

SIDARTA GAUTAMA DE ALMEIDA

Estudo de viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Roraima – Campus Amajari

Sidarta Gautama de Almeida

Estudo de viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Roraima – Campus Amajari

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção

Orientador: Dr. Antonio Wagner Forti
Co-orientador: Dr. José Antonio Perrella Balestieri

Guaratinguetá - SP
2019

A447e	<p>Almeida, Sidarta Gautama de</p> <p>Estudo de viabilidade técnica e econômica para a implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica no instituto federal de ciência e tecnologia de Roraima – campus Amajari / Sidarta Gautama de Almeida. – Guaratinguetá, 2019.</p> <p>131 f : il.</p> <p>Bibliografia: f. 114-123</p> <p>Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019.</p> <p>Orientador: Prof. Dr. Antonio Wagner Forti</p> <p>Coorientador: Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri</p> <p>1. Energia solar 2. Viabilidade econômica. 3. Energia - Consumo I. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU 620.91 (043)</p>
-------	---

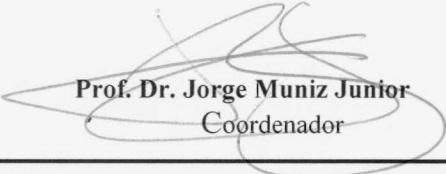
Pâmella Benevides Gonçalves
Bibliotecária/CRB-8/9203

SIDARTA GAUTAMA DE ALMEIDA


**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE
“MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO”**

**PROGRAMA: ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
CURSO: MESTRADO PROFISSIONAL**

APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO


Prof. Dr. Jorge Muniz Junior
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. ANTONIO WAGNER FORTI
Orientador / UNESP-FEG


Prof. Dr. PAULO VALLADARES SOARES
UNESP/FEG


Prof. Dr. HENRIQUE CESAR SAMPAIO
UNISAL

Fevereiro de 2019

DADOS CURRICULARES

SIDARTA GAUTAMA DE ALMEIDA

NASCIMENTO	22.05.1983 – BOA VISTA / RR
FILIAÇÃO	Clerio Cavalcante de Almeida Sheila Maria Pinho de Queiroz
2002/2007	Curso de Graduação - Engenharia Elétrica Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MINAS)
2011/2013	Curso de Pós-Graduação <i>lato sensu</i> em Engenharia de Segurança do Trabalho, na Universidade Estadual de Maringá (UEM)

“Dedico este trabalho a minha família e amigos,
e acima de tudo a Deus”.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela minha saúde e da minha família e assim poder concluir mais uma etapa importante na minha vida profissional.

Com carinho especial, agradeço os meus familiares, em especial à minha esposa Daniely e meu filho Heitor pelo estímulo a enfrentar este desafio, pela paciência e aceitação das minhas ausências e por me acompanharem em mais este importante momento da minha vida.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antonio Wagner Forti e co-orientador Prof. Dr. José Antonio Perrella Balestieri pela orientação, dedicação, paciência e ensinamentos durante a realização desta pesquisa.

Aos amigos de mestrado, em especial aos amigos de estrada, *Italo, Diogo, Douglas, Marcelo, Raildo, Hilton e Elisvanir* pelo apoio e amizade compartilhados durante este período.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Campus de Guaratinguetá), pelo acolhimento e pela infraestrutura disponibilizada para os estudos.

Ao Instituto Federal de Roraima (IFRR), por me proporcionar esta oportunidade de desenvolvimento acadêmico e profissional.

“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor,
mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou
o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou
o que era antes”.

(Martin Luther King)

RESUMO

Com o crescente aumento da demanda nacional de energia elétrica, da preocupação com os impactos ao meio ambiente e dos custos da energia proveniente da queima de combustíveis fósseis, usados para complementar a matriz energética brasileira e que a cada ano a sua utilização mostra-se cada vez mais inviável. É de extrema importância e indispensável que a adoção de novas alternativas de produção de energia capazes de suprir essa crescente demanda, sejam ao mesmo tempo confiável, econômica e sustentável. Neste contexto, o presente projeto de pesquisa busca, por intermédio da aplicação de um estudo de caso, realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento da energia solar e eólica como alternativa energética renovável no Instituto Federal de Roraima – Campus Amajari, localizado no norte do Estado de Roraima a 3°37'55" de latitude Norte, 61°24'41" de longitude oeste e altitude média de 88 m. A partir da análise preliminar realizada com base nos dados da irradiação solar e velocidade do vento coletados da estação de meteorologia instalada no IFRR – Campus Amajari, entre os anos de 2015 a 2018, foi constatado que a variação mensal da irradiação solar diária se mantém em valores altos no decorrer do ano com média anual de 5,26kWh/m².dia. Quanto a análise dos registros da velocidade do vento, registrou-se uma velocidade média de 1,94m/s, com a predominância do regime de ventos abaixo de 1 m/s e uma densidade média de potência eólica igual a 17W/m, indicando um baixo potencial para o aproveitamento eólico. A respeito do estudo da viabilidade econômica para os diferentes cenários propostos, foram utilizados três indicadores econômicos: o *payback*, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR). Conforme a análise do *payback* descontado, o investimento será rentável entre 9 a 10 anos para o cenário 1 e 7 a 8 anos para o cenário 2 e 3, período em que o VPL passa a ser positivo, o que representa um tempo de retorno pequeno em relação à vida útil de 25 anos do sistema. Para que o tempo de retorno sobre o investimento do SFCR seja cada vez menor, é necessário que as várias imposições econômicas governamentais sejam reduzidas através de medidas de políticas fiscais e de financiamento. Assim, será possível tornar o investimento cada vez mais atrativo.

PALAVRAS-CHAVE: Radiação solar. Energia solar. velocidade do vento. Energia eólica. Viabilidade técnica-econômica.

ABSTRACT

With the increase in the demand for electric energy, combustion caused damages to the environment and the costs of the energy from the combustion of combustion, was used to complement the Brazilian energy matrix and that each year is an operation becomes increasingly unfeasible. It is extremely important and essential that an adoption of new energy production alternatives be able to expand, be sustainable, economical and sustainable. This study, the present in this case, the inter-application of the case of the experimental case in the development of economical energy and wind like the case of solar energy and wind and alternative in renewable at the Federal Institute of Roraima - Campus Amajari, located in the north of the State of Roraima at 3°37'55 "north latitude, 61°24'41" west longitude and average altitude of 88 m. From the preliminary analysis carried out based on data from the solar irradiation and wind speed of the meteorological station installed in the IFRR - Campus Amajari, between the years of 2015 to 2018, it was verified that a monthly variation of the daily solar irradiation remains in values during the year with an annual average of 5.26kWh /m².day. As one of the series of wind speed records, an average of 1,94 m / s was recorded, with a predominance of winds below 1 m/s and an average wind power of 17 W/m, demonstrating low potential for wind farms. The study of financial viability for the different hypotheses has been one of the most profitable indicators: return, net present value (VPL) and an internal rate of return (TIR). According to the return analysis, the investment will be profitable between 9 and 10 years for scenarios 1 and 7 to 8 years for scenario 2 and 3, during which time the VPL is positive, which represents a small return time in life of the system. With regard to the return on investment of SFCR, it is necessary that it be done based on the exercise of SFCR. Thus, it will be possible to make discussion more and more attractive.

KEYWORDS: Solar radiation. Solar energy. Wind speed. Wind energy. Technical feasibility.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica elétrica – set/2018	20
Figura 2 - Fluxograma das Aplicações Práticas de Energia Solar.....	26
Figura 3 - Componentes da radiação solar ao nível do solo.....	27
Figura 4 - Efeito da inclinação dos raios solares na radiação recebida.	27
Figura 5 - Mapa de Irradiação solar média anual.	28
Figura 6 – Síntese dos níveis de irradiação solar por região do Brasil.....	29
Figura 7 - Comparativo das médias mensais da irradiação global horizontal no Brasil e em alguns países da Europa (kWh/m ² .dia).....	31
Figura 8 - Insolação diária média anual.....	31
Figura 9 - Instrumentos Solarimétricos: (a) Heliógrafo; (b) Actinógrafo; (c) Pireliometro; (d) Piranômetro Termoelétrico; (e) Pirânometro Fotovoltaico	33
Figura 10 - Sistema fotovoltaico isolado.....	36
Figura 11 - Sistema fotovoltaico conectado à rede.....	37
Figura 12 – Diagrama que relaciona os índices de mérito com o processo de conversão de energia.	45
Figura 13 – Potencial eólico no Brasil.....	47
Figura 14 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno.	48
Figura 15– Influência da mudança de rugosidade na distribuição da velocidade com a altura.	50
Figura 16 - As classes de rugosidade e as paisagens adotadas pelo Atlas Eólico Europeu.....	51
Figura 17- Efeito do obstáculo sobre os ventos, em função da sua altura.....	52
Figura 18 - escoamento em torno de uma colina “ideal”.....	52
Figura 19– Anemômetro tipo concha.	53
Figura 20 – Demonstração do funcionamento de uma turbina eólica	54
Figura 21– Configuração de um sistema eólico isolado.....	56
Figura 22 - Sistema interligado à rede.....	57
Figura 23 - Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção.....	63
Figura 24– Fluxograma das fase da pesquisa.	65
Figura 25 – Local da Instalação da Estação Meteorológica no IFRR - Campus Amajari.....	66
Figura 26– Sensores da instalação da estação meteorológica no IFRR - Campus Amajari.	67
Figura 27– Funcionamento da estação meteorológica do IFRR - Campus Amajari.	67
Figura 28– Localização do município onde está instalada a estação meteorológica.....	69

Figura 29 - Painéis FV e Inversores do IFRR – Campus Amajari: (a) Cobertura da Biblioteca; (b) Inversores da Biblioteca; (c) Cobertura do Ginásio; (d) Inversores do Ginásio.....	72
Figura 30 – Tela de entrada do RADIASOL – Estação “AMAJARÍ”.	81
Figura 31 – Tela do RADIASOL – Gráfico de irradiação solar global diária média: (a) Plano inclinado em 4 graus e (b) Plano inclinado em 10 Graus	82
Figura 32 Insolação diária. Média anual (horas).	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1– fator n para diferentes tipos de superfícies	49
Tabela 2 – Características Técnicas do Módulos Fotovoltaicos.	72
Tabela 3 – Características Técnicas do Inversor.	73
Tabela 4 - Tratamento descritivo dos dados da velocidade média diária do vento para a localidade do IFRR – CAM no período de 2015 a 2018.	75
Tabela 5 – Valores diários médios mensais de irradiação solar global em plano horizontal. ..	80
Tabela 6 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado ..	83
Tabela 8 – Índices de produtividade em SFCR instalados no Brasil e na Europa.	91
Tabela 9 – Índices de Desempenho Global e Fator de Capacidade de SFCR instalados no Brasil e na Europa.....	92
Tabela 10 – Índices de mérito para o SFCR instalado no IFRR –CAM.	93
Tabela 11 – Diferentes Cenários de SFCR para o Campus Amajari - IFRR.....	97
Tabela 12 – Emissão de carbono evitada para os SFCR propostos para o IFRR - CAM.....	98
Tabela 13 – Resumo da composição dos custos para a instalação do SFCR do IFRR – Campus Amajari referente ao cenário 1.	99
Tabela 14 – Tributos PIS e COFINS dos Últimos 12 meses.....	101
Tabela 15 – Histórico de Ajuste Tarifário Anual da Concessionária Eletrobrás Distribuição Roraima.	101
Tabela 16 – Dados a serem aplicados para análise de viabilidade econômica para os SFCR referente aos diferentes cenários propostos.	102
Tabela 17 – Projeção do VPL para os cenários propostos.	106
Tabela 18 – Resumo indicadores econômicos para os SFCR referente aos cenários propostos	108

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Descrição e <i>status</i> das fases de desenvolvimento da pesquisa.	65
---	----

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Comparativo das médias mensais da irradiação global horizontal no Brasil e em alguns países da Europa.....	30
Gráfico 2 - Curva I-V de um módulo operando com diferentes irradiâncias	40
Gráfico 3 – Curva da corrente elétrica em função da tensão elétrica de um módulo operando com diferentes temperaturas.....	41
Gráfico 4 – Curva característica de eficiência de vários modelos de inversores.	42
Gráfico 5 - Histograma de velocidades do vento.	58
Gráfico 6 – Influência do parâmetro k na curva de distribuição de Weibull.....	59
Gráfico 7 – Climograma do Município de Amajari.	69
Gráfico 8 – Variação do Consumo Médio Mensal no IFRR – Campus Amajari.....	70
Gráfico 9 – Perfil da Demanda de Energia Mensal no IFRR – Campus Amajari.....	71
Gráfico 10 - Velocidade média mensal na região do IFRR – Campus Amajari	75
Gráfico 11 - Histograma das velocidades do vento na região do Campus Amajari – IFRR	76
Gráfico 12 - Distribuição de Weibull para velocidades de ventos na região do Campus Amajari.....	78
Gráfico 13 - Direção média predominante do vento no IFRR, no período de 2015 a 2018.....	79
Gráfico 14 – Valores da irradiação global diária mensal entre 2015 e 2018.....	80
Gráfico 15 – Irradiação solar global para o plano horizontal e inclinado	83
Gráfico 16 – Componentes da Irradiação Solar Global: (a) Plano Horizontal; (b) Plano Inclinado de 4 Graus; (c) Plano Inclinado de 10 Graus.....	84
Gráfico 17 - Ganhos e perdas mensais relacionados com o ângulo de inclinação dos painéis solares.	85
Gráfico 18 – Insolação diária média mensal em horas.....	86
Gráfico 19 – HSP no IFRR – Campus Amajari.	88
Gráfico 21 – Geração de Energia Elétrica do SFCR do IFRR – Campus Amajari.....	89
Gráfico 22 – Geração de energia ideal e geração de energia real do SFCR do IFRR - CAM.	89
Gráfico 23 – Índice de Produtividade e perdas totais do SFCR do IFRR – CAM.....	90
Gráfico 24 – Desempenho Global e fator de capacidade do SFCR do IFRR – CAM.	92
Gráfico 25 – Consumo Energético do IFRR - CAM.....	93
Gráfico 26 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 1 em comparação com a Energia Consumida no IFRR – CAM.....	95

Gráfico 27 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 2 em comparação com a Energia Consumida no Campus Amajari - IFRR.....	96
Gráfico 28 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 3 em comparação com a Energia Consumida no Campus Amajari – IFRR.....	97
Gráfico 29 – Preço de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência.....	100
Gráfico 30 – Composição do custo total da instalação de um SFCR.....	102
Gráfico 31 – Gráfico do Payback Simples: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.	103
Gráfico 32 – Gráfico do Valor Presente líquido (VPL) para o SFCR: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.	105
Gráfico 33 – Gráfico da Taxa Interna de Retorno (TIR) para o SFCR: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.	107
Gráfico 34 – Gráfico de sensibilidade da variação do custo de instalação e do ajuste tarifário	109

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- AFV** – Área dos módulos fotovoltaicos
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica
- CA** – Corrente alternada
- CCC** – Conta de Consumo de combustível
- CO** – Monóxido de carbono
- CO₂** - Dióxido de carbono
- COFINS** – Contribuição para o financiamento da seguridade social
- CRESESB** - Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
- DG** – desempenho global
- DP** – Densidade de potência
- E_{ideal}** – Energia ideal a ser gerada
- EP** – Eletricidade produzida
- EPE** – Empresa de Pesquisa Energética
- E_{real}** – Energia real gerada
- FDI** – Fator de dimensionamento do inversor
- IEA – PVPS** - *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm*
- FV** - Fotovoltaico
- HSP** – Horas de Sol Pleno
- I** – Corrente elétrica
- ICMS** - Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
- I_{dc}** - Corrente contínua
- IFRR** – Instituto Federal de Ciência e Tecnologia de Roraima
- m²** - Metro quadrado
- mm²** - Milímetro quadrado
- MME** – Ministério de Minas e Energia
- P_{dc}** – Potência em corrente contínua
- PIS** – Contribuição tributária do Programa de Integração Social
- PFV** – Potencial fotovoltaica
- P_n** – Potência nominal
- PR** - Produtividade de referência
- PROINFA** - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica
- PRS** – Período de Retorno Simples

PS – Produtividade do sistema

Kg – Quilograma

kW - Quilowatts

kWh – Quilowatts hora

KWp – Quilowatts pico

KVA – Quilovolt ampere

SFCR – Sistema Fotovoltaico Conectado à rede elétrica

SFI – Sistema Fotovoltaico Interligado

Si – Silício

SIN – Sistema Interligado Nacional

Tamb – Temperatura ambiente

TIR – Taxa Interna de Retorno

Tm – Temperatura do módulo fotovoltaicos

TMA – Taxa mínima de atratividade

W – Watts

V – Volt

VAUE – Valor anual uniforme equivalente

V_{DC} – Tensão em corrente contínua

VPL – Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	19
1.2	QUESTÕES DE PESQUISA	22
1.3	OBJETIVOS.....	22
1.4	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	22
1.5	JUSTIFICATIVA	23
1.6	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	24
2	REFERENCIAL TEÓRICO	26
2.1	ENERGIA SOLAR	26
2.1.1	Instrumentos Solarimétricos.....	32
2.1.2	Energia Solar Fotovoltaica	33
2.1.3	Dimensionamento de um SFCR.....	37
2.1.4	Desempenho de um SFCR	39
2.1.4.1	Fatores que Influenciam no Desempenho de um SFCR.....	39
2.1.4.2	Índices de Mérito Utilizados na Avaliação de um SFCR.....	42
2.2	ENERGIA EÓLICA.....	46
2.2.1	Fatores que Influenciam no Regime dos Ventos.....	47
2.2.2	Instrumento de medição da Velocidade do Vento.....	53
2.2.3	Geração de Energia Eólica	54
2.2.4	Determinação Estatística do Regime dos Ventos.....	57
2.3	MÉTODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA	59
2.3.1	Período de Retorno de Um Investimento (<i>payback</i>)	60
2.3.2	Valor Presente Líquido (VPL)	61
2.3.3	Taxa Interna de Retorno (TIR).....	62
3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	63
3.1	CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA.....	63
3.2	MATERIAL E MÉTODO.....	64
3.3	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO.....	68
3.3.1	Área de Estudo	68
3.3.2	Consumo e Demanda de Energia Elétrica do IFRR – Campus Amajari.....	70
3.3.3	Caracterização do Sistema de Microgeração Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR) do Campus Amajari - IFRR.	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	POTENCIAL EÓLICO E SOLAR	74
4.1.1	Velocidade do Vento	74
4.1.2	Direção do Vento.....	78

4.1.3	Irradiação Solar Global em Plano Horizontal	79
4.1.4	Irradiação Solar Global em Plano Inclinado	81
4.1.5	Insolação.....	86
4.1.6	Horas de Sol Pleno (HSP)	87
4.2	ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) DO IFRR - CAM.....	88
4.2.1	Energia Gerada pelo SFCR do IFRR – Campus Amajari	88
4.2.2	Índices de Mérito do SFCR do IFRR – Campus Amajari.....	90
4.2.2.1	Produtividade.....	90
4.2.2.2	Desempenho Global e Fator de Capacidade.....	91
4.3	DIMENSIONAMENTO DE SFCR PARA O IFRR – CAM.....	93
4.3.1	Cenário 1	94
4.3.2	Cenário 2	95
4.3.3	Cenário 3	96
4.4	ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA	98
4.4.1	<i>Payback</i> Simples	99
4.4.2	Valor Presente Líquido (VPL) e <i>Payback</i> Descontado	104
4.4.3	Taxa Interna de Retorno (TIR)	107
4.4.4	Análise de Sensibilidade Econômica	109
5	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.....	110
5.1	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	111
	REFERÊNCIAS	112
	ANEXO A - FOLHA DE DADOS DOS MODULOS FOTVOLTAICO (JINKO SOLAR).....	122
	ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR (FRONIUS).....	124
	ANEXO C - COMPOSIÇÃO DE CUSTO COMPLETA DO SFCR DO CENÁRIO 1	126
	ANEXO D - ESCALA BEAUFORT	127
	APÊNDICE A - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 1	128
	APÊNDICE B - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 2	129
	APÊNDICE C - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 3	130

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Desde o início da civilização, o homem vem utilizando várias fontes de energia, começando com a energia mecânica, resultante do trabalho de animais domesticados. Depois de alguns milênios, a energia hidráulica dos rios e a eólica também passaram a ser utilizadas. Somente há três séculos, com o advento do processo de industrialização e a necessidade de fontes com maior potência energética, o homem passou a utilizar o carvão mineral. Esse fato levou a uma drástica redução do uso da energia renovável, dando início à era da energia não renovável, chamada de era dos “combustíveis fósseis”, que se estende até os dias de hoje (DUTRA et al., 2013).

A necessidade crescente por energia vem assumindo um papel fundamental na sociedade. No entanto, a forma de geração e consumo de energia vem causando certos impactos sociais e principalmente ambientais. Assim, uma possível alternativa para minimizar os efeitos negativos em consequência de sua utilização consiste em recorrer ao uso de energias renováveis (MORAES; SANTOS, 2015).

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2008), o consumo de energia pode ser considerado como um dos principais indicadores do nível de qualidade de vida e do desenvolvimento da economia de qualquer sociedade. Ele reflete tanto o ritmo de atividade dos setores da economia, quanto a capacidade da população para adquirir bens e serviços com tecnologia mais avançada.

Peixoto (1981) destaca que após a Segunda Guerra Mundial, o rápido crescimento industrial fez crescer a demanda por energia no mundo, sobretudo em virtude das mudanças ocorridas no padrão de consumo da sociedade, fazendo do petróleo a principal fonte de energia para o mundo.

Antes da Revolução Industrial, o ritmo econômico da humanidade exercia pouca influência no meio ambiente, pois o seu impacto ambiental era absorvido pelo ecossistema, que mantinha seu equilíbrio natural. Após a Revolução Industrial, iniciada no século XVIII, a modernização do setor industrial foi impulsionada pela utilização de combustíveis fósseis em larga escala. Esse fato trouxe uma série de consequências, que podem ser descritas como resultado de um processo de crescimento descontrolado capaz de destruir a camada de ozônio; acidificar solo e águas superficiais; dissipar substâncias tóxicas no ambiente; acumular substâncias não biodegradáveis e radioativas no ambiente; diminuir área de florestas; dentre

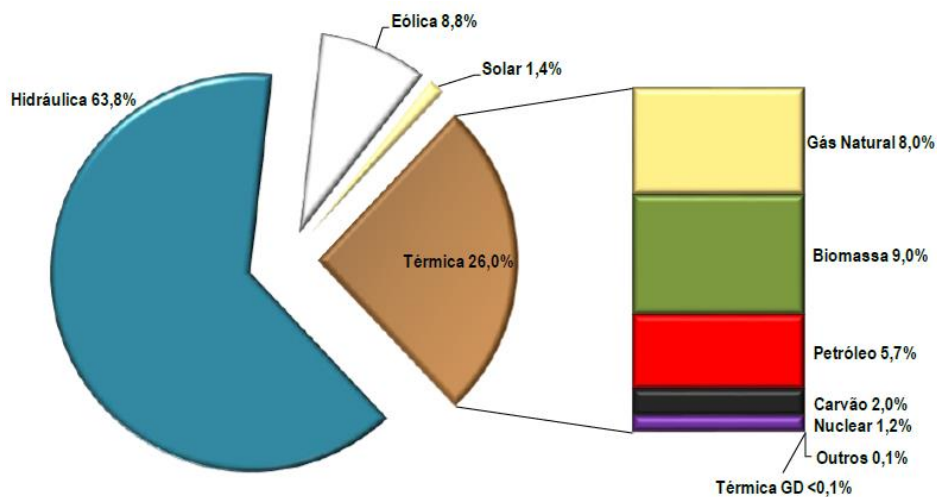
outros. Portanto, a agressão humana ao meio ambiente tornou-se cada vez maior e, atualmente, na maioria das situações, o meio ambiente não consegue manter seu equilíbrio natural (RIPPEL et al., 2009).

Segundo Mendes (2005), o padrão capitalista de crescimento econômico atual gerou riqueza e abundância no mundo, porém, acarretou um aumento da desigualdade social e destruição ambiental. Nesta conjuntura, em meados do século XX, o “Relatório Brundtland”, elaborado pela Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento da Organização das Nações Unidas (1987), definiu sustentabilidade como a capacidade de suprir as necessidades da geração presente sem afetar a habilidade das gerações futuras de suprir as suas.

Com relação à produção de energia, a humanidade encontra-se numa fase de mudança do modelo de economia baseado em fontes energéticas derivadas dos combustíveis fósseis para modelos sustentáveis com menor impacto ao meio ambiente (CRUZ, 2015). Segundo Martins et al. (2004), o crescente aumento da demanda de energia, atrelado à possibilidade de redução da oferta de combustíveis fósseis, juntamente com a preocupação em preservar o meio ambiente, tem aumentado o incentivo à pesquisa de fontes alternativas de energia menos poluentes, renováveis e que produzam pouco impacto ambiental.

No Brasil, a principal fonte de geração de energia elétrica provém de grandes usinas hidroelétricas, representando cerca de 63,8% da matriz elétrica Brasileira (Figura 1). Apesar de serem conhecidas como fonte de energia limpa, causam grandes prejuízos ambientais e sociais, uma vez que para sua operação, grandes áreas de terra precisam ser submersas permanentemente.

Figura 1 – Matriz de capacidade instalada de geração de energia elétrica – dez/2018



Fonte: MME (2018).

Ocupando 26% da matriz elétrica brasileira, encontram-se as usinas termoeletricas (MME, 2018). Elas produzem energia a partir da combustão ou queima de combustíveis derivados do petróleo, carvão, gás natural, nuclear e biomassa (lenha, bagaço de cana, lixo e outras fontes primárias) e como consequência liberam gases poluentes na atmosfera, tais como o dióxido de carbono (CO₂), o monóxido de carbono (CO), que é tóxico e venenoso; material particulado, como a fuligem (C), e outros gases oriundos da presença de impurezas, como os óxidos de enxofre e de nitrogênio (FOGAÇA, 2018).

No entanto, nas últimas décadas, a construção de grandes empreendimentos, principalmente hidroelétricas, vem sofrendo dificuldade, visto que os potenciais ainda não explorados encontram-se em áreas com grandes restrições ambientais e distantes dos centros de carga, além da dificuldade de gerenciamento destas grandes obras no país (NAKABAYASHI, 2014).

Atualmente, Roraima é o único estado do território nacional que não está integrado ao Sistema Interligado Nacional (SIN), parte da energia elétrica consumida no estado é proveniente do complexo hidrelétrico venezuelano e da hidrelétrica de Jatapu, localizada no sul do estado, sendo que para o fornecimento de energia as comunidades isoladas a solução adotada, na grande maioria desses casos, resulta na instalação de sistemas compostos por unidades de geração termelétricas à diesel. Em consequência disso, contribuem com a contínua agressão ao meio ambiente, além de onerar as concessionárias do Sistema Interligado, as quais repassam esses custos para as tarifas de todos os consumidores finais, através dos subsídios para custear a geração de energia desses sistemas (Conta de Consumo de Combustíveis – CCC).

Segundo da Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2018), há atualmente cerca de 250 localidades isoladas no país, a maior parte está localizada na região Norte.

Diante desse cenário, uma opção real para redução dos problemas e impactos gerados é o uso de fontes alternativas de energias renováveis, as quais podem ser utilizadas de forma complementar as fontes convencionais de geração de energia elétrica (ALVES et al, 2014).

Neste sentido, é necessário analisar a busca por fontes alternativas de energia renováveis, considerando as perspectivas de substituição das fontes não renováveis, reduzindo o custo econômico e o impacto ambiental causado pelas mesmas.

1.2 QUESTÕES DE PESQUISA

Com a crescente demanda por energia, surge a necessidade da busca por fontes alternativas de energia, as quais devem ser renováveis e que minimizem o impacto de suas operações ao meio ambiente.

O Brasil, por ser um país de dimensões continentais e também pela posição geográfica, possui diversas regiões que apresentam um cenário favorável para o aproveitamento da irradiação solar e da força dos ventos como fontes de energia renováveis para a geração de energia elétrica. O presente estudo procura responder as seguintes questões:

- ✓ Qual a viabilidade técnica para o aproveitamento do potencial de energia solar e eólica presente na localização do Instituto Federal de Roraima - Campus Amajari?
- ✓ Qual a viabilidade econômica para a implantação de um sistema de geração híbrido, considerando a parcela de uso das fontes de geração de energia (eólica, solar e concessionária local)?

1.3 OBJETIVOS

Realizar um estudo de viabilidade técnica-econômica para a implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica para atender a demanda do Instituto Federal de Roraima – Campus Amajari.

.Objetivos específicos:

- ✓ Avaliar o potencial solar e eólico da região do Campus Amajari;
- ✓ Analisar o desempenho do SFCCR instalado no IFRR – Campus Amajari;
- ✓ Realizar o dimensionamento estimado de sistemas híbridos para suprir cinquenta e cem por cento da demanda de energia do Campus Amajari;

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

Essa pesquisa será realizada considerando um período de 25 anos para o tempo de vida útil da instalação do sistema fotovoltaico.

No que diz respeito a localização, as conclusões da pesquisa ficam limitadas a região do Instituto federal de Roraima-Campus Amajari, situado a 3°37'55" de latitude Norte, 61°24'41" de longitude oeste.

O potencial para obtenção de energia solar e eólica será baseado na coleta de dados relativa ao período de março de 2015 a setembro de 2018.

1.5 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, a demanda nacional de energia elétrica aumentou consideravelmente, de acordo com a Empresa de Pesquisa Energética – EPE (2016), para o período de 2013-2050, há uma projeção de crescimento de aproximadamente 200% na demanda de eletricidade a ser atendida pelo Sistema Elétrico Nacional. É de extrema importância que a expansão das fontes de energia para atender essa crescente demanda, advenha de recursos menos agressivos ao meio ambiente e que favoreçam a diversificação da matriz energética, procurando reduzir a utilização das fontes convencionais como as hidroelétricas e as termoelétricas, que causam tantos impactos ao meio ambiente (ANEEL, 2008).

As fontes renováveis de energia são apresentadas como a principal alternativa para às dificuldades da sociedade com relação à qualidade e segurança do atendimento da demanda de eletricidade com a redução dos danos ambientais decorrentes do consumo de energia (MARTINS, 2008).

Diante deste contexto, o Brasil tem dado sinais de comprometimento com a manutenção de uma grande participação de energias renováveis na matriz energética, através da publicação da Lei Federal 10.482 em abril de 2002, criando o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA), com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). E em 17 de Abril de 2012, a ANEEL, regulamentou a Resolução Normativa nº 482, a qual estabelece, no seu artigo 1º: as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica (geração distribuída) e o sistema de compensação de energia elétrica “*net metering*”. O sistema de compensação baseia-se em créditos de energia.

Dentre as inúmeras possibilidades de energias renováveis que produzem reduzidos impactos ambientais, as fontes de energia eólica têm surgido como uma das mais atraentes sob o ponto de vista técnico e econômico, levando-se em conta a produtividade e confiabilidade, e sob o ponto de vista ambiental, durante sua operação não são emitidos gases de efeito estufa (NASCIMENTO; MENDONÇA; CUNHA, 2012).

O Brasil é possuidor de grande potencial de geração de energia solar, considerando que grande parte de seu território está localizado sob área tropical, embora a fonte fotovoltaica em operação represente apenas 1,4% da matriz energética nacional (ANEEL, 2018).

A fonte de energia solar fotovoltaica favorece a descentralização da geração de energia elétrica, pois pode ser instalada próximo aos centros urbanos, ou ainda, em telhados

residenciais, comerciais e industriais, reduzindo as perdas e custos com a construção e manutenção das longas linhas de transmissão e distribuição. Sob o ponto de vista ambiental, a tecnologia fotovoltaica pode ser considerada uma das opções que menos causam impactos, pois não geram poluentes durante sua operação, não produzem ruído e os resíduos de fabricação ou de descarte dos equipamentos utilizados nesse sistema, principalmente os módulos fotovoltaicos, podem ser reciclados pelos fabricantes (FUSANO, 2013).

As pequenas fontes de energia hídrica, principalmente as PCHS que vem sendo instaladas no Brasil, estão se tornando cada vez mais sensíveis a sazonalidade hídrica, pois operam com reservatórios menores ou fio d'água, não permitindo a regularização do fluxo de água, sendo necessário a complementação por outros tipos de fontes para suprir a demanda durante os meses de estiagem (TRALDI, 2014). Sob o ponto de vista ambiental, embora simplificada, os trâmites do licenciamento ambiental podem gerar atrasos na concepção das mesmas (VERGÍLIO, 2012).

O Brasil apresenta grandes vantagens para a exploração da biomassa como recurso energético, considerando as condições adequadas do clima e solo (CARDOSO, 2012). No entanto, nas regiões menos desenvolvidas, a biomassa mais utilizada é de origem florestal, sendo que o processo necessita de grande volume matéria-prima para produção de pequenas quantidades de energia (ANEEL, 2008). Sob o ponto de vista ambiental, o processo de geração de energia através da biomassa tem um ciclo de carbono fechado, ou seja, as emissões de carbono são parte de um ciclo, com trocas compensadoras do carbono terrestre e atmosférico, o que não pode ser visto no processamento dos combustíveis fósseis (OLIVEIRA, 2012).

Portanto, considerando os fatos acima citados e procurando atender à crescente demanda de energia imposta pelo crescimento socioeconômico, o presente projeto de pesquisa busca, por intermédio da aplicação de um estudo de caso, realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica para o aproveitamento da energia solar e eólica como alternativa energética renovável no Campus Amajari - IFRR.

1.6 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

Para a realização dos propósitos do presente estudo, estruturou-se o seu conteúdo em capítulos, da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução: apresenta uma visão inicial do assunto, as questões de pesquisa, os objetivos do estudo, a delimitação e justificativa da pesquisa.

- Capítulo 2 – Fundamentação Teórica: aborda os principais conceitos e teorias que norteiam toda a base de conhecimento usada para a condução desta pesquisa.
- Capítulo 3 – Procedimentos Metodológicos: apresenta a classificação da pesquisa, material e método e a caracterização do objeto em estudo.
- Capítulo 4 – Resultados e Discussão: expõe a análise e discussão dos resultados do levantamento do potencial eólico e solar para geração de energia elétrica, do dimensionamento e do desempenho do sistema de microgeração fotovoltaico conectado na rede do Campus Amajari do IFRR, assim como a análise de viabilidade econômica.
- Capítulo 5 – Conclusões: apresenta as conclusões a respeito dos objetivos e das contribuições do trabalho, além de sugestões para futuras pesquisas. É seguido das referências.
- Anexos e Apêndices: quatro anexos e três apêndices complementam o presente trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

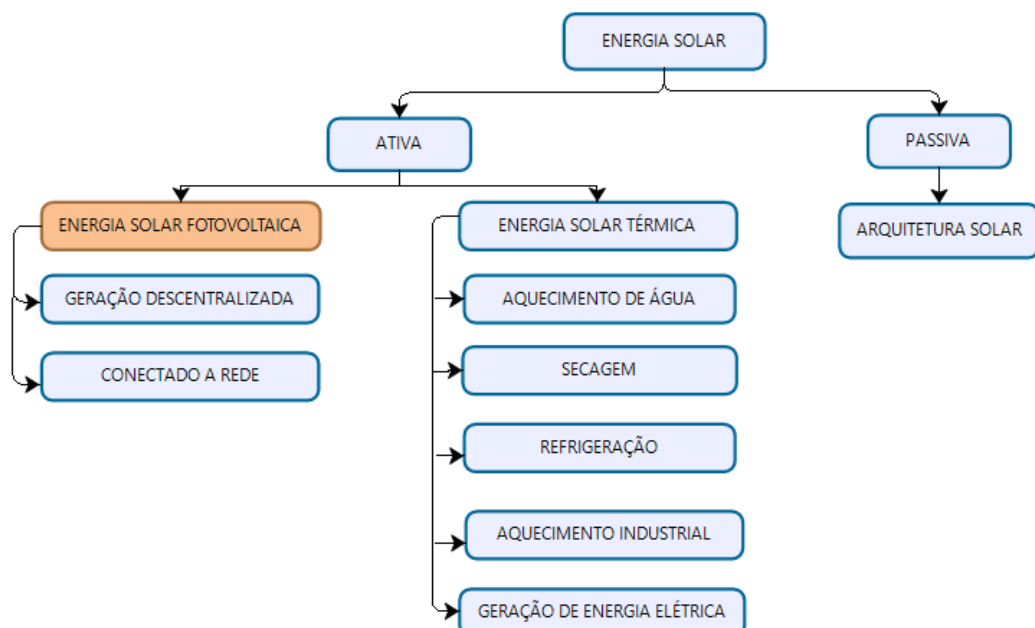
Este capítulo tem como objetivo apresentar os principais conceitos e teorias necessários para compreensão do desenvolvimento desta pesquisa. Portanto, nas próximas subseções são expostos os conceitos fundamentais para a aplicação de sistemas fotovoltaicos e eólicos, ponderando suas características, modo de funcionamento e tecnologia empregada em sua fabricação. Por fim, também são explanados conceitos técnicos sobre os métodos financeiros para análise de viabilidade econômico-financeira de projeto.

2.1 ENERGIA SOLAR

O sol é a principal fonte de energia para a Terra. Além de ser responsável pela manutenção da vida no planeta, a radiação solar é uma fonte energética abundante a qual pode ser convertida em energia térmica e elétrica (PINHO; GALDINO, 2014).

A energia solar pode ser utilizada na forma passiva, uso mais comum na arquitetura bioclimática que consiste na harmonização de construções ao clima, vegetação e hábitos de consumo, para promover melhor utilização dos recursos energéticos (CEMIG, 2012). Além disso, ela também pode ser usada na forma ativa, por meio de dispositivos capazes de convertê-la diretamente em energia elétrica ou em energia térmica, através de coletores planos e concentradores (TOLMASQUIM, 2003).

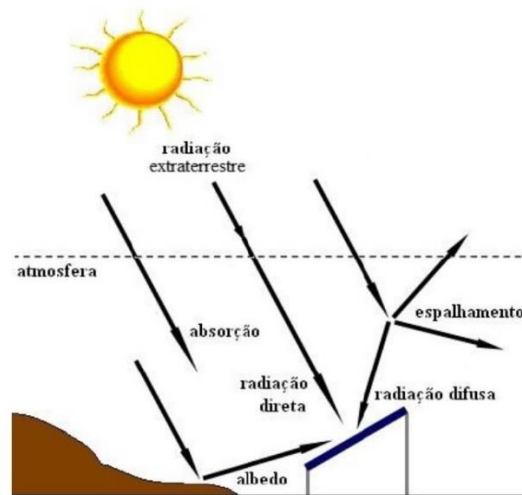
Figura 2 - Fluxograma das aplicações práticas de energia solar.



Fonte: Adaptado Tolmasquim (2003).

A energia radiante emitida pelo sol, também denominada radiação solar, penetra na superfície terrestre e pode ser decomposta em planos. No plano horizontal, a radiação global consiste na soma da radiação direta e difusa, ao mesmo tempo que no plano inclinado, acrescenta-se uma parcela refletida na extensão terrestre e nos elementos do entorno, denominada albedo (PINHO et al.,2008), conforme Figura 3.

Figura 3 - Componentes da radiação solar ao nível do solo

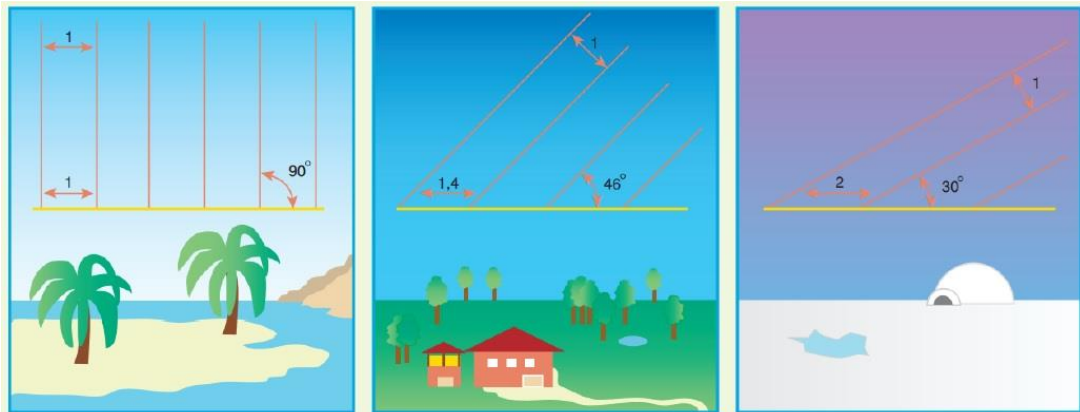


Fonte: Pinho et al. (2008).

A irradiância é a taxa de radiação solar incidente sobre um corpo, por unidade de superfície. A densidade de fluxo de energia solar ou irradiância solar que atinge a atmosfera terrestre é expressa em W/m^2 (MORAES, 2015).

A irradiância solar varia com o ângulo de incidência dos raios solares, ou seja, de acordo com a localização no globo terrestre (SOUZA, 2017), conforme exposto na Figura 4.

