



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARA
CAMPUS DE SOBRAL
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ANDERSON ISMAE DA SILVA OLIVEIRA

**PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O PRÉDIO
DO DEPARTAMENTO DE ENSINO E PESQUISA DA SANTA CASA DE
MISERICÓRIDA DE SOBRAL–ESTUDO DE CASO**

SOBRAL

2017

ANDERSON ISMAEL DA SILVA OLIVEIRA

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O PRÉDIO DO
DEPARTAMENTO DE ENSINO E PESQUISA DA SANTA CASA DE MISERICÓRIDA
DE SOBRAL – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
coordenação do curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Ceará como requisito
parcial à obtenção do título de graduado em
Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Eber de Castro Diniz

SOBRAL

2017

Página reservada para ficha catalográfica que deve ser confeccionada após apresentação e alterações sugeridas pela banca examinadora.

Para solicitar a ficha catalográfica de seu trabalho, acesse o site: www.biblioteca.ufc.br, clique no banner Catalogação na Publicação (Solicitação de ficha catalográfica)

ANDERSON ISMAEL DA SILVA OLIVEIRA

PROJETO DE MICROGERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O PRÉDIO DO
DEPARTAMENTO DE ENSINO E PESQUISA DA SANTA CASA DE MISERICÓRIDA
DE SOBRAL – ESTUDO DE CASO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
coordenação do curso de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal do Ceará como requisito
parcial à obtenção do título de graduado em
Engenharia Elétrica.

Aprovada em: ___/___/_____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Eber de Castro Diniz

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Marcelo Marques Simões de Souza

Universidade Federal do Ceará (UFC)

Larissa Souza Pereira

Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Talvez este seja um agradecimento muito longo para uma simples monografia, contudo, não poderia deixar de citar todos que foram importantes, me apoiaram e me auxiliaram ao longo desses 5 anos de curso. Saibam que sem o apoio de vocês, jamais teria conseguido chegar a ter de escrever esses agradecimentos.

Agradeço primeiramente a Deus, pois só a partir d'Ele tudo é possível. Agradeço aos meus pais Valdenir Morais de Oliveira e Antônia Flor da Silva, pelo apoio que sempre deram para que eu continuasse estudando e que sempre fizeram o possível para poderem dar a mim e a meus irmãos o melhor que estivesse a seu alcance, sou imensamente grato a vocês, pela educação e valores que me ensinaram e que carregarei pelo resto de minha vida. Sou grato à meu irmão mais velho, Denis Rafael, por sempre acreditar em mim e pela pessoa que é. Agradeço a meu irmão mais novo Gabriel à quem sirvo de inspiração e a quem me esforço para não decepcionar.

Agradeço ao corpo docente e todos os funcionários dessa universidade, por dar todo o suporte para que esse caminho fosse trilhado. Sou grato ao professor Éber de Castro, pela orientação neste trabalho e por me ensinar, além de conteúdos acadêmicos, lições para a vida. Obrigado por ser uma ótima pessoa. Agradeço a professora Nilena, por ter apostado em mim quando fiz seleção para o PET e por ser essa pessoa maravilhosa que é.

Obrigado à Thais Albuquerque, Carlos Emanuel, Cleidiane Rocha, Isaac Morais, por estarem presente no primeiro semestre da faculdade. Com vocês aprendi que unidos vamos mais longe e devo imensamente a cada um de vocês por me dar suporte, principalmente me ensinando conteúdos de ensino médio, os quais eu não tive a oportunidade de aprender.

Agradeço à Raquel Sousa, pela paciência desses 5 anos e por ser uma pessoa com a qual você sempre pode contar. Obrigado Nathanael Soares, por me ensinar divisão de polinômios no segundo semestre e por sempre estar disposto a ajudar o próximo.

Agradeço a Sandy Brito, pelas horas de estudo, pelos apoios nos trabalhos e pelos almoços aos domingos. Sou grato a Ricardo Parcelle, pela sua paciência e apoio em diversas disciplinas. Agradeço a Lemuel Lucas, pelo auxílio, principalmente na metade final do curso. Agradeço pelos trabalhos os quais fizemos parte da mesma equipe e por ter auxiliado quando eu estava sem tempo para a faculdade. Agradeço imensamente a Leiliane Tomaz, por sua

sinceridade, dedicação aos estudos, por seu apoio ao longo das disciplinas e por não negar ajuda em momento algum do curso. Obrigado por aceitar revisar este trabalho, que, mesmo sendo um pedido de última hora, você se prontificou a fazer e sei que ninguém poderia fazer melhor.

Agradeço a Bruna Valentim e Juliana Mourão, pelos trabalhos que fizemos ao longo do 7º período. Não teria conseguido sem vocês.

Agradeço aos membros do PET, Danillo Fernandes, Diego Maradona, Josy Mesquita, Iago Machado, Samélius Silva e todos os outros integrantes, pelo suporte e por emprestarem a sala para que eu pudesse desenvolver este trabalho.

Agradeço aos demais colegas de curso que não citei, porém não são menos importantes. Sem vocês, teria sido bem mais difícil e árduo trilhar este caminho.

Agradeço a Glenda Vasconcelos, por sempre se importar comigo e procurar saber como eu estava, por sua amizade ao longo de todos esses anos e por todo suporte ao longo dessa etapa acadêmica.

RESUMO

A energia fotovoltaica, assim como as demais fontes de energias renováveis, vem ganhando espaço no cenário mundial, devido, a instalação simplificada de seus sistemas e a durabilidade dos mesmos e o baixo custo de manutenção. Nessa conjuntura, o presente trabalho tem por finalidade elaborar e realizar a análise financeira de um projeto para a instalação de uma unidade de microgeração fotovoltaica no prédio destinado ao Departamento de Ensino e Pesquisa da Santa Casa de Misericórdia de Sobral. Fazer uso de um sistema de microgeração para suprir parte do consumo de energia elétrica do cliente em questão pode ser encarado como uma forma de popularizar a utilização de fontes alternativas de energia, uma vez que, comprovada a eficiência do sistema e o retorno financeiro do investimento, o projeto poderá ser implementado e expandido nas demais áreas da unidade consumidora, possibilitando assim uma maior economia através de uma forma limpa e sustentável de energia. A escolha da utilização do sistema fotovoltaico se deu em virtude de sua facilidade de instalação, devido a disponibilidade de espaço no telhado do hospital com grande incidência de raios solares, o que acarreta redução dos custos com estrutura.

