: 29 mar. 2017.

ANEEL. **Brasil ultrapassa 7 mil conexões de micro e minigeração.** 2017. Disponível em: http://www.aneel.gov.br/sala-de-imprensa-exibicao-2/-/asset_publisher/zXQREz8EVIZ6/content/brasil-ultrapassa-7-mil-conexoes-de-micro-e-minigeracao/656877/pop_up?_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_viewMode=print&_101_INSTANCE_zXQREz8EVIZ6_languageId=pt_BR. Acesso em: 15 mar. 2017.

ANEEL (Brasil). **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST: Cartilha de Acesso ao Sistema de Distribuição.** 2. ed. Brasil: Aneel, 2011. 26 p. Cartilha. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/pdf/cartilha_revisao_2.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2016.

ANTUNES, Bruno Machado. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à rede e um sistema de Captação de água de chuva para um edifício residencial.** 2016. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Faculdade de Engenharia, Ufgd, Dourados, 2016.

ARVIZU, Dan; BAKER, Arnold . **Direct solar energy.** In IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change – Painel Intergovernamental de mudanças climáticas) Cambridge, Estados Unidos, 2011.

ASSIS, Bruno Bastos de. **Avaliação do ciclo de vida do produto como ferramenta para o desenvolvimento sustentável.** 2009. JUIZ DE FORA, MG. Disponível em: <http://www.ufjf.br/ep/files/2014/07/2009_1_Bruno-Bastos.pdf>. Acesso em: 10 fev. 2017.

AUGUSTO, Joaquim. **Análise Tarifária.** 2010. Instituto nacional de Tecnologia - INT. Disponível em: <http://www.eng.uerj.br/.../FEN_4_3106_Analise_tarifaria_UERJ_junho_08.ppt>. Acesso em: 10 fev. 2016.

BARBOSE, Galen.; WEAVER, Samantha. DARGHOUTH, Naïm. **Tracking the sun VII. An Historical Summary of the Installed Price of Photovoltaics in the United States from 1998 to 2013.** Lawrence Berkeley National Laboratory. Disponível em: http://emp.lbl.gov/sites/all/files/Tracking%20the%20Sun%20VII_Report_0.pdf

BARROS, Hugo Albuquerque. **Anteprojeto de um sistema fotovoltaico de 12 kWp conectado à rede**. 2011. Monografia. Rio de Janeiro: UFRJ.

BEIGELMAN, Bruno Boaventura. **A Energia Solar Fotovoltaica e a Aplicação na Usina Solar de Tauá**. 2013. Monografia Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica.

BOSCH. Copyright Bosch Solar Energy Corp (Org.). **Installation and Safety Manual**. 2013. Versão 11. Disponível em: <http://www.bosch-solarenergy.com/media/bosch_se_serviceorganisation/product/montageanleitung_2/kristallin_2/na_4/Bosch_Solar_Module_NA30117_NA42117_V11_29052013.pdf>. Acesso em: 22 jun. 2016.

BRAGA, Renata. Pereira. **Energia Solar fotovoltaica: Fundamentos e aplicações**. 2008. Monografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CÂMARA, Carlos Fernando. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica**. 2011. Monografia. Universidade Federal de Lavras – MG.

CANADIAN SOLAR, **Datasheets CS6P-260|265P-SD**. 2017. Disponível em: <http://www.canadiansolar.com/downloads/datasheets/v5.4/Canadian_Solar-Datasheet-CS6PPSD_SmartDC-v5.4en.pdf>. Acesso em: 27 fev. 2017.

CASTRO, Marcos Augusto. Diagnóstico e perspectivas para a microgeração no Brasil. RBS Magazine: Revista Brasileira de energia solar fotovoltaica. Ano II. Edição nº6, 2016. Disponível em: https://issuu.com/rbsmagazine/docs/revista_rbs_edicao_6_low.

COSTA, Higor José Serafim da. **Avaliação do fator de dimensionamento do inversor em sistemas fotovoltaicos conectados à rede**. 2010. Disponível em: <<http://www.dee.ufc.br/anexos/TCCs/2011.1/HIGOR JOSÉ SERAFIM DA COSTA.pdf>>. Acesso em: 11 abr. 2017.