Figura 4 - Efeito da inclinação dos raios solares na radiação recebida

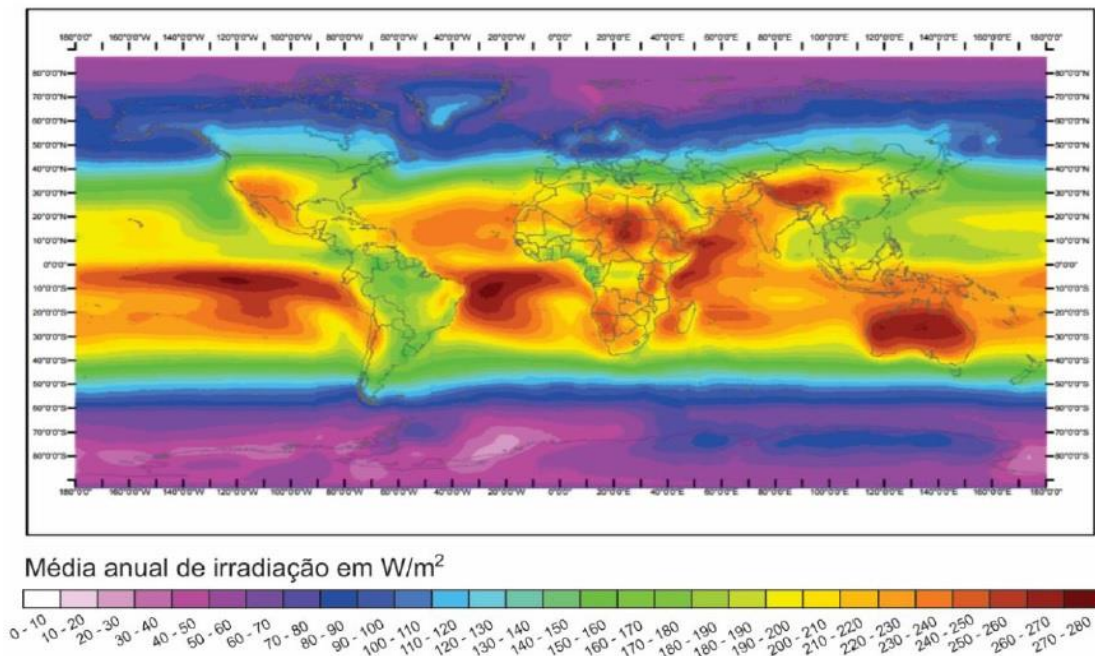


Fonte: Souza (2017).

As zonas próximas à linha do Equador dispõem de menor variabilidade da irradiação solar enquanto as localidades em grandes latitudes apresentam grandes variações da irradiação durante o ano (TOLMASQUIM, 2016). Deste modo as regiões localizadas entre os círculos polares e os trópicos podem ser consideradas como de médio potencial de energia solar e as regiões localizadas entre as linhas tropicais podem ser consideradas de alto potencial (SÁLES, 2008).

Na Figura 5 é representada a distribuição espacial da irradiância solar média anual que atinge a superfície terrestre, com base em imagens de satélites meteorológicos adquiridos entre os anos de 1990 a 2004 (PINHO; GALDINO, 2014).

Figura 5 - Mapa de irradiação solar média anual



Fonte: Souza (2017).

Os dados da irradiância solar são importantes para o desenvolvimento de tecnologias para converter energia solar em energia elétrica, pois para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico recomenda-se uma irradiância solar mínima na faixa de 125 a 166 W/m^2 , o que em um período de 24 h representa de 3 a 4 kWh/m^2 .dia, valores estes disponíveis para quase todas as zonas entre os trópicos de Câncer e Capricórnio (PINHO; GALDINO, 2014).

O mapa da Figura 6 extraído do documento “Atlas do Potencial Solar Brasileiro” (ANEEL, 2017), apresenta a média anual irradiação solar incidente no território brasileiro. Apesar das diferentes características climáticas observadas no Brasil, a média anual de irradiação global apresenta boa uniformidade, com médias anuais relativamente altas em todo

país. Conforme o mapa, a região nordeste apresenta o maior valor médio de irradiação global de 5,49 kWh/m². A menor média de irradiação solar global é de 4,53 kWh/m², ocorre na região sul do Brasil (MARTINS et al., 2017), valores estes superiores a diversos países da Europa que possuem uma quantidade expressiva de sistemas de geração fotovoltaica instalados, como, por exemplo, Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França.

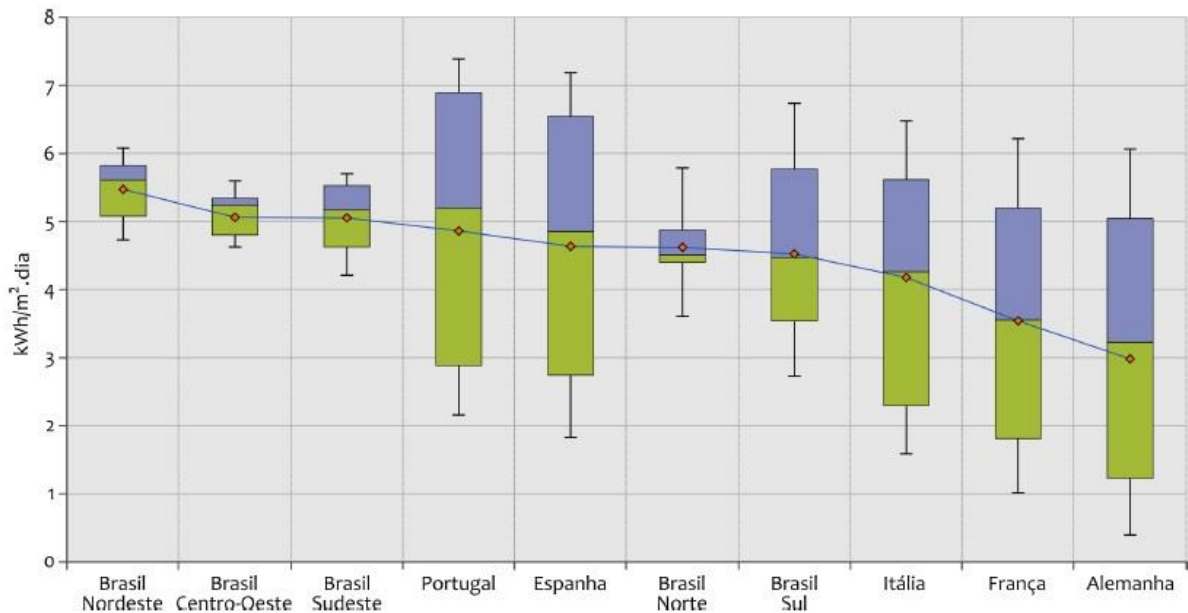
Figura 6 – Síntese dos níveis de irradiação solar por região do Brasil



Fonte: Martins et al. (2017).

No Gráfico 1 é apresentada uma comparação da variabilidade da irradiação global horizontal média mensal nas cinco regiões brasileiras com esses países europeus. A comparação é feita na forma de *box-plot*, com as caixas representando 50% dos valores, as linhas verticais os valores máximos e mínimos e os losangos vermelhos as médias (MARTINS et al., 2017).

Gráfico 1 - Comparativo das médias mensais da irradiação global horizontal no Brasil e em alguns países da Europa



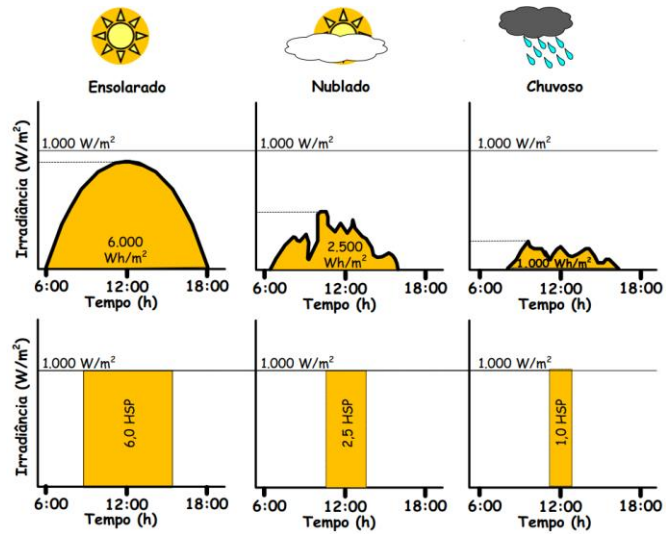
Fonte: Martins et al. (2017).

Além da radiação solar incidente, para o correto dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, há outra importante variável que pode ser considerada, representada pela quantidade de horas se sol pleno (HSP). Esta grandeza expressa o número de horas em que a irradiância solar deve manter-se constante e igual a 1 kWh/m^2 (PINHO; GALDINO, 2014).

Na Figura 7 é ilustrada a exemplificação do conceito de HSP considerando a diferença de perfil de irradiância em relação a três dias. Esse método é utilizado para o dimensionamento de um sistema de geração fotovoltaico, ou a potência pico da instalação. Levando-se em consideração que ao nível da superfície terrestre, a irradiância solar máxima gira em torno de 1000 Wh/m^2 , sendo assim 1 HSP representa a energia recebida no decorrer de uma hora com essa irradiância ao longo do dia (PINHO et al., 2008).

Como no decorrer do dia este valor máximo de irradiância somente é verificado próximo ao meio-dia e durante pouco tempo, o número de HSP em um dia é calculado dividindo-se a energia recebida, em kWh/m^2 , pelo nível da irradiância de pico, 1.000 W/m^2 (PINHO et al., 2008). No Brasil, esse valor oscila entre 4 e 6 HSP, média diária anual, de acordo com a região geográfica.

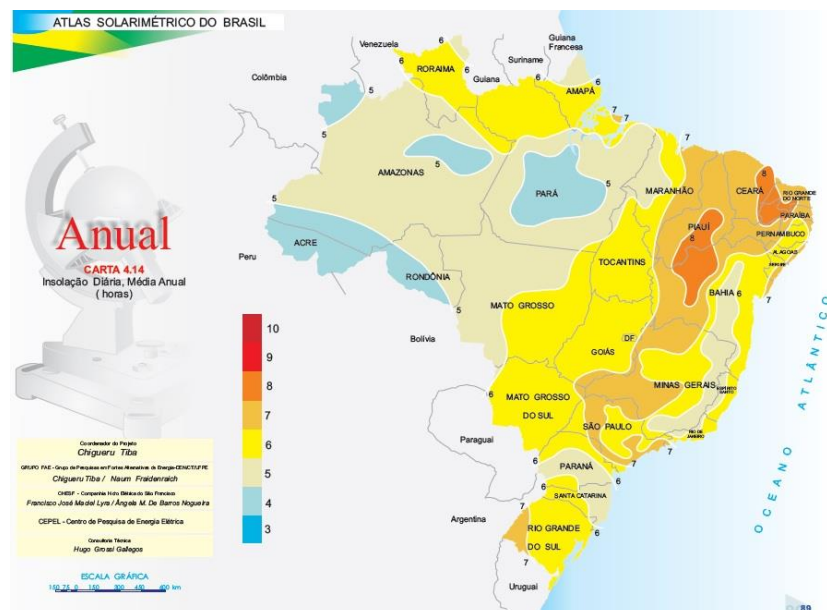
Figura 7 - Comparativo das médias mensais da irradiação global horizontal no Brasil e em alguns países da Europa (kWh/m².dia)



Fonte: Pinho et al. (2008).

Conforme o mapa da Figura 8, praticamente todo o território brasileiro, possui a insolação diária média anual variando entre 4 a 8 horas. A maior insolação média diária em um ano encontrada, corresponde a 8 horas de sol, que pode ser visualizada na região do sertão nordestino, área que abrange o sudeste do Estado do Piauí com a região noroeste do Estado da Bahia. De forma complementar, a região leste do Estado do Ceará, próxima das regiões oeste dos Estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba.

Figura 8 - Insolação diária média anual



Fonte: Tiba (2000).

2.1.1 Instrumentos Solarimétricos

Os instrumentos solarimétricos medem a incidência de radiação solar por unidade de área, sendo a irradiância (W/m^2) ou irradiação solar (Wh/m^2 ou J/m^2). Os dados de radiação podem ser medidos sob a forma global ou através da soma das componentes direta e difusa, conforme o instrumento utilizado. A coleta pode ser realizada sobre um plano horizontal ou sobre planos inclinados (MME, 2008).

A medição da irradiação solar, tanto a componente direta como a componente difusa na superfície terrestre são importantes para os estudos da influência das condições climáticas e atmosféricas. Com um histórico dessas medidas, pode-se analisar a viabilidade da instalação de sistemas térmicos e fotovoltaicos em uma determinada região garantindo o máximo aproveitamento ao longo do ano (CRESESB, 2006).

Os instrumentos solarimétricos comumente utilizados para medição da irradiação solar são: (1) heliógrafo, instrumento que registra a duração do brilho solar. (Figura 9-a); (2) actinógrafo, também conhecido como piranógrafo usado para medição da radiação solar global e medição da componente difusa da radiação, através da utilização de uma banda de sombreamento (figura 9-b); (3) pireliometro, utilizado para medir a componente direta da radiação (figura 9-c) e (4) piranômetro, instrumento utilizado para medição da irradiância solar global sobre o plano horizontal (MME, 2008).

Existem dois tipos principais de piranômetro: piranômetro termoeletrico e piranômetro fotovoltaico. O piranômetro termoeletrico, apresentado na Figura 9-d, tem como sensor uma termopilha colocada no interior de duas semiesferas de vidro concêntricas. A termopilha é construída com múltiplos termopares em série que medem a diferença de temperatura entre as duas superfícies, uma cor preta e outra cor branco igualmente iluminadas. A expansão sofrida pelas superfícies provoca um diferencial de potencial que, ao ser medida, mostra o valor instantâneo da energia solar (CRESESB, 2006).

O piranômetro do tipo fotovoltaico (FV), ilustrado na Figura 9-e, é composto por uma célula fotovoltaica de silício monocristalino de pequenas dimensões. Estes piranômetros são largamente utilizados, pois apresentam custos bem menores do que os equipamentos tradicionais.

Figura 9 - Instrumentos solarimétricos: (a) heliógrafo; (b) actinógrafo; (c) pireliometro; (d) piranômetro termoeletrico; (e) piranometro fotovoltaico



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Fonte: MME (2008).

2.1.2 Energia Solar Fotovoltaica

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão da radiação solar em eletricidade por intermédio de materiais semicondutores, esse fenômeno é conhecido como efeito fotovoltaico. O efeito fotovoltaico foi relatado pelo físico francês Edmond Becquerel no ano de 1839. Segundo Sauer et al. (2006), somente em 1876 foi obtido o primeiro dispositivo a base de selênio, porém, o primeiro dispositivo viável foi desenvolvido no ano de 1953, nos Laboratórios Bell, nos Estados Unidos, em um substrato de silício.

Nos últimos anos, esta aplicação, que teve início nos programas espaciais, obteve um grande avanço em sua tecnologia, melhorando a eficiência das células fotovoltaicas e diminuição em seu peso. Essa tecnologia, de acordo com Sauer et al. (2006), ficou limitada à

aplicação aeroespacial até o início da década de 1970, quando, em razão da primeira crise do petróleo, iniciaram-se novas investigações mais detalhadas para sua aplicação.

Devido à crise mundial de energia ocorrida em 1973/74, houve a necessidade de se buscar novas tecnologias viabilizando assim o uso das células fotovoltaicas no meio terrestre para suprir o fornecimento de energia, antes restrita apenas aos programas espaciais. Como as células fotovoltaicas tinham um custo muito elevado, sua aplicação era inviável. Devido à ampliação dos mercados e várias empresas voltadas para a produção de células fotovoltaicas, o preço tem reduzido ao longo dos anos, encontrada hoje, para o fornecimento em larga escala. As facilidades de um sistema fotovoltaico, como baixos custos de manutenção e vida útil longa, faz com que sejam de grande importância para instalações em lugares desprovidos da rede elétrica (CRESESB, 2006).

Conforme Vallêra e Brito (2006), as décadas de 1980 e 1990, foram consideradas um período de investimento em energia solar, oriundo de programas de financiamento e motivados, principalmente pela consciência crescente da ameaça das alterações climáticas resultantes da queima de combustíveis fósseis.

Segundo Sauer et al. (2006), em 1990, foi anunciado o resultado proveniente de uma célula de 5 mm² em escala laboratorial com eficiência de conversão de 35%, quando a tecnologia de fabricação de células em silício policristalino tornou-se interessante. A partir de então, segundo os autores, houve uma retomada dos investimentos em pesquisas para a obtenção de silício policristalino de baixo custo. Sauer et al. (2006) destaca que, apesar de a energia solar ser a mais abundante entre as fontes renováveis, ainda assim, tem os custos por kW instalado mais elevados, especialmente em decorrência do oneroso processo de fabricação de painéis fotovoltaicos. Apesar disso, esse é um mercado em franca expansão.

Shayani, Oliveira e Camargo (2006) descrevem que o custo oriundo da implantação da geração solar pode chegar a 50 vezes o custo de implantação de uma pequena central hidrelétrica, contudo, o custo da energia gerada durante a vida útil do sistema implantado, mostra-se 10 vezes mais eficiente para sistemas isolados e 3 vezes mais eficiente para geração interligada à rede elétrica. Deste modo, com a redução anual do custo dos sistemas solares e a valorização dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, o sistema solar tende a se tornar economicamente competitivo a curto prazo.

Segundo Cresesb (2006), atualmente as células fotovoltaicas são fabricadas, na sua grande maioria usando o silício (Si) e podendo ser constituída de cristais monocristalinos, policristalinos ou de silício amorfo.

A célula de silício monocristalino é historicamente a mais usada e comercializada como conversor direto de energia solar em eletricidade, e a tecnologia para sua fabricação é um processo básico muito bem constituído. As células de silício policristalino são mais baratas que as de silício monocristalino por exigirem um processo de preparação das células menos rigoroso. A eficiência, no entanto, diminui em comparação as células de silício monocristalino. Uma célula de silício amorfo difere das demais estruturas cristalinas por apresentar alto grau de desordem na estrutura dos átomos. A utilização de silício amorfo para uso em fotocélulas tem mostrado grandes vantagens tanto nas propriedades elétricas quanto no processo de fabricação (CRESESB, 2006).

Conforme Reis (2015), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados em dois tipos principais de aplicações: Sistemas Fotovoltaicos Isolados (SFI) e Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede (SFCR).

Os sistemas isolados ou autônomos para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não estarem conectados à rede elétrica. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares (CRESESB, 2006).

Sistemas isolados, em geral, utilizam-se alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, quando se deseja utilizar aparelhos elétricos ou na forma de energia gravitacional quando se bombeia água para tanques em sistemas de abastecimento. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, que é o caso da irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida ou estocadas em reservatórios (CRESESB, 2006).

Os sistemas isolados puros são formados por gerador fotovoltaico, controlador de carga, baterias e inversor, conforme demonstrado na Figura 10.

Figura 10 - Sistema fotovoltaico isolado

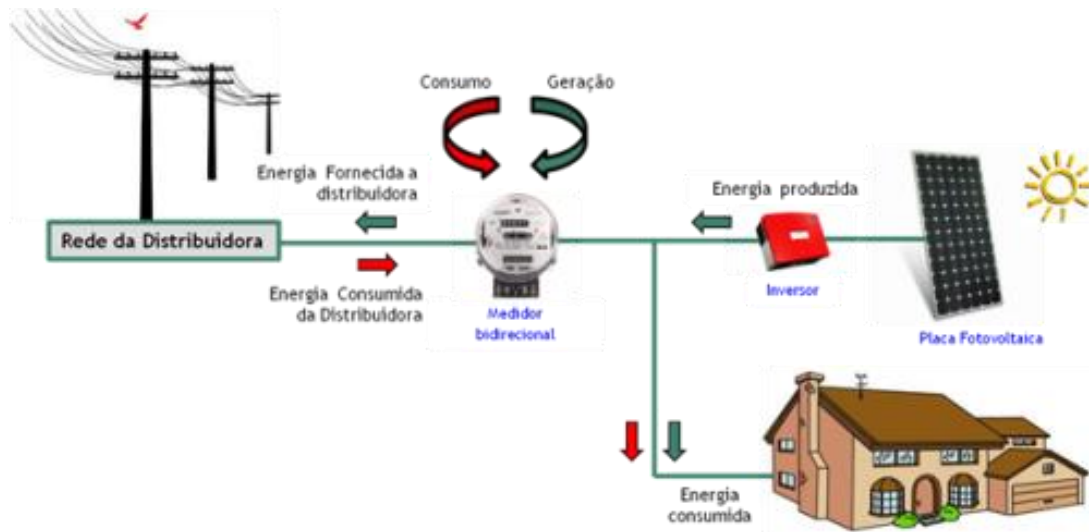


Fonte: Viridian (2017).

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, representado na Figura 11, são formados basicamente por geradores fotovoltaicos e inversor. Não existe um elemento de armazenamento de energia, pois a rede elétrica da concessionária é vista como o elemento armazenador (RUTHER et al., 2008). São caracterizados por estarem integrados à rede elétrica da concessionária. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. Todo o arranjo é conectado em inversores e logo em seguida guiados diretamente na rede. O inversor usado neste caso não converte a corrente contínua em corrente alternada quando não está conectado à rede. Ele deve possuir um dispositivo anti-ilhamento, pois o inversor desligará automaticamente caso haja uma interrupção no fornecimento de energia pela concessionária. A energia entregue pelo inversor possui as mesmas características da energia da rede (RÜTHER et al., 2007).

Os SFCR podem ser classificados como de grande ou de pequeno porte. As grandes centrais fotovoltaicas são as de grande porte, elas ocupam uma grande área e geralmente estão localizadas em locais afastados dos grandes centros urbanos (CÂMARA, 2011). Esses sistemas contribuem com a disponibilidade de energia junto ao ponto de consumo, minimizando as perdas na transmissão e distribuição. A potência gerada pelos painéis fotovoltaicos é consumida diretamente pelas cargas locais e o excedente é fornecido à rede elétrica de distribuição da concessionária local, que a disponibiliza para outros consumidores permitindo a redução da geração pelas fontes convencionais de energia, principalmente as usinas hidroelétricas e térmicas, no caso do Brasil (BOYLE; RUTHER, 2004).

Figura 11 - Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: Viridian (2018).

2.1.3 Dimensionamento de um SFCR

A potência do gerador fotovoltaico do SFCR pode ser calculada pela Equação (1) (CRESESB, 2014).

$$PFV = \frac{E}{TDxHSP} \quad (1)$$

Sendo: PFV: Potência de pico dos painéis fotovoltaicos (Wp); E: Consumo diária médio anual da edificação (Wh/dia); HSP: Média diária anual das horas de sol pleno no plano do painel fotovoltaico (h/dia); DG: Desempenho do sistema (%);

O DG avalia o desempenho da geração de energia elétrica de um sistema fotovoltaico levando em consideração as possíveis perdas reais envolvidas, como perdas por queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, temperatura operacional, dentre outras. No Brasil, a taxa de desempenho varia de 70% a 80% (CRESESB, 2014).

Determinada qual é a potência fotovoltaica a ser gerada, através da equação (2), verifica-se qual será a área útil necessária para a instalação dos painéis fotovoltaicos (TIEPOLO, 2012).

$$A = \frac{PFV}{EFF} \times 100 \quad (2)$$

Sendo: A: Área útil do painel (m²); PFV: Potência de pico dos painéis fotovoltaicos (Wp); EFF: Eficiência dos módulos fotovoltaicos;

Conhecendo a potência de pico dos painéis fotovoltaicos (PFV) e a potência nominal de cada painel fotovoltaico (Pn), é possível calcular o número de painéis para a instalação pela equação (3) (MELO, 2014).

$$N = \frac{PFV}{Pn} \quad (3)$$

Considerando que a potência do gerador fotovoltaico dificilmente se aproxima de seu valor nominal, pode-se dimensionar o inversor com uma potência nominal inferior à do gerador fotovoltaico, levando-se em conta que a utilização de um inversor de menor capacidade tende a diminuir o custo da energia gerada (CRESESB, 2014).

O Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI) é a relação entre a potência do inversor (Pinv) e a potência máxima do gerador fotovoltaico (PFV), uma grandeza adimensional dada pela equação (4) (CRESESB, 2014, p.332).

$$FDI = \frac{Pinv}{PFV} \quad (4)$$

De acordo com a referência Pereira (2008), é admissível que a potência do inversor esteja no intervalo de: $0,7 \times PFV < Pn < 1,2 \times PFV$, ou seja, apresentando um FDI entre 0,7 e 1,2.

É possível estimar a produção de energia a partir dos dados reais de irradiação solar que incide sobre o local em que os módulos fotovoltaicos serão instalados e da potência instalada do sistema previamente determinada. A estimativa de energia ideal gerada no mês pode ser calculada conforme a equação (5) (MELO, 2014).

$$E_{ideal} = PFV \times N \times HSP \quad (5)$$

Sendo: Eideal= Energia ideal gerada (kWh); PFV = Potência fotovoltaica instalada (kWp); HTOT: Horas de sol pleno (h/dia); N= Intervalo de tempo a ser considerado (dias);

Por meio da relação entre a energia ideal e a energia elétrica real esperada, pode-se avaliar as perdas do SFCR, considerando a Taxa de Desempenho Global (DG). Portanto, é possível calcular a energia real do SFCR utilizando a equação (6) (MELO, 2014).

$$E_{\text{real}}=E_{\text{ideal}}\times DG \quad (6)$$

Sendo: E_{real} =Energia real gerada (kWh); E_{ideal} =Energia ideal gerada (kWh); DG=Taxa de desempenho global (%);

2.1.4 Desempenho de um SFCR

A análise do desempenho de um sistema é feita levando em consideração as perdas do sistema, para que se possa ter um índice de desempenho. O principal objetivo da instalação os sistemas fotovoltaicos é o de ter o melhor desempenho possível, evitando as perdas desnecessárias. A análise de desempenho de qualquer sistema permite analisar a viabilidade de sua concepção ou instalação (GEHRING; LOPES; DALMOLIN, 2015).

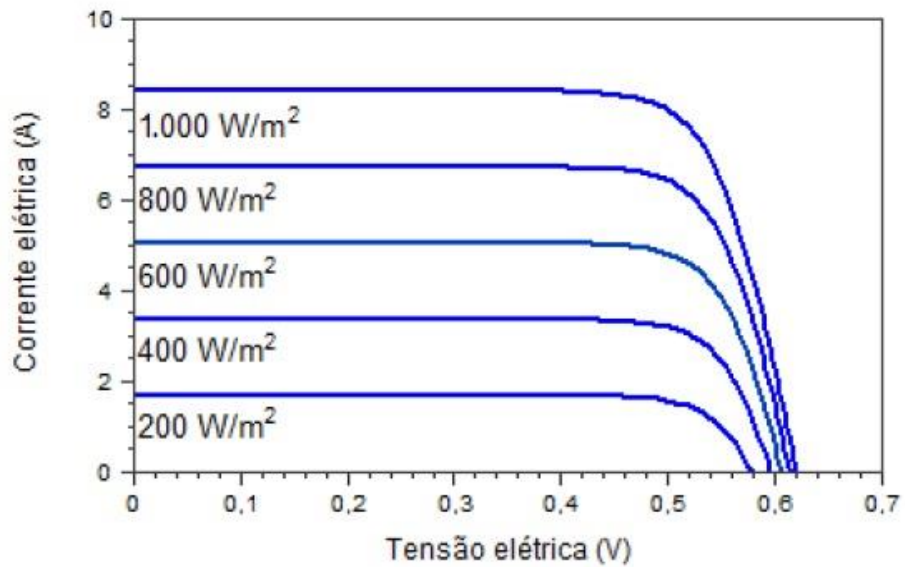
2.1.4.1 Fatores que Influenciam no Desempenho de um SFCR

O desempenho de um sistema fotovoltaico é afetado por fatores como a localização, a orientação e a inclinação do painel fotovoltaico, clima local, a eficiência dos módulos e do inversor utilizado e falhas nas conexões, que provocam uma série de perdas ao sistema (FUSANO, 2013). De uma maneira geral, essas perdas provocam a redução da eficiência dos componentes dos sistemas fotovoltaicos, afetando diretamente a produção de energia e os parâmetros de desempenho (ALMEIDA, 2012)

O rendimento de um sistema fotovoltaico é afetado principalmente pela localização geográfica, a inclinação e a orientação do painel, sendo que os efeitos destes dependem da razão entre a radiação direta e difusa do local, bem como da fração de albedo, que é característica da região que circunda a instalação. Como recomendação geral, o valor da inclinação ótima, com relação à horizontal, para que se tenha a máxima incidência solar em regime anual, é dado pela latitude local, e orientação da superfície dos módulos voltada para o equador (RÜTHER, 2006).

As células fotovoltaicas funcionam a partir da irradiância solar incidente sobre as mesmas. A corrente elétrica gerada por uma célula fotovoltaica é proporcional a irradiância solar incidente, se mantida a mesma temperatura. Portanto a irradiância solar está ligada diretamente com o desempenho do sistema (PINHO; GALDINO, 2014). No Gráfico 2 é representada a curva da corrente elétrica em função da diferença de potencial aplicado a uma célula fotovoltaica de silício, mantida na temperatura de 25 °C.

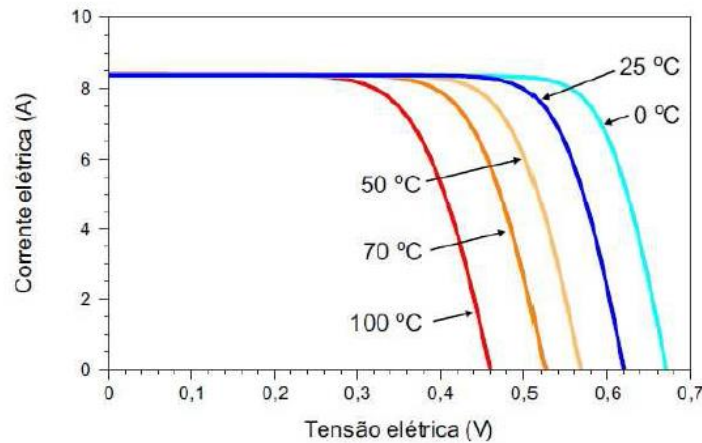
Gráfico 2 - Curva I-V de um módulo operando com diferentes irradiâncias



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

O clima local é outro fator que influencia na performance do sistema fotovoltaico, uma vez que a temperatura ambiente afeta a temperatura de operação dos módulos fotovoltaicos (FUSANO,2013). As variações da irradiância solar incidente e da temperatura ambiente afetam a temperatura de operação das células fotovoltaicas que compõem os módulos fotovoltaicos. No Gráfico 3 são representadas as curvas de corrente elétrica (I) em função da tensão elétrica (V) para diversas temperaturas da célula fotovoltaica, com irradiância de 1.000 W/m^2 (PINHO; GALDINO, 2014). A elevação da temperatura das células fotovoltaicas resultando na diminuição da potência fornecida pelo sistema. No verão, este efeito é mais acentuado e se agrava quando a instalação encontra-se em local com pouca ventilação do painel. Normalmente, módulos de silício monocristalino, a perda de potência está entre 0,3% e 0,4% para cada 1°C acima de 25°C (ALMEIDA, 2012).

Gráfico 3 – Curva da corrente elétrica em função da tensão elétrica de um módulo operando com diferentes temperaturas.



Fonte: Pinho; Galdino (2014).

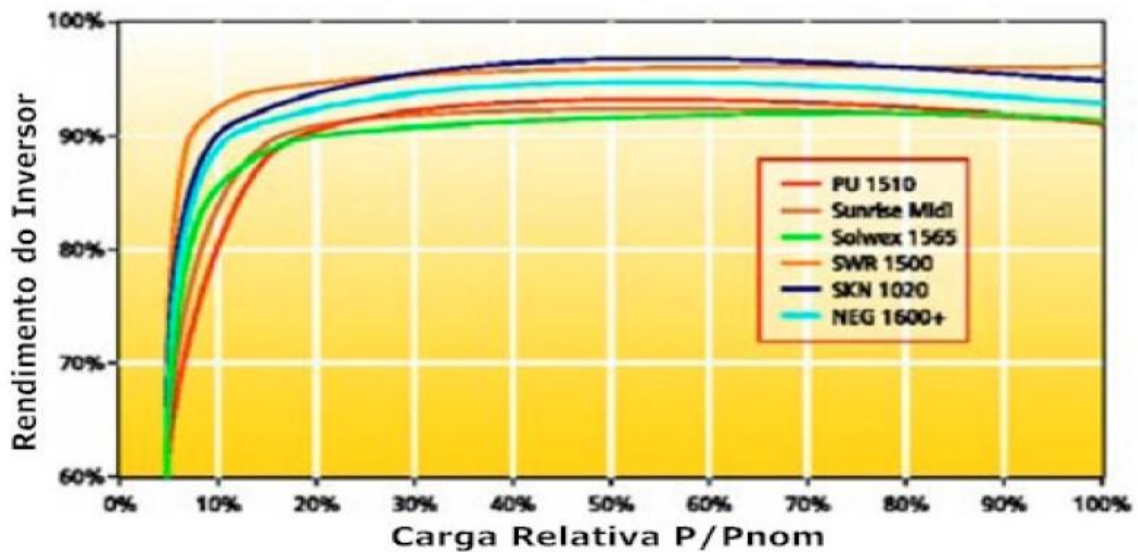
Assim como qualquer equipamento elétrico e eletrônico, as células fotovoltaicas presentes nos módulos geradores, independentemente do material utilizado, possuem uma vida útil e sofrem uma degradação natural que afeta a eficiência e o rendimento global do módulo (GEHRING; LOPES; DALMOLIN, 2015). Segundo Almeida (2012), essa perda é inevitável e contribui para a redução gradual do desempenho ao longo dos anos. Estima-se um decaimento médio anual de 0,8% para células de silício cristalino.

Durante o período de operação, os módulos fotovoltaicos estão sujeitos a fontes previsíveis de sombreamento, como árvores, construções e antenas, e imprevisíveis, como dejetos de pássaros e folhas caídas. O sombreamento parcial de painéis fotovoltaicos é um problema grave, pois além de reduzir drasticamente a produção de energia também compromete a integridade do sistema, sendo muito comum no início do dia ou no final da tarde, quando o sol está mais baixo, facilitando que construções próximas à instalação o sombreiem (ALMEIDA, 2012).

As partículas em suspensão e pequenas folhas e galhos, neve, entre outros, que se depositam sobre os módulos fotovoltaicos, também reduzem a quantidade de irradiação disponível. Essa fonte de perdas está relacionada com o sombreamento, porém, normalmente é um fenômeno que ocorre de forma mais homogênea em toda a superfície do painel, sendo menos agressivo que o sombreamento parcial (FUSANO, 2013). Esse tipo de perda pode variar bastante, desde menos de 2% até mais de 25%, e que pode ser evitada realizando durante a manutenção a limpeza dos módulos solares (KIMBER et al., 2006).

A grande parcela de perdas em um sistema fotovoltaicos pode-se ser advinda da baixa eficiência dos inversores. Além disso, mesmo inversores eficientes apresentam baixo rendimento quando operam em baixa potência (ALMEIDA, 2012). No Gráfico 4 são representadas as curvas características de eficiência em função da carga de vários modelos de inversores.

Gráfico 4 – Curva característica de eficiência de vários modelos de inversores.



Fonte: Fusano (2013).

Pode-se considerar também as perdas advindas de desligamentos por faltas ou anormalidades na tensão de referência, da rede da concessionária, reduzindo o desempenho do sistema fotovoltaico, pois os inversores possuem faixas de tensão, frequência e impedância em que operam conectados à rede. Portanto, a qualidade da energia no ponto de conexão do inversor é de vital importância para o correto funcionamento do SFCR (URBANETZ, 2010).

As paradas para manutenção preventiva e falhas na operação do sistema fotovoltaico também afetam no rendimento do sistema fotovoltaico (FUSANO, 2013)

2.1.4.2 Índices de Mérito Utilizados na Avaliação de um SFCR

Os índices de mérito de desempenho de sistemas fotovoltaicos foram propostos pela organização *International Energy Agency Photovoltaic Power Systems Programm* (IEA-PVPS). Estes índices padronizam a prática de monitoramento de sistemas fotovoltaicos e são

ferramentas de análise que permitem avaliar o desempenho de sistemas fotovoltaicos (MELLO, 2016).

A análise destes índices de mérito permite a comparação do desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica operando com diferentes configurações e tecnologias e em diferentes localidades. Deste modo, é possível avaliar se um sistema fotovoltaico opera de forma otimizada, ou se pode ser reconfigurado de modo a maximizar sua eficiência (BENEDITO, 2009).

Segundo Benedito (2009), o fator de capacidade (FC), a produtividade anual do sistema (PS) e desempenho global (DG) são parâmetros de performance, que podem ser usados para definir a eficiência global de um sistema fotovoltaico conectado à rede, no que diz respeito ao aproveitamento da radiação solar, produção de energia e efeitos das perdas do sistema.

O fator de capacidade (FC) pode ser definido como o aproveitamento, em termos de produção de energia, de um determinado sistema fotovoltaico. É um valor adimensional, entre zero e um, no qual a unidade corresponde à produtividade máxima possível do sistema (ALMEIDA, 2012). Ele representa a razão entre a energia real entregue pelo sistema e a energia que seria entregue caso se operasse na potência nominal de forma contínua, 24 horas por dia durante o ano inteiro (BENEDITO, 2009).

O fator de capacidade pode ser calculado a partir da equação (7).

$$FC = \frac{Eg}{Pn \times 24 \times n} \quad (7)$$

Sendo: FC: Fator de capacidade (%); Eg: Energia gerada pelo sistema (kWh); Pn: Potência nominal do sistema (kWp); n: Período de tempo considerado (dias);

O índice de Produtividade Anual (PS) de um SFCR é definido como a energia gerada em kWh por kWp de potência instalada do sistema fotovoltaico, obtida através da equação (8) (BENEDITO, 2009). A unidade destes índices de mérito é horas de sol nominal, que é a quantidade de energia equivalente ao número de horas de sol com uma irradiância de 1000 W/m² (MELLO, 2012).

$$PS = \frac{Eg}{Pn} \quad (8)$$

No qual: YF: Produtividade do Sistema (kWh/kWp); Eg: Energia gerada pelo sistema (kWh); Pn: Potência nominal do sistema (kWp);

A produtividade de referência (PR) caracteriza o recurso solar local onde o sistema estaria instalado. Este índice é dado em horas de sol na condição padrão (1000 W/m²) em determinado período de estudo (MELLO, 2012). A produtividade de referência é a quantidade de irradiação total no plano do painel fotovoltaico por unidade de irradiância de referência. Esse parâmetro também é conhecido como o número de horas de sol pleno, e é dado pela equação (9) (ALMEIDA, 2012).

$$PR = \frac{Hsp}{Gstc} \quad (9)$$

Sendo: PR: Produtividade de Referência (h/d); Hsp: Irradiação total no plano do painel fotovoltaico (kWh/m²); Gstc: Irradiância de referência de 1000W/m²;

O desempenho global (DG) representa a real capacidade do sistema em converter a energia solar disponível no plano dos painéis fotovoltaicos em energia elétrica. É muito útil, pois ele quantifica as perdas globais ocorridas no sistema. É encontrado através da razão entre a produtividade entregue pelo sistema e produtividade que esteve disponível no plano considerado (MARION et al., 2005).

O desempenho global permite comparar sistemas independentemente da localização geográfica, posicionamento dos módulos fotovoltaicos e potência nominal, pois normaliza a produtividade em relação à irradiação, sendo calculado pela equação (10) (ALMEIDA, 2012).

$$DG = \frac{PS}{PR} \quad (10)$$

Onde: DG= Desempenho Global ou Performance de Ratio (%); PS: Produtividade do Sistema (kWh/kWp); PR: Produtividade de Referência (h/d);

Segundo Benedito (2009), o valor de DG de 0,75, ou seja, um desempenho global de 75%, é um desempenho razoável comparado aos sistemas descritos na literatura anteriormente. No Brasil, a taxa de desempenho varia de 70% a 80% (CRESESB, 2014)

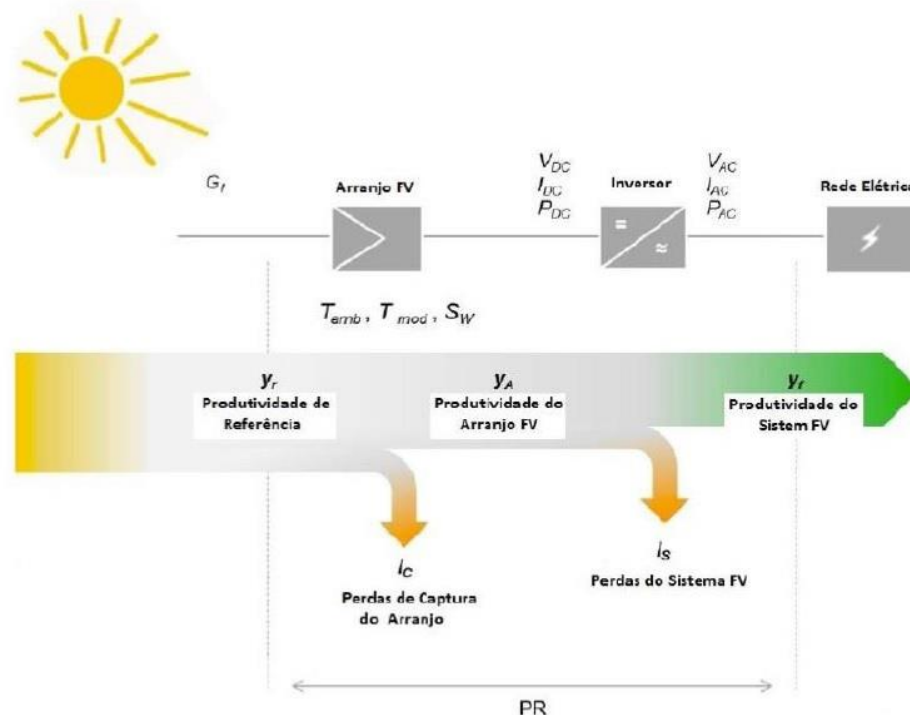
Por si só, o desempenho global não representa a quantidade de energia produzida, porque um sistema fotovoltaico com um desempenho global baixo em um local com abundância de recurso solar pode produzir mais energia do que um sistema com um alto desempenho global em um local com pouco recurso solar (ALMEIDA, 2012).