Palavras-chave: Energia Fotovoltaica. Hospital. Microgeração. Projeto.

ABSTRACT

The photovoltaic energy as the others renewable energy sources, has been gaining space in worldwide scenario, due to the easy system installation, its durability and low maintenance cost. Hence the present work aims financially analyses a photovoltaic microgeneration facility designed for the researching and teaching building of Santa Casa de Misericórdia de Sobral. Using a microgeneration system to supply part of energy electrical consumption of this client could be faced as a way to popularize the use of energy alternative sources, once proved the system's efficiency and the financial return of investment, the project could be implemented and expanded in other areas of consumer unit making possible this way a bigger economy per a clean and sustainable energy's form. The choice to use a photovoltaic system was given by the facility of installation of the system and availability of space in the hospital's roof with a big incidence of sun rays that reduce the cost with structure.

Key Words: Energy. Photovoltaic. Hospital. Project.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esboço da patente da primeira célula solar, desenvolvida por Calvin Fuller.....	15
Figura 2 - Radiação solar média entre 1990 – 2004.....	16
Figura 3 - Irradiação solar média anual na superfície do território brasileiro.....	17
Figura 4 - Irradiação solar média anual continente europeu.....	17
Figura 5 - Capacidade instalada por país.....	18
Figura 6 - Capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo.....	19
Figura 7 - Modelo de uma célula fotovoltaica.....	27
Figura 8 - Curva I-V de uma célula de Si.....	27
Figura 9 - Influência da variação de irradiância incidente.....	28
Figura 10 - Influência da temperatura na curva I-V da célula fotovoltaica.....	29
Figura 11 - Utilização de diodos de by-pass para redução dos efeitos do sombreamento.....	30
Figura 12 - Ângulo de declinação solar durante solstícios e equinócios.....	31
Figura 13 - Orientação de um módulo fotovoltaico.....	33
Figura 14 - Usina fotovoltaica de Tanquinho.....	34
Figura 15 - Comparativo energia produzida x energia consumida.....	41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Programas de incentivo a geração fotovoltaica no mundo.	20
Tabela 2 - Potencial aplicado a geração fotovoltaica em telhados residenciais no Brasil – continua.	21
Tabela 3 - Carga instalada DEPE - continua	36
Tabela 3 - Carga instalada DEPE - conclusão	37
Tabela 4 - Consumo do DEPE no período de um ano	38
Tabela 5 - Radiação média ao longo do ano para a região de interesse do projeto.....	39
Tabela 6 - Potência gerada.	40
Tabela 7 - Características físicas painéis Globo Brasil 260 – continua.	41
Tabela 7 - Características físicas painéis Globo Brasil 260 – conclusão.....	42
Tabela 8 - Características elétricas linha GBR@XXp nas STC.	42
Tabela 9 - Influência da temperatura.	43
Tabela 10 - Características inversor PHB20K-DT.	44
Tabela 11 - Formas de conexão.	50
Tabela 12 - Prazos para efetivação da conexão.	52
Tabela 13 - Investimento no sistema.	53
Tabela 14 - Retorno financeiro do projeto, sem o aumento de tarifa.....	54
Tabela 15 - Retorno do investimento com aumento de tarifa.	55
Tabela 16 - Comparativo com outras formas de investimento.	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CONFAZ	Conselho Nacional de Política Fazendária
CRESESB	Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito
DEPE	Departamento de Ensino e Pesquisa
FDI	Fator de Dimensionamento do Inversor
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
P _{MP}	Ponto de Máxima Potência
PRODIST	Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i>
REIDI	Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura
SUDAM	Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia
SUDECO	Superintendência do Desenvolvimento do Centro Oeste
SUDENE	Superintendência do Desenvolvimento do Centro do Nordeste
TIR	Taxa Interna de Retorno
TR	Taxa Referencial
TUSD	Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição
TUST	Tarifa de Uso do Sistema de Transmissão
UC	Unidade Consumidora
VPL	Valor Presente Líquido
WRC	<i>World Radiation Center</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1 Energia Fotovoltaica.....	14
1.2 Energia Fotovoltaica no Cenário Mundial	18
1.3 Energia Fotovoltaica no Cenário Brasileiro	20
1.4 Objetivos.....	23
1.5 Estrutura do Trabalho	23
2. GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA	25
2.1 Elementos Constituem os Sistemas Fotovoltaicos	25
2.1.1 Módulos Fotovoltaicos	25
2.1.2 Inversores.....	30
2.2 Posicionamento dos módulos fotovoltaicos	31
2.3 Tipos de aplicações para sistemas fotovoltaicos conectados a rede	33
2.3.1 – Sistemas conectados micro e minigeração distribuída	33
2.3.2 – Usinas fotovoltaicas.....	34
3. ESTUDO DE CASO	35
3.1 Características do Cliente	35
3.1.1 Cargas Instaladas.....	35
3.1.2 Demanda do Departamento de Ensino e Pesquisa	37
3.2 Dimensionamento do Sistema	39
3.2.1 Potência do Sistema	39
3.2.2 Módulos.....	41
3.2.3 Inversores.....	43
3.2.4 Instalação e Queda de Tensão	44
3.2.5 Proteção	48
3.3 Instalação e forma de conexão	50
3.3.1 Medidor e Forma de Conexão.....	50
3.3.2 Requisitos para instalação do sistema fotovoltaico	51
3.4 Análise Financeira	53
4. CONCLUSÃO.....	56
5. TRABALHOS FUTUROS	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
APÊNDICE A: PADRAO MEDIÇÃO DE TENSÃO TRIFÁSICA.....	60

APÊNDICE B: DIAGRAMA UNIFILIAR DO SISTEMA.....	61
APÊNDICE C: PLANTA DE SITUAÇÃO DO SISTEMA.	64
APÊNDICE D: SOLICITAÇÃO DE ACESSO.	69
APÊNDICE E: TABELAS DAS NORMAS.	70
ANEXO 1 – MAPAS DE RADIAÇÃO SOLAR MENSAL DO ESTADO DO CEARÁ	72
ANEXO 2 – TABELA 37 – NBR-5410.....	78

1. INTRODUÇÃO

A utilização de fontes de energias renováveis vem ganhando espaço no cenário mundial. Há um potencial fotovoltaico considerável em muitas regiões do planeta, principalmente em países próximos da linha do equador. O avanço tecnológico tem contribuído de forma significativa para o aumento da utilização desse tipo de energia, por meio do desenvolvimento de placas mais eficientes e com menores custos, de forma a reduzir consideravelmente o tempo de retorno para investimentos em sistemas fotovoltaicos.