CRESESB - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito. **Energia Solar Fotovoltaica** 2014. Disponível em: http://cresesb.cepel.br/index.php?section=com_content&cid=321. Acesso em: 15 de junho de 2016.

DIMAP, **Projeto de instalação de sistema fotovoltaico em cobertura de estacionamento**. PREFEITURA UNIVERSITÁRIA, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Divisão de Manutenção. 2017.

DIPROJ, **Fatura de Energia Elétrica**. Campus II da UFGD. PREFEITURA UNIVERSITÁRIA, Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD), Divisão de Projetos. 2017.

DW. **Energia solar: países com maior capacidade instalada**. Disponível em: <<http://www.dw.com/pt/energia-solar-pa%C3%ADses-com-maior-capacidade-instalada/a-16991069>>. Acesso em: 07 de julho de 2015.

ELECTRONICA. Painel Solar Fotovoltaico. Disponível em: <http://www.electronica-pt.com/painel-solar-fotovoltaico>. Acesso em: 25 de agosto de 2015.

ENVOLVERDE, Portal de Sustentabilidade do Brasil. **Um ano de “avanços chamativos” para a energia renovável**. Disponível em: <<http://www.envolverde.com.br/ambiente/um-ano-de-avancos-chamativos-para-a-energia-renovavel/>>. Acesso em 07 de julho de 2015.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Projeção da demanda de energia elétrica: para os próximos 5 anos (2016-2020)**. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2015. 90 p. (Estudos da demanda). Nota técnica DEA 03/15. Disponível em: <[http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA_03-2015-Projeções da Demanda de Energia Elétrica 2015-2024.pdf](http://www.epe.gov.br/mercado/Documents/DEA_03-2015-Projeções_da_Demanda_de_Energia_Elétrica_2015-2024.pdf)>. Acesso em: 16 fev. 2017.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Ministério de Minas e Energia. Rio de Janeiro, 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2014**. Ano Base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2015**: Ano base 2014 / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2015

EPE, Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). **Balanco Energético Nacional 2016: Ano base 2015** / Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro : EPE, 2016

ÉPOCA: ENERGIA SOLAR SE TORNA MAIS BARATA QUE COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS. São Paulo: Editora Globo, 05 jan. 2017. Mensal. Disponível em: <<http://epocanegocios.globo.com/Mundo/noticia/2017/01/energia-solar-se-torna-mais-barata-que-combustiveis-fosseis.html>>. Acesso em: 13 mar. 2017.

FIGUEIRA, Fabio Fernandes. **Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede para Alimentar a Sala de Computação da Escola Municipal Tenente Antônio João.** Rio de Janeiro: UFRJ/ESCOLA POLITÉCNICA, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011680.pdf>>. Acesso em: 21 fev. 2017.

FTHENAKIS, Vasilis; KIM, Hyung Chul. 2011. **Photovoltaics: Life-cycle analyses.** Solar Energy, 85(8), pp.1609–1628. Available at: <http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2009.10.002>.

FUGIMOTO, Sergio Kinya. **Estrutura de tarifas de energia elétrica: análise crítica e proposições metodológicas.** 2010. Tese Doutorado. São Paulo.

FUKUROZAKI, Sandra Harumi. **Avaliação do Ciclo de Vida de Potenciais Rotas de Produção de Hidrogênio: Estudo dos Sistemas de Gaseificação da Biomassa e de Energia Solar.** 2011. Disponível em: <www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85134/tde.../2011FukurozakiAvaliacao.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2017.

GNOATTO, Estor. **Desempenho de painel fotovoltaico para geração de energia elétrica na região de Cascavel.** Cascavel, 2003. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Sistemas Agroindustriais), Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Cascavel - PR.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **Trends 2013 in photovoltaic applications:** survey report of selected IEA countries between 1992 and 2012. Photovoltaic Power Systems Programme (PVSP). Report IEA- PVPS T1-23, 2013.

IEE (Instituto de Energia e Ambiente). **Pesquisa do IEE aponta vantagens na microgeração fotovoltaica de energia.** USP-São Paulo, 2015. Disponível em: <http://www5.usp.br/84997/pesquisa-do-ieee-aponta-vantagens-na-microgeracao-fotovoltaica-de-energia/>. Acesso em: 27 de julho de 2015.