Valores de desempenho global são úteis para identificar a ocorrência de problemas operacionais. Grande variação no desempenho global está relacionada à falha de algum componente do SFCR. Pequena variação no desempenho está relacionada ao surgimento de

novos sombreamentos, neve, sujeira, e/ou degradação do sistema fotovoltaico (FUSANO, 2013). Devido às perdas por temperatura dos módulos serem um dos fatores que mais influenciam na eficiência do sistema, os valores de desempenho do sistema tendem a ser maiores no inverno do que no verão (MARION et al., 2005).

Na Figura 12 é apresentado um diagrama que relaciona os índices de mérito com o processo de conversão de energia, desde o recebimento da irradiância solar pelo sistema FV, que está orientado com uma inclinação β e um desvio azimutal γ , até a produção de energia elétrica em corrente alternada. A produtividade de referência (YR) está relacionada ao recurso solar. O arranjo fotovoltaico apresenta como característica a temperatura dos módulos (T_{mod}), a temperatura ambiente em que os módulos se encontra (T_{amb}) e a área ocupada pelos módulos (AFV). O arranjo fotovoltaico apresenta perda de captura (IC), assim a produtividade do arranjo (YA) é o recurso solar menos as perdas de captura, apresentando características como potência em corrente contínua (PDC), tensão em corrente contínua (VDC) e corrente contínua (IDC). O inversor apresenta perdas de conversão de corrente contínua em corrente alternada (IS), caracterizando a perda do sistema fotovoltaico. A produtividade do sistema fotovoltaico se caracteriza pela a produtividade do arranjo (YA) menos as perdas do sistema (IS), ou pela a produtividade de referência (YR) menos o somatório de perdas de captura e do sistema (IC + IS) (MELLO, 2012).

Figura 12 – Diagrama dos índices de mérito com o processo de conversão de energia



Fonte: Adaptado de Mello (2012).

2.2 ENERGIA EÓLICA

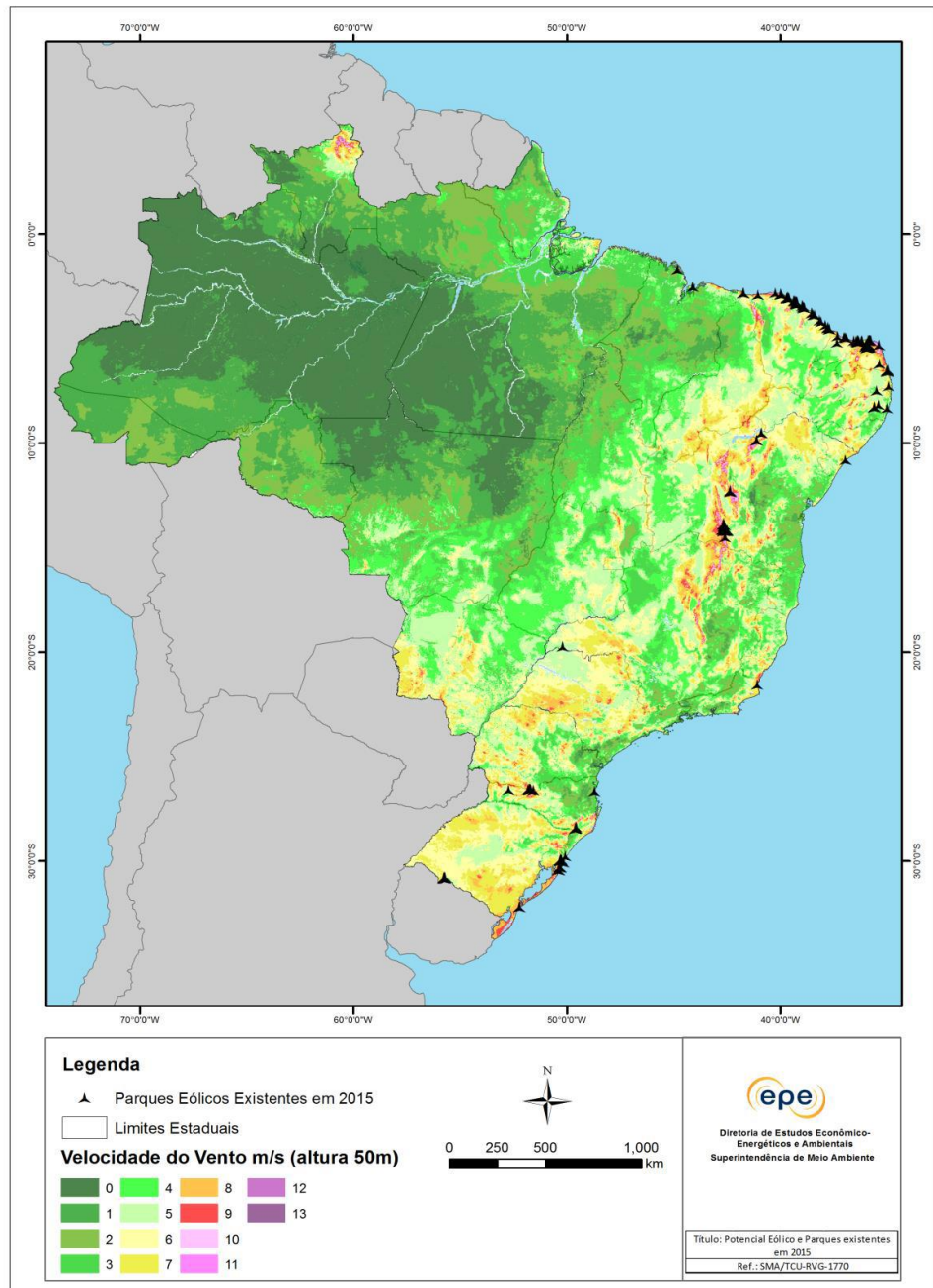
A energia eólica é proveniente da força dos ventos, sendo uma energia limpa, renovável e abundante em diversos lugares. Para avaliar o potencial eólico de uma região deve-se realizar a coleta de dados dos ventos, e assim desenvolver um mapeamento eólico da região (RAMOS; SEIDLER, 2011).

No mundo, a geração de energia eólica está crescendo de forma exponencial ao longo dos últimos anos. Uma das principais barreiras para o desenvolvimento da energia eólica tem sido a falta de dados consistentes e confiáveis dos ventos. Parte expressiva dos registros anemométricos disponíveis pode estar disfarçada por influências aerodinâmicas de obstáculos e do relevo. No Brasil, esse recurso renovável e abundante ainda não foi explorado de forma significativa (RAMOS; SEIDLER, 2011).

Martins et al. (2008) destacam que no Brasil a capacidade instalada de geração de energia eólica é muito pequena quando comparada aos países líderes e pioneiros deste tipo de energia. No entanto, pequenas políticas de incentivo estão começando a apresentar seus primeiros resultados e impulsionando o crescimento deste setor. Portanto, para dar suporte ao crescimento da exploração deste recurso, é fundamental que se invista na formação de mão de obra especializada e no desenvolvimento de pesquisas científicas com o objetivo de gerar e fornecer informações confiáveis sobre o potencial eólico em todo o território brasileiro.

O mapa ilustrado na Figura 13 apresenta uma estimativa do potencial eólico e a distribuição dos parques eólicos em operação no Brasil. A região que apresenta o melhor potencial eólico no Brasil é a Nordeste, local onde está instalado o maior parque eólico brasileiro, sendo que o extremo norte de Roraima apresenta características semelhantes a essa região.

Figura 13 – Potencial eólico no Brasil



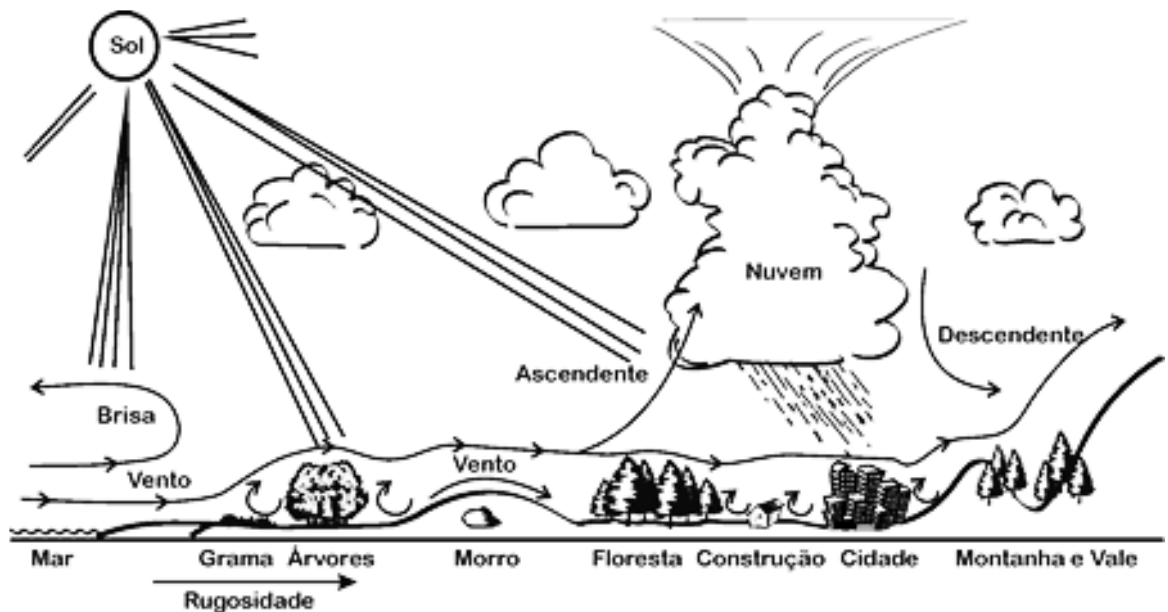
Fonte: EPE (2016).

2.2.1 Fatores que Influenciam no Regime dos Ventos

Os ventos são causados pelo aquecimento diferenciado da superfície terrestre pelo sol. Essa não uniformidade do aquecimento da atmosfera, provoca gradientes de pressão que são responsáveis por movimentos da massa de ar (TOLMASQUIM, 2016). O comportamento estatístico do vento ao longo do dia é influenciado por diferentes aspectos, entre os quais

destacam-se a variação da velocidade com a altura; a rugosidade do terreno, que é caracterizada pela vegetação, utilização da terra e construções; presença de obstáculos nas redondezas e pelo relevo que pode causar efeito de aceleração ou desaceleração no escoamento do ar (CRESESB, 2008). Na Figura 14 é ilustrado, de forma genérica, como os ventos se comportam quando estão sob a influência das características da superfície do solo.

Figura 14 – Comportamento do vento sob a influência das características do terreno



Fonte: CRESESB (2008).

O deslocamento do ar sobre a superfície terrestre, forma uma camada limite que se estende a grandes alturas, sendo que, de modo geral, o escoamento no seu interior é feito de forma turbulenta. Como as turbinas eólicas são instaladas em alturas que não ultrapassam essa camada limite, ou seja estão sujeito a turbulências, é de grande importância o conhecimento da distribuição da velocidade com a altura. Com base em resultados conhecidos da Mecânica dos Fluidos, foram desenvolvidos modelos que visam simular, mesmo que de forma aproximada, o desenvolvimento da camada limite terrestre (SILVA, 1999).

A utilização em problemas relacionados com o aproveitamento da energia eólica em suas diversas aplicações, costuma-se apresentar a distribuição de velocidade com a altura utilizando-se os modelos da “Lei da Potência” e a “Lei Logarítmica”. A “Lei da Potência” (“Power Law”) é o modelo mais simples, resultado de estudos da camada limite sobre uma placa plana. Os resultados obtidos nesse modelo não possuem precisão adequada, entretanto, apresenta uma facilidade em sua utilização (DUTRA, 2007). A Lei da Potência é expressa pela equação (11) abaixo:

$$V(z) = V(z_r) \left(\frac{z}{z_r}\right)^n \quad (11)$$

Onde: $V(z_r)$ = Velocidade na altura de referência z_r ; $V(z)$ = Velocidade na altura desejada z ; z_r = Altura de referência; z = Altura desejada; n = Parâmetro diretamente associado à rugosidade da superfície. Na Tabela 1 é apresentado alguns valores do fator n para diferentes tipos de superfícies.

Tabela 1– Fator n para diferentes tipos de superfícies

Descrição do Terreno	Fator n
Superfície lisa: lago ou oceano	0,10
Gramma baixa	0,14
Vegetação rasteira (até 0,3 m), árvores ocasionais	0,16
Arbustos, árvores ocasionais	0,20
Árvores, construções ocasionais	0,22 – 0,24
Áreas residenciais	0,28 – 0,40

Fonte: Dutra (2001).

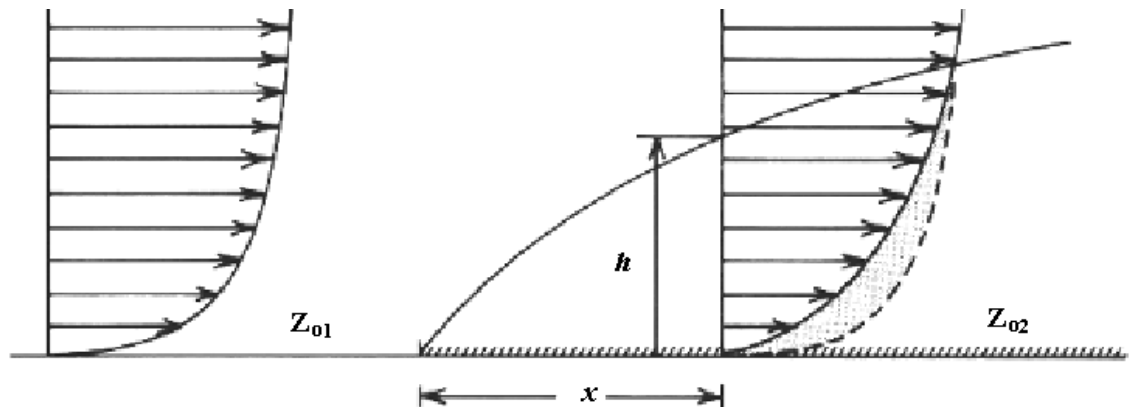
O modelo do perfil logarítmico é mais complexo onde é considerado o fato de que o escoamento na atmosfera é altamente turbulento. A modelagem deste modelo utiliza o conceito de comprimento de mistura L (“mixing length”) definido com a utilização da constante de Von Kármán k_c e o comprimento de rugosidade z_0 , que considera que a superfície da Terra nunca se apresenta perfeitamente lisa. O modelo Logarítmico é frequentemente utilizado para estimar a velocidade do vento em uma determinada altura a partir de uma altura de referência. Portanto, pode-se determinar a velocidade de vento em uma determinada altura, considerando uma expressão perfil logarítmico para a altura de referência z_r e outra para a altura z_0 (DUTRA, 2007).

$$V(z) = V(z_r) \frac{\ln\left(\frac{z}{z_0}\right)}{\ln\left(\frac{z_r}{z_0}\right)} \quad (12)$$

Sendo: $V(z_r)$ = Velocidade na altura de referência z_r ; $V(z)$ = Velocidade na altura z ; z_r = Altura de referência; z = Altura desejada; z_0 = Comprimento de rugosidade do local.

A rugosidade de um terreno é representada por conjunto de elementos sobre a superfície do solo, que oferecem resistência à passagem do vento, desviando a sua rota e causando pequenas turbulências na superfície. Quanto mais densa e mais alta for a sua formação, maior será a rugosidade e, portanto, maior será a dificuldade que o vento terá para se deslocar (DUTRA, 2001). A rugosidade do terreno é identificada através do comprimento de rugosidade z_0 . O parâmetro z_0 é uma escala de comprimento utilizada para caracterizar a rugosidade do terreno (SILVA, 1999). Na Figura 15 é ilustrado uma situação idealizada do escoamento sobre uma superfície com mudança de rugosidade de Z_{01} para Z_{02} .

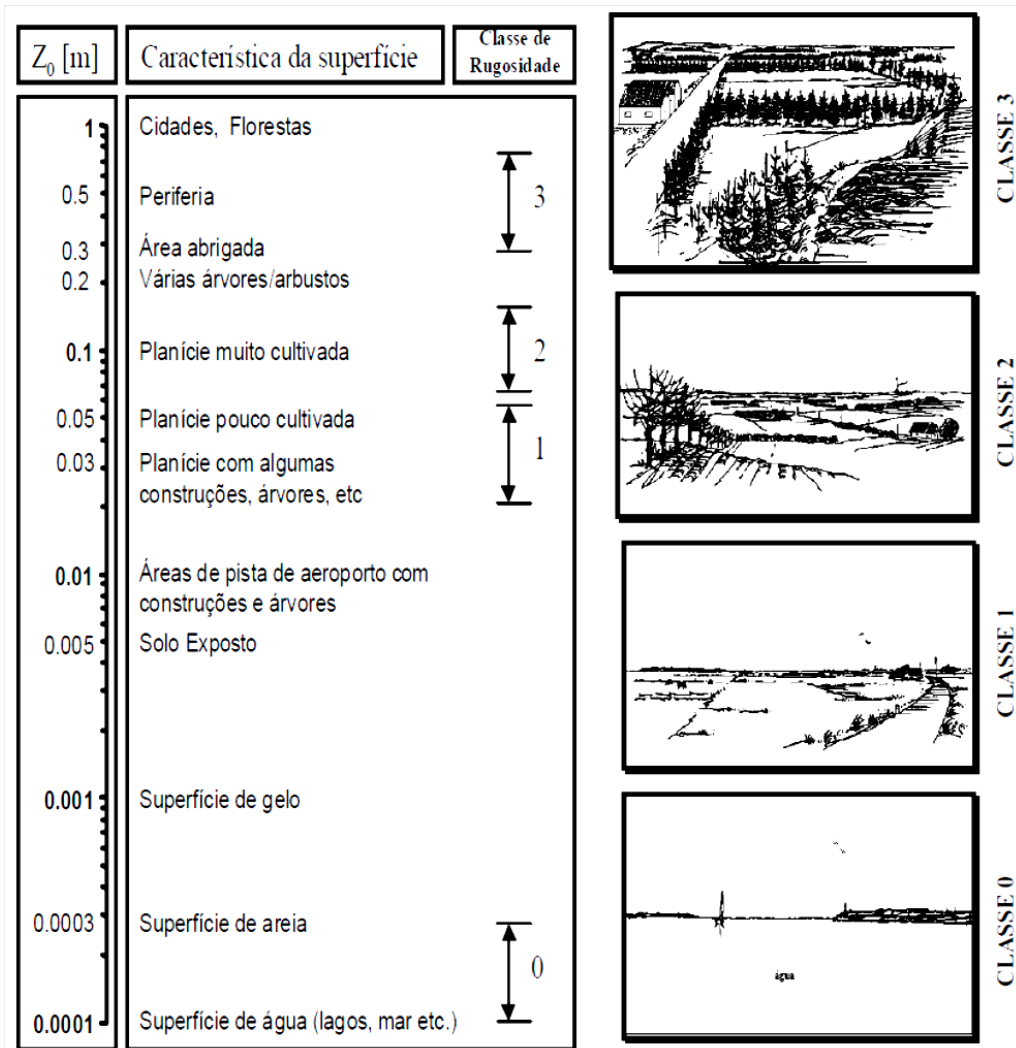
Figura 15– Influência da mudança de rugosidade na distribuição da velocidade com a altura



Fonte: Dutra (2001).

A cada tipo de terreno atribui-se uma classe de rugosidade e um comprimento de rugosidade z_0 (SILVA,1999). Na Figura 16 são demonstrado os comprimentos de rugosidade associados aos tipos de superfícies usados como referência para o Atlas Eólico Europeu.

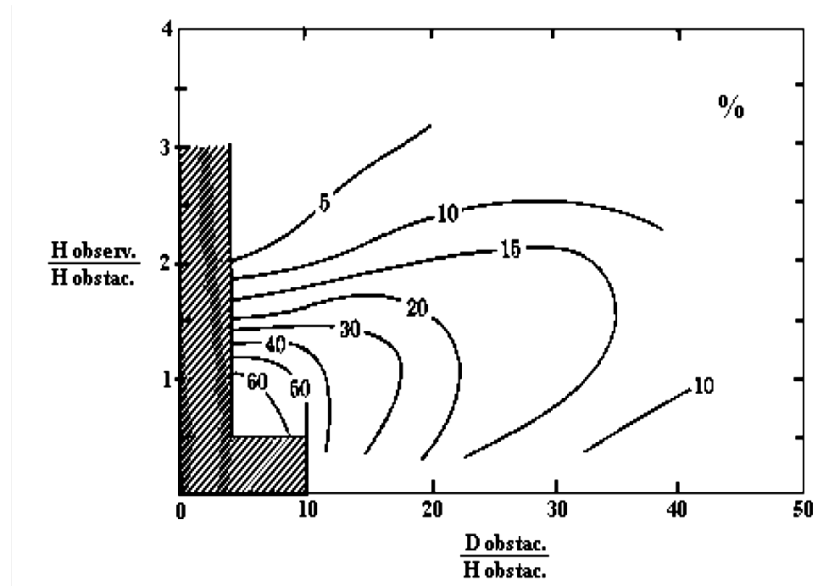
Figura 16 - As classes de rugosidade e as paisagens adotadas pelo atlas eólico europeu.



Fonte: Silva (1999).

Os obstáculos são elementos de dimensões conhecidas que podem alterar o comportamento dos ventos e causar a redução na velocidade e o aumento da turbulência, esse fenômeno é conhecido como efeito de sombreamento. Os obstáculos obstruem o movimento das partículas de ar, assim como modificam a distribuição de velocidades (DUTRA, 2007). A influência dos obstáculos está diretamente ligada a suas dimensões, principalmente sua altura. A área influenciada pela presença de um obstáculo pode estender-se por até três vezes a sua altura, no sentido vertical, e até quarenta vezes essa mesma altura, no sentido horizontal, na direção do vento (SILVA, 1999). Na Figura 17 é demonstrada a influência do obstáculo na redução da velocidade do vento.

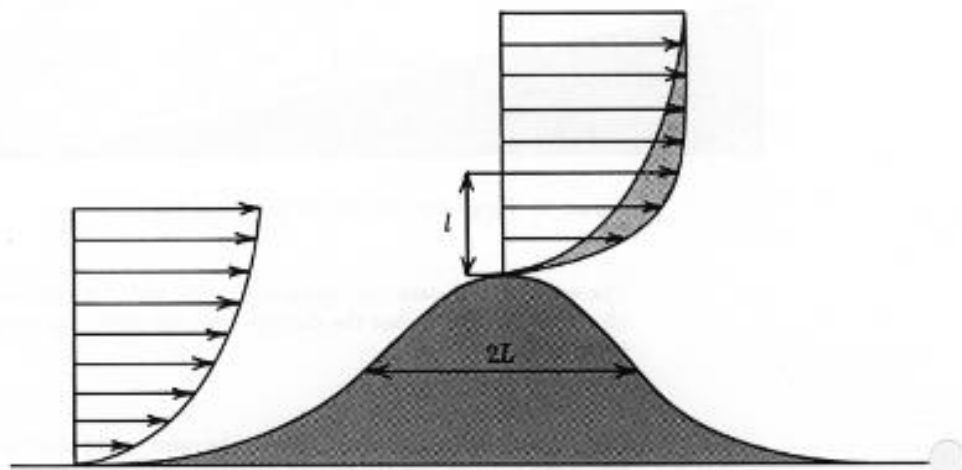
Figura 17- Efeito do obstáculo sobre os ventos, em função da sua altura



Fonte: Silva (1999).

O relevo tem influência marcante no regime de ventos, assim como a rugosidade e os obstáculos. Na presença de uma colina verifica-se um aumento na velocidade do vento e uma considerável mudança de direção. Além disso, o perfil de velocidade é fortemente afetado pela colina. Outros tipos de relevo, tais como vales, depressões e “gargantas” também influenciam no regime dos ventos. Para descrever o relevo de uma região, normalmente utilizam-se curvas de nível, extraídas dos mapas topográficos padrão (SILVA, 1999). Na Figura 18 é ilustrado o escoamento em torno de uma colina “ideal”, mostrando o desenvolvimento do perfil de velocidades a montante e no topo da colina.

Figura 18 - Escoamento em torno de uma colina “ideal”.



Fonte: Silva (1999).

2.2.2 Instrumento de medição da Velocidade do Vento

Para a avaliação do potencial eólico de uma região é necessária a coleta de dados dos ventos com precisão, capaz de fornecer um mapeamento eólico da região. A velocidade e direção do vento é medida com aparelhos denominados anemômetros. Esses aparelhos, normalmente possuem três ou mais pás girando ao redor de um polo vertical. Em geral há dois tipos de anemômetros, o de conchas e de hélice. O anemômetro de conchas (Figura 19) é do tipo rotativo, mais comum formado por três ou mais conchas de formato especial montadas simetricamente formando ângulos retos com um eixo vertical. A velocidade de rotação depende da velocidade do vento, independentemente da direção de onde ele sopra. O conjunto das conchas faz mover um mecanismo que conta as rotações e a velocidade do vento é calculada com o auxílio de um dispositivo de contagem. Os anemômetros de hélice são também do tipo rotativo. Um cata-vento mantém voltada para o vento uma hélice, cuja rotação é transmitida a um indicador. Em geral, a velocidade do vento é medida em m/s (metros/segundo), podendo ainda ser medida em outras unidades, tais como nós e km/h (RAMOS; SEIDLER, 2011).

O principal resultado a ser obtido é a velocidade média do vento, mas é importante conhecer também a velocidade máxima, intensidade de turbulência, além da distribuição estatística das velocidades. Junto com o sensor de velocidade são utilizados os sensores de direção, registrando a predominância dos ventos.

A medição do vento deve ser efetuada a uma altura próxima da altura a que vai ficar o cubo do rotor da turbina, a fim de permitir correlacionar os dados do local com registros existentes em estações meteorológicas próximas (RAMOS; SEIDLER, 2011).

Figura 19– Anemômetro tipo concha.



Fonte: WINDLOGGER (2017).

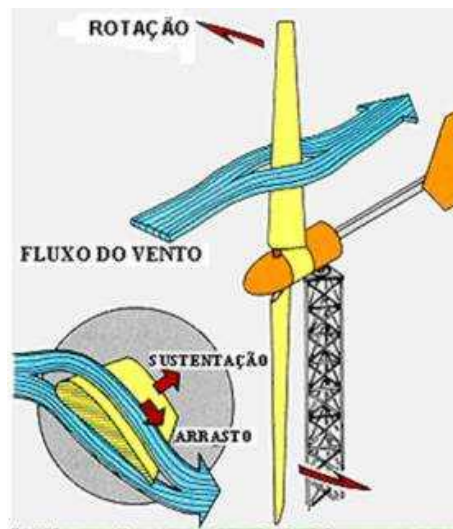
2.2.3 Geração de Energia Eólica

O funcionamento de uma turbina eólica envolve vários campos do conhecimento, incluindo meteorologia, aerodinâmica, eletricidade, controle, bem como as engenharias civil, mecânica e estrutural (RAMOS; SEIDLER, 2011).

O princípio de funcionamento da geração de energia eólica, ilustrado na Figura 20, consiste na conversão da energia cinética do vento captada pelas pás do rotor da turbina eólica em energia mecânica e em energia elétrica pelo gerador acoplado ao eixo do rotor (MARTINS et al., 2008).

As pás das máquinas modernas são dispositivos aerodinâmicos com perfis especialmente desenvolvidos, equivalentes às asas dos aviões, e que funcionam pelo princípio físico da sustentação (RAMOS; SEIDLER, 2011).

Figura 20 – Demonstração do funcionamento de uma turbina eólica



Fonte: Ramos e Seidler (2011).

Segundo Dalmaz (2007), a energia eólica é a energia cinética, E_v , do ar em movimento, ou vento. Para uma massa de ar, m , com velocidade V . Conforme equação (13).

$$E_v = \frac{1}{2} mV^2 \quad (13)$$

A potência produzida por um aerogerador está diretamente associada à velocidade do vento disponível no local (AMARANTE et al., 2001), pode ser calculada conforme a Equação (14).

$$P(\text{watts}) = \frac{1}{2} \rho A r V^3 C_p \eta \quad (14)$$

Onde: ρ = densidade do ar em kg/m^3 ; $A_r = \pi \cdot D^2/4$, em que D é o diâmetro do rotor; C_p =coeficiente aerodinâmico de potência do rotor; V = velocidade do vento (m/s); η = eficiência do conjunto gerador/transmissão.

A densidade de potência DP , ou fluxo de potência, é definida como a energia disponível do vento por unidade de área (SACRAMENTO et al.,2006). E pode ser representado através da equação (15) (CRESESB, 2008).

$$DP = \frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (15)$$

Onde: P = Potência do vento (W); A = Area da seção transversal das pás do rotor (m^2); ρ = densidade do ar em kg/m^3 ; V = velocidade do vento (m/s);

O cálculo da Energia gerada, E_g , por um aerogerador pode ser realizado utilizando a equação (16) (DUTRA, 2001):

$$E_g = \frac{1}{2} \rho V^3 A H \quad (16)$$

Onde: P = Potência do vento (W); A = Area da seção transversal das pás do rotor (m^2); ρ = densidade do ar em kg/m^3 ; V = velocidade do vento (m/s); H é o número total de horas. Se o objetivo é estimar a produção de energia anual $H=8760$ horas. Para análises sazonais, o valor a ser usado é $H=2160$ horas e para análises mensais, assume-se o valor de $H=720$ horas.

Por meio do Fator de Capacidade (FC), pode-se avaliar a eficiência de geração de um determinado parque eólico (DALMAZ, 2007). O cálculo do FC de cada turbina representa um importante critério de decisão de escolha de viabilidade técnica de projetos eólicos. É dado pela razão entre a energia produzida durante um período e a energia nominal produzida integralmente no mesmo período (DUTRA, 2001). São considerados satisfatórios, os valores de FC acima de 20% e para valores acima de 30% são considerados bons para o aproveitamento eólico. (Carvalho, 2003).

$$FC = \frac{E_p \text{ ano}}{P_n \times 8760} \quad (17)$$

Sendo: E_p ano = energia produzida pela turbina durante um ano; P_n = Potência nominal da turbina;

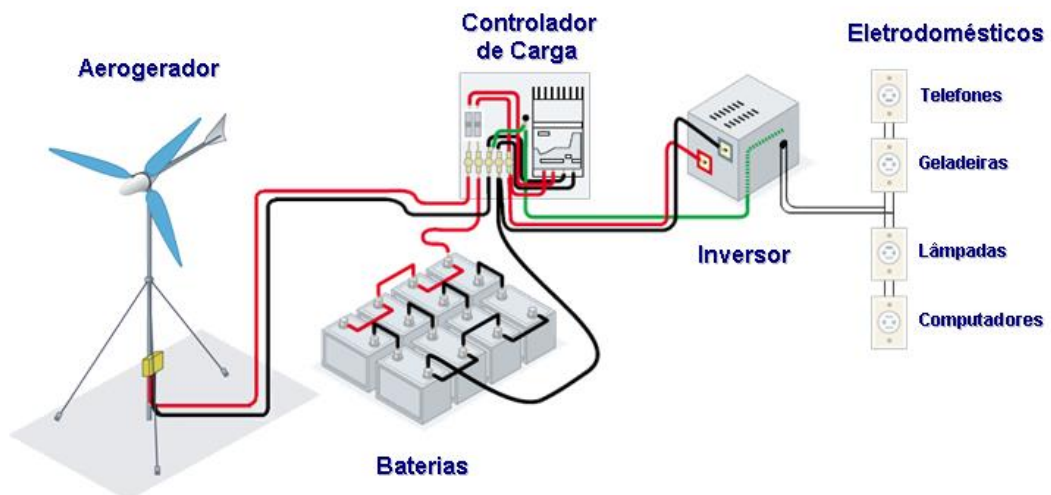
Assim como no sistema solar fotovoltaico, o sistema de geração de energia eólica também pode ser classificado como sistema isolado (*off-grid*), caracterizados por não se conectar à rede elétrica. Em sistemas conectados à rede que são caracterizados por estarem integrados à rede elétrica da concessionária. Os sistemas obedecem a uma configuração básica, necessitam de uma unidade de controle de potência e, em determinados casos, de uma unidade de armazenamento.

Os sistemas isolados, conforme Figura 21, em geral, utilizam alguma forma de armazenamento de energia. Este armazenamento pode ser feito através de baterias, com o objetivo de utilizar aparelhos elétricos, ou na forma de energia gravitacional, com a finalidade de armazenar a água bombeada em reservatórios para posterior utilização. Alguns sistemas isolados não necessitam de armazenamento, como no caso dos sistemas para irrigação onde toda a água bombeada é diretamente consumida.

Os sistemas que armazenam energia em baterias necessitam de um dispositivo para controlar a carga e a descarga da bateria. O controlador de carga tem como principal objetivo evitar danos à bateria por sobrecarga ou descarga profunda.

Para alimentação de equipamentos que operam com corrente alternada (CA) é necessário a utilização de um inversor. Este dispositivo geralmente incorpora um seguidor do ponto de máxima potência necessário para otimização da potência produzida. Este sistema é usado quando se deseja utilizar eletrodomésticos convencionais.

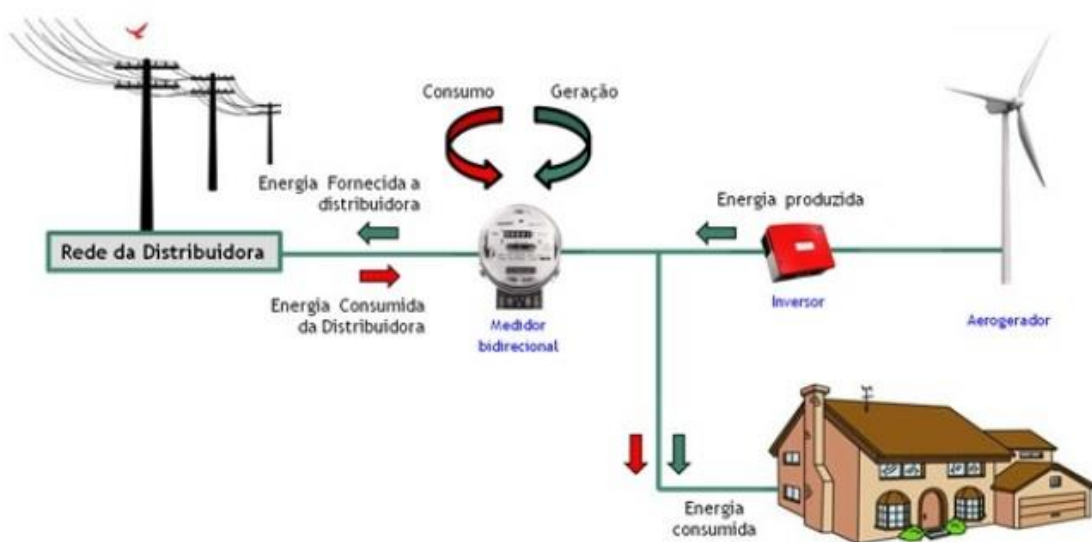
Figura 21– Configuração de um sistema eólico isolado.



Fonte: CRESESB (2008).

Os sistemas conectados à rede, apresentados na Figura 22, são caracterizados por estarem integrados à rede elétrica da concessionária. Este sistema representa uma fonte complementar ao sistema elétrico de grande porte ao qual está conectada. Os sistemas interligados à rede utilizam um grande número de aerogeradores e não necessitam de sistemas de armazenamento de energia, pois toda a geração é entregue diretamente à rede elétrica.

Figura 22 - Sistema interligado à rede



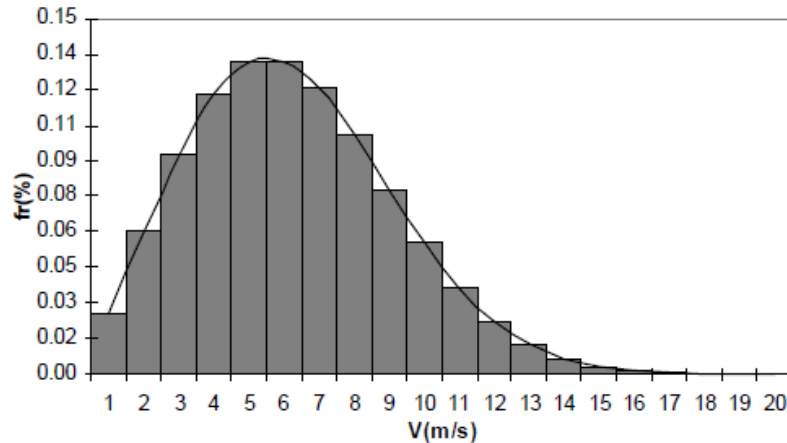
Fonte: Viridian (2018).

2.2.4 Determinação Estatística do Regime dos Ventos

A velocidade do vento varia conforme as estações do ano. Portanto, para a correta determinação do regime dos ventos é necessário analisar dados coletados por um longo período de tempo, em geral, alguns anos. As grandezas estatísticas mais utilizadas na determinação do regime dos ventos são a velocidade média e o desvio padrão (SILVA, 1999).

Se a velocidade dos ventos for medida de forma contínua, pode-se traçar um histograma de velocidades, conforme representado no Gráfico 5. O eixo horizontal, associado à velocidade do vento, é dividido em intervalos iguais. No eixo horizontal, pode-se definir as classes de velocidades às quais se associa uma frequência de ocorrência (SILVA, 1999).

Gráfico 5 - Histograma de velocidades do vento



Fonte: Silva (1999).

Levado em consideração, que, se o objetivo é selecionar uma turbina eólica através de parâmetros estatísticos tais como velocidade média e desvio padrão, o uso de tabelas de frequência e de representações gráficas (histogramas) torna-se pouco prático. Dessa forma, faz-se necessário armazenar na forma de expressões analíticas, conhecidas como distribuições de probabilidades (SILVA, 1999).

Foram testados vários modelos probabilísticos que poderiam ser utilizados para modelar, aproximadamente, as curvas de frequência de velocidade. São usadas com maior frequência as distribuições de Rayleigh e Weibull (SILVA, 1999).

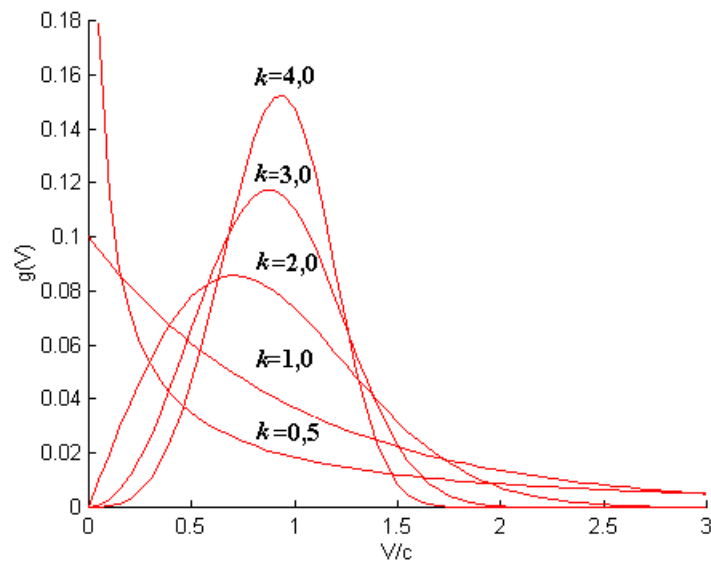
A distribuição de Weibull é o método mais utilizado para se realizar o tratamento estatístico de histogramas relativos ao comportamento dos ventos, além ser amplamente utilizado pela maioria dos programas computacionais que estimam a produção anual de energia. A distribuição de Weibull ajusta-se razoavelmente bem ao histograma de velocidade para determinadas localidades e em certos períodos do ano, apresentando melhores resultados do que aqueles fornecidos pela distribuição de Rayleigh, com base em experiências anteriores. (DUTRA, 2001). A função densidade de probabilidade de Weibull é dada pela equação (17).

$$g(v) = \frac{k}{c} \left[\frac{v}{c} \right]^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c} \right)^k \right] \quad (17)$$

Como descrito anteriormente, a função de distribuição de Weibull ou função densidade de probabilidade de Weibull é uma distribuição a dois parâmetros, uma vez que fica definida com o conhecimento dos parâmetros c e k . O parâmetro de escala c relaciona-se com o valor

médio da velocidade do vento, enquanto o parâmetro de forma k é adimensional e fornece uma indicação da uniformidade da regularidade dos ventos, ou seja, quanto maior o valor de k , maior será a regularidade dos ventos em termos de velocidade, mais estreita será a curva de distribuição (DUTRA, 2001). Segundo Martinez (2003), esse parâmetro assume valores, geralmente, entre 1,5 e 3. No Gráfico 6 é demonstrado a influência do parâmetro de forma k na curva de distribuição de Weibull.