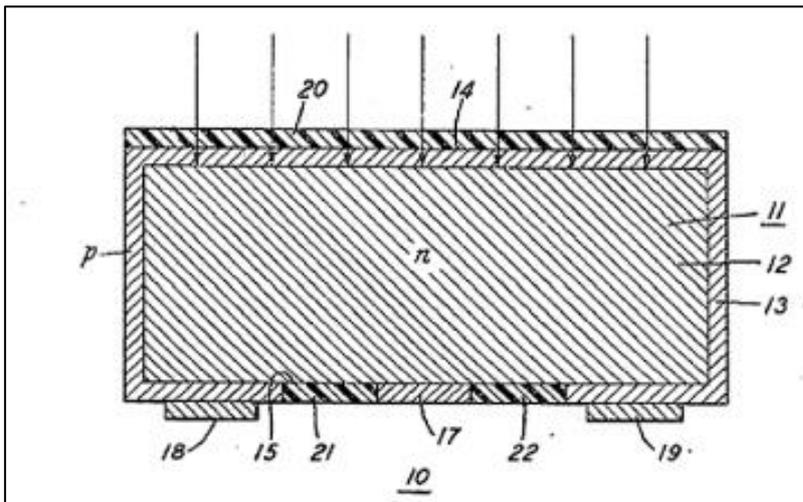
Diante do aumento crescente da população mundial e das secas dos últimos anos, a qual resultou no aumento das tarifas do kWh e implementação de bandeiras tarifárias, faz-se necessário que haja investimento em áreas de geração própria de energia elétrica, na qual o consumidor não dependa exclusivamente da concessionária. Desse modo, a utilização de módulos fotovoltaicos para microgeração distribuída torna-se uma opção viável para consumidores que visam redução na conta de energia.

1.1 Energia Fotovoltaica

O efeito fotovoltaico foi observado pela primeira vez em 1839 por Edmond Becquerel que verificou que placas metálicas, de platina ou prata, mergulhadas em eletrólito, produziam uma pequena diferença de potencial quando expostas à luz (VALLÊRA, 2006).

Contudo, somente no século XX, com o desenvolvimento científico e a exploração dos semicondutores, é que foi possível construir as primeiras placas de energia fotovoltaica. A primeira célula fotovoltaica foi apresentada na reunião anual da Academia Nacional de Ciências, em Washington, e anunciada numa conferência de imprensa no dia 25 de abril de 1954 (VALLÊRA, 2006). A Figura 1 ilustra o esboço da patente da primeira célula fotovoltaica, registrada em março de 1954.

Figura 1 - Esboço da patente da primeira célula solar, desenvolvida por Calvin Fuller



Fonte: (VALLÊRA, 2006).

A célula desenvolvida por Bell Labs tinha eficiência de 6%. Desde então, foi crescente a quantidade de pesquisas no ramo da energia fotovoltaica (MACHADO, 2014). O crescente número de pesquisas voltadas a aplicações e desenvolvimento de células fotovoltaicas mais eficientes é justificado devido ao fato de que a quantidade de energia que a superfície da Terra recebe de energia irradiada do Sol é cerca de 10.000 vezes maior do que o consumo de toda população mundial (MACHADO, 2014).

As principais desvantagens dos atuais sistemas fotovoltaicos são a sua baixa eficiência e o elevado custo dos equipamentos. Contudo, com o desenvolvimento de novas tecnologias, tem-se observando uma redução dos preços desse tipo de sistema ao longo do tempo. Enquanto a aquisição de sistemas fotovoltaicos de baixo custo ainda não se torna de fato uma realidade, Machado (2014) afirma que, no Brasil, o valor do sistema fotovoltaico é estimado mediante o valor do Wp (watt-pico), sendo este R\$ 10 /Wp, dessa forma, um sistema instalado de 1 KWp custaria R\$10.000,00.

Os valores de Wp variam de acordo com a região onde se deseja instalar o sistema. Isso se dá devido a variação da quantidade de radiação, irradiação e irradiância incidente em cada região do planeta. Schofell define algumas dessas grandezas como:

A radiação solar é fonte primária de energia para os processos biológicos e meteorológicos que ocorrem na superfície.