IPCC, **Fifth Assessment Report (AR5)**, Intergovernmental Panel on Climate Change. Genebra: 2013. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/>

KALOGIROU, Soteris A. **Engenharia de Energia Solar: Processos e Sistemas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2016. 864 p.

LEITE, Ana Carolina Gomes Moreira. **A sustentabilidade empresarial, social e as fontes de energia**. **Boletim de Inovação e Sustentabilidade**. PUCSP. São Paulo, 2013.

JÚNIOR, Orlando Lisita. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede: Estudo de caso de 3kWp instalados no estacionamento do IEE-USP**. São Paulo, 2005.

MAGNOLI, Demétrio.; SCALZARETTO, Reinaldo. **Geografia, espaço, cultura e cidadania**. São Paulo: Moderna, 1998. v. 1.

MANCILHA, Kamila Costa. **Aplicação de Energia Fotovoltaica para prédios Administrativos e Áreas Industriais**. 2013. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/prh-pb214/files/2014/01/Kamila-Aplicação-de-energia-fotovoltaica-para-prédios-administrativos-e-áreas-industriais.pdf>>. Acesso em: 21 mar. 2017.

MARTINS, Vanderlei Affonso. **Análise do potencial de políticas públicas na Viabilidade de Geração distribuída no Brasil**. 2015. Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://www.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/affonso.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2017.

METEONORM. **Software Meteonorm: Dados de irradiação para todos os lugares da Terra**. 2015. Disponível em: <http://www.meteonorm.com/en/>.

MME. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Plano Nacional de Energia 2030**. 2007. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/PNE/20080512_9.pdf>. Acesso em: 15 jun. 2016.

MME. **Resenha Energética Brasileira: Exercício de 2015**. 2016. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+\(PDF\)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0](http://www.mme.gov.br/documents/10584/3580498/02+-+Resenha+Energética+Brasileira+2016+-+Ano+Base+2015+(PDF)/66e011ce-f34b-419e-adf1-8a3853c95fd4?version=1.0)>. Acesso em: 25 fev. 2017.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. Monografia. São Paulo.

NAKABAYASHI, Renny Kunizo. **Microgeração fotovoltaica no brasil: viabilidade econômica**. 2015. INSTITUTO DE ENERGIA E AMBIENTE DA USP. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/mifoto.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2017.

PALZ, Wolfgang. **Energia Solar e fontes alternativas**. Editora Hemus, Curitiba, 2002.

PEREIRA, Enio Bueno; MARTINS, Fernando Ramos; ABREU, Samuel Luna; RUTHER, Ricardo. **Atlas Brasileiro de Energia Solar**. São José dos Campos: INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), 1º edição, 2006

PINHO, João Tavares; GALDINO, Marcos Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL – CRESESB. Edição revisada, Rio de Janeiro, 2014.

PORTAL SOLAR. **Portal Solar Ltda. ME.** Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/>. Acesso em: 16 mar. 2017.

PROCEL. **Manual de Tarifação da Energia Elétrica**. 2011. Eletrobras. Disponível em: <[http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual de Tarif En El - Procel_EPP - Agosto-2011.pdf](http://www.mme.gov.br/documents/10584/1985241/Manual%20de%20Tarif%20En%20El%20-%20Procel_EPP%20-%20Agosto-2011.pdf)>. Acesso em: 24 mar. 2017.

PVSOL. Version 7.5. **Design of Photovoltaic Systems**. 2015 Valentin Software GmbH.

RBS MAGAZINE. **A ENERGIA QUE VEM DO SOL: Uma solução limpa e sustentável**. Brasil, v. 03, n. 12, set. 2016. Mensal. Revista Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Disponível em: <https://issuu.com/rbsmagazine/docs/rbs_magazine_ed_12_low>. Acesso em: 10 jan. 2017.

REN21 (**Renewable Energy Policy Network for the 21st Century**). Renewables 2007 – Global Status Report. Disponível em: www.ren21.net.