Gráfico 6 – Influência do parâmetro k na curva de distribuição de Weibull



Fonte: Dutra (2001).

2.3 METODOS DE ANÁLISE ECONÔMICA

A seguir serão apresentados conceitos e critérios que buscam fundamentar o estudo de um investimento financeiro de um projeto de SFCR. Este estudo é realizada através do conhecimento dos custos de investimento inicial do projeto, custos com a operação e manutenção do sistema, vida útil dos equipamentos e indicadores econômico-financeiro, como *Payback* Simples (PBS), *Payback* Descontado (PBD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

A utilização de tais indicadores requer a construção de cenários com projeções de dados para aferição dos prováveis retornos monetários conferidos ao consumidor durante a vida útil do sistema. A análise econômica é realizada por meio da comparação entre os custos e receitas advindos da instalação do sistema fotovoltaico. Assim sendo, fatores como a durabilidade e produtividade do sistema, custos de investimentos, manutenção e reposição de equipamentos,

tarifa de energia, impostos e reajustes tarifários são dados necessários para a aplicação nos cálculos dos índices econômicos (RODRIGUES; ARAUJO, 2018).

2.3.1 Período de Retorno de Um Investimento (*payback*)

O *payback* é o período de tempo necessário para que se obtenha retorno de todo o investimento realizando em um projeto. É muito utilizado para aplicações elétricas e de eficiência energética para analisar a sua viabilidade econômica. Esse indicador é extremamente limitado, apesar de ser um método de análise geral. Nesse indicador não é considerado risco, correção monetária ou financiamento. Ele é simplesmente o valor onde o lucro líquido iguala ao valor aplicado no investimento analisado (MIRANDA, 2014).

O indicador de período de retorno simples de um projeto (PRS) é uma medida de rapidez com que as entradas de caixa recuperam o investimento inicial efetuado na implantação de um projeto. Em termos práticos, trata-se do tempo em que o capital investido no projeto irá demorar para retornar ao investidor. O período de retorno simples de um projeto (PRS) também é conhecido por *payback* simples, *payback* tradicional ou simplesmente *payback* (SAMPAIO FILHO, 2008)

O estudo feito neste projeto utilizou a regra do período de “*payback*”. Em termos gerais, o período de “*payback*” é o tempo necessário para recuperar o investimento inicial. Com base nesta regra, um investimento é aceitável quando seu período de “*payback*” calculado é inferior a algum número predeterminado de anos.

De acordo com Damodaran (2002), o período de *payback* de um projeto é a medida de quanto tempo os fluxos de caixa gerados pelo projeto levam para cobrir o investimento inicial. Os fluxos de caixa, conforme comenta Kassai (2000), representam a movimentação de valores, das entradas e saídas, de determinado período.

Kassai (2000) também reforça que o *payback* demonstra o prazo em que o capital investido começa a dar retorno, ou seja, quando o montante dos investimentos gastos se tornam positivos. Segundo Motta e Caloba (2002), o *payback* não deve ser analisado isoladamente e sim em conjunto com outros indicadores, pois deve ser utilizado como um indicador para a avaliação, e não como critério de seleção. Quanto menor o tempo para recuperação do investimento, maior pode ser considerado a viabilidade do projeto (CADORE; GIASSON, 2012).

O *payback simples* é um indicador econômico utilizado para avaliar o tempo de retorno de um investimento inicial, que pode ser calculado segundo a equação (11) (MARQUEZAN; BRONDANI, 2006).

$$p = \frac{I_0}{t \times E} \quad (11)$$

Sendo: p: payback simples (ano); I₀: Investimento inicial (R\$); t: Tarifa de energia elétrica (R\$/kWh); E: Energia real anual (kWh).

2.3.2 Valor Presente Líquido (VPL)

Segundo Souza (2003), o valor presente líquido (VPL) corresponde à diferença entre o valor presente das entradas líquidas de caixa associadas ao projeto e o investimento inicial necessário. Motta e Cala a (2002) destacam que o Valor Presente Líquido é o total das movimentações de entradas e saídas de caixa, trazendo o valor para o tempo presente, a certa taxa. Damodaran (2002) define o VPL de um projeto como “a soma dos valores presentes de cada um dos fluxos de caixa – tanto positivos, quanto negativos – que ocorrem através da vida do projeto”.

O valor presente líquido (VPL) ou método do valor atual é a fórmula matemático-financeira de se determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriados, menos o custo do investimento inicial. Basicamente, é o cálculo de quanto os futuros pagamentos somados a um custo inicial estaria valendo atualmente.

Usando o método VPL, um projeto de investimento potencial deve ser empreendido se o valor presente de todas as entradas de caixa menos o valor presente de todas as saídas de caixa (que iguala o valor presente líquido) for maior que zero. Se o VPL for igual a zero, o investimento é indiferente, pois o valor presente das entradas é igual ao valor presente das saídas de caixa; se o VPL for menor do que zero, significa que o investimento não é economicamente atrativo, já que o valor presente das entradas de caixa é menor do que o valor presente das saídas de caixa.

O Valor Presente Líquido (VPL), segundo Puccini (2011), é a soma algébrica do valor atual de todos os fluxos de caixa, considerando as taxas de juros apropriadas e pode ser calculado conforme equação (12).

$$VPL = \left[\sum_{j=1}^n \frac{PMT_j}{(1+i)^j} \right] - I_0 \quad (12)$$

Sendo: VPL: Valor presente líquido descontado de uma taxa i ; i : Taxa Mínima de Atratividade (TMA); j : É o período ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo fluxo de caixa; PMT: Fluxos esperados de entrada de caixa; I_0 : Investimento inicial.

Segundo Reis, Valverde, Mendonça (2015), a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar quando se faz um investimento. A TMA é formada, basicamente, por três componentes: o custo de oportunidade, o risco do negócio e liquidez do negócio. O custo de oportunidade representa a remuneração de um capital caso não se aplique em nenhuma ação analisada, como a caderneta de poupança, por exemplo. O risco do negócio representa o ganho devido ao risco inerente à ação tomada. A liquidez pode ser descrita como a facilidade e a velocidade com que se consegue sair de uma posição no mercado para assumir outra.

2.3.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Segundo Gitman (2004), a TIR trata-se da taxa de desconto que iguala o VPL de uma oportunidade de investimento a zero (porque o valor presente das entradas de caixa se iguala ao investimento inicial). Para Kassai (2000) a TIR é uma das formas mais sofisticadas de se avaliar propostas de investimentos de capital. Também reforça que quando a TIR for maior que zero, o projeto em análise demonstra que é atraente, e representa as taxas de juros que calculadas vão se igualar aos fluxos de caixa.

Ross et al. (2002) recomendam aceitar todos os projetos com taxa interna de retorno superior à TMA e rejeitar todo os projetos em que a TIR é inferior. Quando a TIR é igual à taxa mínima de atratividade, a aceitação do projeto tornasse indiferente.

A TIR representa a rentabilidade gerada por determinado investimento, representando a taxa de juros compostos que impõe a condição de nulidade do VPL, conforme a equação (13) (PUCCINI, 2011).

$$VPL = \left[\sum_{j=1}^n \frac{PMT_j}{(1+i)^j} \right] - I_0 = 0 \quad (13)$$

Sendo: VPL: Valor presente líquido descontado de uma taxa i , i : TIR; j : Período ($j = 0$ a $j = n$), percorrendo todo fluxo de caixa; PMT: Fluxos esperados de entrada de caixa; I_0 : Investimento inicial.

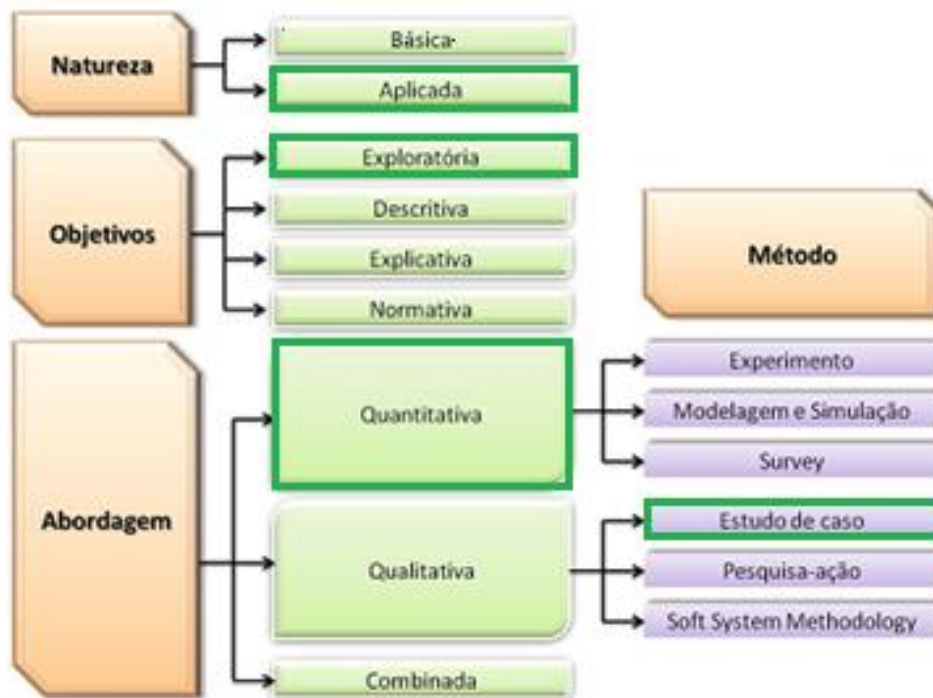
3 PROCEDIMENTOS METODOLOGICOS

3.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A Metodologia tem como objetivo principal estabelecer qual o caminho a ser seguido na realização da pesquisa (BERNARDES, 2010). Pesquisa, segundo Gil (1999) é um processo formal e sistemático de desenvolvimento do método científico. O objetivo fundamental da pesquisa é descobrir respostas para problemas mediante o emprego de procedimentos científicos.

Para Silva e Menezes (2005), a pesquisa é um conjunto de ações, propostas para encontrar a solução para um problema, que têm por base procedimentos racionais e sistemáticos. A pesquisa é realizada quando se tem um problema e não se têm informações para solucioná-lo. Dessa forma, a pesquisa pode ser classificada com base na natureza das variáveis estudadas, na abordagem do problema, nos objetivos pretendidos e nos procedimentos técnicos utilizados (PRODANOV; FREITAS, 2013). Assim, esta pesquisa pode ser classificada conforme ilustrada na Figura 23.

Figura 23 - Classificação da pesquisa científica em engenharia de produção



Fonte: Adaptado de Mello e Turrioni (2012).

A pesquisa proposta pode ser classificada quanto a sua natureza como pesquisa aplicada, pois, conforme Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada tem como objetivo gerar conhecimentos para a aplicação prática direcionados a solução de problemas específicos, envolvendo verdades e interesses locais.

Quanto à forma adotada para a abordagem do problema, a pesquisa é quantitativa. Prodanov e Freitas (2013) destacam que uma pesquisa classificada como quantitativa requer o uso de recursos e de técnicas estatísticas. Do ponto de vista dos seus objetivos, pode ser classificada com pesquisa exploratória, uma vez que a pesquisa se encontra na fase preliminar, e tem como finalidade proporcionar maior familiaridade com o problema a ser investigado.

Essa pesquisa se enquadra no método de um estudo de caso. De acordo com Yin (2001), um estudo de caso é uma investigação empírica que investiga um fenômeno contemporâneo dentro de seu contexto da vida real, especialmente quando os limites entre o fenômeno e contexto não estão claramente definidos.

De acordo com Yin (2001), um projeto de pesquisa que utiliza o método do estudo de caso envolve três fases distintas:

- ✓ A escolha do referencial teórico sobre o qual se pretende trabalhar, a seleção dos casos e o desenvolvimento de técnicas de trabalho para a coleta de dados;
- ✓ A condução do estudo de caso, com a coleta e análise de dados, finalizando com o relatório do caso;
- ✓ A análise dos dados obtidos de acordo com a teoria selecionada, interpretando os resultados.

3.2 MATERIAL E MÉTODO

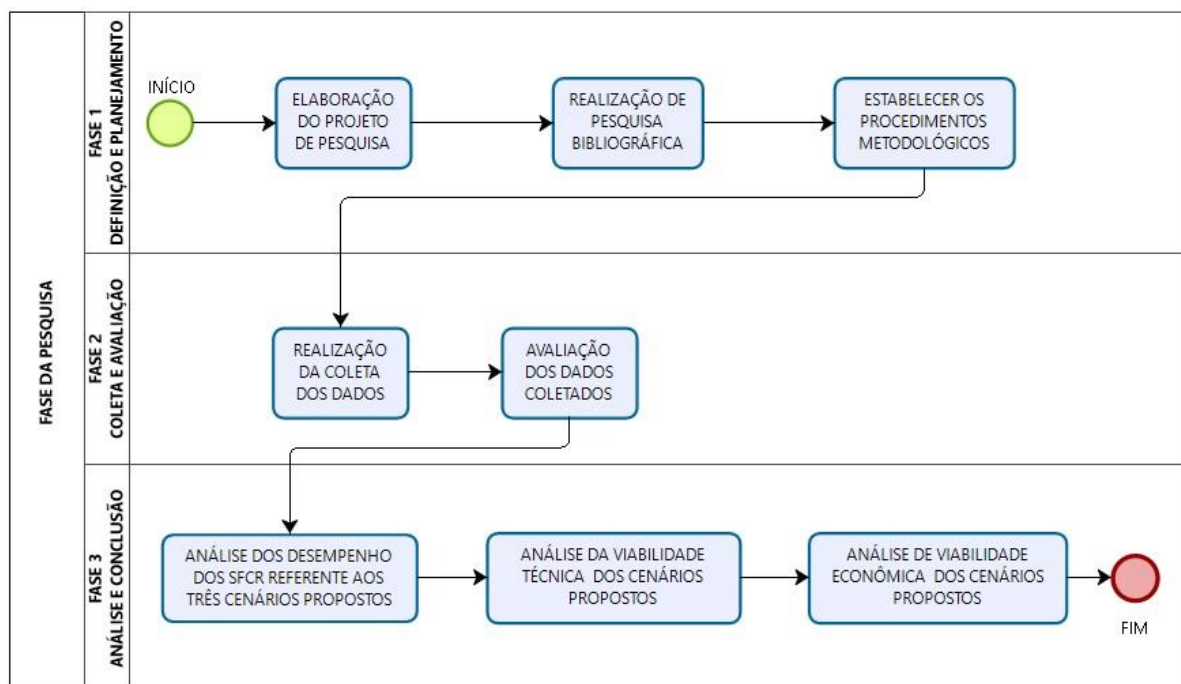
Para a realização desta pesquisa, com base no método do estudo de caso, foi elaborado um plano composto de três fases: (F1) definição e planejamento (F2) coleta e avaliação (F3) análise e conclusão (TURRIONI; MELLO, 2012). As fases do método para o desenvolvimento da pesquisa, está apresentado no quadro 1 e sintetizadas no fluxograma da Figura 24.

Quadro 1 – Descrição e *status* das fases de desenvolvimento da pesquisa.

FASE	DETALHAMENTO DAS ATIVIDADES
<p align="center">FASE 1 DEFINIÇÃO E PLANEJAMENTO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar o projeto de pesquisa quanto a definição do tema e da justificativa; determinação dos objetivos; formulação das questões de pesquisa e delimitação do problema; • Realizar pesquisa bibliográfica e documental de literaturas relacionadas com o tema, servindo como base para o conhecimento dos estudos que já foram realizados e as opiniões e posicionamentos reinantes sobre o assunto; • Estabelecer os procedimentos metodológicos quanto a classificação da pesquisa, caracterização do objeto de estudo e definição dos métodos e materiais utilizados para a execução da pesquisa;
<p align="center">FASE 2 COLETA E AVALIAÇÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar a coleta dos dados dos níveis de radiação solar e da velocidade dos ventos utilizando uma estação metereologica automática instalado no Campus Amajari; • Obter a coleta dos dados de consumo, demanda e os custos com energia elétrica provenientes da concessionária local; • Coletar os dados do custo de investimento, dimensionamento e geração real do sistema de microgeração solar fotovoltaico instalado recentemente no Campus Amajari; • Avaliar os dados coletados da radiação solar e da velocidade dos ventos para o levantamento do potencial solar e eólico do Campus Amajari; • Avaliar o desempenho do SFCR instalado do Campus Amajari que representa 19% do consumo elétrico; • Dimensionamento e avaliação de dois cenários referente a sistemas fotovoltaicos conentados na rede para atender 50% e 100% do consumo de energia do Campus Amajari;
<p align="center">FASE 3 ANÁLISE E CONCLUSÃO</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar a viabilidade técnica com base no levantamento do potencial solar e eólico da região do Campus Amajari e no desempenho dos sistemas fotovoltaicos referente aos três cenários propostos; • Analisar a viabilidade econômica dos três cenários propostos com base nos indicadores para utilização das fontes de energia disponíveis;

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Figura 24– Fluxograma das fase da pesquisa.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Neste estudo foram utilizados dados de registros diários da radiação solar global, velocidade e direção dos ventos, durante os períodos de março de 2015 até outubro de 2018, obtidos de uma estação meteorológica automática *marca Davis, modelo 6162 Wireless Vantage Pro2 Plus*, instalada em uma área experimental do Campus Amajari - IFRR, ilustrada na Figura 25. Assim como dados de custo de investimento, dimensionamento e geração do sistema de microgeração solar fotovoltaica conectado à rede elétrica (SFVCR) instalado no Campus Amajari - IFRR em 8 de agosto de 2017, conforme item 3.3.3.

Com base no referencial teórico e na avaliação dos dados coletados foi realizada a análise de viabilidade técnica e econômica considerando o potencial solar e eólico da região. Assim como no desempenho de três cenários propostos considerado como primeiro cenário o SFCR em funcionamento no Campus Amajari que representa aproximadamente 19% do consumo da unidade e o outros dois cenários referentes a SFCR dimensionados para 50% e 100% do consumo.

Figura 25 – Local da instalação da estação meteorológica no IFRR - Campus Amajari



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

A estação meteorológica utilizada é do tipo automática, a qual realiza a coleta e registro dos dados, a cada intervalo de 10 minutos e está equipada com os seguintes sensores: um anemômetro tipo concha, modelo standard k7911, instalado a 15 metros de altura, destinado à medição da direção (0° a 359°) e velocidade do vento (0 à 67 m/s); um piranômetro do tipo

fotodiodo, modelo k6450, sensor este utilizado para medição da irradiância solar, com faixa de medição entre 0 e 1800 W/m²; sensor termo-higrômetro interno (-40°C a 65°C/0 a 100%); pluviômetro (0 a 19999 mm/h) e um sensor de pressão atmosférica (880 a 1080 mb), conforme demonstrado na Figura 26.

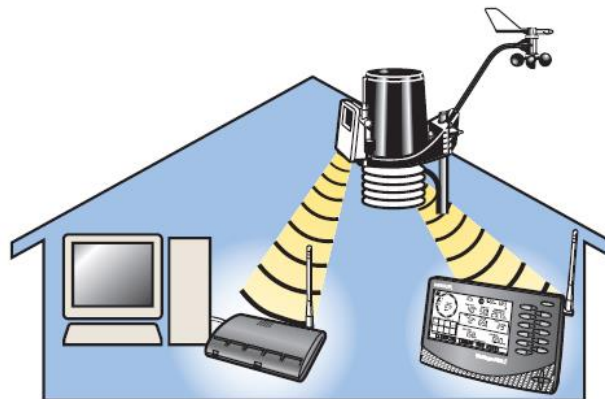
Figura 26– Sensores da instalação da estação meteorológica no IFRR - Campus Amajari



Fonte: Tempo em Teutônia (2017).

Os dados obtidos nos sensores são transmitidos em tempo real para um equipamento receptor/console onde são registrados e armazenados para posteriormente serem transmitidos para um computador onde serão processados, conforme ilustrado na Figura 27.

Figura 27– Funcionamento da estação meteorológica do IFRR - Campus Amajari



Fonte: Davisnet (2017).

Para uma melhor compreensão e visualização da variação dos dados durante o período analisado, os mesmos foram processados em tabelas e gráficos, com o auxílio de *softwares* como WeatherLink®, Excel, WRPLOT View, Radiasol e Windographer.

O *software* WeatherLink®, desenvolvido pela empresa Davis Instruments, realiza a interface entre os equipamentos de aquisição de dados da estação meteorológica e o computador, o que permite obter relatórios sobre os dados climatológicos.

O programa RADIASOL foi desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOL da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e permite, a partir da inserção dos valores de irradiação no plano horizontal, identificar os valores de irradiação para qualquer plano (diferentes inclinações e desvio azimutal em relação ao norte).

O programa WRPLOT VIEW foi desenvolvido pela empresa Lakes Environment, que presta serviço na área da gestão de dados de estações meteorológicas. O WRPLOT VIEW foi utilizado para construir gráficos e demonstrar o comportamento dos ventos no IFRR - Campus Amajari, apresentando a frequência de ocorrência de ventos em cada um dos setores de direção de vento especificados e classes de velocidade do vento predominantes ao longo do período citado anteriormente.

O *software* Windographer, desenvolvido pela empresa norte americana *Mistaya Engeneering*, é um software muito útil para realizar o tratamento estatístico de dados de vento e assim obter o regime de vento do local, visualizando em gráficos e tabelas as distribuições de probabilidade de ambas as velocidades, direções do vento, intensidade de turbulência, velocidade extrema da vida e produção de energia de turbinas eólicas.

3.3 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO

3.3.1 Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida em uma área do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima – Campus Amajari, situada a 3°37'55" de latitude Norte, 61°24'41" de longitude oeste e altitude de 88 m, no município de Amajari, a 158 km da capital Boa Vista, no Estado de Roraima, conforme Figura 28.

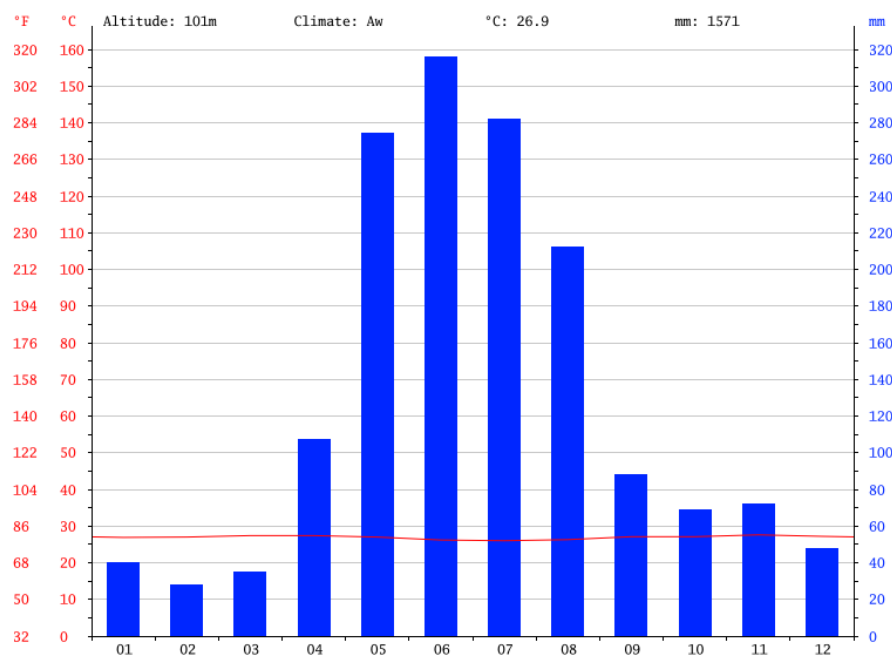
Figura 28– Localização do município onde está instalada a estação meteorológica



Fonte: Adaptado do guia geográfico (2018).

Segundo a classificação climática de Köppen (1931), o município de Amajari é classificado como Aw, ou seja, clima tropical úmido. A temperatura média anual em Amajari é 26,9°C e a pluviosidade média anual é 1571mm. O mês mais seco é fevereiro e tem 28 mm de precipitação enquanto que o mês de maior precipitação é junho, com uma média de 316mm (CLIMA-DATA.ORG, 2017). Pode-se visualizar estas características ao longo do ano no Gráfico 7.

Gráfico 7 – Climograma do Município de Amajari



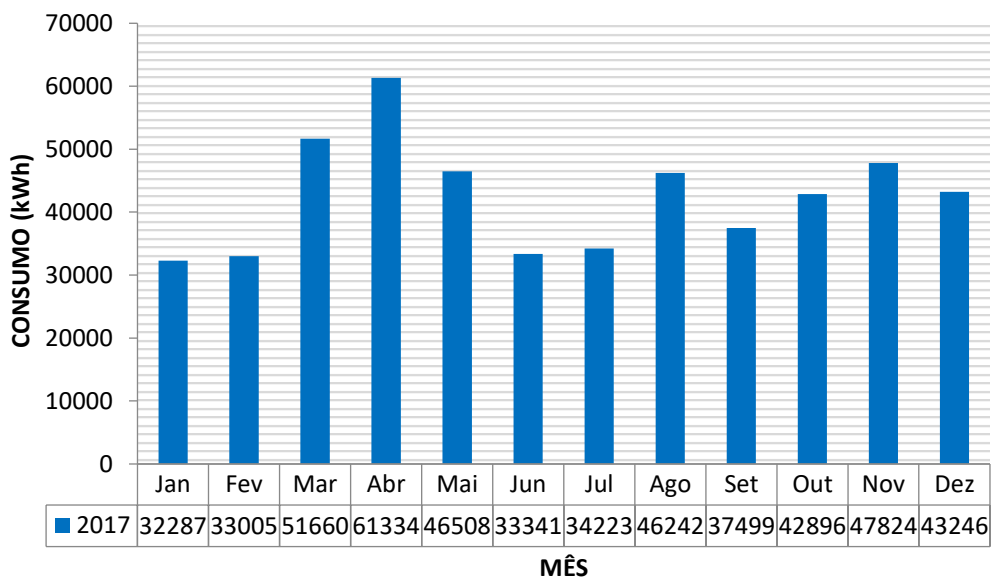
Fonte: Climate-data.org (2017).

3.3.2 Consumo e Demanda de Energia Elétrica do IFRR – Campus Amajari

O Campus Amajari recebe o fornecimento de energia elétrica através de um ramal de entrada aéreo em média tensão (13,8kV), possui potência instalada de 487,5 kVA dividida em três subestações aéreas de 112,5, 150 e 225 kVA e uma carga instalada de 385 kVA. Está classificada como unidade consumidora do subgrupo A, ou seja, unidade consumidora com fornecimento em tensão de 2,3 kV a 2.5 kV e enquadrada na modalidade tarifária horo-sazonal verde junto a concessionária de energia Eletrobrás Distribuição Roraima, com demanda contratada de 224 kW (ANEEL, 2010)

O consumo médio e a demanda mensal de energia elétrica foi determinado a partir das contas de energia do período de janeiro de 2017 até de 2018, conforme apresentado na Gráfico 8 e Gráfico 9, respectivamente.

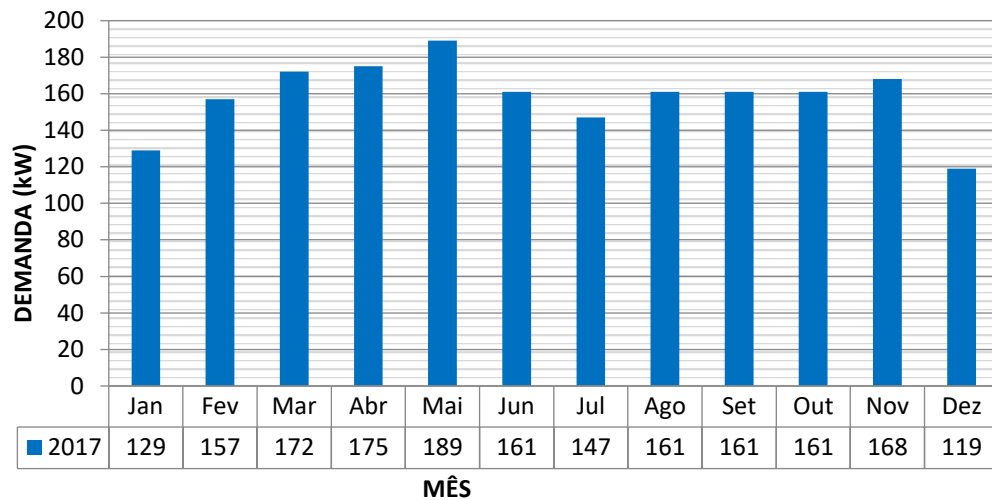
Gráfico 8 – Variação do consumo médio mensal no IFRR – Campus Amajari



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Com base na Figura 26 é possível notar que o consumo energético no ano de 2017 é mais acentuado no mês de abril, ficando o mês de janeiro como período mensal de menor consumo, totalizando um consumo de energia anual de 512.082 kWh.

Gráfico 9 – Perfil da demanda de energia mensal no IFRR – Campus Amajari



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

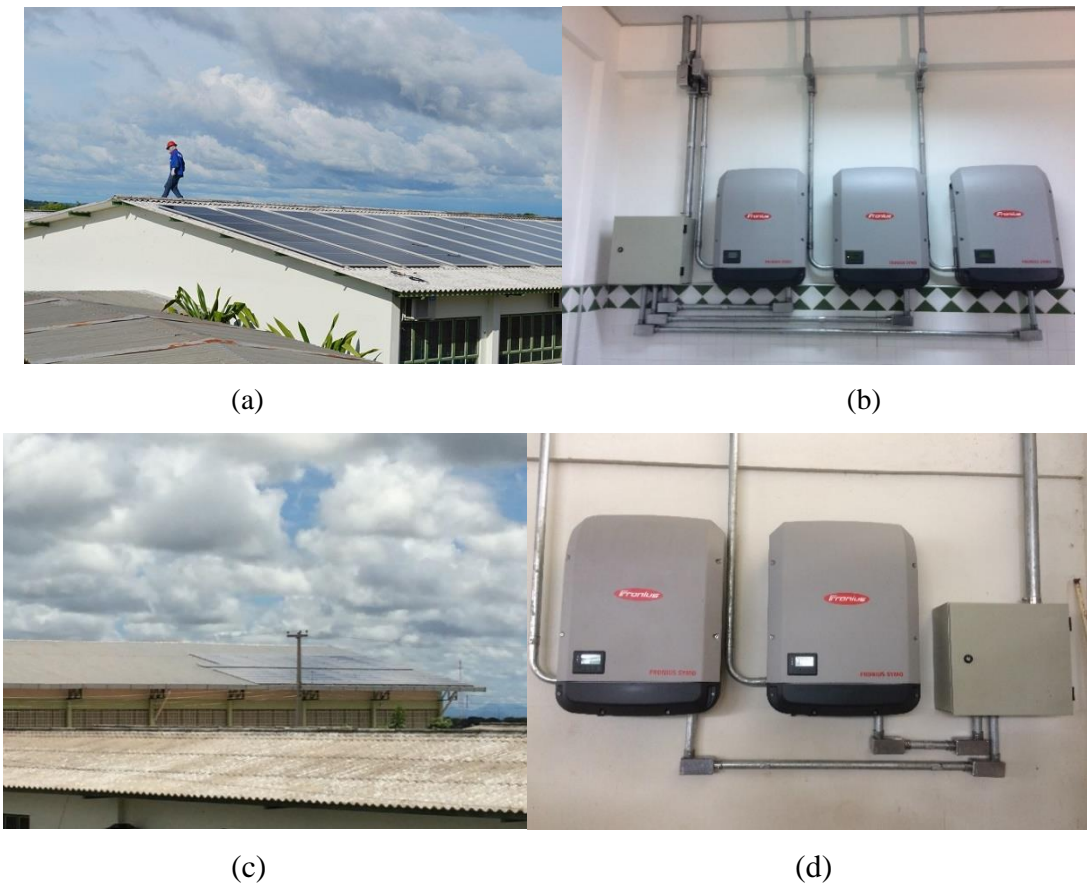
Com relação a demanda de energia, pode-se verificar no gráfico 9 que a menor demanda referente ao ano de 2017 foi registrada no mês de dezembro com 119 kW e a maior demanda no mês de maio com 189 kW.

3.3.3 Caracterização do Sistema de Microgeração Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica (SFVCR) do Campus Amajari - IFRR.

O SFVCR do Campus Amajari apresenta uma potência nominal instalada de 70,2 kWp, composto de 265 módulos fotovoltaicos com potência nominal de 265 Wp da marca Jingo Solar de tecnologia de silício policristalino, rendimento na conversão da energia solar para energia elétrica de 16,2%, modelo JKM 60P JKM265PP 265W, montados na cobertura da biblioteca e do ginásio de maneira fixa com uma inclinação de 10° e azimute de 180°, ou seja, orientados para o sul geográfico, ocupando uma área de 434,6 m². Constituído também por cinco inversores de 12 kW de potência nominal modelo FRONIUS SYMO 12.0-3, rendimento de 98%.

Esse sistema entrou em operação em 8 de agosto de 2017, possui uma produção estimada de 135 MWh por ano (11. 257 kWh mês), o que equivale a aproximadamente vinte por cento do consumo da edificação. Na Figura 29 é ilustrado o local da instalação do sistema de micro geração fotovoltaico instalado no Campus Amajari.

Figura 29 - Painéis FV e Inversores do IFRR – Campus Amajari: (a) Cobertura da Biblioteca; (b) Inversores da Biblioteca; (c) Cobertura do Ginásio; (d) Inversores do Ginásio



(a)

(b)



(c)

(d)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

As características técnicas dos módulos fotovoltaicos e dos inversores utilizados no SFCR estão apresentados de forma resumida nas Tabelas 2 e 3, respectivamente, extraído da folhas do painel fotovoltaico e do inversor que podem ser visualizados no Anexo 1 e 2.

Tabela 2 – Características Técnicas do Módulos Fotovoltaicos.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	
Fabricante:	JINKO SOLAR
Modelo:	JKM 60P JKM265PP 265W
Tecnologia de const.:	SILÍCIO POLICRISTALINO
Potência máxima:	265 W
Rendimento:	16,20%
Tensão nominal:	31,4 V
Tensão em aberto:	38,6 V
Corrente nominal:	8,44 A
Corr. de curto-circuito:	9,03 A
Dimensões:	992 mm x 1650 mm (1,64 m ²)
Peso:	19 KG

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Tabela 3 – Características Técnicas do Inversor.

DADOS TÉCNICOS DOS INVERSOR	
Fabricante:	FRONIUS INTERNACIONAL
Modelo :	FRONIUS SYMO 12.0-3 SYMO BRASIL
Nº de entrada para strings	6
Potência nominal	12,0 kW
Potência máxima	15,5 kW
Tensão nominal CC	370 V
Tensão máxima CC	600 V
Tensão máxima de saída AC	240 V
Corrente nominal	32.8 A
Corrente máxima	35 A
Rendimento	98%

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 POTENCIAL EÓLICO E SOLAR

O recurso solar, assim como o eólico é variável ao longo do dia e do ano, em virtude do movimento aparente do Sol, bem como suas variações irregulares provocadas pelas condições climáticas e pela composição geral da atmosfera (PINHO et al., 2008). O correto dimensionamento de um sistema fotovoltaico e eólico dependem da confiabilidade dos dados dos níveis da irradiação solar, velocidade e direção do vento que requerem medições realizadas durante um longo tempo (em geral, alguns anos) e em locais próximos daquele onde se pretende implantar o sistema. Segundo os meteorologistas, é necessário um período mínimo de cinco anos de dados de vento para se ter médias anuais confiáveis (MANWELL, 2002). Portanto, para o local em estudo, essa recomendação é parcialmente atendida já que o período de dados adquiridos está próximo do limite mínimo recomendado.

Barbosa Filho et al (2015) ressaltam que as informações relativas à irradiação média, o número de horas de luz solar e o potencial para geração anual de energia solar devem ser considerados para análise do potencial de energia solar de um país.

Diante disto, para a realização de um estudo de viabilidade técnica para a implantação de um sistema híbrido de geração de energia elétrica no IFRR- Campus Amajari, foi realizado o tratamento e análise dos dados coletados da estação meteorológica registrados durante um período compreendido no período de março de 2015 até setembro de 2018.

4.1.1 Velocidade do Vento

Os valores de velocidade média anual são um dos indicadores mais importantes na análise de aproveitamento eólico de uma provável região, visando assegurar sua viabilidade técnica e econômica. Um aumento da velocidade média anual de uma localidade provoca o aumento do número de horas que a velocidade do vento supere ou se aproxime da velocidade nominal de um aerogerador instalado, fazendo com que o equipamento possa trabalhar com sua potência nominal por um maior número de horas no período, melhorando assim o seu fator de capacidade (LOPEZ et al., 2003).

A velocidade do vento é uma variável aleatória, sendo importante ressaltar os valores médios horários, diários e mensais dentro de uma série histórica de alguns anos. Como o vento um fenômeno meteorológico é inevitável essa variação, justificando uma análise mais criteriosa

considerando o relacionando da distribuição de frequência para os esses valores médios (SAAD; SCALLOPI, 1988).

Analisando-se a velocidade média diária do vento no Campus Amajari do IFRR, segue na Tabela 4 os valores da velocidade média mensal e anual de uma serie de dados medidos a uma altura de 15 metros e coletados durante o período de março de 2015 a setembro de 2018.

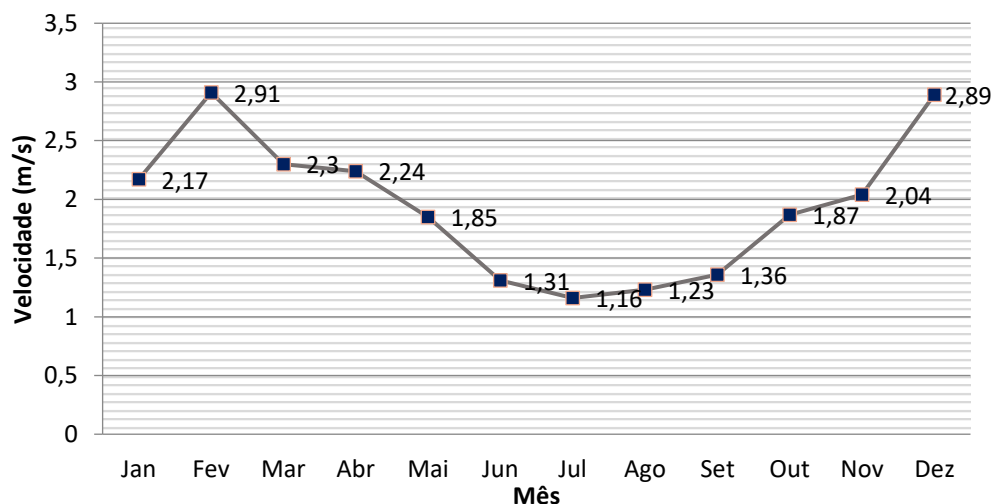
Tabela 4 - Tratamento descritivo dos dados da velocidade média diária do vento para a localidade do IFRR – CAM no período de 2015 a 2018.

Velocidade do Vento - Campus Amajari												
	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média Aritmética	2,17	2,91	2,30	2,24	1,85	1,31	1,16	1,23	1,36	1,87	2,04	2,89
Desvio Padrão	1,41	1,69	1,39	1,66	1,61	1,42	1,41	1,32	1,35	1,34	1,45	1,76
Máximo	8,00	9,40	8,50	10,70	10,70	11,20	12,50	13,00	12,10	8,90	9,80	11,20
Mínimo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ampl. Total	8,00	9,40	8,50	10,70	10,70	11,20	12,50	13,00	12,10	8,90	9,80	11,20
Contagem	2978	5402	7953	12044	8433	9131	5897	11638	11120	7375	6359	5,74
Variância	1,99	2,85	1,93	2,77	2,60	2,01	1,98	1,75	1,82	1,80	2,10	3,09

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

O Gráfico 10 ilustra a variação da velocidade média do vento da velocidade mensal ao longo dos meses do ano.