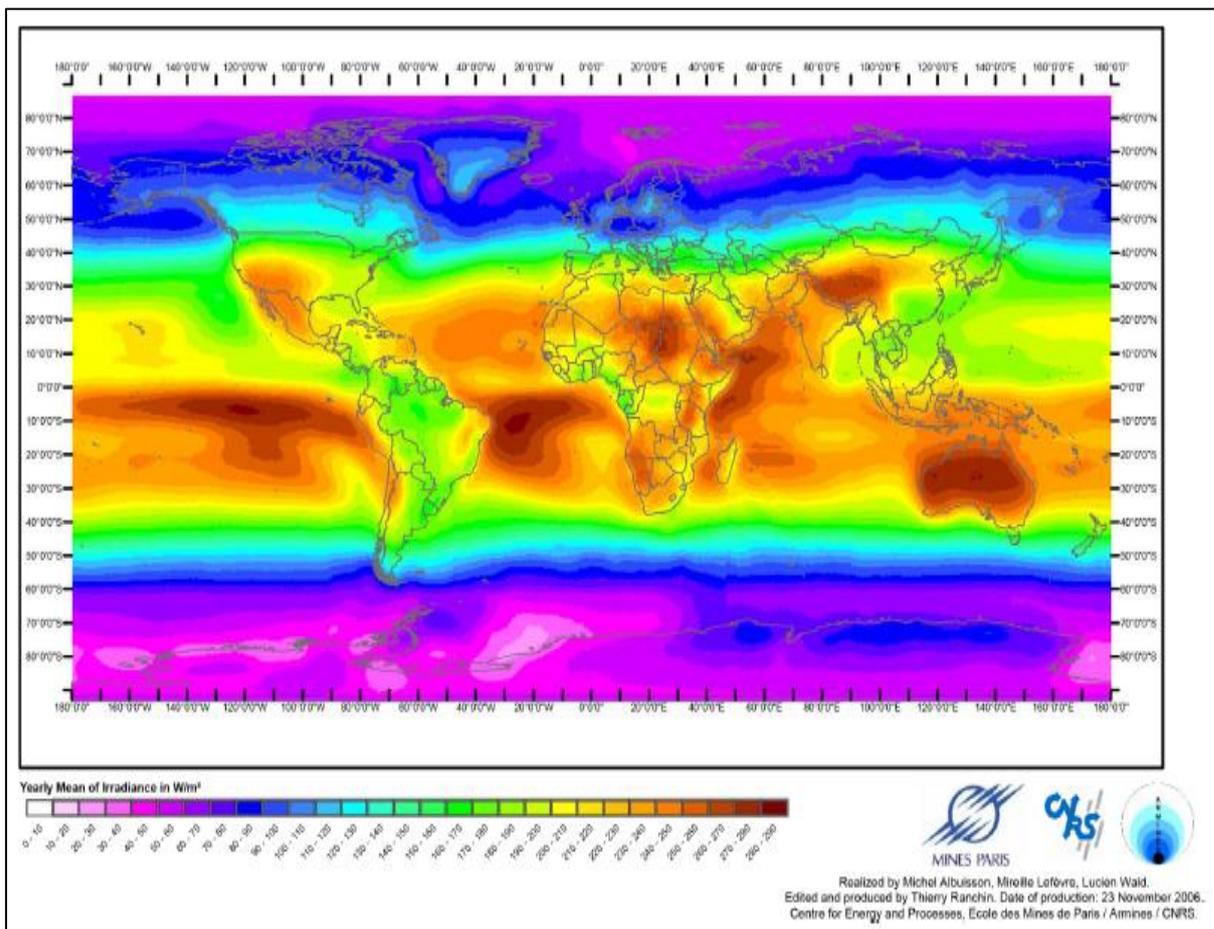
Irradiação: Intensidade de radiação ou, ainda, é a quantidade de energia radiante por unidade de área.

Densidade de fluxo de radiação: representa a quantidade de energia radiante que passa através de um certo plano na unidade de tempo e de área, compreendendo as radiações vindas de todas as direções.

Irradiância: é a densidade de fluxo de radiação incidente sobre uma superfície (SCHOFELL, 2010, p. 1).

A Figura 2 apresenta o gráfico de radiação solar média em todo o globo terrestre, valores esses que foram levantados a partir de dados meteorológicos observados entre os anos de 1990 e 2004 (PINHO, 2014).

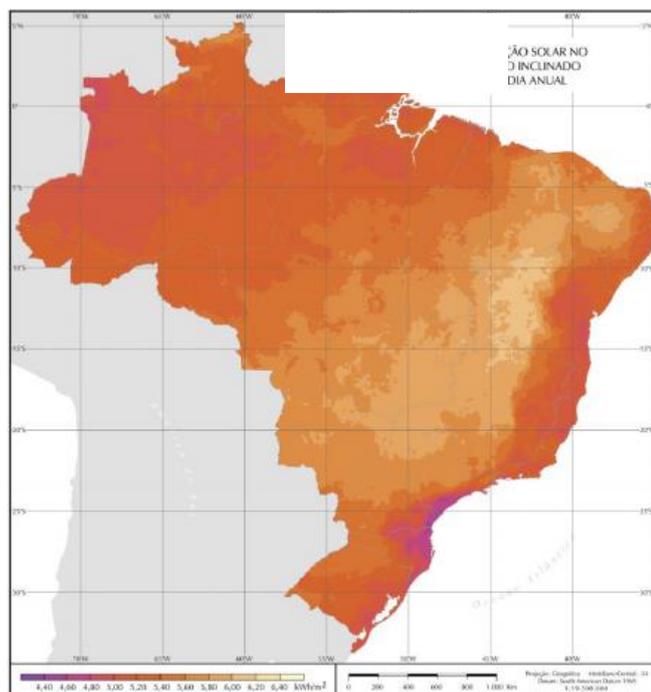
Figura 2 - Radiação solar média entre 1990 – 2004.



Fonte: (PINHO, 2014).

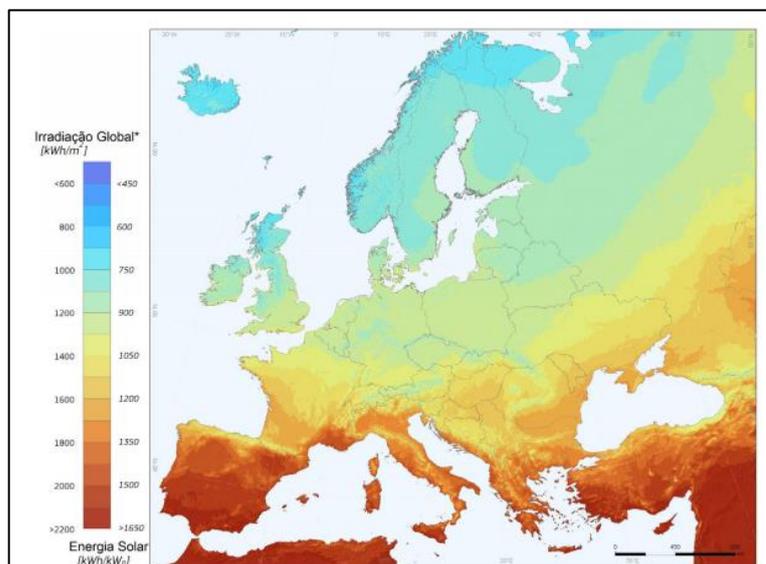
Os projetos fotovoltaicos exigem irradiação mínima de 3 a 4 kWh/m².dia, esses valores são disponíveis para quase todas as áreas nos trópicos (PINHO, 2014). As Figuras 3 e 4 que seguem apresentam respectivamente um mapa da irradiação solar média anual do Brasil e do continente europeu.