RIBEIRO, Uirê Guimarães Vieira. **Estudo de viabilidade de instalação de fontes de energia renovável baseado em células fotovoltaicas para o uso residencial**. 2012. Disponível em: <[file:///C:/Users/User/Downloads/Ribeiro_Uire_Guimaraes_Vieira \(5\).pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Ribeiro_Uire_Guimaraes_Vieira%20(5).pdf)>. Acesso em: 11 abr. 2017.

ROSA, Carlos Adriano. **Estudo do balanço energético e do passivo ambiental resultante da fabricação de módulos fotovoltaicos**. 2008, 186p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá. Engenharia da Energia.

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

SANTOS, Bruna Akemi; MONTENEGRO, Rebeca; SOUSA, Ellen Campos. **Análise de viabilidade econômica da geração distribuída de energia elétrica a partir de células fotovoltaicas: um estudo comparativo com o advento da Resolução Normativa N° 482, de 17 de abril de 2012**. ENGEMA, USP. São Paulo, 2014.

SEMADE, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Econômico. **Governo dá isenção de ICMS na microgeração de energia elétrica renovável. 2016**. Disponível em: <<http://www.semade.ms.gov.br/governo-da-isencao-de-icms-na-microgeracao-de-energia-eletrica-renovavel/>>. Acesso em: 24 out. 2016.

SICES BRASIL. **Sistemas Fotovoltaicos completos**. 2017. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/company-beta/5043389/>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

SIQUEIRA, Lucimara Maria Paulo **Viabilidade da microgeração de energia elétrica em residências por um sistema composto por painéis fotovoltaicos conectados à rede**. Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica, 2013.

SOLSTÍCIO ENERGIA. **Sistema conectado à rede, 2013**. Disponível em: <<http://www.solsticioenergia.com.br/sobre-energia-solar/mercado-fotovoltaico/sistema-conectado-a-rede/>>. Acesso em 25 junho de 2015.

STOPPATO, Anna. **Life cycle assessment of photovoltaic electricity generation**. 2008. Energy, 33(2), pp.224–232.

STRAP. **Sistemas de Análise Estrutural**. Versão 2014, ATIR Engineering Software Ltda & SAE, (2014).

SUNEDISON, INC. **Projetos**. Disponível em: <http://www.sunedison.com.br/grandes-usinas/projetos.html>. Acesso em: 25 de julho de 2015.

SWERA. **Solar and Wind Energy Resource Assessment**,. 2006. Disponível em: <<https://maps.nrel.gov/swera/#/?aL=sNgXh9%5Bv%5D=t&bL=groad&cE=0&IR=0&mC=-21.089625396733922,-53.72314453125&zL=7>>. Acesso em: 26 mar. 2017.

TOLMASQUIM, Maurício. **“Fontes Alternativas de Energia no Brasil”**. Ed. Ciência Moderna. Rio de Janeiro, 2004.

TOLMASQUIM, Mauricio. **“Energia Renovável: Hidráulica, Biomassa, Eólica, Solar, Oceânica”** / Mauricio Tiomno. Tolmasquim (coord.). – EPE: Rio de Janeiro, 2016

JUNIOR, Jair Urbanetz. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados a Redes de Distribuição Urbanas: Sua Influência na Qualidade da Energia elétrica e Análise dos Parâmetros que Possam Afetar a Conectividade**. 2010. Tese. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis.

VERA, Luis Horacio. **Programa computacional para dimensionamento e simulação de sistemas fotovoltaicos autônomos**. 2004. 187 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Promec, Porto Alegre, 2004.

VITTI, Diego Christofolletti; ALVARES, Leandro Miranda. **Avaliação da Eficiência de Sistemas Fotovoltaicos**. 2006. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/903/1/2006_DiegoVittiLeandroAlvares.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2017.

WWF – Brasil. **Desafios e Oportunidades para a energia solar fotovoltaica no Brasil: recomendações para políticas públicas**. 1ª edição; Brasília. WWF-Brasil – Fundo Mundial para a Natureza. 2015

ANEXO I

1 - Solicitação de Acesso (Aprovação do Projeto e Emissão do Parecer de Acesso) - Prazo: 30 Dias/60 dias quando verificado necessidade de obras de rede.