Gráfico 10 - Velocidade média mensal na região do IFRR – Campus Amajari



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

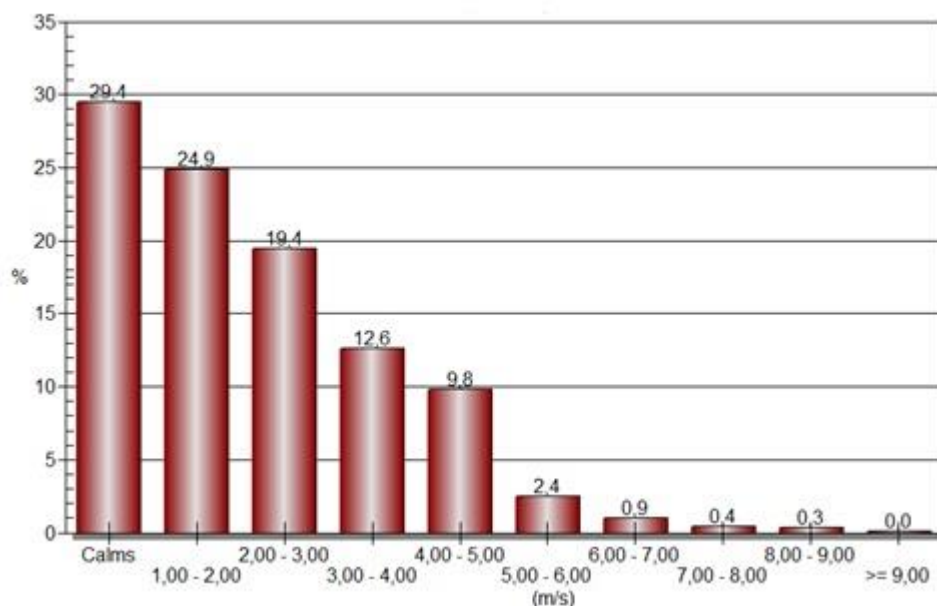
Conforme a Tabela 4 e o Gráfico 10, a velocidade média do vento no IFRR - Campus Amajari, varia entre a mínima de 1,16 m/s, no mês de junho, e a máxima de 2,91 m/s, no mês de fevereiro, com média anual de 1,94 m/s. Verificou-se que as maiores velocidades foram encontradas nos meses de fevereiro e dezembro com valores de 2,91 m/s e 2,89 m/s, respectivamente. As menores valores de velocidades do vento registraram-se foram de 1,16m/s para julho e 1,23 m/s para o mês de agosto.

Os maiores valores de velocidade médias possuem desvio padrão maiores, caracterizando portanto, uma maior variação da velocidade com relação a média, ou seja, maior é a dispersão dos dados. Os dados extremos de desvio padrão foram de 1,32 e 1,76.

Os resultados mostram que os maiores valores de velocidade média do vento, coincidem com a estação seca da região, período compreendido entre os meses de outubro e abril. Sendo os menores valores forma registrados nos meses da estação chuvosa.

Na distribuição de frequências das velocidades do vento, demonstrado no Grafico 11, verifica-se a predominância do regime de calmaria, classe de velocidade abaixo de 1 m/s (29,4%), seguida de ventos fracos com classe de velocidade de 1 a 2 m/s (24,9%), de 2 a 3 m/s (19,4%), de 3 a 4 m/s (12,6%). e, por fim até as classes de ventos moderados 4,0 a 5,0 m/s (9,8%), de 6,0 a 7,0 m/s (0,9%) e 7 a 8 m/s (0,3%), considerados desde calmaria a circulação de brisa moderada, segundo a escala Beaufort (WMO, 2000), Anexo 4.

Gráfico 11 - Histograma das velocidades do vento na região do Campus Amajari – IFRR



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

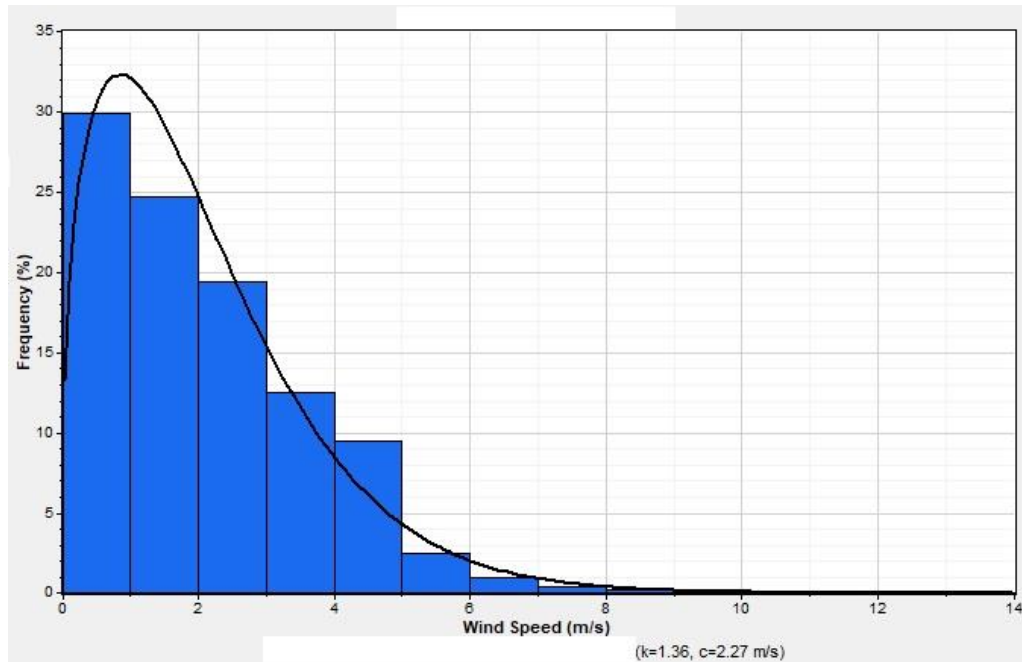
A distribuição de Weibull tem sido a mais utilizada em estudos de análise de frequência de velocidade do vento, bem como na identificação do potencial eólico de várias regiões (MACEIRA et al., 2011). Na função de Weibull, são calculados dois parâmetros: o fator de forma c (m/s) e o fator de escala k adimensional. Quanto maior o valor de k , menor a intensidade de turbulência, menor será o valor do desvio padrão e mais concentrado é o gráfico da distribuição de frequência. O fator k é importante por mostrar a regularidade dos ventos na localidade (DALMAZ, 2007; CARVALHO, 2003).

Segundo Soares (2009) a análise das velocidades médias num determinado local deve ser feita tendo em atenção ao fator de forma (k), pois este fator indica a prevalência dos resultados próximos da média. Assim, valores de k elevados de 2,5 a 3 indicam que a variação à volta da média anual é baixa enquanto que valores de k baixos entre 1,2 a 1,5 indicam grande variação à volta da média anual. Segundo Amarante et al (2001), deve-se ressaltar, porém, que, apenas ter um k alto não significa boas condições para o aproveitamento eólico, pois também é necessária uma boa média anual de velocidade de vento, em torno ou acima de 6 m/s.

Portanto, os dados de velocidade e direção predominante dos ventos na estação, em estudo, foram ajustados usando à distribuição de Weibull para melhor caracterizar o vento. Com o auxílio do *software* windographer, foi elaborado o Gráfico 12, no qual onde são representadas a distribuição de velocidades para a estação anemométrica do IFRR – Campus Amajari e a distribuição de probabilidade de Weibull correspondente, cujos fatores de forma e de escala são 1,36 e 2,27 respectivamente, demonstrando um valor de k baixo, indicando uma irregularidade dos ventos em termos de velocidade. Os parâmetros de velocidade obtidos pela distribuição estatística de Weibull, indicam que o potencial energético do vento é muito pequeno, demonstrando um baixo aproveitamento eólico, no ponto de medição analisado.

A velocidade média anual para esta estação foi de, aproximadamente, 1,94 m/s e a densidade média de potência eólica igual a 17 W/m², demonstrando baixo potencial eólico para a região em estudo.

Gráfico 12 - Distribuição de Weibull para velocidades de ventos na região do Campus Amajari



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.1.2 Direção do Vento

A variação do vento é dependente de uma série de variáveis, que incluem: a radiação solar, a latitude, as interações mecânicas do terreno, a convecção e a força de Coriolis (FARRUGIA; MICALLEF, 2006).

A direção do vento é variável no tempo e no espaço e sofre a influência da geografia do local e da época do ano (VENDRAMINI, 1986). Além disso ela é importante tanto para o cálculo da energia gerada por uma determinada usina eólica, assim como para a escolha do local e da direção em que ficarão alinhados os aerogeradores (KUHNNEN et al., 2004).

A informação estatística sobre a disponibilidade de energia eólica e a sua frequência no tempo é fornecida por meio da rosa dos ventos (KUHNNEN et al., 2004).

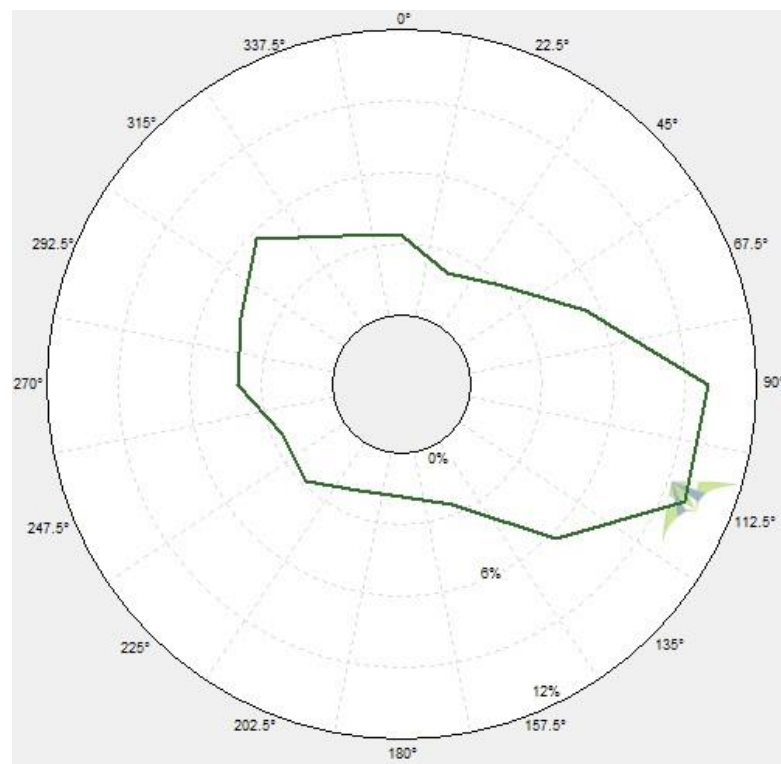
A direção predominante do vento foi caracterizada por meio de uma análise de frequência das observações diárias, através da elaboração de rosa dos ventos como auxílio do software WRPLOT, no qual visualiza-se a variabilidade da direção do vento ao longo dos doze meses do ano.

No Gráfico 13 é apresentado a rosa dos ventos da região do IFRR no município de Amajari, onde as direções predominantes do vento identificadas mostram um padrão de vento de vários quadrantes. As predominâncias foram registradas com base na soma dos percentuais das direções em cada quadrante, registrando maior intensidade nas direções leste-sudeste (ESE,

10,3%), leste (E, 9,96%), sudeste (SE, 6,3%), noroeste (NW, 5,74%) e leste-nordeste (ENE, 5,46%) . Notou-se a ocorrência de outras direções com frequências menores, com destaque para as direções oeste-noroeste (WNW, 4,46%), oeste (W, 4%) entre outras.

A variação do vento em varias direções, característica da região em estudo, é um fator negativo para o aproveitamento eólico, uma vez que esta grande variabilidade implica em perda de tempo e maiores esforços na estrutura, pois necessitam corrigir a posição dos aerogeradores repetidamente (SOBRAL et al., 2018).

Gráfico 13 - Direção média predominante do vento no IFRR, no período de 2015 a 2018



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.1.3 Irradiação Solar Global em Plano Horizontal

Os valores diários médios mensais de irradiação global em plano horizontal constitui uma série histórica que contribui para caracterização da radiação da região em estudo. Os resultados obtidos do conjunto de dados coletados da estação solarimétrica do IFRR – Campus Amajari, relativos à variabilidade mensal da irradiação solar global diária, durante o período de março de 2015 até setembro de 2018, estão apresentados na Tabela 5.

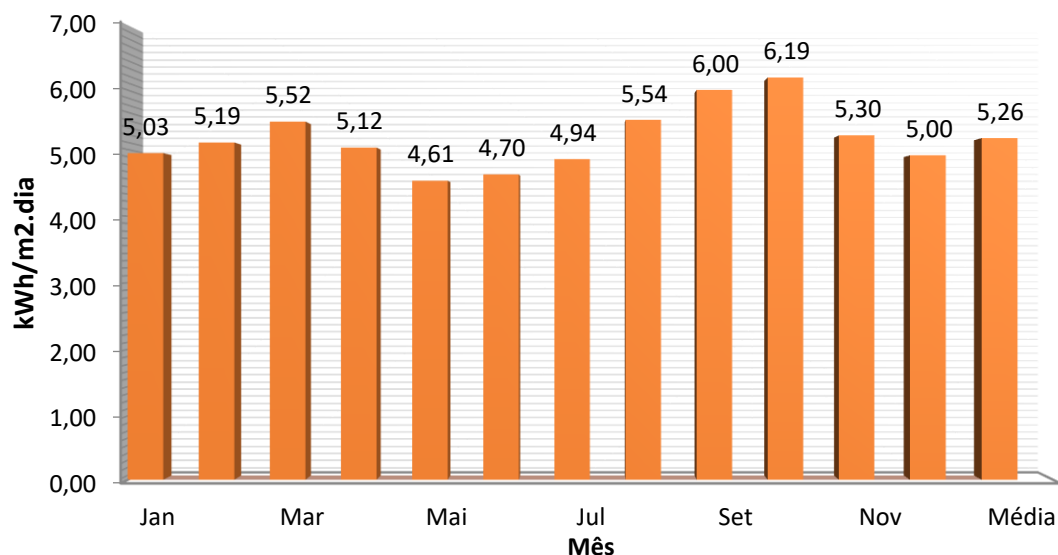
Tabela 5 – Valores diários médios mensais de irradiação solar global em plano horizontal.

<i>IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL DIÁRIA NO PLANO HORIZONTAL</i>													
kWh/m².dia	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Média
2015			5,79	5,17	4,44	5,00	5,12	5,74	6,35	6,38	5,75	5,04	5,48
2016	5,13	5,19	5,67	4,45	4,53	4,79	5,26	5,42	5,88	5,79	5,00	5,06	5,18
2017	5,08	5,41	5,39	5,46	4,67	4,63	4,45	5,67	5,78	6,41	5,16	4,89	5,25
2018	4,88	4,98	5,21	5,38	4,78	4,39	4,92	5,34	6,00				5,10
Média Mensal	5,03	5,19	5,52	5,12	4,61	4,70	4,94	5,54	6,00	6,19	5,30	5,00	5,26

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Na elaboração do gráfico 14, numa perspectiva da radiação média mensal da região nos últimos três anos, empregou-se a média simples da irradiação solar (média mensal de março de 2015 até setembro de 2018). Com isso, estimou-se uma insolação mais precisa que a de apenas um ano, a qual estaria sujeita a maior imprecisão devido a fatores climáticos variáveis.

Gráfico 14 – Valores da irradiação global diária mensal entre 2015 e 2018.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Analisando o Gráfico 14 e a Figura 6, pode-se verificar que na região do Campus Amajari, a variação mensal da irradiação solar diária média se mantém em valores altos no decorrer do ano estando em uma faixa entre 4,61 e 6,19 kWh/m², com valor médio de 5,26 kWh/m², características semelhantes à região Nordeste, região com os maiores índices de irradiação solar

global, e a menor variabilidade anual entre todas as regiões geográficas brasileiras e superior a alguns países Europeus onde essa tecnologia já está bem estabelecida, conforme Gráfico 1, sendo este um fator positivo para a implantação da energia solar.

4.1.4 Irradiação Solar Global em Plano Inclinado

Com o objetivo de observar a influência da inclinação dos módulos fotovoltaicos na disponibilidade de recurso solar e a variação do recurso solar relacionado à latitude, gerou-se os dados da irradiação solar em plano inclinado por meio do programa RADIASOL .

No programa RADIASOL foi criada a estação “AMAJARÍ”, com os valores diários médios mensais de irradiação solar global em plano horizontal medidos no local em estudo conforme ilustrado a Figura 30.

Figura 30 – Tela de entrada do RADIASOL – Estação “AMAJARÍ”.



Selezione um país e uma estação

País:

Estação:

OK Editar Sair

Latitude: N/S: Longitude: E/W:

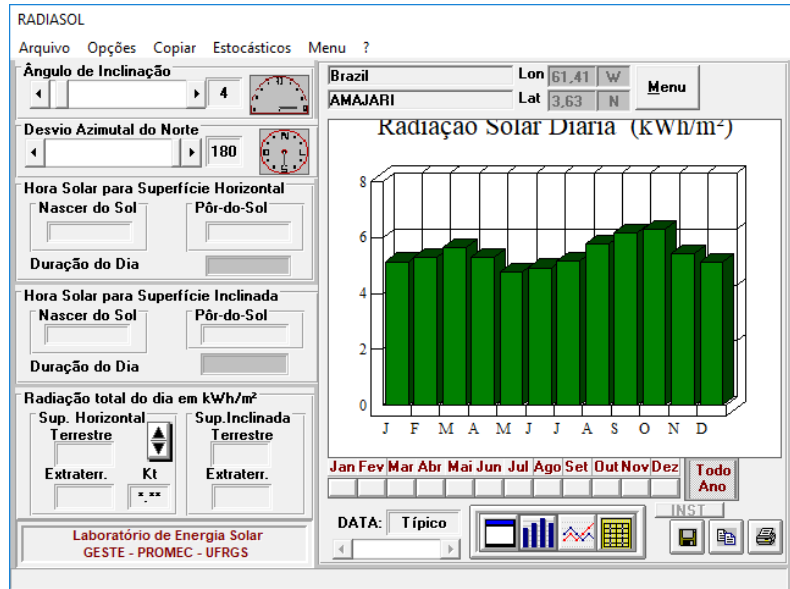
JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
5,03	5,19	5,52	5,12	4,61	4,70	4,94	5,54	6,00	6,19	5,30	5,00

Radiação em kWh/m²

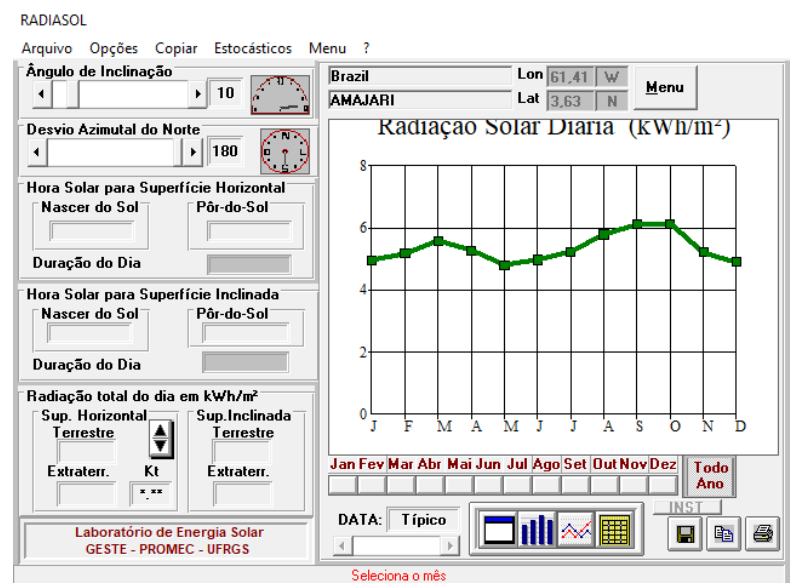
Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Inserindo as informações da irradiação solar global coletadas no local em estudo (Figura 30) , considerando os ângulos de inclinação em 4 e 10 graus e o ângulo de desvio azimutal do Norte em 180 graus no *software* RADIASOL, obtêm-se os gráficos da irradiação solar global no plano inclinado para os referidos ângulos na região do IFRR – Campus Amajari, apresentado na Figura 31.

Figura 31 – Tela do RADIASOL – Gráfico de irradiação solar global diária média: (a) Plano inclinado em 4 graus e (b) Plano inclinado em 10 Graus



(a)



(b)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Na Tabela 6 são apresentados os dados de irradiação solar referentes às componentes direta, difusa e global para os ângulos de inclinação de 0°, 4° e 10°. Tais ângulos de inclinação foram escolhidos, pois contemplam os valores de irradiação solar global no plano horizontal (0°), irradiação solar global no ângulo de inclinação 4° e 10°, no qual se enquadra a latitude da região analisada.

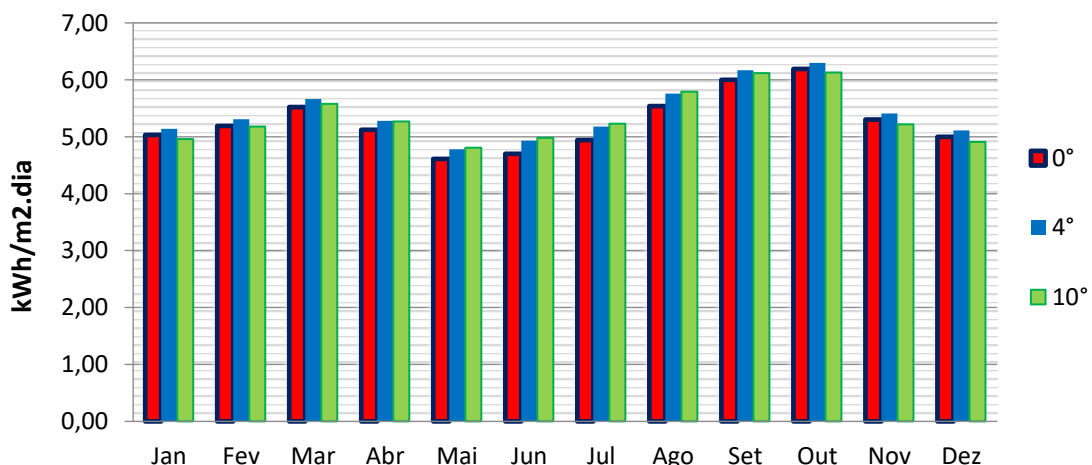
Tabela 6 – Componentes direta, difusa e global da irradiação solar para o plano inclinado

IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL NO PLANO INCLINADO (kWh/m ² /dia)									
	0°			4°			10°		
Mês	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global	Direta	Difusa	Global
Jan	1,99	3,04	5,03	1,91	3,24	5,14	1,77	3,18	4,96
Fev	1,94	3,25	5,19	1,89	3,41	5,31	1,79	3,37	5,18
Mar	2,27	3,25	5,52	2,25	3,41	5,66	2,19	3,38	5,58
Abr	1,75	3,37	5,12	1,76	3,51	5,28	1,77	3,50	5,27
Mai	1,28	3,33	4,61	1,31	3,47	4,78	1,34	3,45	4,81
Jun	1,53	3,18	4,70	1,57	3,35	4,93	1,62	3,35	4,98
Jul	1,82	3,12	4,94	1,87	3,30	5,18	1,93	3,30	5,23
Ago	2,55	2,99	5,54	2,59	3,17	5,76	2,62	3,16	5,79
Set	3,17	2,82	6,00	3,17	3,00	6,17	3,13	2,98	6,12
Out	3,60	2,59	6,19	3,53	2,76	6,30	3,39	2,73	6,13
Nov	2,35	2,95	5,30	2,56	3,15	5,41	2,11	3,10	5,22
Dez	2,05	2,94	5,00	1,96	3,14	5,11	1,80	3,09	4,91
Média	2,19	3,07	5,26	2,20	3,24	5,42	2,12	3,22	5,35

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

A irradiação solar diária média no plano horizontal, segundo os dados simulados no *software* Radiasol, tem um valor de 5.26 kWh/m².dia, com valor de irradiação para suas componentes direta e difusa de 2.19 kWh/m².dia e 3.07 kWh/m².dia. No plano inclinado com ângulo de 4°, o valor da irradiação solar diária média é de 5.42 kWh/m².dia, componentes direta e difusa com 2,20 kWh/m².dia e 3,24 kWh/m².dia, respectivamente. Quanto ao plano inclinado com ângulo de 10°, o valor da irradiação solar diária média é de 5.35 kWh/m².dia, componentes direta e difusa com 2,12 kWh/m².dia e 3,21 kWh/m².dia, respectivamente, sendo a maior contribuição da parcela referente à componente difusa, conforme apresentado na Tabela 6 e ilustrado no Gráfico 15.

Gráfico 15 – Irradiação solar global para o plano horizontal e inclinado

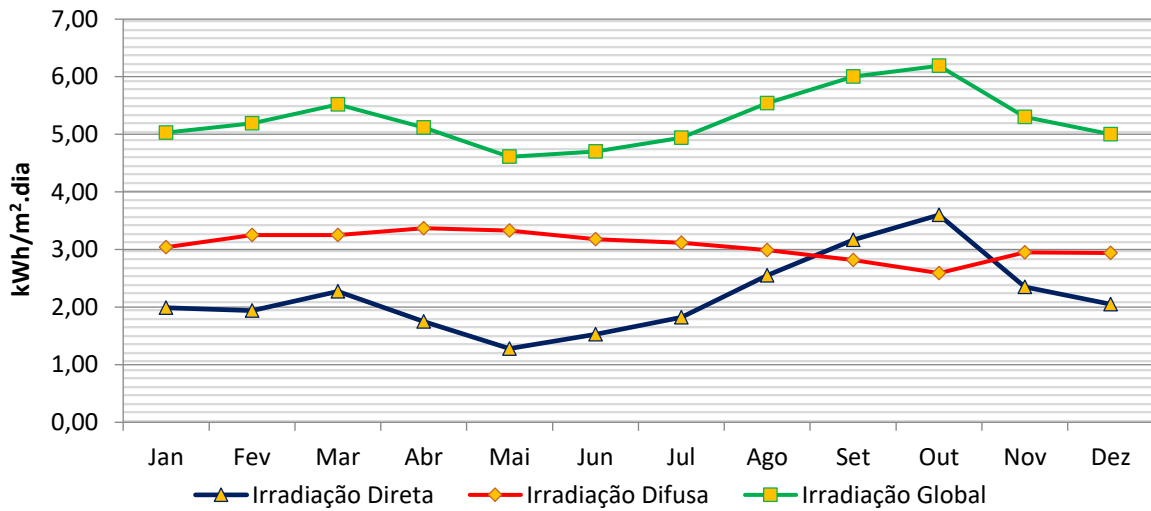


Fonte: Produção do próprio autor (2018).

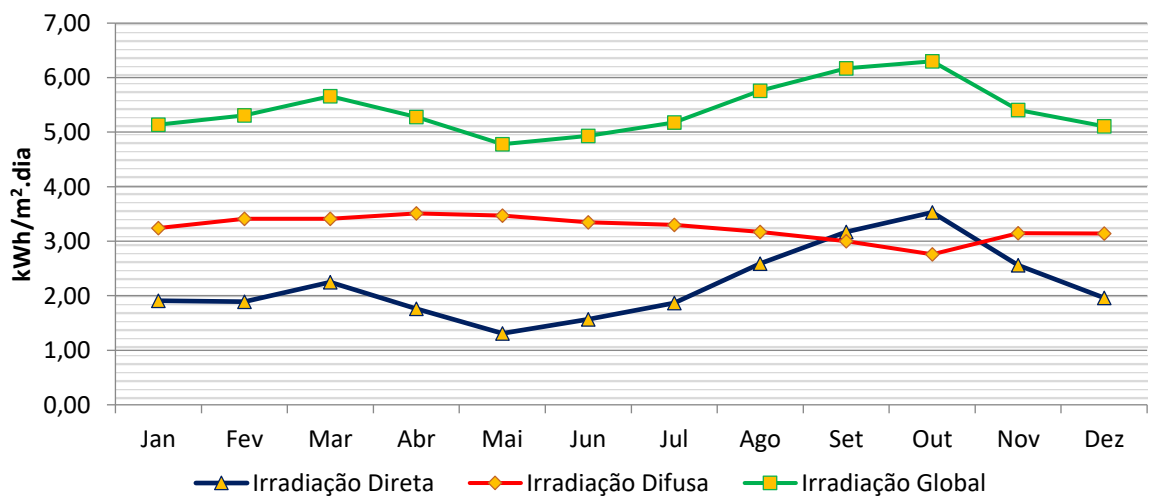
Observa-se assim que os ângulos entre 4 e 10 graus fazem com que o painel receba a maior quantidade de energia solar durante o dia, comparado com os outros valores de inclinação.

Quanto à influência das componentes direta e difusa na irradiação solar global plano inclinado de 4° e 10°, observa-se no Gráfico 16 que a componente direta se destaca sobre a difusa, nos meses de setembro e outubro, meses com os maiores índices de irradiação solar diária média durante todo o ano, tanto para o plano horizontal quanto para o plano inclinado.

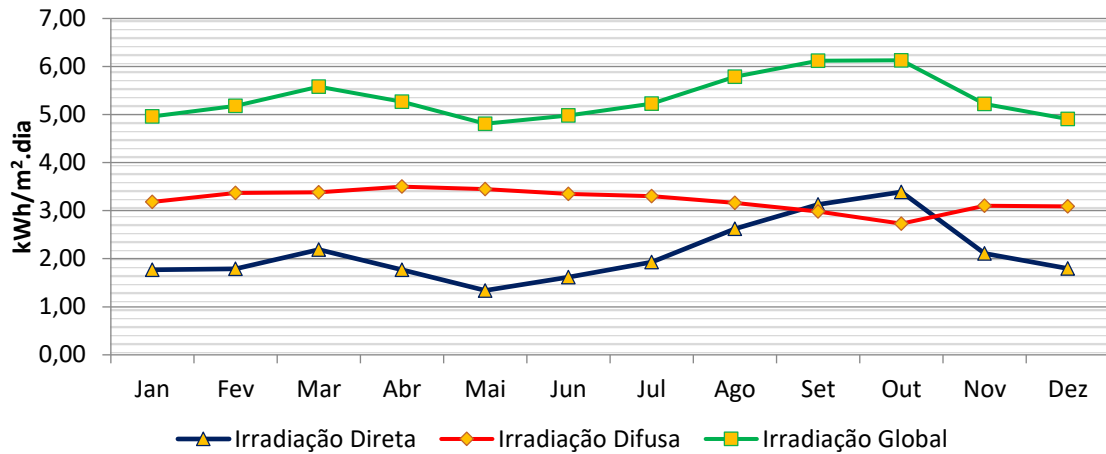
Gráfico 16 – Componentes da Irradiação Solar Global: (a) Plano Horizontal; (b) Plano Inclinado de 4 Graus; (c) Plano Inclinado de 10 Graus.



(a)



(b)



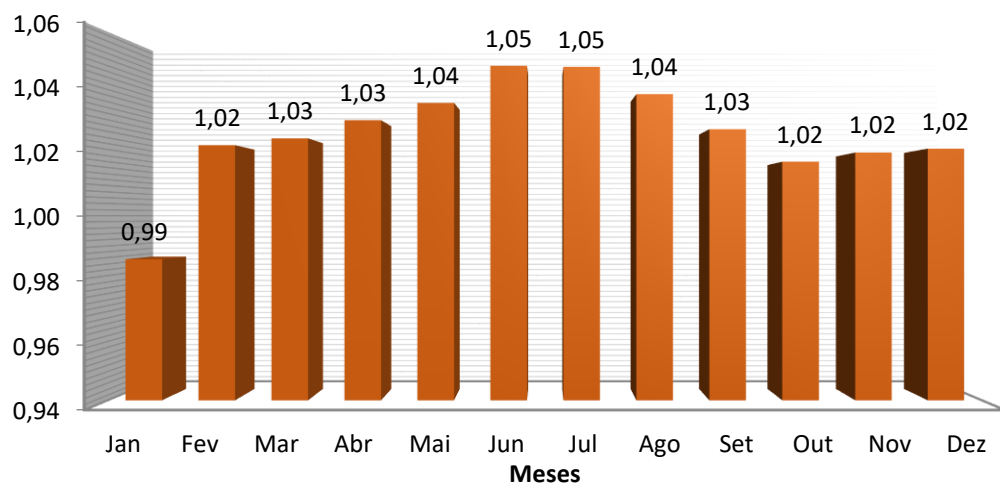
(c)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Considerando a variação de incidência solar durante os meses do ano, a inclinação dos módulos são fundamentais para a eficiência de um sistema fotovoltaico (DASSI et.al, 2015).

Os valores do Gráfico 17 estão em escala comparativa entre um sistema com painéis solares instalados na posição horizontal e com o mesmo sistema considerando uma inclinação de 10 graus, em relação ao plano horizontal. O valor 1,0 do gráfico indica que os dois sistemas possuem a mesma eficiência, tanto para a posição horizontal quanto para a inclinada. O valor maior que 1,0 indica quantas vezes o sistema inclinado é melhor que o sistema na posição horizontal. Um valor menor que 1,0 representa quantas vezes o sistema na posição inclinada é menos eficiente que o sistema com placas instaladas na posição horizontal.

Gráfico 17 - Ganhos e perdas mensais relacionados com o ângulo de inclinação dos painéis solares.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

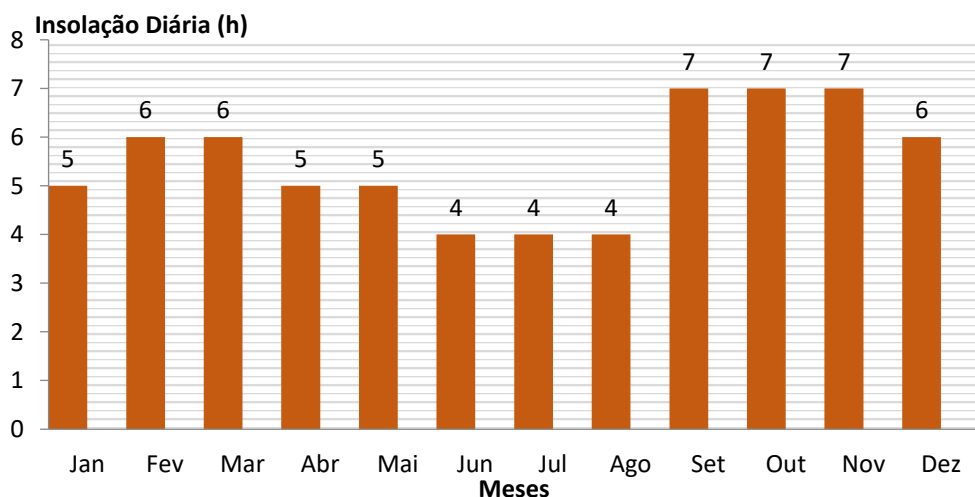
Os valores de irradiação solar global média mensal do sistema com painéis instalados na posição horizontal, demonstrado pela Tabela 5, é de 5,26 kWh/m².dia. Logo, o sistema com painéis com inclinado em 10°, apresenta uma irradiação solar global média mensal sobre os painéis solares de 5,35 kWh/m².dia. Com base nesses dados e levando se em conta que para áreas próximas a linha do equador, latitudes variando entre -10° e +10°, recomenda-se a instalação dos módulos fotovoltaicos a inclinação mínima de 10°, evitando-se assim o acúmulo de impurezas e favorecendo a autolimpeza dos módulos pela ação da água da chuva (GTES, 2004), verifica-se que a inclinação dos painéis solares em um ângulo de 10 graus com o plano horizontal é a mais adequada, resultando em um ganho na eficiência do sistema de aproximadamente 2%. Para efeito de projeto, estes são os dados levados em conta para o dimensionamento da quantidade de painéis e potência do inversor.

4.1.5 Insolação

A insolação, também conhecida como “horas de brilho solar” é um período de tempo durante o qual o feixe de radiação solar direta ilumina uma superfície (ROSA, 2003). Segundo Martins (2004) a quantidade de energia elétrica produzida depende basicamente da insolação do local ao qual está instalado.

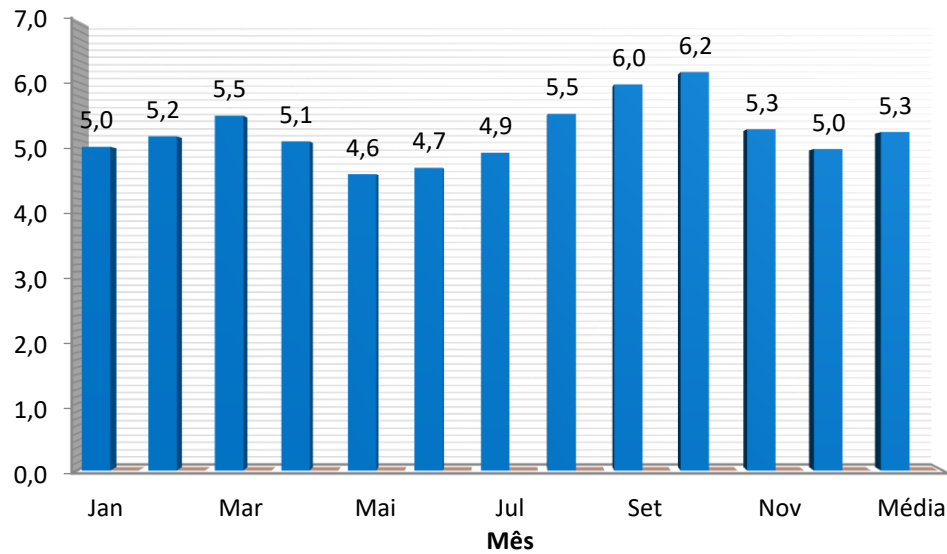
Para a obtenção de dados da insolação diária média mensal do município de Amajari, foi utilizado os dados do Atlas Solarimétrico do Brasil desenvolvido pelo Grupo de Pesquisas em Fontes Alternativas de Energia do Depto de Energia Nuclear (UFPE, 2000), conforme apresentado no Gráfico 18.

Gráfico 18 – Insolação diária média mensal em horas.



Fonte: Atlas Solarimétrico do Brasil (2000).

Gráfico 19 – HSP no IFRR – Campus Amajari.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Por meio do Gráfico 19, verifica-se que, no local onde a Instituição está localizada, a média anual gira em torno de 5,3 horas de sol equivalente ao dia. Os meses de setembro e outubro apresentam a maior incidência de horas de sol, acima de 6 horas diárias, enquanto os meses de maio a julho a menor incidência de sol.

4.2 ANÁLISE DO DESEMPENHO DO SISTEMA DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE (SFCR) DO IFRR - CAM

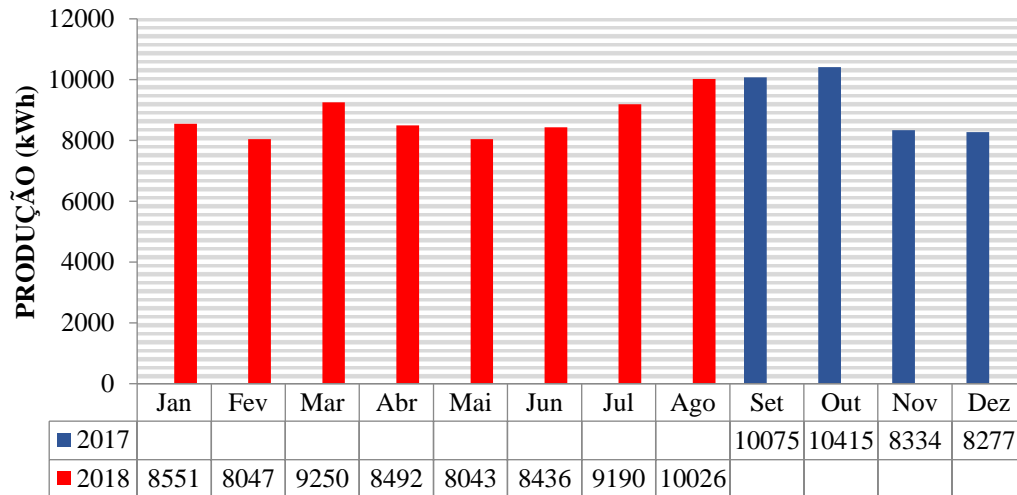
A análise do desempenho do SFCR do Campus Amajari se baseia nos valores de energia gerada durante um ano de operação no período de setembro de 2017 a agosto de 2018 apresentados no Gráfico 20 e nos valores de irradiação incidentes no plano de inclinação dos painéis fotovoltaicos conforme Tabela 4. A partir da energia gerada e da irradiação incidente são apresentados os índices de produtividade, taxa de desempenho e fator de capacidade.

4.2.1 Energia Gerada pelo SFCR do IFRR – Campus Amajari

Analisando o funcionamento do SFCR instalado no Campus Amajari no período de setembro de 2017 a novembro de 2018, observou-se uma geração total de 107,14 MWh (8.928 kWh/mês), geração de energia mensal mínima de 8.043 kWh no mês de maio, mês de menor

incidência de irradiação solar e uma geração máxima de 10.415 kWh no mês outubro, mês de maior registro de irradiação solar global. Conforme podemos observar no Gráfico 21.