Figura 3 - Irradiação solar média anual na superfície do território brasileiro.



Fonte: (PINHO, 2014).

Figura 4 - Irradiação solar média anual continente europeu.



Fonte: (PINHO, 2014).

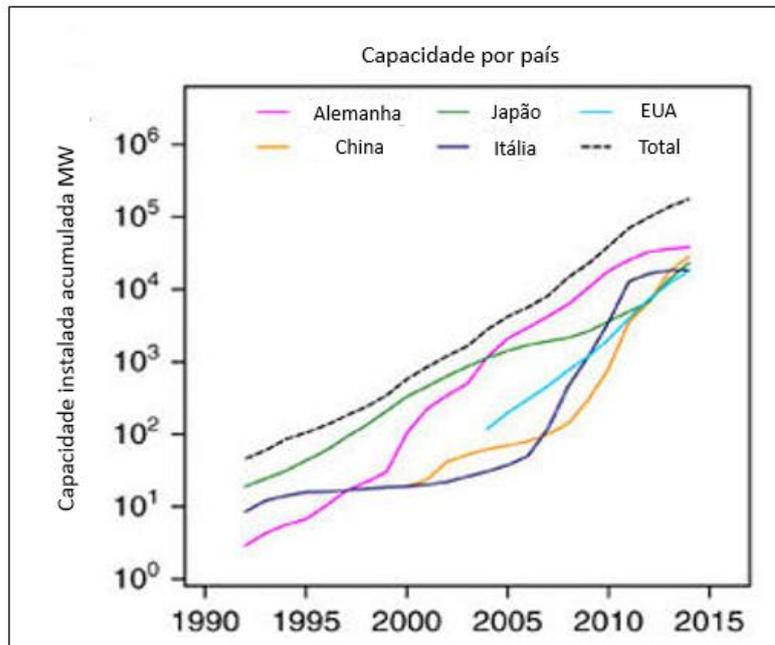
Na Figura 3 é possível verificar que os estados brasileiros com maior potencial para a geração de energia fotovoltaica são os estados de Minas Gerais, Goiás, Tocantins e nos estados da região nordeste.

A comparação das Figuras 3 e 4 permite observar que o Brasil tem um potencial fotovoltaico favorável a possíveis investimentos, uma vez que os valores de irradiação no Brasil são superiores ao obtido em países europeus que já fazem uso da energia fotovoltaica em larga escala, como Alemanha.

1.2 Energia Fotovoltaica no Cenário Mundial

O uso de sistemas fotovoltaicos e o desenvolvimento de pesquisas nesse campo cresceram expressivamente nos últimos anos. A capacidade de produção de energia fotovoltaica instalada, apresentou grande crescimento passando de menos de 1 MW_p no ano de 1975 para 180 GW_p no ano de 2014, para todos os tipos de tecnologias de geração fotovoltaica instaladas. Isso representa um crescimento de 45% ao ano nesse intervalo de tempo. A Figura 5 exibe um gráfico com a evolução anual da capacidade instalada de energia fotovoltaica para alguns países.

Figura 5 - Capacidade instalada por país.



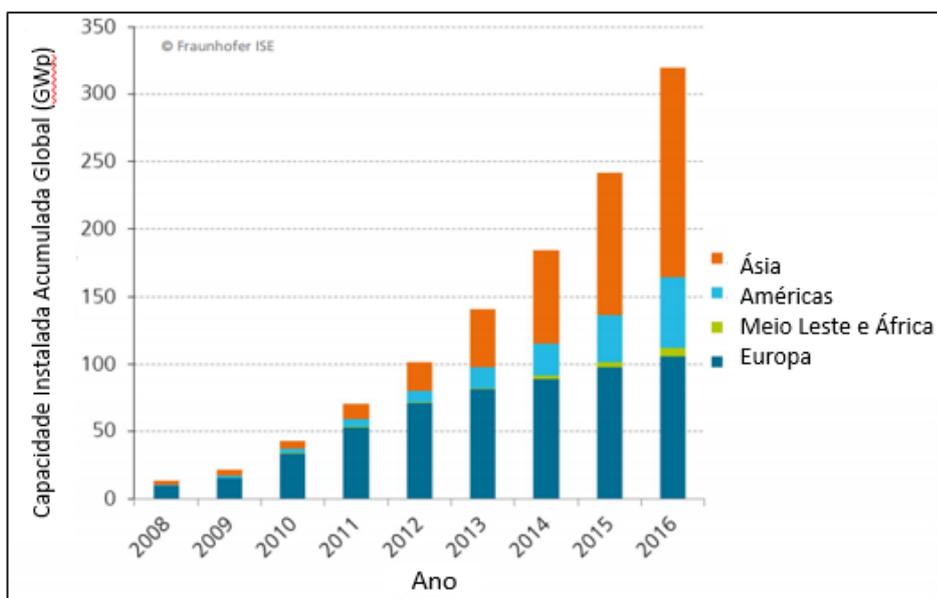
Fonte: (LOUWEN, 2016.)

Pela análise da Figura 5 nota-se que até 2005 o Japão dominava o mercado mundial de produção de energia fotovoltaica, sendo o mesmo ultrapassado pela Alemanha, que se manteve na liderança do mercado até o ano de 2014. Segundo Louwen (2016), esse rápido

crescimento ocorreu por dois fatores: o crescimento de políticas de incentivos para produção de energia limpa e a redução nos preços de sistemas fotovoltaicos. A Alemanha usa um sistema de tarifa onde o cliente recebe bonificação pela produção de energia renovável.

No ano de 2015, a Alemanha foi ultrapassada pela China no quesito produção de energia fotovoltaica. Dentro desse cenário, o continente asiático passou a ser o maior produtor de energia fotovoltaica do mundo, seguido dos continentes europeu, americano e africano, respectivamente, conforme ilustra a Figura 6.