Esta solicitação poderá ser realizada em qualquer agência de atendimento presencial da ENERGISA MS ou enviado via correios para o endereço abaixo:

Itens necessários para solicitação de acesso:

- a) Formulário: O formulário deverá estar completamente preenchido, datado e assinado.
- b) Projeto: Será necessária apresentação de apenas 02 vias (pastas; caderno; etc) conforme norma unificada da Energisa.

O projeto deverá conter obrigatoriamente no mínimo:

- Anotação de Responsabilidade Técnica (ART);
- Memorial descritivo;
- Identificação do cliente (Unidade Consumidora, Endereço, etc);
- Relação de cargas ou indicativo do montante de demanda contratada;
- Características técnicas (informações sobre dispositivos e materiais utilizados, fabricante, modelo; etc);
- Desenho/Diagrama/Planta do projeto;
- Documentação de registro/certificação dos dispositivos (nacionais ou internacionais);

Obs. A não apresentação de algum dos itens acima acarretará na devolução do projeto por falta de documentação obrigatória. Na ocasião do recebimento do projeto será aberto "Ordem de Serviço no Sistema" denominado Solicitação de Acesso Micro/Minigeração que poderá ser acompanhado através do atendimento Call Center 0800 729 7299.

2 - Execução do projeto - Prazo: Validade do parecer de acesso

O projeto deverá ser executado conforme o que foi aprovado e não deverá ser "conectado" antes da vistoria e aprovação das instalações bem como a troca do equipamento de medição. Vale ressaltar que em caso de geração excedente sem a instalação do medidor adequado, poderá ocorrer danos no funcionamento do equipamento de medição.

3 - Solicitação de vistoria - Prazo: 30 Dias

A vistoria deverá ser solicitada por e-mail através do endereço atendimento.grupoa@multienergisa.com.br ou por telefone através do 0800 729 7299. Na ocasião da solicitação será gerado protocolo da solicitação que também poderá ser acompanhado através do atendimento e Agência WEB.

Vale ressaltar que na ocasião da vistoria, caso constatado que a geração já está "ativa" a vistoria será reprovada e será aberto processo de procedimento irregular podendo ocasionar o cancelamento do parecer de acesso. Desta forma solicitamos que somente "ative" a geração após a vistoria e troca do equipamento de medição.

4 - Emissão do "Laudo de Vistoria" - Prazo: 15 Dias

O "Laudo de Vistoria" será emitido de acordo com o que foi verificado em campo e, se for o caso, o laudo apresentará as ressalvas necessárias para correção. Nestes casos após a adequação dos itens apresentados, deverá ser solicitada nova vistoria conforme apresentado no Item 3.

5 - Substituição do equipamento de medição - Prazo: 7 Dias

Na ENERGISA MS adotamos como prática substituir o medidor na ocasião da realização da vistoria caso a instalação seja aprovada. Lembrando que o custo da diferença do medidor convencional para o bidirecional será apresentado ao cliente através de lançamento em conta futura.

Nota Importante: Para unidades consumidoras que atualmente possuam instalados medidor do modelo LANDIS + GYR / E550 - Corrente 30/200, será necessária adequação na "mureta" do padrão de entrada devido a necessidade da instalação de "TC's - Transformador de Corrente" para medição indireta bidirecional.

6 - Termo de Adesão ao sistema de compensação

O documento "Termo de Adesão" deverá ser devolvido a distribuidora em duas vias assinadas, com pelo menos uma das vistas reconhecidas as "firmas" da assinatura do cliente em cartório ou representante legal. Não será possível solicitar a vistoria até que este documento seja entregue a distribuidora nas condições acima.

Nota Importante: Quando se tratar de PJ - Pessoa Jurídica será necessário apresentar cópia do contrato social/estatuto/ata de reunião de forma a identificar o representante legal.

Orientações Gerais

Com a publicação da Portaria INMETRO 271/2015, está suspensa, provisoriamente, a exigência da apresentação de documento de registro dos inversores/micro inversores junto ao INMETRO, para equipamento de fabricação nacional, sendo necessária apresentar apenas relatório de ensaio de conformidade por um dos laboratórios citados na portaria 271.

Para produtos importados, será necessário apresentar certificados de conformidade emitidos por entidades internacionais.