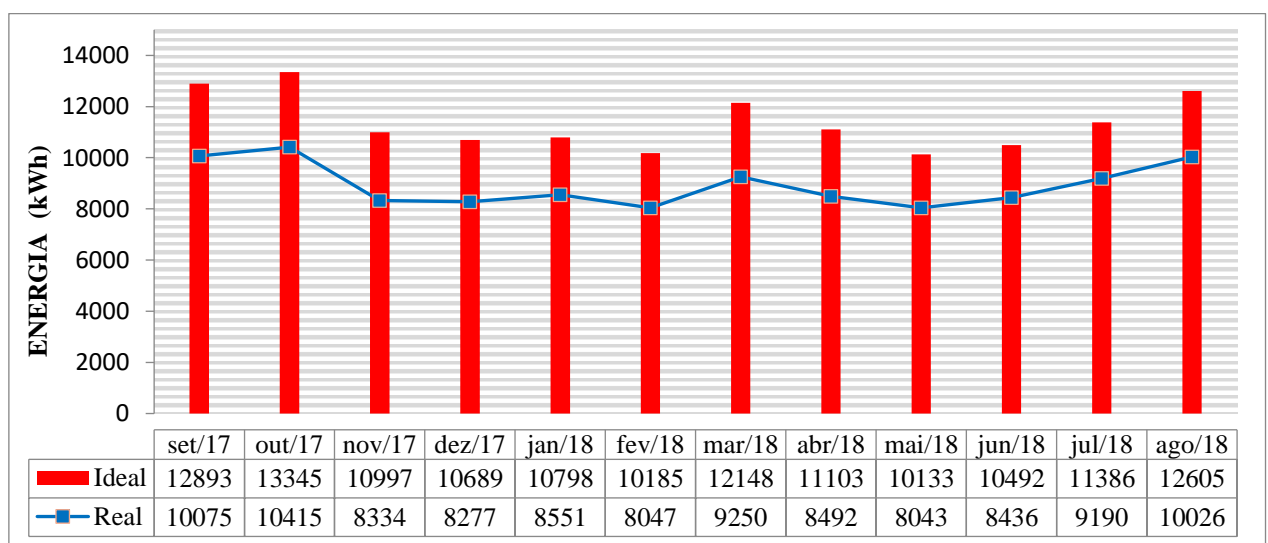
Gráfico 20 – Geração de Energia Elétrica do SFCR do IFRR – Campus Amajari.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Uma vez obtidas e analisadas a irradiação solar global no plano inclinado em 10 graus gerados pelo *software* RADIASOL, Tabela 6, são comparadas a energia ideal anual gerada (E_{ideal}) em kWh do sistema calculadas a partir da Equação (5), sem considerar as perdas globais do sistema (rendimento global igual a 1) com a energia real (E_{real}) medida mensalmente pelo sistema, pode ser conferida por meio do Gráfico 22.

Gráfico 21 – Geração de energia ideal e geração de energia real do SFCR do IFRR - CAM.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

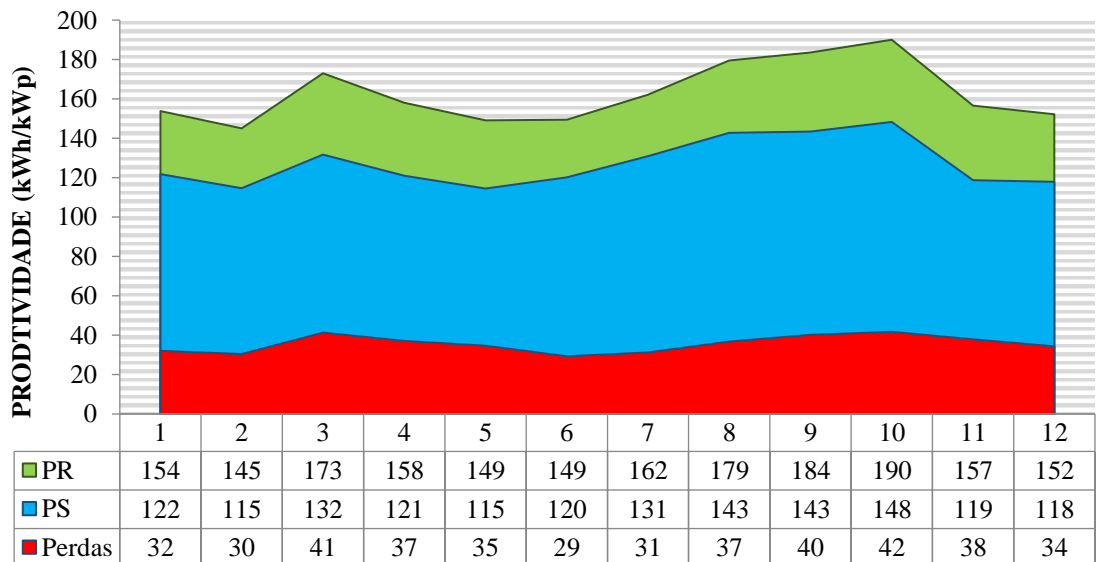
Considerando que a soma das expectativas de produções mensais apresentadas no Gráfico 22 totalizam 136.773 kWh, e a soma das produções de energias reais verificadas totalizam 107.135 kWh, ou seja, nesse período, as perdas globais do sistema foram de 29.638 kWh ou seja 21,67%. Essas perdas globais são referentes aos fatores que influenciam no desempenho de um sistema fotovoltaicos como a localização, a orientação e a inclinação do painel fotovoltaico, clima local, a eficiência dos módulos e do inversor utilizado e falhas nas conexões, detalhados no item 2.1.4.1.

4.2.2 Índices de Mérito do SFCR do IFRR – Campus Amajari

4.2.2.1 Produtividade

O Gráfico 23 apresenta os índices de mérito mensais como produtividade de referência (PR), produtividade do sistema (PS) e as perdas para o SFCR do IFRR – CAM, estes índices representam a energia disponível, a energia produzida e as perdas totais devido a conversão de energia do SFCR do IFRR –CAM, respectivamente.

Gráfico 22 – Índice de Produtividade e perdas totais do SFCR do IFRR – CAM.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Observa-se no Gráfico 23 que o mês de outubro apresenta o maior recurso solar e produtividade do sistema com 190 horas de sol nominal disponível e 148 horas de sol nominal convertida pelo sistema. Os meses que apresentam o menor recurso são maio e junho com 149

horas de sol nominal disponível em média. Sendo que o mês de outubro apresentou a maior perda, 21,95 % ou 42 horas de sol nominal.

O índice de produtividade do sistema anual de 1526 kWh/kWp caracteriza uma boa produção de energia e está dentro dos valores típicos comparados a SFCR's instalados no Brasil e na Europa. Na Tabela 8 são apresentados os índices de produtividade de alguns sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no Brasil e na Europa. Percebe-se que os índices de PR para estes sistemas estão entre 1030 kWh/kWp e 1710 kWh/kWp.

Tabela 7 – Índices de produtividade em SFCR instalados no Brasil e na Europa.

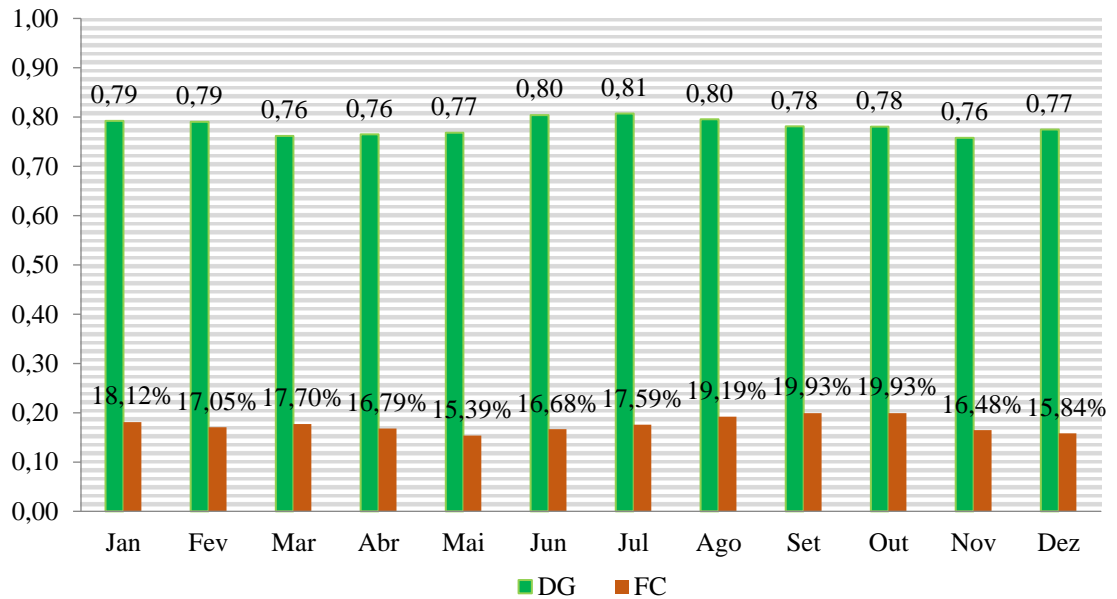
SISTEMA	POTÊNCIA INSTALADA (Kwp)	ANO DE OPERAÇÃO	LOCAL	PR (kWh/kWp)
Residência	3,57	2015-2016	Palmas - TO	1710
Instituição Pública	56,4	2014-2015	Natal - RN	1656
UFTPR	2,1	2014	Curitiba - PR	1149
UFSC	2	2005	Florianópolis - SC	1277
USP/IEE	12,3	2004	São Paulo - SP	1090
764 sistemas	Média de 15,6	2011-2013	Alemanha	1030
532 sistemas	Média de 13,1	2011-2013	Itália	1285

Fonte: Adaptado de Belém et al. (2018).

4.2.2.2 Desempenho Global e Fator de Capacidade

A partir da equação (7) e da equação (10) pode-se calcular o fator de capacidade e desempenho global para o SFCR do IFRR – Campus Amajari. No Gráfico 24 é demonstrado o desempenho global (DG) e o fator de capacidade (FC) para o SFCR do IFRR – CAM. O FC apresenta seu valor máximo nos meses de outubro e novembro de 19,93% e o seu valor mínimo no mês de maio de 15,39%, este índice está diretamente relacionado à disponibilidade de recurso solar. O desempenho global do sistema foi menor nos meses de temperatura mais elevadas, o maior índice de PR ocorreu no mês de julho, 0,81 e o menor índice de 0,76 ocorreu nos meses de março, abril e novembro.

Gráfico 23 – Desempenho Global e fator de capacidade do SFCR do IFRR – CAM.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

O índice anual médio de 17,56 % do FC e 0,78 do DG para o período caracteriza um bom aproveitamento da radiação solar e um ótimo desempenho considerando a média histórica de sistemas com características semelhantes. Na Tabela 9 é apresentado os índices de fator de capacidade e desempenho global de alguns sistemas fotovoltaicos conectados à rede instalados no Brasil e na Europa. Percebe-se que os índices de FC e DG para estes sistemas estão respectivamente entre 10,76% e 17,13% e 0,65 a 0,91.

Tabela 8 – Índices de Desempenho Global e Fator de Capacidade de SFCR instalados no Brasil e na Europa.

SFCR	Potência Instalada (kWp)	Local	Área Total dos Módulos (m ²)	ANO	FC (%)	DG
IFPI	678,14	Florianópolis - Brasil	4863,24	2017	17,13	0,74
281_Langenebold	49,68	Langenebold - Alemanha	356,00	2015	11,82	0,91
CE10	559,68	Collelongo - Itália	4464,90	2014	13,56	0,73
MtSOLEIL	171,6	Mont Soleil - Suíça	1061,63	2014	10,76	0,65

Fonte: Adaptado de Lima et al. (2018).

A Tabela 10 apresenta um resumo dos índices de mérito anuais para o SFCR instalado no IFRR –CAM.

Tabela 9 – Índices de mérito para o SFCR instalado no IFRR –CAM.

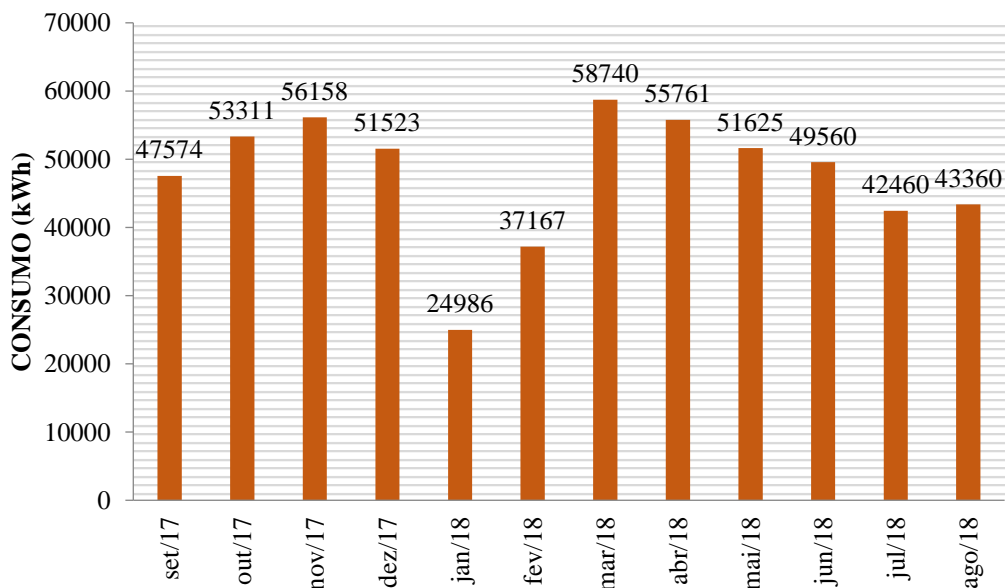
SFCR	PR	PS	Perdas	FC (%)	DG
IFRR - CAM	1952	1526	427	17,56	0,78

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.3 DIMENSIONAMENTO DE SFCR PARA O IFRR – CAM

Segundo TIEPOLO (2012), o dimensionamento de um sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica é iniciado com o levantamento do consumo de energia elétrica do local em estudo. Esse levantamento foi realizado por intermédio das faturas de energia dos últimos doze meses fornecidas pela concessionária e já considerando a energia fornecida pelo SFCR existente no IFRR – CAM. No Gráfico 25 é representada a energia consumida no IFRR - Campus Amajari durante o período de setembro de 2017 a agosto de 2018.

Gráfico 24 – Consumo Energético do IFRR - CAM.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

O consumo energético total anual do Campus Amajari - IFRR dos últimos doze meses é de 572.224 kWh, com média diária e mensal neste período de 1568 kWh e 47.685 kWh respectivamente. Nos meses de janeiro e fevereiro o consumo foi menor em razão do período das férias escolares, apresentando uma variação de consumo considerável em relação aos outros meses.

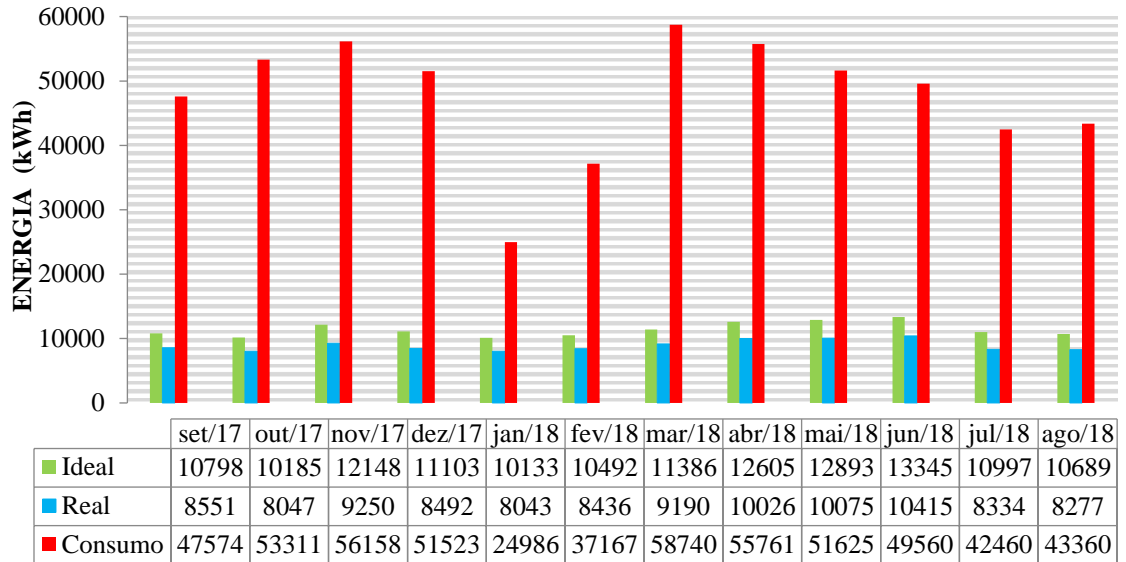
Neste capítulo será realizado um estudo do dimensionamento de 3 (três) cenários para instalação de SFCR's visando a geração fotovoltaica estimada para o fornecimento de energia ao Campus Amajari – IFRR.

- Cenário 1: Considera-se o SFCR existente no local em estudo, conforme características descritas no item 3.2.3, representando aproximadamente 19% do consumo do Campus Amajari – IFRR;
- Cenário 2: Dimensionamento de um SFCR visando suprir 50% do consumo do Campus Amajari - IFRR;
- Cenário 3: Dimensionamento de um SFCR visando suprir 100% do consumo do Campus Amajari - IFRR;

4.3.1 Cenário 1

O SFCR considerado como o primeiro cenário em estudo, possui uma potência nominal instalada de 70,2 kW, compreendidos em 265 módulos fotovoltaicos de 265 W de potência nominal e 16,2 % de eficiência, divididos em uma área útil de 433 m². Esse sistema possui uma E_{ideal} anual, calculada através da Equação (5) de 136.773 kWh e gerou no período de setembro de 2017 a agosto de 2018 uma energia real de 107.135 kWh, valor este que representa aproximadamente 19% do consumo total da instalação para o mesmo período, conforme exibido no Gráfico 26. Alcançando, portanto, um desempenho global anual de 0,78, conforme apresentado no item 4.2.

Gráfico 25 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 1 em comparação com a Energia Consumida no IFRR – CAM.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

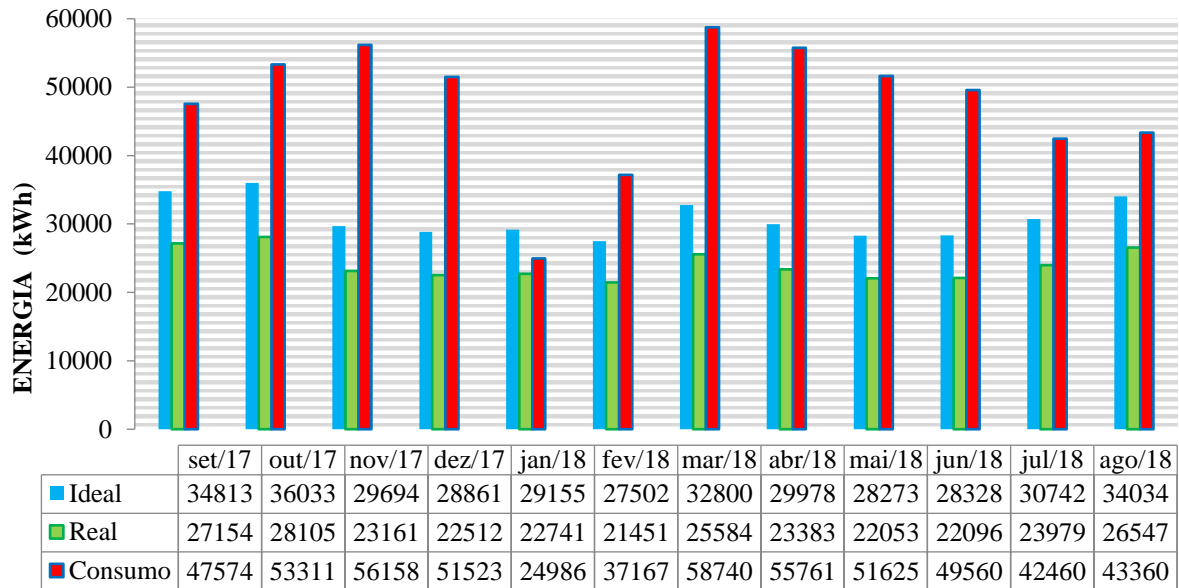
4.3.2 Cenário 2

Com base no consumo total de 572.224 kWh das instalações do IFRR - CAM e considerando um segundo cenário que prevê uma geração fotovoltaica de 50 % deste consumo, 286.112 kWh. Através da equação (1) e utilizando o mesmo valor de desempenho global encontrado no SFCR existente no local em estudo, tem-se uma potência instalada estimada para este sistema fotovoltaico de 189,61 kW.

Adotando as mesmas características do módulo fotovoltaico utilizado no SFCR existente na instalação do Campus Amajari – FRR apresentada na Tabela 2, ou seja, potência nominal de 265 W e eficiência de 16,20 %, através da Equação (2) calcula-se uma área útil de 1170,5 m² para a instalação dos módulos fotovoltaicos. Determinada qual é a potência fotovoltaica nominal do sistema e a potência nominal do módulo fotovoltaico, utiliza-se a equação (3) para determinar o número total de módulos. Desta forma, obtém-se uma quantidade 716 módulos necessários para este sistema.

A partir dos dados reais de irradiação solar no plano dos módulos fotovoltaicos, da potência instalada do sistema previamente determinada, é possível que o sistema prevista para o cenário 2, forneça mês a mês a energia apresentada no Gráfico 27, calculada conforme as Equações (5) e (6). Neste cenário a E_{ideal} e E_{real} gerado anualmente corresponde a um valor de aproximadamente 370.214 kWh e 288,767 kWh respectivamente.

Gráfico 26 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 2 em comparação com a Energia Consumida no Campus Amajari - IFRR.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.3.3 Cenário 3

O terceiro cenário prevê um SFCR para gerar cerca de 47.685 kWh/mês, o equivalente a 572.224 kWh/ano, compensando em 100% o consumo de energia. No entanto, mesmo que o consumo seja compensado em sua totalidade, o consumidor deverá pagar o valor referente ao custo de disponibilidade, no caso dos consumidores do grupo A trifásico equivale ao valor da demanda contratada, conforme as disposições da alínea I do artigo 7º da REN nº 482/2012 (ANEEL, 2012). Portanto, por meio da equação (1), considerando o valor 0,78 para desempenho global, tem-se uma potência instalada estimada do sistema fotovoltaico de 379,23 kW.

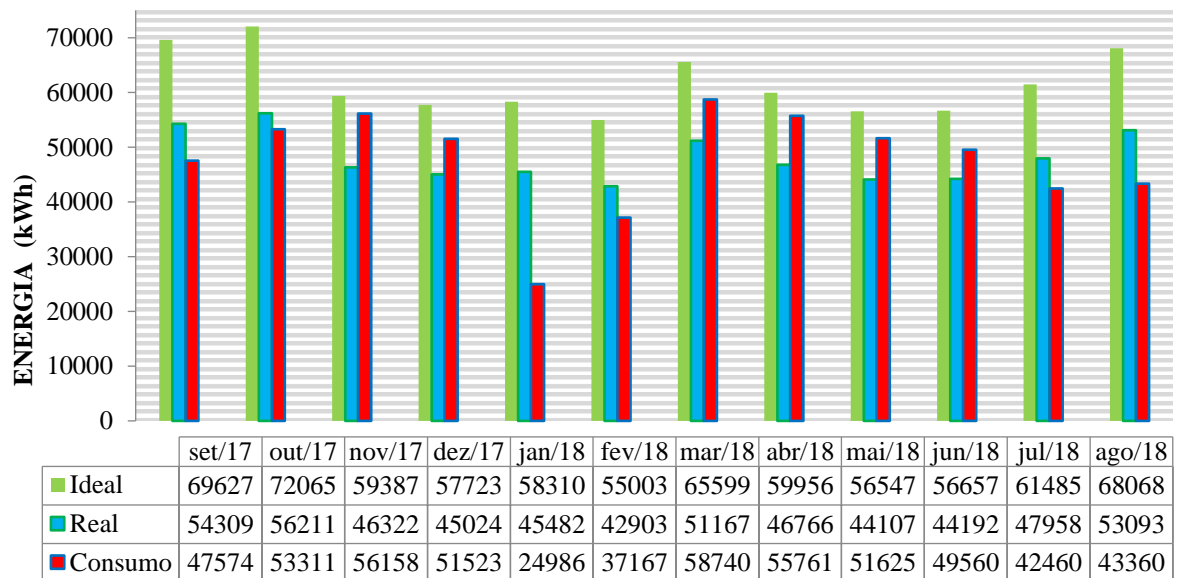
Adotando as mesmas características do módulo fotovoltaico utilizado no SFCR existente no IFRR – CAM apresentada na Tabela 2.

Determinada qual é a potência fotovoltaica nominal do sistema e a potência nominal do módulo fotovoltaico, utiliza-se a equação (3) para determinar o número total de módulos. Desta forma, obtém-se uma quantidade 1431 módulos, representando uma area útil de 2261 m² para a instalação dos módulos fotovoltaicos.

A partir dos dados reais de irradiação solar no plano dos módulos fotovoltaicos, da potência instalada do sistema previamente determinada, é possível que o sistema previsto para

o cenário 3, gere uma E_{ideal} e E_{real} anual de 740.427 kWh e 577.533 kWh respectivamente, apresentada no Gráfico 28 e calculada com base nas equações (5) e (6).

Gráfico 27 – Energia Gerada pelo SFCR no Cenário 3 em comparação com a Energia Consumida no Campus Amajarí – IFRR.



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

A Tabela 11 apresenta em resumo dos resultados obtidos nos três cenários apresentados.

Tabela 10 – Diferentes Cenários de SFCR para o Campus Amajarí - IFRR.

Cenários	Potência Instalada (kW)	Número de Painéis	Área Útil de Painéis (m ²)	Energia Ideal (kWh)	Energia Real (kWh)	Energia Consumida (kWh)	Energia Fornecida pela Rede (kWh)	Créditos Gerados (kWh)	Desempenho Global (PR)
1º Cenário	70,23	265	433	136.773	107.135	572.224	465.089	0,00	0,78
2º Cenário	189,61	716	1170,5	370.214	288.767	572.224	283.457	0,00	0,78
3º Cenário	379,23	1431	2340,9	740.427	577.533	572.224	0,00	5.309	0,78

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Nota-se na Tabela 11 que o SFCR correspondente ao cenário 3 gera uma energia real de 577.333 kWh/ano, ou seja, a energia consumida anualmente será totalmente compensada, além de gerar um excedente de 5.309 kWh, aproximadamente 1 % (por cento). Esse excedente poderá gerar créditos junto a concessionária local para serem usados em outro meses.

Determinadas as energias reais geradas pelos SFCR propostos, outro fator importante que vale ressaltar são as emissões de carbono evitadas. De acordo com IPCC (2006) é possível obter a emissão CO₂ produzido na geração da energia, relacionando os seguintes fatores: eletricidade produzida (EP), e fator de emissão de CO₂ (kg / kWh), conforme equação (14) a seguir.

$$\text{CO}_2 = \text{EP}(\text{kWh}) \times \text{FE}(\text{kg} / \text{kWh}) \quad (14)$$

Segundo o Pacto de Autarcas (2017), o fator de emissão de CO₂ produzido na geração de energia elétrica pela queima de combustíveis fósseis (diesel) é de 0,305 kg/kWh. Portanto, para obter a quantidade de emissões de carbono evitadas no período de 1 (ano) pelo SFCR nos diferentes cenários, foi utilizada a Equação (14) relacionando com o fator de emissão com a média anual de geração de energia, Tabela 12.

Tabela 11 – Emissão de carbono evitada para os SFCR propostos para o IFRR - CAM

Cenários	Potência Instalada (kW)	Energia Real (kWh)	Emissão anual (tCO ₂)
1º Cenário	70,23	107.135	32,68
2º Cenário	189,61	288.767	88,07
3º Cenário	379,23	577.533	176,20

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.4 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA

Neste capítulo são apresentadas as estimativas do investimento total dos três cenários sistemas propostos, assim como a análise de viabilidade econômica considerando os principais indicadores de engenharia econômica, como *Payback* Simples (PBS), *Payback* Descontado (PBD), Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna de Retorno (TIR).

O período utilizado para avaliar o investimento será de 25 anos, levando em consideração a vida útil e garantia dos módulos fotovoltaicos, equipamento de maior durabilidade e significativa participação no custo do SFCR, e que neste período tenha uma produção de pelo menos 80% da potência nominal, ou seja, uma depreciação de 0,8% ao ano (MIRANDA, 2014). Durante este período são previstos custos anuais com operação e manutenção, que foram estimados em 1% do investimento inicial do sistema, e as reposições de equipamentos, consistidos pelos inversores, com uma vida útil estimada de 15 anos (RODRIGUES; ARAUJO, 2018).

4.4.1 Payback Simples

Para estimar o tempo de retorno do investimento de um sistema é necessário, inicialmente, determinar os custos envolvidos para a implantação deste sistema. O resumo do custo inicial do investimento do SFCR do IFRR referente ao cenário 1 pode ser visualizado na Tabela 13, sendo que a composição completa pode ser visualizada no Anexo I.

Tabela 12 – Resumo da composição dos custos para a instalação do SFCR do IFRR – Campus Amajari referente ao cenário 1.

INVESTIMENTO		
Cenário	Descrição	Custo(R\$)
1	Equipamentos (módulos fotovoltaicos, inversores, StringBox, cabos, eletrodutos, conectores e suportes para fixação no telhado)	396.384,09
	Elaboração de Projeto (Passagens, Hospedagem, Aluguel de carro, frete e projeto)	40.875,02
	Serviço de Instalação dos Equipamentos (Engenheiro Eletricista, Eletricista e Ajudante de eletricista)	30.179,46
Valor Inicial do Investimento		467.438,57

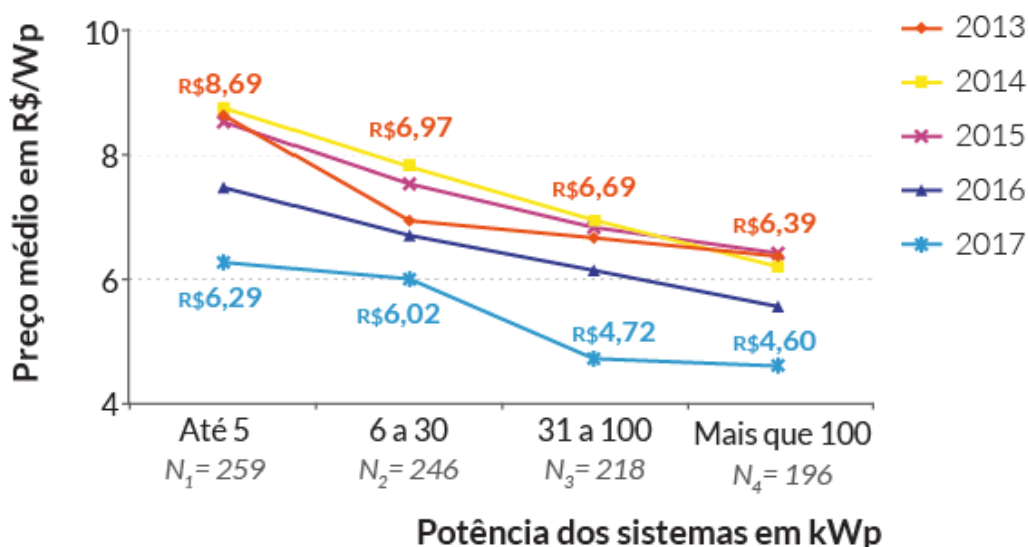
Fonte: Produção do próprio autor (2018).

A partir dos valores citados, pode-se calcular o custo do *watt*-pico instalado para o sistema fotovoltaico pela relação entre o investimento inicial e a potência total do sistema, obtendo-se assim um valor de 6,65 R\$/Wp para o cenário 1.

Para avaliar o custo da instalação do SFCR do segundo e terceiro cenário, foi utilizado o estudo realizado pelo Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América

Latina (IDEAL, 2018). Este estudo fornece valores médios de instalações de sistemas fotovoltaicos em função da potência de pico e da faixa de potência nominal.

Gráfico 28 – Preço de sistemas fotovoltaicos por faixa de potência.



Fonte: Ideal (2018).

No gráfico da Figura 29, verifica-se o preço médio para SFCR com potência acima de 100 kWp é de 4,60 R\$/Wp, considerando a potência instalada estimada dos SFCR dos cenários 2 e 3 apresentados apresentados na Tabela 11, o custo inicial de investimento estimado do SFCR referente aos cenários 2 e 3 são de R\$872.206,00 e R\$1.744.458,00, respectivamente.

A atual tarifa de energia incidente sobre o consumidor do “Grupo A”, subgrupo A4 (2,3 a 25 kV), modalidade tarifária horo-sazonal verde fora de ponta, identificada através de consulta a fatura de energia referente ao mês de setembro, é de 0,28084 R\$/kWh, sem a incidência de tributos. Os tributos que incidem sobre esta tarifa são as contribuições PIS e COFINS, contudo o IFRR é isento de ICMS por se tratar de um órgão público Federal. Como estes tributos variam mensalmente, decidiu-se adotar um valor médio obtido através de consulta as faturas dos últimos doze meses, a qual determina valores médios de 0,4695% para o PIS e 2,1785% para o COFINS, conforme Tabela 14. Assim sendo, a tarifa de energia base, com a incidência de tributos, utilizada na análise econômica será de 0,2885 R\$/kWh.

Tabela 13 – Tributos PIS e COFINS dos Últimos 12 meses.

MÊS/ANO	Tributos	
	PIS (%)	COFINS (%)
set/17	0,3826	1,8080
out/17	0,9831	4,5609
nov/17	0,5520	2,5785
dez/17	0,4134	1,9888
jan/18	0,4518	2,1019
fev/18	0,5343	2,4741
mar/18	0,5523	2,3670
abr/18	0,2200	1,0406
mai/18	0,5361	2,4976
jun/18	0,3656	1,7063
jul/18	0,4569	2,1374
ago/18	0,1856	0,8806
Média	0,4695	2,1785

Fonte: Eletrobrás (2018).

A determinação da tarifa de energia para um longo período é de difícil projeção, pois está sujeita a reajustes anuais determinados pelos custos de transmissão e distribuição da energia e índices de inflação (RODRIGUES; ARAUJO, 2018). Portanto, para o presente estudo preferiu-se determinar uma taxa de reajuste anual com base no histórico de reajuste tarifário anual da Eletrobrás Distribuição Roraima, conforme Tabela 15. Assim a projeção média estimada da tarifa de energia ao decorrer dos 25 anos do sistema será dada por um reajuste médio anual de 12,58%.

Tabela 14 – Histórico de Ajuste Tarifário Anual da Concessionária Eletrobrás Distribuição Roraima.

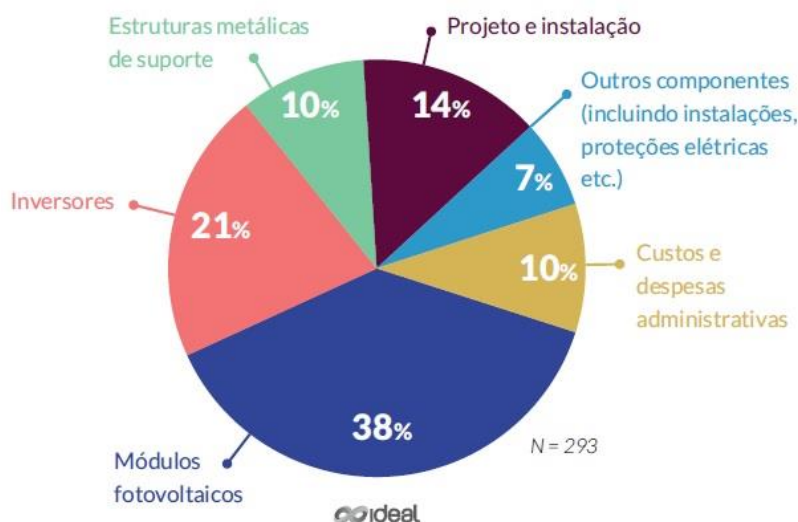
Ajuste Tarifário	
Ano	Reajuste (%)
2013	-8,30
2014	16,78
2015	43,65
2016	-24,31
2017	35,09
2018	37,03
Média	16,66

Fonte: Aneel (2018).

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA) representa o mínimo que o investidor se propõe a ganhar quando se faz um investimento. Adota-se como TMA utilizada igual ao rendimento médio da poupança no ano de 2018, que foi de 0,5% ao mês e aproximadamente 6% (por cento) ao ano (PORTAL BRASIL, 2018).

O custo para reposição dos inversores utilizados para o cenário 1 está baseado na composição do custo total do SFCR no anexo I, no entanto o custo dos inversores para os cenários 2 e 3, está baseado no Gráfico 30, na qual observa-se que o inversor representa um percentual de 21 % do custo total de um SFCR.

Gráfico 29 – Composição do custo total da instalação de um SFCR.



Fonte: Ideal (2018).

Na Tabela 16 são mostrados os principais dados a serem utilizados na análise econômica para os SFCR referente aos cenários propostos.

Tabela 15 – Dados a serem aplicados para análise de viabilidade econômica para os SFCR referente aos diferentes cenários propostos.

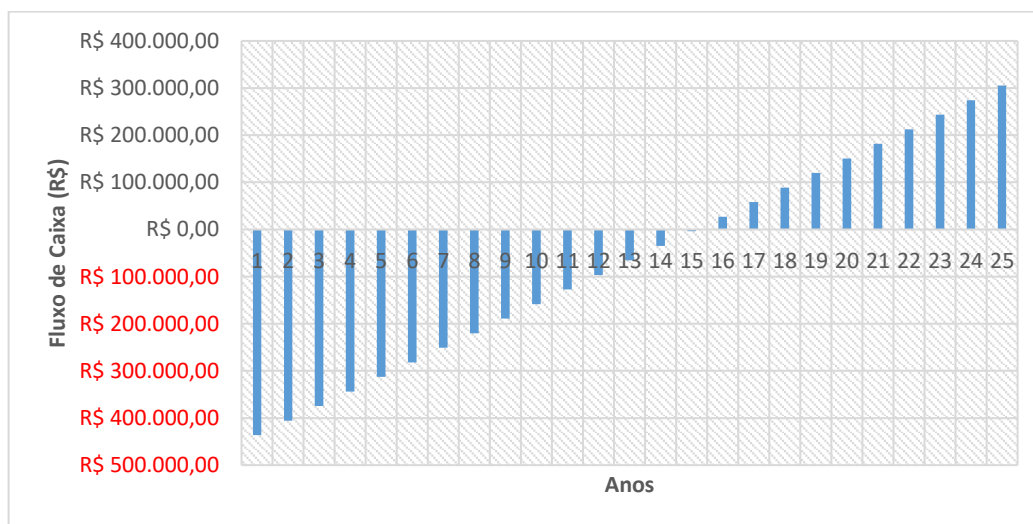
Dados	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Potência Instalada (kWp)	70,23	189,61	379,23
Investimento Inicial (R\$)	467.438,67	872.260,00	1.744.458,00
Custo de Instalação (R\$/Wp)	6,66	4,60	4,60
Horizonte de planejamento (Anos)	25		
O&M ao ano	1% do Investimento Inicial		
Custo de reposição de Inversores (R\$)	70.027,58	183.174,60	366.336,18
Energia real gerada (kWh)	107.135	288.767	577.533
Tarifa de energia sem tributos (R\$/kWh)	0,28084		
PIS	0,4695		
COFINS	2,1785		
Tarifa de energia com tributos (R\$/kWh)	0,2885		
Taxa de reajuste anual da tarifa	16,66		
Taxa mínima de atratividade (TMA) (%)	6		

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

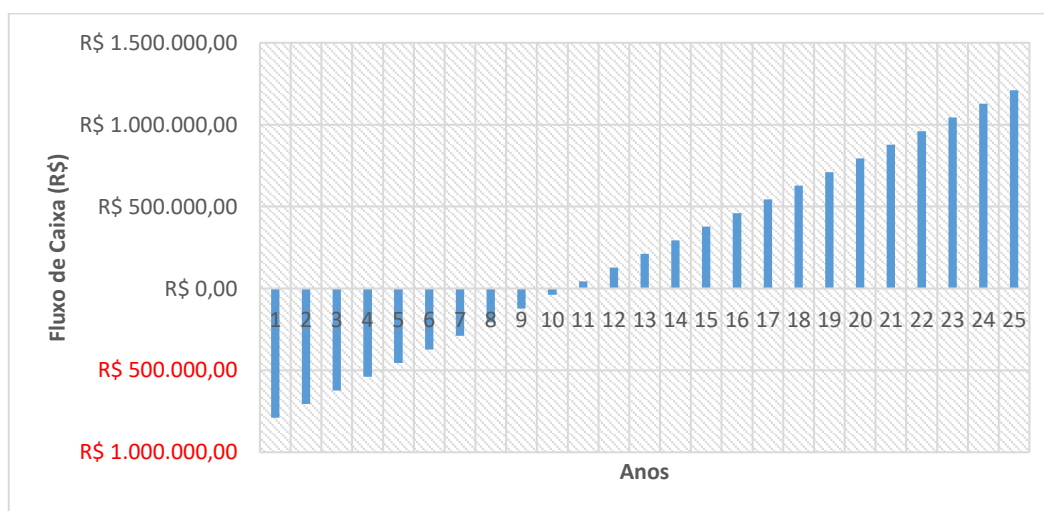
Utilizando os parâmetros apresentados na Tabela 16, o fluxo de caixa até o retorno total do valor investido para os diferentes cenários, pode então ser encontrado de maneira simples através do cumulativo das receitas e custos do projeto ao decorrer dos anos, considerando o saldo do projeto, sem a aplicação de taxa de reajuste da tarifa e depreciação dos módulos fotovoltaicos, conforme demonstrado no Gráfico 31.

Assim sendo, por meio da equação (11), calcula-se o tempo de retorno do investimento após instalação do sistema equivalente a 15 anos e 1 mês para o cenário 1, 10 anos e 6 meses para os cenários 2 e 3. Ainda segundo o *payback simples*, ao final da vida útil do sistema (25 anos), é possível ter uma projeção de lucro de R\$ 305.216,16 (cenário 1), R\$ 1.210.373,82 (cenário 2), R\$ 2.420.694,43 (cenário 3).