Figura 6 - Capacidade instalada de sistemas fotovoltaicos no mundo.



Fonte: (FRAUNHOFER, 2017)

As políticas de incentivos em diversos países têm contribuído significativamente para o aumento na produção de energia fotovoltaica no cenário mundial, algumas dessas políticas estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1- Programas de incentivo a geração fotovoltaica no mundo.

País/Região	Política	Descrição
China	<i>Programa Golden Sun</i>	Subsídio de 50% do investimento no custo de projetos solares conectados na rede elétrica (com mais de 500 MW) e 70% para projetos não conectados na rede elétrica, 2009-2011.
União Europeia	Pacote 20-20-20	Corte geral na emissão de gases do efeito estufa em 20% abaixo dos níveis de 1990 em 2020. Metas nacionais de uso de energias renováveis para redução de emissões e importações. Incluem um mínimo de 10% de alternativa de combustíveis para gasolina e diesel até 2020. Revisão das diretrizes de ajuda estatal para proteção ambiental para suporte do desenvolvimento e uso seguro de captação e armazenamento de carbono (CSS).
Japão	Subsídio e tarifas <i>feed-in</i> para uso residencial de sistemas fotovoltaicos (PV)	Subsídio: JPY 70000/kW com um orçamento total de JPY 20 bilhões (abril de 2009 a janeiro de 2010). Tarifa <i>feed-in</i> : Excedente de energia elétrica a ser comprada por usuários pelo dobro da tarifa de varejo (JPY 48/kWh).

Fonte: AUTOR.

As políticas de incentivos fiscais dos governos, a redução dos preços dos sistemas fotovoltaicos e a possível escassez de fontes de energias não renováveis são fatores que favorecem o crescimento da utilização de sistemas fotovoltaicos.

1.3 Energia Fotovoltaica no Cenário Brasileiro

Pela sua vasta extensão territorial e seu potencial energético, aliado aos incentivos governamentais para geração de energia limpa, faz com que a utilização dos sistemas fotovoltaicos sejam cada vez mais comum no Brasil. Os níveis de irradiação solar incidentes no país superam os de países que já possuem elevado nível de desenvolvimento no que diz respeito ao tipo de geração abordada.

Segundo Nascimento (2017), ao final de 2016, o Brasil possuía um total de 81 MWp de capacidade de produção instalada. Destes, 24 MWp destinavam-se à produção centralizada enquanto os 57 MWp restantes eram destinados à geração distribuída. Esta baixa utilização da energia fotovoltaica chama atenção em virtude do grande potencial produtivo que o país possui, principalmente quando comparada com a de países como Alemanha, que apresentava até o ano de 2015, uma capacidade de produção instalada de 39,7 GWp.

Os valores de irradiância no Brasil são de 1500 a 2500 Wh/m² e são superiores aos da maioria dos países europeus, como Alemanha (900-1250 Wh/m²), França (900 - 1650 Wh/m²) e Espanha (1200-1850 Wh/m²), locais onde projetos sistemas fotovoltaicos são amplamente utilizados (NASCIMENTO, 2017).

A Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2014), realizou um levantamento do potencial aplicado à geração distribuída relacionado a utilização de painéis fotovoltaicos em telhados de residências, onde foi possível identificar os valores por estado e obter a relação com o consumo de eletricidade nas residências, esse levantamento é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 - Potencial aplicado a geração fotovoltaica em telhados residenciais no Brasil – continua.

UF	POTENCIAL FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL (GWh/ano)	CONSUMO RESIDENCIAL ANUAL 2013 (GWh)	POTENCIAL FOTOVOLTAICO/ CONSUMO RESIDENCIAL
SP	62.196	38.783	160%
MG	32.193	10.118	318%
RJ	23.521	12.833	183%
BA	20.674	6.144	337%
RS	17.257	7.750	223%
PR	17.170	6.986	246%
CE	12.527	3.751	334%
PE	12.352	4.563	271%
GO	10.687	3.958	270%
SC	9.417	4.935	191%
MA	8.935	2.563	349%
PA	8.935	2.632	339%
PB	5.738	1.603	358%
ES	5.212	2.213	236%
MT	4.993	2.182	229%
RN	4.862	1.805	269%
PI	4.862	1.328	366%
MS	4.424	1.571	282%

Tabela 2 - Potencial aplicado a geração fotovoltaica em telhados residenciais no Brasil – conclusão.

UF	POTENCIAL FOTOVOLTAICO RESIDENCIAL (GWh/ano)	CONSUMO RESIDENCIAL ANUAL 2013 (GWh)	POTENCIAL FOTOVOLTAICO/ CONSUMO RESIDENCIAL
AL	4.424	1.227	361%
AM	3.679	1.784	206%
DF	3.592	2.191	164%
SE	3.066	979	313%
RO	2.321	1.084	214%
TO	2.234	695	321%
AC	964	373	258%
AP	701	500	140%
RR	569	345	165%

Fonte: (EPE, 2014).

Os locais que possuem população elevada apresentam maior potencial fotovoltaico residencial, pois verifica-se, na Tabela 2, que os estados da região Sudeste, onde a irradiância solar incide em menor quantidade, ocupam posições na tabela superiores a alguns estados da região nordeste.

Apesar de o Brasil dispor de fontes limpas de energia, como a geração hidroelétrica, há alguns incentivos voltados para a instalação e investimentos em energia fotovoltaica, como aponta SILVA (2015), segundo os principais incentivos para o desenvolvimento e disseminação da energia fotovoltaica são:

Programa Luz para Todos (LPT); Descontos na Tarifa de Uso dos Sistemas de Transmissão (TUST) e na Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição (TUSD); Venda Direta a Consumidores; Sistema de Compensação de Energia Elétrica para a Microgeração e Minigeração Distribuídas; Convênio nº 101, de 1997, do Conselho Nacional de Política Fazendária (CONFAZ); Regime Especial de Incentivos para o Desenvolvimento da Infraestrutura (REIDI); Debêntures Incentivadas; Programa de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico da Indústria de Semicondutores (PADIS); Lei da Informática; Condições Diferenciadas de Financiamento e Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) (SILVA, 2015, p. 8 -14).

Diante do que fora discutido, tem-se incentivos de diversas formas para a amplificação e desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos no país.

1.4 Objetivos

O presente estudo visa elaborar um projeto de microgeração fotovoltaica para o prédio do Departamento de Ensino e Pesquisa da Santa Casa de Misericórdia de Sobral bem como analisar a viabilidade econômica desse projeto.

O intuito do projeto é conseguir abatimento na conta de energia do hospital, servindo como base para possível aplicação da geração fotovoltaica nas demais unidades do estabelecimento sob estudo, proporcionando assim uma economia ainda maior. Optou-se pelo projeto fotovoltaico em razão do baixo custo de manutenção dos painéis e da simplicidade.

1.5 Estrutura do Trabalho

O trabalho é composto por cinco capítulos, os quais são: Introdução, Geração de Energia Fotovoltaica, Estudo de Caso e Conclusão. A seguir é descrito o que será abordado em cada capítulo citado.

Introdução: apresenta uma breve descrição da proposta principal do trabalho e como o mesmo está estruturado. Também é apresentada uma abordagem simplificada do tema Energia Fotovoltaica, bem como os cenários mundial e brasileiro desse tipo de energia.

Geração de Energia Fotovoltaica: aborda o conceito da geração fotovoltaica, mostrando os elementos que compõem um sistema fotovoltaico e o dimensionamento dos mesmos. Além disso serão mostrados exemplos de aplicação de sistemas fotovoltaicos conectados a rede.

Estudo de Caso: trata do projeto e da análise financeira do sistema de microgeração projetado para o prédio do Departamento de Ensino e Pesquisa da Santa Casa de Misericórdia de Sobral. Neste capítulo, também são apresentadas informações referentes ao consumo de energia elétrica do local pretendido a instalação da geração fotovoltaica, o quantitativo de energia a ser gerada, a economia oriunda dessa produção e o retorno financeiro do investimento em questão.

Conclusão: apresenta as considerações finais do estudo de caso realizado, as conclusões acerca da viabilidade econômica do projeto baseadas nos dados de retorno do investimento imputados nos capítulos anteriores.

Trabalhos Futuros: neste capítulo será mostrado o que deverá ser realizado para que seja feita a expansão do sistema, bem como maneiras de utiliza-lo para contribuir no desenvolvimento tecnológico, visando uma parceria universidade-hospital.

2. GERAÇÃO DE ENERGIA FOTOVOLTAICA

A geração de energia fotovoltaica é realizada por um conjunto de módulos que convertem a radiação solar em energia elétrica. Os sistemas fotovoltaicos têm uma estruturação simples e um baixo custo de manutenção, o que favorece o investimento nesse tipo de sistemas. Neste capítulo serão abordados os elementos e conceitos básicos para a geração de energia fotovoltaica.

Na sessão 2.1 serão mostrados os principais elementos que constituem um sistema de geração fotovoltaico conectado à rede elétrica, bem como, o equacionamento necessário para dimensioná-lo.

A sessão 2.2 apresentará o correto posicionamento dos módulos fotovoltaicos, para que sejam evitados o sombreamento dos módulos ou a perda de eficiência dos mesmos.

Serão apresentados na sessão 2.3 alguns exemplos de sistemas de geração de energia fotovoltaica.

2.1 Elementos Constituem os Sistemas Fotovoltaicos

Os sistemas fotovoltaicos conectados à rede são constituídos basicamente de dois elementos que são: módulos fotovoltaicos e inversores de frequência.

2.1.1 Módulos Fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos, que também são conhecidos pela literatura como painéis solares, são placas constituídas de um conjunto de células fotovoltaicas em série e em paralelo. Essas quando expostas a radiação solar produzem energia elétrica pelo efeito fotovoltaico.

A corrente elétrica que flui de uma célula fotovoltaica é a soma da corrente de uma junção pn com a corrente gerada pelos fótons absorvidos da radiação solar (PINHO, 2014). A mesma é calculada partir da Equação (1), a qual é derivada da equação de Shockley para o diodo ideal.

$$I = I_L - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot V}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) \quad (1)$$

Sendo:

I_L a corrente fotogerada;

I_0 a corrente de saturação reversa do diodo;

n o fator de idealidade do diodo;

q a carga do elétron, $1,6 \cdot 10^{-19}$ C;

k a constante de Boltzmann $1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K;

T a temperatura absoluta.

A Equação (1) é conhecida como curva I-V ou curva característica de uma célula fotovoltaica. A corrente de saturação é determinada pelas características construtivas da junção pn e das propriedades dos materiais. Também é possível determinar a corrente de saturação por meio da aplicação de uma tensão na célula não iluminada.

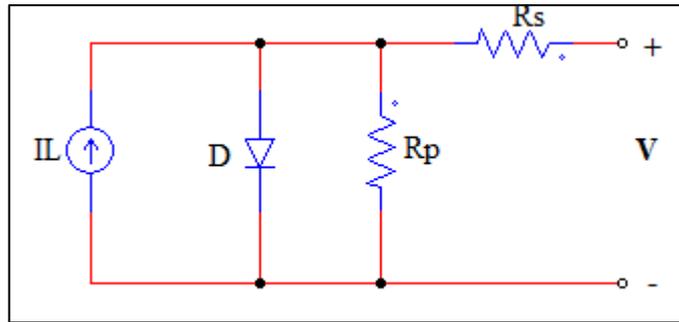
Levando em consideração os aspectos construtivos das células fotovoltaicas, deve-se considerar na sua curva I-V a resistência série oriunda dos contatos das placas de metal com o material semiconductor, e a resistência paralela que é originada a partir dos pontos de curto-circuito da junção pn. Logo, a Equação (1) pode ser reescrita da seguinte maneira:

$$I = I_L - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q \cdot (V + I R_S)}{n \cdot k \cdot T}} - 1 \right) - \frac{V + I \cdot R_S}{R_P} \quad (2)$$

Em que R_S e R_P são as resistências série e paralelo, respectivamente.