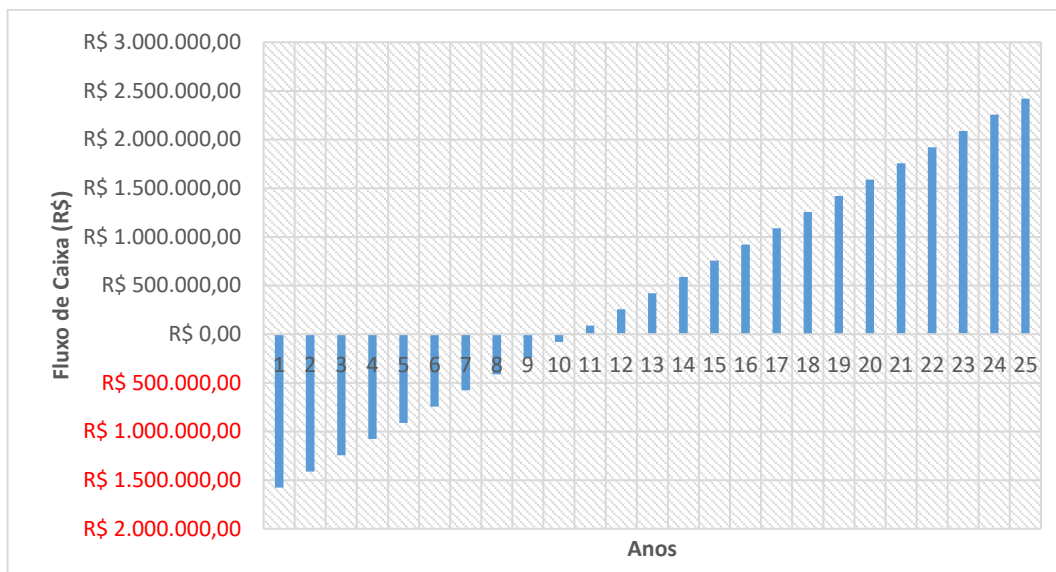
Gráfico 30 – Gráfico do Payback Simples: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

4.4.2 Valor Presente Líquido (VPL) e *Payback* Descontado

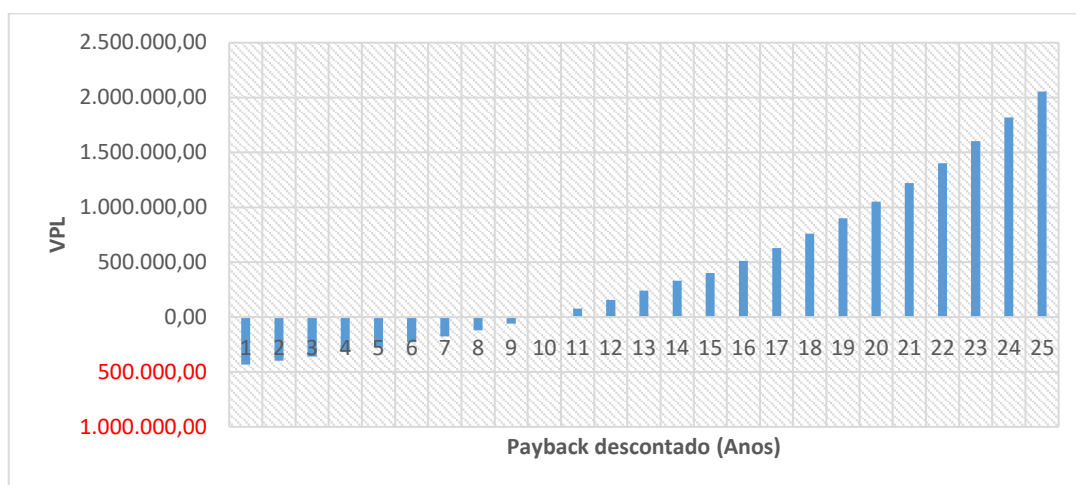
É possível realizar uma projeção de *payback* mais detalhada, conhecida como *payback* descontado, tal estudo leva em consideração a depreciação dos módulos fotovoltaicos, o reajuste tarifário anual, os custos anuais com operação e manutenção, que foram estimados em 1% do investimento inicial do sistema e as reposições de equipamentos, consistidos pelos inversores, com uma vida útil estimada de 15 anos (RODRIGUES; ARAUJO, 2018).

O Valor Presente Líquido, é uma soma algébrica do valor atual de todos os fluxos de caixa, considerando as taxas de juros apropriadas. É um indicador econômico muito utilizado na análise de investimentos (PUCCINI, 2011, p.166).

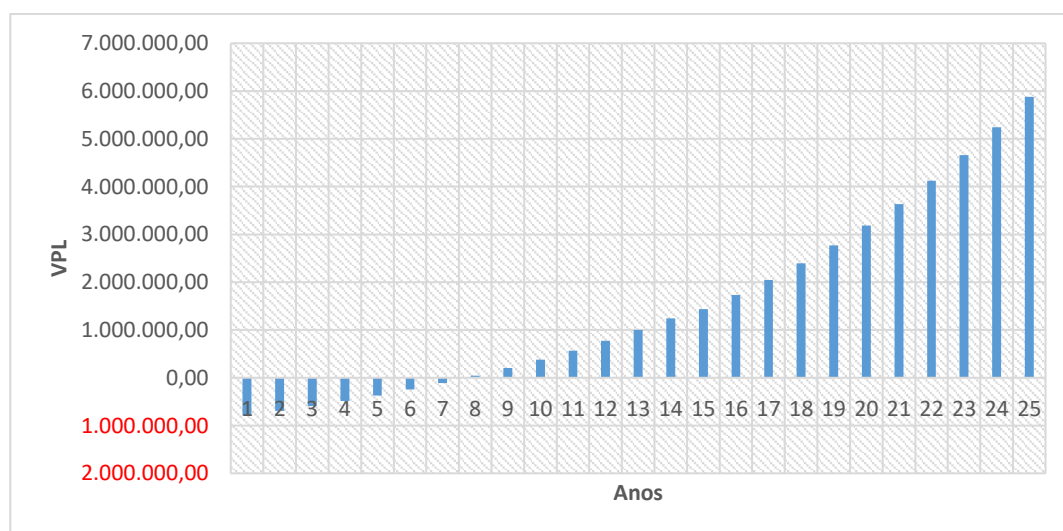
Um projeto de investimento potencial deve ser considerado viável, quando o VPL for maior ou igual a zero, garantindo assim o retorno mínimo esperado do investimento (SILVA, 2017).

Portanto, por meio da equação (12) e com base nos dados da Tabela 16 os resultados de VPL no período de ano a ano e o *payback* descontado para o SFCR referente aos três cenários propostos estão apresentados no Gráfico 32.

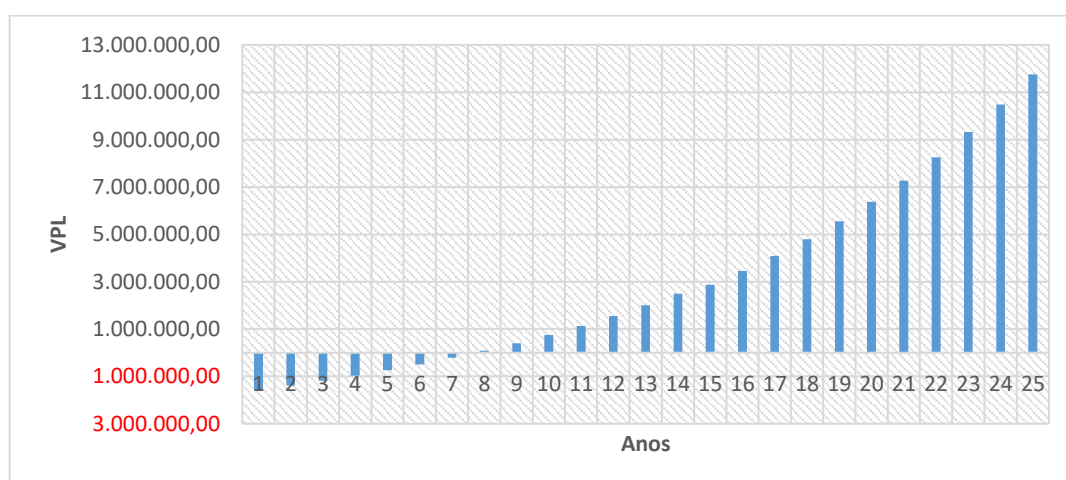
Gráfico 31 – Gráfico do Valor Presente líquido (VPL) para o SFCR: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Na Tabela 17 apresenta-se os resultados de VPL considerando o período de 25anos, constando no Anexo 5 a 7 o fluxo de caixa detalhado para cada cenário proposto, respectivamente.

Tabela 16 – Projeção do VPL para os cenários propostos.

Valor Presente Líquido (VPL)			
Anos	Cenário 1 - VPL (R\$)	Cenário 2 - VPL (R\$)	Cenário 3 - VPL (R\$)
1	-433.872,09	785.389,72	-1.570.825,29
2	-398.425,16	693.298,21	-1.386.642,14
3	-360.342,80	593.907,94	-1.187.861,53
4	-319.348,23	486.483,97	-973.013,58
5	-275.141,27	370.227,64	-740.500,94
6	-227.396,04	244.270,43	-488.586,62
7	-175.758,54	107.667,46	-215.380,82
8	-119.843,94	40.609,79	81.173,47
9	-59.233,65	201.681,29	403.316,19
10	6.527,84	376.766,99	753.487,27
11	77.936,45	567.196,24	1.134.345,36
12	155.532,28	774.417,87	1.548.788,15
13	239.903,77	1.000.011,37	1.999.974,59
14	331.692,16	1.245.698,96	2.491.349,15
15	402.376,39	1.436.926,50	2.873.808,94
16	511.158,67	1.728.607,32	3.457.169,75
17	629.649,98	2.046.543,81	4.093.041,81
18	758.756,68	2.393.174,06	4.786.301,29
19	899.467,44	2.771.158,27	5.542.268,56
20	1.052.860,82	3.183.399,18	6.366.749,10
21	1.220.113,55	3.633.064,44	7.266.078,22
22	1.402.509,66	4.123.611,02	8.247.169,81
23	1.601.450,24	4.658.811,79	9.317.569,62
24	1.818.464,36	5.242.784,60	10.485.513,35
25	2.055.220,74	5.880.024,04	11.759.990,14

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

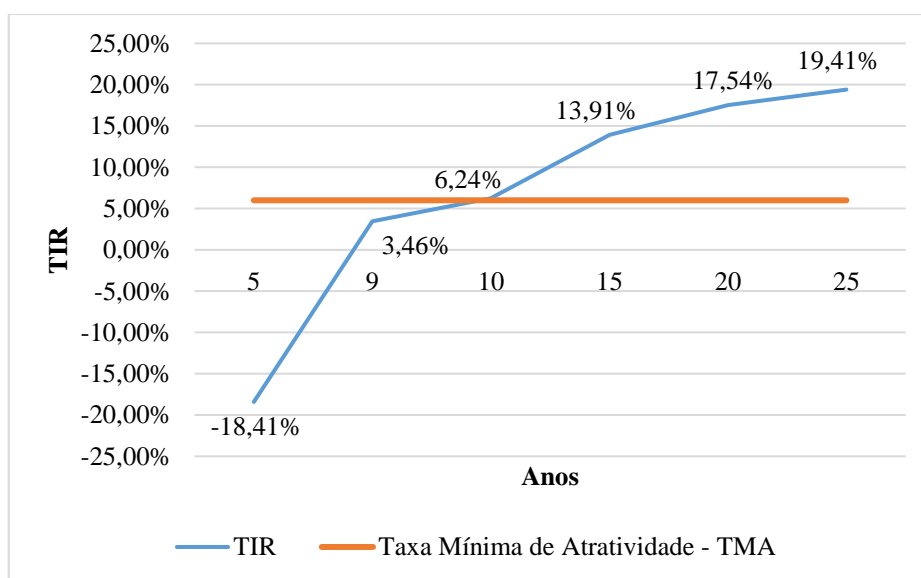
Assim, pode-se observar no Gráfico 32 que a partir de nove anos e seis meses para o cenário 1 e a partir de sete anos e 7 meses para os cenários 2 e 3, o investimento se tornará viável, uma vez que nesse período o VPL é maior que zero. Sendo assim, conforme apresentado na Tabela 16, ao final da vida útil do projeto (25 anos), tem-se um VPL de R\$ 2.055.220,74 (cenário 1), R\$ 5.880.024,24 (cenário 2) e R\$11.759.990,14 (cenário 3).

4.4.3 Taxa Interna de Retorno (TIR)

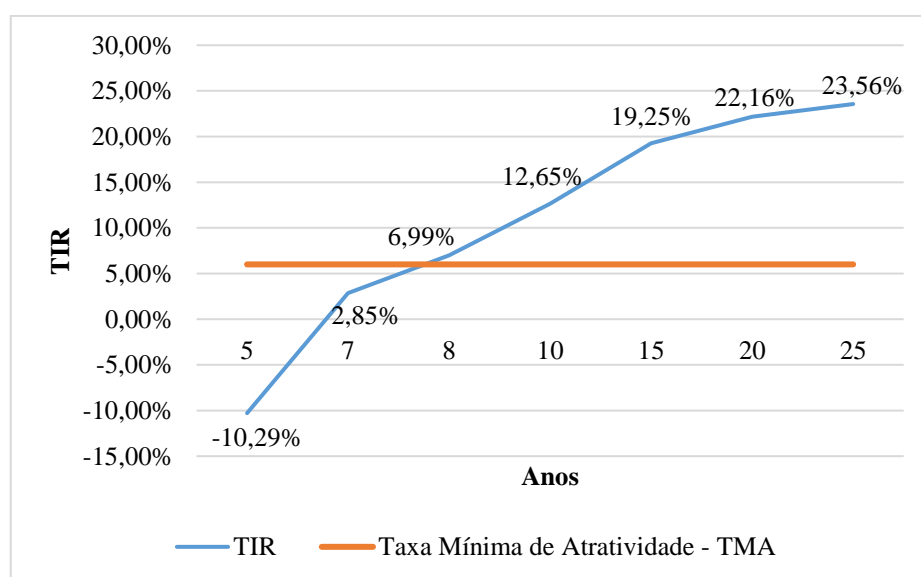
Para que o projeto seja considerado atraente, a TIR deve superar a taxa mínima de atratividade, ou seja, se a TIR superar a TMA, o investimento é classificado como economicamente atraente (PUCCINI, 2011, p.168).

Desta forma, de acordo com a Equação (13) e parâmetros apresentados na Tabela 15, foram calculados os valores da TIR para os diferentes cenários e estão apresentados no Gráfico 33.

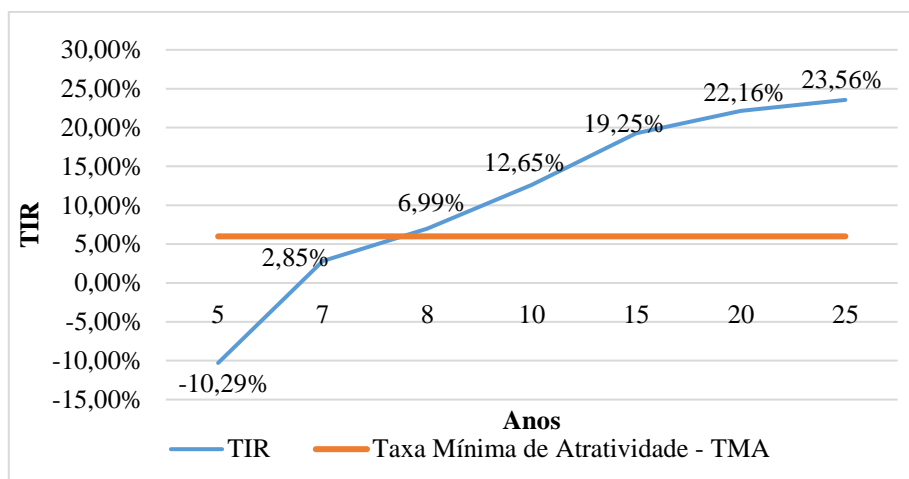
Gráfico 32 – Gráfico da Taxa Interna de Retorno (TIR) para o SFCR: (a) Cenário 1; (b) Cenário 2; (c) Cenário 3.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Pode-se observar na Figura 33, que no SFCR do cenário 1, somente a partir de 9(nove) anos e 6(seis) meses a TIR será maior que a TMA. Enquanto que nos sistemas referentes ao cenário 2 e 3, a partir de 7(sete) anos e 7(sete) meses a TIR será maior que a TMA, correspondendo ao momento em que o sistema se mostrará atraente.

Em resumo, na Tabela 18 é apresentado os indicadores econômicos para os SFCR referente aos cenários propostos.

Tabela 17 – Resumo indicadores econômicos para os SFCR referente aos cenários propostos

Cenários	Payback Simples	Payback Descontado	VPL (R\$) (25 anos)	TIR (25 anos)	TMA
Cenário 1	15 anos e 1 mês	9 anos e 6 meses	2.055.220,74	19,41%	6,00%
Cenário 2	10 anos e 6 mês	7 anos e 7 meses	5.880.024,04	23,56%	6,00%
Cenário 3	10 anos e 6 mês	7 anos e 7 meses	11.759.990,14	23,56%	6,00%

Fonte: Produção do próprio autor (2018).

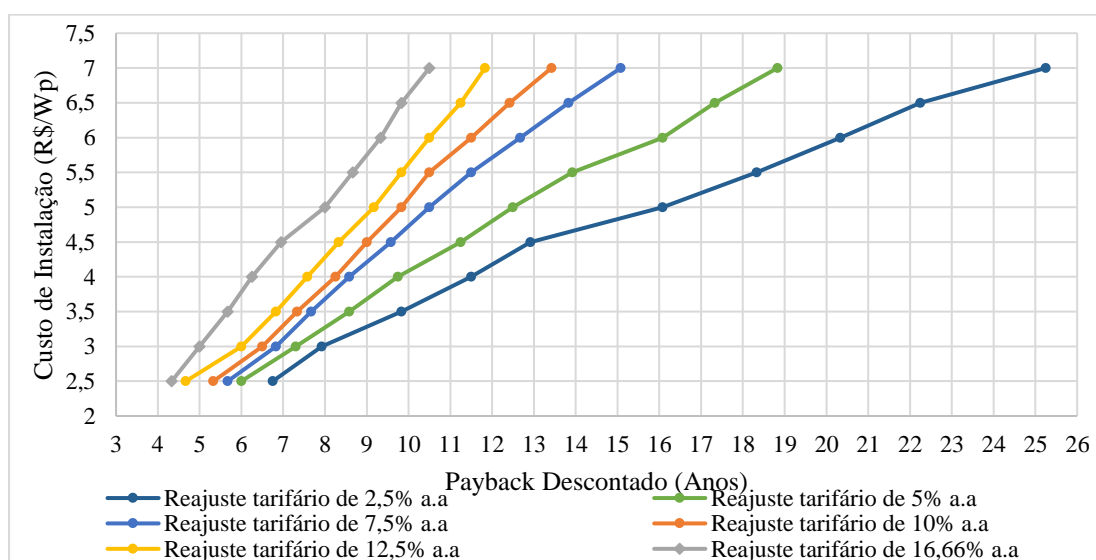
Por meio dos resultados do estudo econômico realizado para os diferentes cenários apresentados de forma resumida na Tabela 18, pode-se apontar como principais variáveis que influenciam significativamente a tomada de decisão são o valor do custo da potência instalada (R\$/Wp) e a taxa de variação da tarifa de energia cobrada pela concessionária. O tempo de retorno do investimento do cenário 1 é de 9 anos e 6 meses para o custo da potência instala de 6.66 R\$/Wp em comparação ao cenário 2 e 3, que possuem um tempo de retorno de 7 anos e 7 meses para um custo da potência instalada de 4,60 R\$/Wp, considerando a mesma taxa de variação da tarifa de energia de 16,66% a.a.

4.4.4 Análise de Sensibilidade Econômica

Estando diante de uma tomada de decisão sensível, quando pequenas mudanças em valores de variáveis podem acarretar mudança na atratividade financeira. O valor do custo da potência instalada (R\$/Wp) e a taxa de variação da tarifa de energia são variáveis que influenciam no tempo de retorno de um investimento de um SFCR (RODRIGUES; ARAUJO, 2018)..

Com base no custo do investimento e na energia real gerada pelo SFCR do cenário 1, apresentado na Tabela 16, na análise de sensibilidade conforme Gráfico 34 variando-se o custo da potência instalada para diferentes reajustes tarifários, observamos a redução do *payback* descontado diretamente proporcional à redução do custo e inversamente proporcional ao aumento do reajuste tarifário, tornando o investimento mais atrativo.

Gráfico 33 – Gráfico de sensibilidade da variação do custo de instalação e do ajuste tarifário



Fonte: Produção do próprio autor (2018).

Com base no Gráfico 33, o caso mais atrativo financeiramente pode ser considerado para o custo do investimento equivalente à 2,50 R\$/Wp instalado e o reajuste tarifário de 16,66% ao ano, o *payback* apresentado pelo sistema seria em torno de 4,33 anos ou seja 4 anos e 4 meses. Em contrapartida, no pior caso, com o custo à 7,00 R\$/Wp instalado e o reajuste tarifário de 16,66%, o *payback* seria obtido aos 25,25 anos ou seja 25 anos e 4 meses. Portanto no caso menos otimista o investimento realizado seria pago em um período maior do que os 25 de vida do sistema.

5 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

No que tange à viabilidade técnica, a partir da análise preliminar realizada com base nos dados da irradiação solar, velocidade e direção do vento coletados da estação de meteorologia instalada no IFRR – Campus Amajari, entre os anos de 2015 a 2018, foi constatada que a variação mensal da irradiação solar diária se mantém em valores altos no decorrer do ano, com média anual de 5,26kWh/m².dia, índice superior ao da Alemanha, uma das maiores potência em utilização de energia solar atualmente, apontando ótimas condições para a instalação de sistemas de geração solar fotovoltaica.

Com base nos estudos do Atlas Solarimétrico do Brasil Tiba (2000), a insolação diária média anual em todo o estado de Roraima, inclusive a região da pesquisa, evidencia uma insolação mínima no mês de junho a agosto de 4 horas diárias e uma máxima nos meses de setembro a novembro de 7 horas diárias, com uma média anual de insolação diária de 6 horas.

A média anual do número de HSP na região do IFRR - CAM gira em torno de 5,3 horas de sol equivalente ao dia. Os meses de setembro e outubro apresentam maior incidência de horas de sol, acima de 6 horas diárias, enquanto nos meses de abril a julho ocorrem as menores incidência de sol em torno de 4 horas diárias.

Quanto a análise dos registros da velocidade do vento no período de março 2015 a setembro de 2018, chegou-se a uma velocidade média de 1,94m/s, verificando a predominância do regime de ventos abaixo de 1 m/s (regime de calmaria), 29,4%, seguida da classe de velocidade entre 1 a 2 m/s, 24,9%, e uma densidade média de potência eólica igual a 17W/m, demonstrando um baixo potencial para o aproveitamento eólico.

Analisando o desempenho do SFVCR instalado no IFRR – CAM referente ao cenário 1 proposto no período de setembro de 2017 a agosto de 2018, observou-se uma geração total de 107,135 MWh. Considerando que esse sistema possui uma expectativa de produção anual de 136.773 kWh, conclui-se que, nesse período, as perdas globais do sistema foram de 29.638 kWh ou seja 21,67 %. A produtividade anual do sistema foi de 1526 kWh/kWp, o fator de capacidade anual médio foi de 17.56% e um desempenho global de 78%, tais índices de mérito caracterizam um bom aproveitamento da radiação solar, boa produção de energia e um ótimo desempenho do sistema quando comparados a média histórica de SFVCR's com características semelhantes instalados no Brasil e na Europa.

No dimensionamento estimado dos SFVCR com base em 50% do consumo (cenário 2) e 100% do consumo (cenário 3), determinou-se para o cenário 2 um sistema com potência instalada de 189.61 kWp, sendo que a energia real estimada anual para esse sistema é de

288.767 kWh. Quanto ao cenário 3 foi dimensionado um SFCR com a potência instalada de 379,23 kWp e uma energia real estimada anual para esse sistema de 577.533 kWh, ou seja, a energia consumida anualmente será totalmente compensada, além de gerar um excedente de 5.309 kWh, aproximadamente 1%.

Os resultados financeiros demonstraram a viabilidade do sistema fotovoltaico conectado à rede para o abastecimento do Campus Amajari - IFRR em função das condições analisadas, as quais propiciam a recuperação do investimento no período de 9 anos e 6 meses no caso do Cenário 1 e 7 anos e sete meses para os cenários 2 e 3, produzindo ao fim da vida útil do sistema, um fluxo de caixa positivo de R\$ 2.055.220,74 (cenário 1), R\$ 5.880.024,04 (cenário 2) e R\$ 11.759.990,14 (cenário 3).

Pode-se concluir através da análise de sensibilidade que variando-se o custo da potência instalada para diferentes reajustes tarifários, ocorre a redução do *payback* descontado diretamente proporcional à redução do custo e inversamente proporcional ao aumento do reajuste tarifário, tornando o investimento mais atrativo.

Para que o tempo de retorno sobre o investimento do SFCR seja cada vez menor, é necessário que as várias imposições econômicas governamentais sejam reduzidas através de medidas de políticas fiscais e de financiamento. Assim, será possível tornar o investimento cada vez mais atrativo.

Portanto, diante dos fatos aqui expostos, e mesmo com altos custos na relação R\$/Wp como investimento inicial para a instalação de um SFCR, o mesmo se apresenta como uma alternativa viável para complementação da matriz energética, contribuindo assim para a ampliação no uso de fontes de energia limpa, segura e renovável de forma distribuída.

5.1 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

Para futuras pesquisas, sugere-se a ampliação tanto dos dados registrados como na quantidade de estação meteorológica instaladas na região em estudo, pois existe variação significativa no potencial, dependendo de fenômenos climáticos transitórios e da localização da estação de medição.

Realizar a análise de sensibilidade adotando diferentes variáveis e valores que influenciam diretamente na atratividade do projeto.

Outro ponto importante é que a abordagem proposta nessa pesquisa, assim como o estudo para outras fontes de energias renováveis possa ser realizada em outras regiões do território do Estado de Roraima.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Marcelo Pinho. **Qualificação de sistemas fotovoltaicos conectados na rede**. 2012. 171 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ALVES, Gustavo et al. Energia solar no Brasil. **Revista O Setor Elétrico**, São Paulo, n. 104, set. 2014. São Paulo. Disponível em: < <https://www.osetoreletrico.com.br/energia-solar-no-brasil/> >. Acesso em: 31 out. 2018.

AMARANTE, Odilon A. et al. **Atlas do potencial eólico brasileiro**, 2001. Disponível em: < <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/index.php?task=livro&cid=1>>. Acesso em: 26 nov. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira**. São Paulo: Abinee, 2012. 176 p. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

BARBOSA FILHO, Wilson Pereira et al. Expansão da energia solar fotovoltaica no Brasil: impactos ambientais e políticas públicas. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, SC, v. 4, p.628-642, 7 dez. 2015. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.19177/rgsa.v4e02015628-642> >. Acesso em: 14 out. 2017.

BARROS, A. J. P.; LEHFELD, N. A. **Projeto de pesquisa: propostas metodológicas**. 12. ed. Petrópolis: Vozes, 2000. 102 p.

BELÉM, T. C. et al. Análise da produção de 24 meses de um sistema fotovoltaico conectado à rede. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR - CBENS, 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: ABENS, 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/59/59>> Acesso em: 17 out. 2018.

BERNARDES, M. **Proposta de um plano estruturado de ação para atenuação de perdas não técnicas de distribuição de energia elétrica em uma empresa do Rio Grande do Sul**. 2010. 220 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de produção) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2010.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: ANEEL, 2008. 236 p.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Calendário e resultado dos processos tarifários de distribuição**. Brasília: ANEEL, 2018.

_____. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução 482/2012**. Brasília: ANEEL, 2012. 4 p.

BRASIL, Haroldo Guimarães. **Avaliação moderna de investimentos**. Rio de Janeiro: Qualiymark, 2002.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Boletim mensal de monitoramento do sistema elétrica brasileiro**. Brasília: MME, 2018, 34 p.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Plano nacional de energia 2030**. Brasília: MME, 2007, 372 p.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Sistemas híbridos soluções energéticas para a Amazônia**. Brasília: MME, 2008, 398 p.

BRUNDLAND, G. H. **World commission on environment and development: our common future**. Oxford: Oxford University Press, 1987. 300 p.

CARVALHO, P.C.M. **Geração eólica**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2003. 146p.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO SALVO DE BRITO. **Energia solar – Princípios e Aplicações**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2006. 28 p. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_solar_2006.pdf> Acesso em: 23 mar. 2017.

CENTRO DE REFERÊNCIAS PARA AS ENERGIAS SOLAR E EÓLICA SÉRGIO SALVO DE BRITO. **Energia Eólica: Princípios e Tecnologia**. Rio de Janeiro: CRESESB, 2008. 58 p. Disponível em <http://www.cresesb.cepel.br/download/tutorial/tutorial_eolica_2008_e-book.pdf> Acesso em: 25 mar. 2017.

CLIMATE-DATA.ORG. **Clima Mucajaí: Temperatura, Tempo e Dados climatológicos Mucajaí**. 2015. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/roraima/mucajai-31788/>>. Acesso em: 27 nov. 2017.

COMISSÃO EUROPEIA. **Factores de emissão**. Bruchelas, Bélgica: PAES, 2018. 4 p. Disponível em:<http://www.soglasheniemerov.eu/IMG/pdf/technical_annex_pt.pdf>. Acesso em: 21 out. 2018.

COSTA, Gabriel Brito; LYRA, Roberto Fernando da Fonseca. Análise dos padrões de vento no Estado de Alagoas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Jose dos Campos, SP, v. 27, p.31-38, set. 2011. Disponível em: <<http://submission.scielo.br/index.php/rbmet/article/view/41239>> Acesso: 15 dez. 2017.

CRUZ, D. T. **Micro e minigeração eólica e solar no Brasil: propostas para desenvolvimento do setor**. 2015. 155 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

CRUZ, G. F. H. **Estudo da utilização da energia solar no Rio Grande do Sul**. 2009. 105f. Projeto de Diplomação. (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

DALMAZ, A. **Estudo do potencial eólico e previsão de ventos para geração de eletricidade em Santa Catarina**. 2007. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

DAMODARAN, A. **Finanças corporativas aplicadas**: manual do usuário. Porto Alegre: Bookman, 2002. 576 p.

DAVISNET. **Weather is important when your life is on the line**. 2014. Disponível em: <<http://www.davisnet.com>>. Acesso em: 10 maio 2017.

DUTRA, José Carlos do Nascimento et al. Uma análise do panorama das regiões missões e noroeste do estado do Rio Grande do Sul sob o prisma da energia eólica e solar fotovoltaica como fontes alternativas de energia. **Revista Paranaense de Desenvolvimento-RPD**, Curitiba, v. 34, n. 124, p. 225-243, 2013.

DUTRA, R. M. **Propostas de políticas específicas para energia eólica no brasil após a primeira fase do PROINFA**. 2007. 415 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.

DUTRA, R. M. **Viabilidade técnico-econômica da energia eólica face ao novo marco regulatório do setor elétrico brasileiro**. 2001. 309 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Planejamento Energético) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001.

ELETRORAS DISTRIBUIÇÃO RORAIMA - EDR. **Tarifa**: evolução dos reajustes ou revisões, 2018. Disponível em:<<http://www.eletrorasroraima.com/index.php/sua-conta/tarifas/>>. Acesso em: 19 out. 2018.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - EPE. **Demanda de energia 2050**, 2016. Disponível em:<<http://www.eletrorasroraima.com/index.php/sua-conta/tarifas/>> Acesso em: 19 out. 2018.

FARRUGIA, P. S.; MICALLEF, A. Comparative analysis of estimators for wind direction standard deviation. **Meteorological Applications**, Buckinghamshire. v. 13, n. 01, p.29-41, fev. 2006. Disponível em:< <http://dx.doi.org/10.1017/s1350482705001982>. > Acesso em: 25 out. 2018.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. **Combustíveis fósseis**. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/combustiveis-fosseis.htm>>. Acesso em: 25 nov. 2018.

FRONIUS. **Catálogo de especificações técnicas do inversor symo**. 2015. Disponível em: < <https://download.aldo.com.br/pdfprodutos/Produto31588IdArquivo4551.PDF>> Acesso em: 12 maio 2018.

FUSANO, Renato Hideo. **Análise dos índices de mérito do sistema fotovoltaico conectado à rede do escritório verde da UTFPR**. 2013. 94 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

GEHRING, Adriano de A.; LOPES, Lucas F. da S.; DALMOLIN, Rodrigo S. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede**: acompanhamento dos índices de mérito no escritório verde da UTFPR e análise da viabilidade econômica de implantação em residências. 2015. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase Eletrotécnica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

GIANNETTI, B.F.; ALMEIDA, C.M.V.B.; BONILLA, S.H. **A ecologia industrial dentro do contexto empresarial**, 2007. Disponível em: <www.banasqualidade.com.br> Acesso em: 08 fev. 2017.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 1996. 101p.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 206 p.

GITMAN, L.G. **Princípios de administração financeira**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education, 2004. 745 p.

GUIA GEOGRÁFICO. **Mapa de Roraima**. Disponível em: <<http://www.mapas-brasil.com/roraima.htm>>. Acesso em: 15 fev. 2018.

GUIMARÃES, R. P. Desenvolvimento sustentável: da retórica à formulação de políticas públicas. In: BECKER, B.K.; MIRANDA, M. (Org.). **A geografia política do desenvolvimento sustentável**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1997.

IDEAL – Instituto para o Desenvolvimento de Energias Alternativas na América Latina. **O mercado brasileiro de geração distribuída fotovoltaica**. 5. ed. São Paulo: Ideal, 2018. 74 p.

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE RORAIMA. **Composição de custos do gerador fotovoltaico 70,2kWp**. Boa vista: IFRR, 2016. 4 p.

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. **IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories**. Disponível em: <<http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html>>. Acesso em: 22 out. 2018.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; VARELLA, Fabiana K. O. M.; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. **Sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica no Brasil: panorama da atual legislação**. Campinas: International Energy Initiative Para An América Latina (iei-la) e Universidade Estadual de Campinas (unicamp), 2009. 53 p.

JINKO SOLAR. **Catálogo de especificações técnicas do módulo fotovoltaico jkm265p**. 2015. Disponível em: <[https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60\(4BB\).pdf](https://www.jinkosolar.com/ftp/EN-JKM265P-60(4BB).pdf)> Acesso em: 12 maio 2018.

KASSAI, J. R. et al. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2000. 256 p.

KASSAI, J. R. et al. **Retorno de investimento: abordagem matemática e contábil do lucro empresarial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 280 p.

KIMBER, A. et al. **The effect of soiling on large grid-connected photovoltaic systems in california and the southwest region of the United States**, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/wcpec.2006.279690>> Acesso em: 22 out. 2018.

KÖPPEN, William. **Climatologia**. México: Fundo de Cultura Econômica. 1931.

KUHNEN, G. et al. Metodologia de avaliação do potencial de geração eólica para o estado de Santa Catarina. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, 3., 2004, Florianópolis, **Anais...** Florianópolis: Lepten, 2004.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos metodologia científica**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2001. 135 p.

LIMA, J. B. L. B.; AGUIAR Gonçalves, J. Análise comparativa de performance entre sistemas fotovoltaicos conectados à rede no Piauí e na Europa através de índices de mérito. In: CONGRESSO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 7., 2018, Gramado, **Anais...** Gramado: ABENS, 2018. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/59/59>> Acesso em: 21 out. 2018.

LIRA, Marcos Antonio Tavares et al. Caracterização do regime de ventos no Piauí para o aproveitamento de energia eólica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 32, n. 1, p.77-88, mar. 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/0102-778632120150712>> Acesso em: 13 out. 2017.

Maceira, M. E. P. et al. Modelagem estatística de ventos para utilização nos modelos de planejamento e operação. In SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. 21., 2011, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SNPTEE, 2011. Disponível em: <professorjf.webs.com/SNPTEE2010_GPL.pdf > Acesso em: 29 out. 2018.

MARION, B. et al. Performance parameters for grid-connected PV systems. In: CONFERENCE RECORD OF THE THIRTY-FIRST IEEE PHOTOVOLTAIC SPECIALISTS CONFERENCE, 31., 2005., Lake Buena Vista, Florida. **Proceedings...** Lake Buena Vista, p.1-6, ago. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1109/PVSC.2005.1488451> > Acesso em: 14 out. 2017.

MARQUEZAN, Luiz Henrique Figueira; BRONDANI, Gilberto. Análise de investimentos. **Revista Eletrônica de Contabilidade**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 35-50, 2006. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/contabilidade/issue/view/320>> Acesso em: 15 out. 2017.

MARTINS, F.R.; GUARNIERI, R.A.; PEREIRA, E.B. O aproveitamento da energia eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São paulo, v. 30, n. 1, p.1304.1-1304, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1806-11172008000100005>> Acesso em: 8 out. 2017.

MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B.; ECHER, M. P. D. S. Levantamento dos recursos de energia solar no Brasil com o emprego de satélite geoestacionário: o projeto Swera. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 145–159, 2004. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pesquisa.php>> Acesso em: 10 mar. 2017.

MARTÍNEZ, A. C. **Principios de conversión de la energia eólica**. Rueda, Madri: Rustica. 2003. p. 446 p.

MARTINS, Fernando Ramos et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: INPE, 2006. 10 p.

MARTINS, Fernando Ramos et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p.

MELLO, A. D. Análise de desempenho de sistemas fotovoltaicos conectados à rede a partir da determinação de índices de mérito. In: CONGRESSO CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR. 7., 2018, Gramado. **Anais...** Gramado: ABENS, 2016. Disponível em: <<http://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/199/199>> Acesso em: 21 out. 2017.

MENDES, M.C. **Desenvolvimento sustentável**. Disponível em <:http://educar.sc.usp.br/biologia/textos/m_a_txt2.html> Acesso em: 20 abr. 2017.

MINAS GERAIS (MG). Companhia Energética de Minas Gerais. **Alternativas energéticas: uma visão cemig**. Belo Horizonte, 2012. 357 p.

MIRANDA, A. B. C. M. **Análise de viabilidade econômica de um sistema fotovoltaico conectado à rede**. 2014. 86 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de Engenharia Elétrica Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

MORAES-SANTOS, E. C. **Viabilidade técnica e econômica do uso da energia solar térmica em condomínios horizontais com habitações populares**. 2015. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2015.

MOTTA, Régis da Rocha; CALÔBA, Guilherme Marques. **Análise de investimentos: tomada de decisão em projetos industriais**. São Paulo: Atlas, 2002. 392 p.

NAKABAYASHI, Renny. **Microgeração fotovoltaica no Brasil: condições atuais e perspectivas futuras**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

NASCIMENTO, Thiago Cavalcante; MENDONÇA, Andréa Torres Barros Batinga de; CUNHA, Sieglinde Kindl da. Inovação e sustentabilidade na produção de energia: o caso do sistema setorial de energia eólica no Brasil. **Cadernos Ebape.br**, Botafogo, v. 10, n. 3, p.630-651, set. 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/s1679-39512012000300010>> Acesso em: 20 out. 2017.

OLIVEIRA, Celso. **Biomassa e bioenergia proporcionam benefícios para diminuir as emissões de gases do efeito estufa**. 2012. Disponível em: <<https://www.newsrondonia.com.br/noticias/biomassa+e+bioenergia+proporcionam+beneficios+para+diminuir+as+emissoes+de+gases+do+efeito+estufa/25417>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PAMPLONA, E.O.; MONTEVECHI, J. A. B. **Engenharia econômica avançada**. Itajubá: UNIFEI, 2006. Disponível em: <<http://www.iepg.unifei.edu.br/edson/ProgEngEconAvancada.htm>> Acesso em: 25 out. 2017.

PEIXOTO, J. B. **O desafio da crise energética**. 2.ed. Rio de Janeiro: Capemi,1981. 156 p.

PINHO, J. T.; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. 2. ed. Rio de Janeiro: CEPEL – CRESESB, 2014. 530 p. Disponível em: <www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/Manual_de_Engenharia_FV_2014.pdf> Acesso em: 20 set. 2017.

PORTAL BRASIL. **Cardeneta de poupança**. 2018. Disponível em: <http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm>. Acesso em: 17 out. 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013. 277 p.

PUCCINI, Ernesto Coutinho. **Matemática financeira e análise de investimentos**. Florianópolis: CAPES, 2011. 204 p.

RAMOS, Filipe G.; SEIDLER, Nelson. Estudo da energia eólica para aproveitamento em pequenos empreendimentos. **Vivências**: Revista Eletrônica de Extensão da Uri, Erechim, v. 7, n.13, out. 2011. Disponível em: < http://www.reitoria.uri.br/~vivencias /Numero_013 /artigos/...vivencias_13/n13_13.pdf > Acesso em: 26 out. 2017.

ROSA, Antonio Robson Oliveira; GASPARIN, Fabiano Perin. Panorama da energia solar fotovoltaica no Brasil. **Revista Brasileira de Energia Solar**, Porto Alegre, RS, v. 7, n. 2, p. 140-147, dez. 2016. Disponível em: <<https://rbens.emnuvens.com.br/rbens/article/view/157/155> > Acesso: 16 out. 2018.

REIS, L. B. DOS. **Geração de energia elétrica**. 2. ed. Barueri: Editora Manole, 2015. 482 p.

REIS, L. B.; SANTOS, E. C. **Energia elétrica e sustentabilidade: aspectos tecnológicos, socioambientais e legais**. 2. ed. Tamboré: Editora Manole, 2015. 280 p.

RIPPEL, Ricardo. et al. Apontamentos sobre a população, o consumo de energia e a conservação dos recursos naturais. **Revista Temas e Matizes**, Campo Grande, v. 8, p.155-171, set. 2009. Disponível em: <<http://e-revista.unioeste.br/index.php/temasmatizes/article/view/3939/3051>> Acesso em: 12 set. 2017.

ROCHA, L. S. et al. Potencial de geração de energia fotovoltaica integrada à rede pública de distribuição: um exemplo de Açailândia para o Maranhão. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 3, n. 2 p. 107-127, 27 out. 2014. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.5380/rber.v3i2.37513>.> Acesso em: 14 set. 2018.

ROSA, Daniel Jordão de Magalhães. **Caracterização da radiação solar: o caso da Cidade Universitária /USP e da Ilha do Cardoso/Cananéia**. 2003. 168 f. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

RUTHER, R.; URBANETZ JUNIOR, J.; SANTOS, I. P. Energia solar fotovoltaica como fonte complementar de energia elétrica para residências na busca da sustentabilidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2008. Disponível em: < https://www.researchgate.net/publication/267962617_energia_solar_fotovoltaica_como_fonte_complementar_de_energia_eletrica_para_residencias_na_busca_da_sustentabilidade> Acesso em: 15 out. 2017.

SACRAMENTO, E. M. et al. Estudo preliminar sobre o potencial eólico das regiões serranas do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006. Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: CBMET, 2006. Disponível em: < http://www.cbmet.org.br/edicoes.php?pageNum_Recordset_busca=10&totalRows_Recordset_busca=1006&cgid=14 > Acesso em: 14 set. 2018.

SÁLES, Isolda Cíntia Ferreira. **Análise da substituição do chuveiro elétrico por aquecedor solar:** uma contribuição ao setor elétrico na conservação de energia. 2008. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

SAMPAIO FILHO, Antônio C. S. **Taxa interna de retorno modificada:** proposta de implementação automatizada para cálculo em projetos não-periódicos, não necessariamente convencionais. 2008. 143 f. Dissertação (Mestrado em Administração e Economia) – Faculdade de Economia e Finanças IBMEC, Rio de Janeiro, 2008.

SAUER, I. L. Et al. Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobrás. **Revista Bahia Análise e Dados**, Salvador, v.16, n. 1, p. 9-22, jun. 2006.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação.** 3. ed. Florianópolis: UFSC, 2001. 158 p.

SILVA, E. L.; MENEZES, E. M. **Metodologia da Pesquisa e Elaboração de Dissertação.** 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2005. 138 p.

SILVA, P. C. **Sistema para tratamento, armazenamento e disseminação de dados de vento.** 1999. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1999.

SILVA, Ricardo Moreira. **Análise do aproveitamento da energia eólica no Brasil.** 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2015.

SOARES, Ana Elisabete Correia. **Avaliação preliminar do potencial eólico com recurso a um modelo de Mesoescala.** 2009. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto, 2009.

SOBRAL, Bruno Serafini et al. Regime de vento na Serra do Mar - Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Cachoeira Paulista - SP, v. 33, n. 3, p.441-451, set. 2018. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1590/0102-7786333004>. > Acesso em: 12 nov. 2018.

SOUZA, A. B. **Projetos de investimentos de capital:** elaboração, análise, tomada de decisão. São Paulo: Atlas, 2003. 216 p.

SOUZA, M. A. D. **Sistemas fotovoltaicos aplicados em redes móveis heterogêneas.** 2017. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

Tempo em Teutônica. **Estação meteorológica automática.** 2017. Disponível em: <<http://www.tempoemteutonia.com.br/estacoes-meteorologicas/>>. Acesso em: 14 jul. 2017.

TIBA, Chigueru. **Atlas solarimétrico do Brasil**. Recife: UFPB, 2000. 111 p. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_solarimetrico_do_brasil_2000.pdf> Acesso em: 10 abr. 2017.

TIEPOLO, Gerson M.; URBANETZ JUNIOR, Jair; CANCELIERI JUNIOR, Osiris. Inserção da energia fotovoltaica na matriz elétrica do Estado do Paraná: análise do potencial produtivo. In: INTERNATIONAL SODEBRAS CONGRESS, 30., 2012, Curitiba. **Anais...** Paraná: SODEBRAS, 2012.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes renováveis de energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 516 p.

TOLMASQUIM, M. T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar e oceânica**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 452 p. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/livro-sobre-energia-renovavel-hidraulica-biomassa-eolica-solar-oceanica>> Acesso em: 9 jul. 2017.

TRALDI, Mariana. **Novos usos do território no semiárido nordestino: implantação de parques eólicos e valorização seletiva nos municípios de Caetité (BA) e João Câmara (RN)**. 2014. 232 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade de Campinas, Campinas, 2014.

TURRIONI, João Batista; MELLO, Carlos Henrique Pereira. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas**. Itajubá: UNIFEI, 2012. 199 p.

URBANETZ JUNIOR, J. **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. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2010.

VALLÊRA, Antônio M.; BRITO, Miguel Centeno. Meio século de história fotovoltaica. **Gazeta da física**, Portugal, v. 29, p.10-15, 2006. Disponível em: <<https://www.spf.pt/magazines/GFIS/76/pdf>> Acesso em: 11 set. 2017.

VENDRAMINI, E. Z. **Distribuições probabilísticas de velocidades do vento para avaliação do potencial energético eólico**. 1986. 110 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1986.

VERGÍLIO, Karen Evelline Perusso. **Geração distribuída e pequenas centrais hidrelétricas: alternativas para a geração de energia elétrica no Brasil**. 2012. 32 f. Trabalho de graduação (Graduação em Engenharia Elétrica com ênfase em sistemas de energia e automação) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VILLALVA, M. G. **Energia solar fotovoltaica: conceitos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Editora Érica, 2015. 262 p.

VIRIDIAN. **Energia solar fotovoltaica**. 2018. Disponível em: <<http://viridian.com.br/energia-solar-fotovoltaica>>. Acesso em: 21 mar. 2018.

WINDLOGGER. **Anemómetro e direção do vento.** 2017. Disponível em: <<https://pt.windlogger.eu/collections/sensors/products/pro-d-anemometer.>>. Acesso em: 15 set. 2017.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO. Wind measurements: potential wind speed derived from wind speed fluctuations measurements, and the representativity of wind stations (J.P. Van Der Meulen). In: WMO TECHNICAL CONFERENCE ON METEOROLOGICAL AND ENVIRONMENTAL INSTRUMENTS AND METHODS OF OBSERVATION, 12., 2000, Geneva. **Proceedings...** Geneva: TECO, 2000.

YIN, Robert K. **Applications of case study research.** Thousand Oaks, California: Sage Publications. 1993.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 2. ed. Porto Alegre: Bookman. 2002. 192 p.

ANEXO A - FOLHA DE DADOS DOS MODULOS FOTOVOLTAICO (JINKO SOLAR)

www.jinkosolar.com



JKM275PP-60

260-275 Watt

POLY CRYSTALLINE MODULE

Positive power tolerance of 0/+3%

ISO9001:2008-ISO14001:2004-OHSAS18001 certified factory
IEC61215-IEC61730 certified products.




(4BB)




KEY FEATURES





- 


4 Busbar Solar Cell:
4 busbar solar cell adopts new technology to improve the efficiency of modules, offers a better aesthetic appearance, making it perfect for rooftop installation.
- 

High Power Output:
Polycrystalline 60-cell module achieves a power output up to 275Wp.
- 

Anti-PID Guarantee:
Limited power degradation of Eagle module caused by PID effect is guaranteed under 60°C/85% RH condition for mass production.
- 

Low-light Performance:
Advanced glass and surface texturing allow for excellent performance in low-light environments.
- 

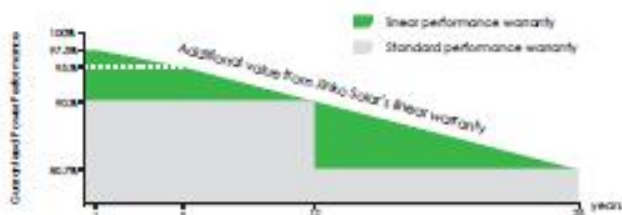
Severe Weather Resilience:
Certified to withstand wind load (2400 Pascal) and snow load (5400 Pascal).
- 

Durability against extreme environmental conditions:
High salt mist and ammonia resistance certified by TÜV NORD.
- 

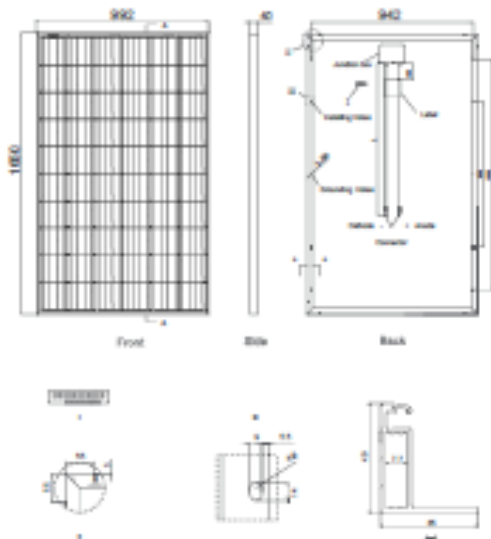
Temperature Coefficient:
Improved temperature coefficient decreases power loss during high temperatures.

LINEAR PERFORMANCE WARRANTY

10 Year Product Warranty - 25 Year Linear Power Warranty



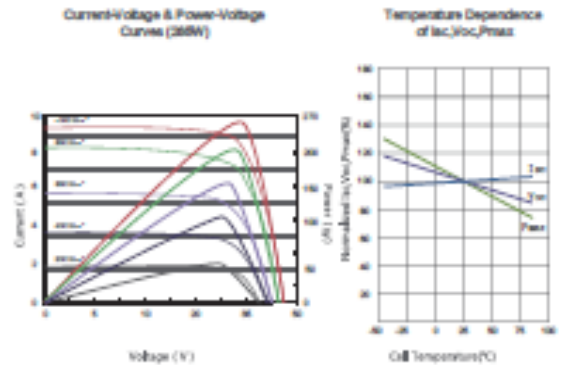
Engineering Drawings



Packaging Configuration

(Two pallet=One stack)
 25pcs/pallet, 50pcs/stack, 700 pcs/40HQ Container

Electrical Performance & Temperature Dependence



Mechanical Characteristics

Cell Type	Poly-crystalline 156×156mm (6 inch)
No. of cells	60 (6×10)
Dimension	1650×992×40mm (65.00×39.05×1.57 inch)
Weight	19.0 kg (41.9 lbs)
Front Glass	3.2mm, High Transmission, Low Iron, Tempered Glass
Frame	Anodized Aluminium Alloy
Junction Box	IP67 Rated
Output Cables	TUV 1×4.0mm ² , Length: 900mm or Customized Length

SPECIFICATIONS

Module Type	JKM260PP		JKM265PP		JKM270PP		JKM275PP	
	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT	STC	NOCT
Maximum Power (Pmax)	260Wp	194Wp	265Wp	198Wp	270Wp	202Wp	275Wp	205Wp
Maximum Power Voltage (Vmp)	31.1V	28.3V	31.4V	28.7V	31.7V	29.0V	32.0V	29.3V
Maximum Power Current (Imp)	8.37A	6.84A	8.44A	6.91A	8.52A	6.97A	8.61A	7.00A
Open-circuit Voltage (Voc)	36.1V	35.1V	36.6V	35.3V	36.8V	35.6V	36.1V	35.9V
Short-circuit Current (Isc)	8.98A	7.26A	9.03A	7.31A	9.09A	7.35A	9.15A	7.37A
Module Efficiency STC (%)	15.89%		16.19%		16.50%		16.80%	
Operating Temperature(°C)	-40°C~+85°C							
Maximum system voltage	1000VDC (IEC)							
Maximum series fuse rating	15A							
Power tolerance	0~+3%							
Temperature coefficients of Pmax	-0.40%/°C							
Temperature coefficients of Voc	-0.30%/°C							
Temperature coefficients of Isc	0.00%/°C							
Nominal operating cell temperature (NOCT)	45±2°C							

STC: ☀ Irradiance 1000W/m² 🌡 Cell Temperature 25°C ☁ AM=1.5

NOCT: ☀ Irradiance 800W/m² 🌡 Ambient Temperature 20°C ☁ AM=1.5 🌪 Wind Speed 1m/s

* Power measurement tolerance: ± 3%

The company reserves the final right for explanation on any of the information presented hereby. EN-MKT-275PP_rev2018

Fonte: Jinko Solar (2015).

ANEXO B - FOLHA DE DADOS DO INVERSOR (FRONIUS)

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

Fronius

SHIPPING THE LIMITS

FRONIUS SYMO BRASIL

/ O futuro da energia solar comercial está aqui - Novo Fronius SYMO Brasil

PARA REDE 220V /127V

/ Processo de plug-in de substituição



/ Sistema de inversores SnapInverter



/ Dados de comunicação integrados



/ SuperFlex Design



/ Smart Grid & NEC 2014 Compliance



/ Dynamic Peak Manager



/ APCI Integratado



/ O Fronius Symo Brasil possui categorias de potência 10,12 e 15 kW e completa a nova geração SnapInverter. É um inversor transformador Trifásico, com rendimentos mais elevados e a forma inteligente Fronius PP-tracking. Com este inversor não será mais necessário instalar um transformador externo, a fim de se conectar à rede de 3 fases, além de ser ideal para plantas comerciais, feito para rede 220V/127V. Seu design inovador SuperFlex fornece o máximo de flexibilidade na concepção do sistema, enquanto a montagem SnapInverter torna a instalação e manutenção mais fácil do que nunca. O pacote de comunicação incluído mesmo no modelo padrão, com WLAN, gestão de energia, várias interfaces e muito mais. O melhor vem agora: Este inversor já está disponível!

DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS GERAIS	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS SYMO
Dimensões (altura x largura x profundidade)	511 x 724 x 227 mm
Grado de proteção	NEMA 4X
Consumo Noturno	< 1 W
Conceito retificador	Sem transformador
Resfriamento	Velocidade do ventilador variável
Instalação	Montagem interna e externa
Faixa de temperatura ambiente	-40 - +60 °C
Umidade relativa permitida	0 - 100 %
Tecnologia de conexão de rede	6x CC+ e 6x CC- parafusos finais de cobre (sólidos / flexíveis/ fine stranded) ou alumínio (sólido / flexível)
Principal tecnologia de conexão	Screw terminals 14-4 AWG
Certificados e compliance para modelo básico	UL 1741-2010, UL1998 (para funções APCI and isolation monitoring), IEEE 1547-2003, IEEE 1547.1-2008, ANSI/IEEE C62.41, FCC Part 15 A & B, NEC Article 690, C22. 2 No. 107.1-01 (Setembro 2001), UL1699B Issue 2 -2013, CSA TIL M-07 Issue 1 -2013, ABNT NR 16149

DADOS GERAIS	10.0-3 200/240	12.0-3 200/240	15.0-3 48/240
Peso	29 kg	29 kg	42 kg

DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	PADRÃO COM TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO
APCI & 2014 NEC Ready	Sim
Medição de isolamento CC	Sim
Disjuntor CC	Sim
Proteção à falhas com teia de interrupção	Sim

DADOS TÉCNICOS FRONIUS SYMO BRASIL

DADOS DE ENTRADA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240	
Potência PV recomendada (kW _p)	8.0 - 13.0	9.5 - 15.5	12.0 - 19.5	
Max. corrente do conjunto curto-circuito (MPPT1/MPPT 2)	25.0 A / 16.5 A		50.0A	
Faixa de voltagem MPP	300 - 500 V	300 - 500 V	350 - 800 V	
Faixa de voltagem operando	200 - 600 V	200 - 600 V	350 - 1000 V	
Max. tensão de entrada	600 V	600 V	1000 V	
Tensão nominal de entrada	208 220 / 240	350 V 370 V	350 V 370 V	
Número de MPPT	2		1	
DADOS DE SAÍDA	10.0-3 208/240	12.0-3 208/240	15.0-3 208/240	
Max. potência de saída	208 220 / 240	9995 VA 9995 VA	11995 VA 11995 VA	15000 VA NA
Max. corrente de saída	208 220 / 240	31.5 A 29.7 A / 27.3 A	35.0 A 35.0 A / 32.8 A	41.6 A NA
Max. Eficiência		97.0 %	97.0 %	97.3 %
CEC Eficiência	208 240	96.5 % 96.5 %	96.5 % 96.5 %	96.5 % NA
Conexão Grid (Uac _r)	208/240		208/240	208 V
Frequência (f _r)				60 Hz
Fator de distorção			< 1.75 %	< 3.5 %
Fator de potência				0 - 1 ind./cap.
INTERFACES	PADRÃO PARA TODOS OS MODELOS FRONIUS SYMO			
Wi-Fi*/Ethernet/Serial	Wireless padrão 802.11 b/g/n / Fronius Solar.web, SunSpec Modbus TCP, JSON / SunSpec Modbus RTU			
6 inputs and 4 digital I/Os	Gerenciamento de carga; sinalização; múltiplo I / O			
USB (A socket)	Datalogging and atualização do inversor é possível via USB			
2x RS422 (RJ45 socket)	Fronius Solar Net, interface protocolo			
Datalogger e Webserver	Incluso			

* O termo Wi-Fi® é uma marca registrada da Wi-Fi Alliance. ** + N para fins de detecção - sem condutor de conexão

/ Perfect Welding / Solar Energy / Perfect Charging

NÓS TEMOS TRÊS DIVISÕES E UMA PAIXÃO: SUPERAR OS LIMITES DO POSSÍVEL.

/ Seja na Tecnologia de soldagem, na fotovoltaico ou na tecnologia de carregadores de bateria, o nosso objetivo é claro: queremos ser líderes em inovação. Com aproximadamente 3.300 funcionários em todo o mundo, nós superamos os limites do que é possível, como prova disso temos mais de 900 patentes concedidas. Enquanto os outros se desenvolvem lentamente, nós ultrapassamos barreiras. Desde sempre. O uso responsável de nossos recursos é a base do nosso negócio.

Para obter mais informações sobre todos os produtos Fronius e nossos parceiros de distribuição e representantes, visite www.fronius.com

©03 May 2013 FR

Rev.26.2.15 BRA

Fronius do Brasil Comércio
Indústria e Serviços Ltda

Escritório central
Av. Dr. Ulysses Guimarães, 3389
Vila Nogueira, Diadema, SP
CEP: 09990-080
Telefone +55 11 3563-3800
Fax +55 11 3563-3777
[vendas.solar@fronius.com](mailto: vendas.solar@fronius.com)
www.fronius.com.br

Filial AM

R. Armando Mendes, 33
Armando Mendes
CEP: 69089-321
Manaus AM
Cel +55 92 8249-1415

Filial RS

R. Inspetor Valdemar F.
Arruda, 309 -
Cinqüentenário - Caxias do Sul
CEP 95012-640 - RS
Tel: +55 54 8115-6257

Filial SP Interior

R. Padre Francisco Van
Der Maas, 13-25
Jd. Contorno - Baurer
CEP 17047-020
Tel. +55 14 98111-6277

Filial MG

Rua LI, 213
Arcoado
Contagem - MG
CEP.323113-188
Tel +55 31 3472-6000

Filial PR

Rua John Lennon, 225
Afonso Pena, São José dos
Pinhais - PR
CEP. 83050-380
Tel +55 41 3283-6217

FONTE: Fronius (2017).

ANEXO C - COMPOSIÇÃO DE CUSTO COMPLETA DO SFCR DO CENÁRIO 1

CÓDIGO	DESCRIÇÃO	UNID.	QUANTIDADE	PREÇO UNITÁRIO	VALOR TOTAL
081897	GERADOR SOLAR FOTOVOLTAICO 70,2KWp (NCM 8501.32.20)	BDI :	18,190	UNIDADE: UN	ITEM: 01
MA 6619	Modulo 260W JINKO ou Similar	PC	270,00000000	705,00	190.350,000000
MA 6620	Inversor FRONIUS SYMO 12,5kW ou Similar	PC	5,00000000	11.850,00	59.250,000000
MA 6621	String box ou Protetor de surto DC	PC	5,00000000	6.000,00	30.000,000000
MA 6622	Quadro AC TECNQUADRO ou Similar	PC	1,00000000	4.000,00	4.000,000000
MA 6623	Sensor box FRONIUS ou Similar	PC	1,00000000	2.100,00	2.100,000000
MA 6624	Sensor vento FRONIUS ou Similar	PC	1,00000000	300,00	300,000000
MA 6625	Sensor temp amb FRONIUS ou Similar	PC	1,00000000	250,00	250,000000
MA 6626	Sensor irradiação FRONIUS ou Similar	PC	1,00000000	730,00	730,000000
MA 6627	Sensor temp modulo FRONIUS ou Similar	PC	1,00000000	730,00	730,000000
MA 6629	Cabo DC Prysmian ou similar	M	505,47000000	4,89	2.471,740000
MA 6630	Cabo AC Prysmian ou similar	M	1300,00000000	5,00	6.500,000000
MA 6632	Conector MC4 Multi-Contact ou similar	PAR	28,00000000	10,00	280,000000
MA 6638	Eletrodoto 1 1/2" aço galvanizado ou Similar	M	600,00000000	12,22	7.332,000000
MA 6639	Lava 1 1/2" aço galvanizado p/ eletrodoto ou similar	UN	43,00000000	1,20	51,600000
MA 6640	Curva 1 1/2" aço galvanizado p/ eletrodoto ou similar	UN	43,00000000	10,75	462,250000
MA 6641	Condutete 1 1/2" tipo x p/ eletrodoto ou similar	UN	43,00000000	25,84	1.111,120000
MA 6642	Perfil de Alumínio 30mmx40mmx3200mm ou similar	UN	180,00000000	75,00	13.500,000000
MA 6643	Perfil de Alumínio 30mmx40mmx4300mm ou similar	UN	170,00000000	28,00	4.760,000000
MA 6644	KIT Preilha central/lateral para modulos ou similar	CJ	80,00000000	10,00	800,000000
MA 6645	Emenda para perfil 40x40 ou similar	UN	400,00000000	8,00	3.200,000000
MA 6646	Suporte em aço inox ou similar	UN	450,00000000	16,00	7.200,000000
	SUB-TOTAL:				335.378,710000
	TOTAL SEM BDI:				335.378,710000
	BDI:	18,19 %			61.005,380000
	TOTAL COM BDI:				396.384,090000
	VALOR ADOTADO:				396.384,09
081898	CONSUMO E PROJETO	BDI :	25,000	UNIDADE: UN	ITEM: 02
CS 3	Passagem aérea idar-volta	UN	4,00000000	3.000,00	12.000,000000
CS 4	Hospedagem	DLA	120,00000000	60,00	7.200,000000
CS 5	Aluguel de carro	UN	1,00000000	3.000,02	3.000,020000
CS 6	Frete	UN	1,00000000	8.000,00	8.000,000000
	SUB-TOTAL:				30.200,020000
PJ 6	Projeto	UN	1,00000000	2.500,00	2.500,000000
	SUB-TOTAL:				2.500,000000
	TOTAL SEM BDI:				32.700,020000
	BDI:	25,00 %			8.175,000000
	TOTAL COM BDI:				40.875,020000
	VALOR ADOTADO:				40.875,02
081899	SERVIÇO DE INSTALAÇÃO	BDI :	25,000	UNIDADE: UN	ITEM: 03
MO 17	Eletricista e/ encargos complementares	H	220,00000000	11,66	2.565,200000
MO 79	Ajudante de eletricista e/ encargos complementares	H	220,00000000	9,87	2.171,400000
MO 118	Engenheiro eletricista	H	220,00000000	36,52	8.034,400000
	LEIS SOCIAIS:	89,05 %			11.372,57
	SUB-TOTAL:				24.143,570000
	TOTAL SEM BDI:				24.143,570000
	BDI:	25,00 %			6.035,890000
	TOTAL COM BDI:				30.179,460000
	VALOR ADOTADO:				30.179,46

-> Fim de relatório ...

Fonte: IFRR (2016).

ANEXO D - ESCALA BEAUFORT

Grau	Designação	nós	km/h	m/s	Aspecto do mar	Efeitos em terra
0	<i>Calmaria</i>	<1	<2	<1	Espelhado	Fumaça sobe na vertical
1	<i>Bafagem</i>	1 a 3	2 a 6	1 a 2	Pequenas rugas na superfície do mar	Fumaça indica direcção do vento
2	<i>Aragem</i>	4 a 6	7 a 11	2 a 3	Ligeira ondulação sem rebentação	As folhas das árvores movem; os moinhos começam a trabalhar
3	<i>Fraço</i>	7 a 10	13 a 19	4 a 5	Ondulação até 60 cm, com alguns <i>carneiros</i>	As folhas agitam-se e as bandeiras desfraldam ao vento
4	<i>Moderado</i>	11 a 16	20 a 30	6 a 8	Ondulação até 1.5 m, <i>carneiros</i> frequentes	Poeira e pequenos papéis levantados; movem-se os galhos das árvores
5	<i>Fresco</i>	17 a 21	31 a 39	9 a 11	Ondulação até 2.5 m, muitos <i>carneiros</i>	Movimentação de árvores pequenas; superfície dos lagos ondula
6	<i>Muito Fresco</i>	22 a 27	41 a 50	11 a 14	Ondas grandes até 3.5 m; borrifos	Movem-se os ramos das árvores;
7	<i>Forte</i>	28 a 33	52 a 61	14 a 17	Mar revolto até 4.5 m com espuma e borrifos	Movem-se as árvores grandes; dificuldade em andar contra o vento
8	<i>Muito Forte</i>	34 a 40	63 a 74	17 a 21	Mar revolto até 7.5 m com rebentação e faixas de espuma	Quebram-se galhos de árvores; circulação de pessoas difícil
9	<i>Duro</i>	41 a 47	76 a 87	21 a 24	Mar revolto até 9 m; borrifos afectam visibilidade	Danos em árvores; impossível andar contra o vento
10	<i>Muito Duro</i>	48 a 55	89 a 102	25 a 28	Mar revolto até 12 m; superfície do mar branca	Árvores arrancadas; danos na estrutura de construções
11	<i>Tempestade</i>	56 a 63	104 a 117	29 a 32	Mar revolto até 14 m; pequenos navios sobem nas vagas	Estragos abundantes em telhados e árvores
12	<i>Furacão</i>	>64	>119	>33	Mar todo de espuma; visibilidade nula	Grandes estragos

Fonte: WMO (2000).

APÊNDICE A - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 1

Ano	Energia Produzida		Receitas	Despesas		Fluxo de Caixa (FC)		Payback Descontado
	Energia(kWh)	Tarifa	Reembolso	Manutenção O&M	Reposição Equipamento	FC anual	FC Descontado	
						R\$ 467.438,67	R\$ 467.438,67	
1	107.135,00	R\$ 0,2885	R\$ 30.906,19	R\$ 4.674,39		R\$ 35.580,58	R\$ 33.566,58	R\$433.872,09
2	104.456,63	R\$ 0,3365	R\$ 35.153,78	R\$ 4.674,39		R\$ 39.828,17	R\$ 35.446,93	R\$398.425,16
3	103.620,97	R\$ 0,3926	R\$ 40.682,32	R\$ 4.674,39		R\$ 45.356,70	R\$ 38.082,36	R\$360.342,80
4	102.792,00	R\$ 0,4580	R\$ 47.080,31	R\$ 4.674,39		R\$ 51.754,70	R\$ 40.994,57	R\$319.348,23
5	101.969,67	R\$ 0,5343	R\$ 54.484,50	R\$ 4.674,39		R\$ 59.158,89	R\$ 44.206,96	R\$275.141,27
6	101.153,91	R\$ 0,6233	R\$ 63.053,13	R\$ 4.674,39		R\$ 67.727,51	R\$ 47.745,22	R\$227.396,04
7	100.344,68	R\$ 0,7272	R\$ 72.969,31	R\$ 4.674,39		R\$ 77.643,70	R\$ 51.637,50	R\$175.758,54
8	99.541,92	R\$ 0,8483	R\$ 84.444,99	R\$ 4.674,39		R\$ 89.119,38	R\$ 55.914,60	R\$119.843,94
9	98.745,59	R\$ 0,9897	R\$ 97.725,42	R\$ 4.674,39		R\$ 102.399,81	R\$ 60.610,29	R\$59.233,65
10	97.955,62	R\$ 1,1545	R\$ 113.094,43	R\$ 4.674,39		R\$ 117.768,81	R\$ 65.761,49	R\$6.527,84
11	97.171,98	R\$ 1,3469	R\$ 130.880,47	R\$ 4.674,39		R\$ 135.554,86	R\$ 71.408,61	R\$77.936,45
12	96.394,60	R\$ 1,5713	R\$ 151.463,68	R\$ 4.674,39		R\$ 156.138,06	R\$ 77.595,83	R\$155.532,28
13	95.623,44	R\$ 1,8331	R\$ 175.283,94	R\$ 4.674,39		R\$ 179.958,33	R\$ 84.371,49	R\$239.903,77
14	94.858,46	R\$ 2,1385	R\$ 202.850,36	R\$ 4.674,39		R\$ 207.524,74	R\$ 91.788,39	R\$331.692,16
15	94.099,59	R\$ 2,4947	R\$ 234.752,07	R\$ 4.674,39	R\$ 70.027,58	R\$ 169.398,87	R\$ 70.684,23	R\$402.376,39
16	93.346,79	R\$ 2,9103	R\$ 271.670,87	R\$ 4.674,39		R\$ 276.345,25	R\$ 108.782,28	R\$511.158,67
17	92.600,02	R\$ 3,3952	R\$ 314.395,78	R\$ 4.674,39		R\$ 319.070,17	R\$ 118.491,31	R\$629.649,98
18	91.859,22	R\$ 3,9608	R\$ 363.839,93	R\$ 4.674,39		R\$ 368.514,31	R\$ 129.106,70	R\$758.756,68
19	91.124,34	R\$ 4,6207	R\$ 421.060,01	R\$ 4.674,39		R\$ 425.734,40	R\$ 140.710,76	R\$899.467,44
20	90.395,35	R\$ 5,3905	R\$ 487.278,94	R\$ 4.674,39		R\$ 491.953,33	R\$ 153.393,37	R\$1.052.860,82
21	89.672,19	R\$ 6,2886	R\$ 563.911,94	R\$ 4.674,39		R\$ 568.586,32	R\$ 167.252,74	R\$1.220.113,55
22	88.954,81	R\$ 7,3363	R\$ 652.596,79	R\$ 4.674,39		R\$ 657.271,18	R\$ 182.396,10	R\$1.402.509,66
23	88.243,17	R\$ 8,5585	R\$ 755.228,86	R\$ 4.674,39		R\$ 759.903,25	R\$ 198.940,59	R\$1.601.450,24
24	87.537,23	R\$ 9,9843	R\$ 874.001,59	R\$ 4.674,39		R\$ 878.675,97	R\$ 217.014,12	R\$1.818.464,36
25	86.836,93	R\$ 11,6477	R\$ 1.011.453,37	R\$ 4.674,39		R\$ 1.016.127,76	R\$ 236.756,38	R\$2.055.220,74

APÊNDICE B - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 2

Ano	Energia Produzida		Receitas	Despesas		Fluxo de Caixa (FC)		Payback Descontado
	Energia(kWh)	Tarifa	Reembolso	Manutenção	Reposição	FC anual	FC Descontado	
				O&M	Equipamento	R\$ 872.206,00	R\$ 872.206,00	
1	288.767,00	R\$ 0,2885	R\$ 83.303,19	R\$ 8.722,06		R\$ 92.025,25	R\$ 86.816,28	R\$785.389,72
2	281.547,83	R\$ 0,3365	R\$ 94.751,97	R\$ 8.722,06		R\$ 103.474,03	R\$ 92.091,52	R\$693.298,21
3	279.295,44	R\$ 0,3926	R\$ 109.653,34	R\$ 8.722,06		R\$ 118.375,40	R\$ 99.390,27	R\$593.907,94
4	277.061,08	R\$ 0,4580	R\$ 126.898,22	R\$ 8.722,06		R\$ 135.620,28	R\$ 107.423,96	R\$486.483,97
5	274.844,59	R\$ 0,5343	R\$ 146.855,15	R\$ 8.722,06		R\$ 155.577,21	R\$ 116.256,34	R\$370.227,64
6	272.645,83	R\$ 0,6233	R\$ 169.950,64	R\$ 8.722,06		R\$ 178.672,70	R\$ 125.957,21	R\$244.270,43
7	270.464,67	R\$ 0,7272	R\$ 196.678,30	R\$ 8.722,06		R\$ 205.400,36	R\$ 136.602,97	R\$107.667,46
8	268.300,95	R\$ 0,8483	R\$ 227.609,35	R\$ 8.722,06		R\$ 236.331,41	R\$ 148.277,25	R\$40.609,79
9	266.154,54	R\$ 0,9897	R\$ 263.404,84	R\$ 8.722,06		R\$ 272.126,90	R\$ 161.071,49	R\$201.681,29
10	264.025,31	R\$ 1,1545	R\$ 304.829,78	R\$ 8.722,06		R\$ 313.551,84	R\$ 175.085,71	R\$376.766,99
11	261.913,10	R\$ 1,3469	R\$ 352.769,50	R\$ 8.722,06		R\$ 361.491,56	R\$ 190.429,25	R\$567.196,24
12	259.817,80	R\$ 1,5713	R\$ 408.248,58	R\$ 8.722,06		R\$ 416.970,64	R\$ 207.221,63	R\$774.417,87
13	257.739,26	R\$ 1,8331	R\$ 472.452,69	R\$ 8.722,06		R\$ 481.174,75	R\$ 225.593,50	R\$1.000.011,37
14	255.677,34	R\$ 2,1385	R\$ 546.754,00	R\$ 8.722,06		R\$ 555.476,06	R\$ 245.687,60	R\$1.245.698,96
15	253.631,92	R\$ 2,4947	R\$ 632.740,47	R\$ 8.722,06	R\$ 183.174,60	R\$ 458.287,93	R\$ 191.227,54	R\$1.436.926,50
16	251.602,87	R\$ 2,9103	R\$ 732.249,79	R\$ 8.722,06		R\$ 740.971,85	R\$ 291.680,81	R\$1.728.607,32
17	249.590,04	R\$ 3,3952	R\$ 847.408,66	R\$ 8.722,06		R\$ 856.130,72	R\$ 317.936,49	R\$2.046.543,81
18	247.593,32	R\$ 3,9608	R\$ 980.678,25	R\$ 8.722,06		R\$ 989.400,31	R\$ 346.630,26	R\$2.393.174,06
19	245.612,58	R\$ 4,6207	R\$ 1.134.906,77	R\$ 8.722,06		R\$ 1.143.628,83	R\$ 377.984,21	R\$2.771.158,27
20	243.647,68	R\$ 5,3905	R\$ 1.313.390,38	R\$ 8.722,06		R\$ 1.322.112,44	R\$ 412.240,91	R\$3.183.399,18
21	241.698,50	R\$ 6,2886	R\$ 1.519.943,61	R\$ 8.722,06		R\$ 1.528.665,67	R\$ 449.665,27	R\$3.633.064,44
22	239.764,91	R\$ 7,3363	R\$ 1.758.980,89	R\$ 8.722,06		R\$ 1.767.702,95	R\$ 490.546,58	R\$4.123.611,02
23	237.846,79	R\$ 8,5585	R\$ 2.035.610,88	R\$ 8.722,06		R\$ 2.044.332,94	R\$ 535.200,77	R\$4.658.811,79
24	235.944,01	R\$ 9,9843	R\$ 2.355.745,71	R\$ 8.722,06		R\$ 2.364.467,77	R\$ 583.972,82	R\$5.242.784,60
25	234.056,46	R\$ 11,6477	R\$ 2.726.227,24	R\$ 8.722,06		R\$ 2.734.949,30	R\$ 637.239,44	R\$5.880.024,04

APÊNDICE C - FLUXO DE CAIXA CENÁRIO 3

Ano	Energia Produzida		Receitas	Despesas		Fluxo de Caixa (FC)		Payback Descontado
	Energia(kWh)	Tarifa	Reembolso	Manutenção O&M	Reposição Equipamento	FC anual	FC Descontado	
1	577.533,00	R\$ 0,2885	R\$ 166.606,10	R\$ 17.444,58		R\$ 184.050,68	R\$ 173.632,71	R\$1.570.825,29
2	563.094,68	R\$ 0,3365	R\$ 189.503,61	R\$ 17.444,58		R\$ 206.948,19	R\$ 184.183,15	R\$1.386.642,14
3	558.589,92	R\$ 0,3926	R\$ 219.306,31	R\$ 17.444,58		R\$ 236.750,89	R\$ 198.780,61	R\$1.187.861,53
4	554.121,20	R\$ 0,4580	R\$ 253.796,00	R\$ 17.444,58		R\$ 271.240,58	R\$ 214.847,94	R\$973.013,58
5	549.688,23	R\$ 0,5343	R\$ 293.709,78	R\$ 17.444,58		R\$ 311.154,36	R\$ 232.512,64	R\$740.500,94
6	545.290,72	R\$ 0,6233	R\$ 339.900,70	R\$ 17.444,58		R\$ 357.345,28	R\$ 251.914,32	R\$488.586,62
7	540.928,40	R\$ 0,7272	R\$ 393.355,93	R\$ 17.444,58		R\$ 410.800,51	R\$ 273.205,80	R\$215.380,82
8	536.600,97	R\$ 0,8483	R\$ 455.217,91	R\$ 17.444,58		R\$ 472.662,49	R\$ 296.554,30	R\$81.173,47
9	532.308,16	R\$ 0,9897	R\$ 526.808,76	R\$ 17.444,58		R\$ 544.253,34	R\$ 322.142,72	R\$403.316,19
10	528.049,70	R\$ 1,1545	R\$ 609.658,50	R\$ 17.444,58		R\$ 627.103,08	R\$ 350.171,08	R\$753.487,27
11	523.825,30	R\$ 1,3469	R\$ 705.537,78	R\$ 17.444,58		R\$ 722.982,36	R\$ 380.858,09	R\$1.134.345,36
12	519.634,70	R\$ 1,5713	R\$ 816.495,74	R\$ 17.444,58		R\$ 833.940,32	R\$ 414.442,79	R\$1.548.788,15
13	515.477,62	R\$ 1,8331	R\$ 944.903,73	R\$ 17.444,58		R\$ 962.348,31	R\$ 451.186,44	R\$1.999.974,59
14	511.353,80	R\$ 2,1385	R\$ 1.093.506,10	R\$ 17.444,58		R\$ 1.110.950,68	R\$ 491.374,56	R\$2.491.349,15
15	507.262,97	R\$ 2,4947	R\$ 1.265.478,74	R\$ 17.444,58	R\$ 366.336,18	R\$ 916.587,14	R\$ 382.459,79	R\$2.873.808,94
16	503.204,86	R\$ 2,9103	R\$ 1.464.497,04	R\$ 17.444,58		R\$ 1.481.941,62	R\$ 583.360,81	R\$3.457.169,75
17	499.179,23	R\$ 3,3952	R\$ 1.694.814,39	R\$ 17.444,58		R\$ 1.712.258,97	R\$ 635.872,06	R\$4.093.041,81
18	495.185,79	R\$ 3,9608	R\$ 1.961.353,10	R\$ 17.444,58		R\$ 1.978.797,68	R\$ 693.259,48	R\$4.786.301,29
19	491.224,31	R\$ 4,6207	R\$ 2.269.809,61	R\$ 17.444,58		R\$ 2.287.254,19	R\$ 755.967,27	R\$5.542.268,56
20	487.294,51	R\$ 5,3905	R\$ 2.626.776,22	R\$ 17.444,58		R\$ 2.644.220,80	R\$ 824.480,54	R\$6.366.749,10
21	483.396,15	R\$ 6,2886	R\$ 3.039.881,96	R\$ 17.444,58		R\$ 3.057.326,54	R\$ 899.329,12	R\$7.266.078,22
22	479.528,99	R\$ 7,3363	R\$ 3.517.955,68	R\$ 17.444,58		R\$ 3.535.400,26	R\$ 981.091,59	R\$8.247.169,81
23	475.692,75	R\$ 8,5585	R\$ 4.071.214,72	R\$ 17.444,58		R\$ 4.088.659,30	R\$ 1.070.399,81	R\$9.317.569,62
24	471.887,21	R\$ 9,9843	R\$ 4.711.483,26	R\$ 17.444,58		R\$ 4.728.927,84	R\$ 1.167.943,73	R\$10.485.513,35
25	468.112,11	R\$ 11,6477	R\$ 5.452.445,04	R\$ 17.444,58		R\$ 5.469.889,62	R\$ 1.274.476,79	R\$11.759.990,14