O modelo de uma célula fotovoltaica pode ser entendido como uma fonte de corrente ligada a uma resistência R_s e paralela a outra resistência R_p e um diodo D, conforme mostra a Figura 7.

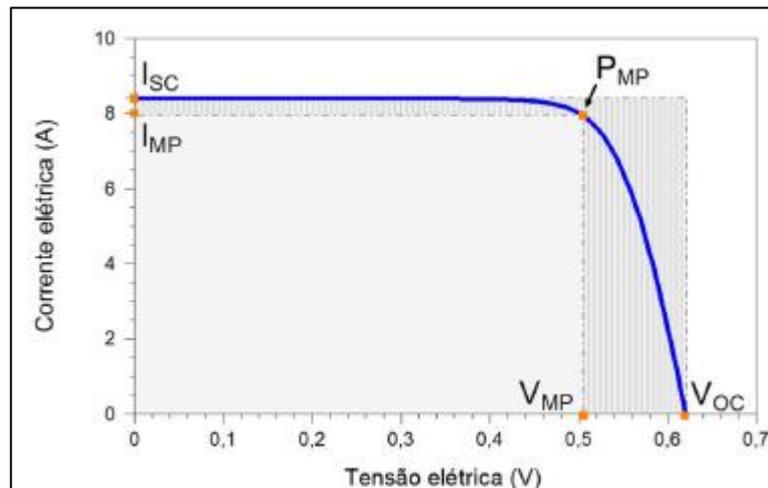
Figura 7 - Modelo de uma célula fotovoltaica.



Fonte: Autor.

A curva I-V, ilustrada na Figura 8, pode ser obtida a partir das características elétricas da célula fotovoltaica, sendo esses fatores determinantes para a maneira a qual as células fotovoltaicas estarão conectadas.

Figura 8 - Curva I-V de uma célula de Si.



Fonte: (PINHO, 2014).

A tensão de circuito aberto (V_{oc}), obtida quando não há carga nos terminais do equipamento, representa a tensão máxima a qual uma célula fotovoltaica pode produzir, e depende da corrente de saturação (i_0), da corrente fotogerada, (i_L) e da temperatura ambiente (T). A mesma pode ser determinada a partir da seguinte equação.

$$V_{oc} = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln\left(\frac{i_L}{i_0} + 1\right) \quad (3)$$

O parâmetro de corrente para a curva I-V é a corrente de curto-circuito (I_{SC}), obtida quando as tensões nos terminais da célula fotovoltaica é zero. A corrente de curto-circuito depende de fatores como área da célula, irradiância solar, distribuição espectral, propriedades ópticas e probabilidade da coleta de portadores intrínsecos. A densidade de curto-circuito (J_{SC}) é obtida fazendo a divisão da corrente de curto-circuito pela área da célula.

Fatores externos influenciam na eficiência dos módulos fotovoltaicos, sendo os principais a irradiância solar e seu espectro, a temperatura a qual célula se encontra e o sombreamento.

No que concerne a irradiância, tem-se que seu aumento acarreta também um aumento linear da corrente elétrica, enquanto a tensão experimenta um aumento não linear, (PINHO, 2014). Assim, pode-se fazer uso de espelhos e lentes para se obter níveis de irradiância superiores aos normais. A corrente de curto-circuito de uma célula fotovoltaica pode ser relacionada com a irradiância que incide sobre a mesma a partir da seguinte equação.

$$I_{SC} = I_{SC_{STC}} \cdot \frac{G}{1000} \quad (4)$$

Sendo:

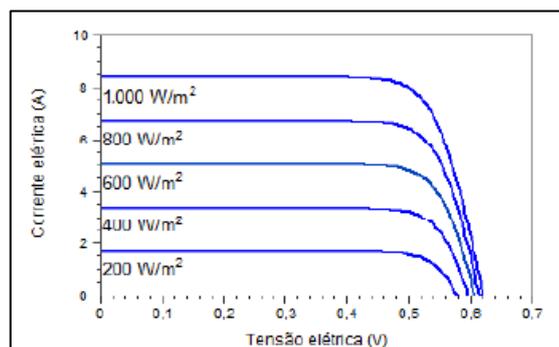
I_{SC} a corrente de curto-circuito;

$I_{SC_{STC}}$ a corrente de curto-circuito na STC (*Standart Test Conditions*);

G a irradiância incidente.

A Figura 9 ilustra o efeito das variações de irradiância na curva I-V para uma célula fotovoltaica operando a uma temperatura de 25°C.

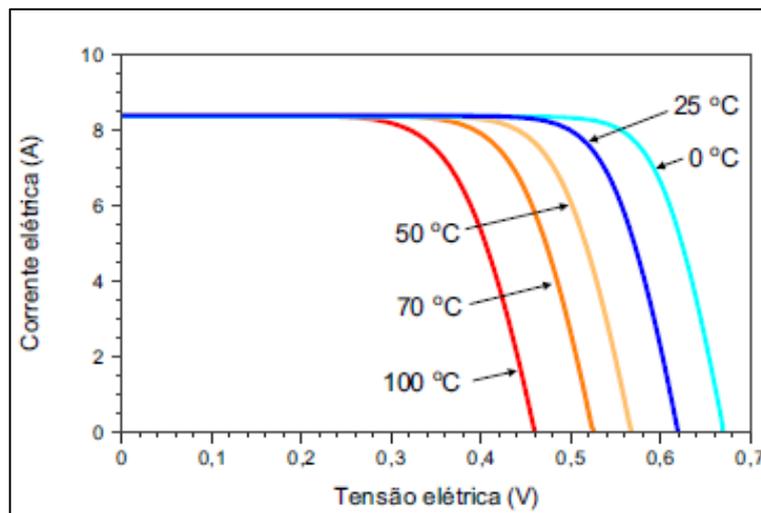
Figura 9 - Influência da variação de irradiância incidente



Fonte: (PINHO, 2014).

O aumento da temperatura possui influência direta na diminuição da tensão elétrica produzida pela célula, ocasionando um leve aumento de corrente da mesma. A Figura 10 ilustra a influência do aumento de temperatura em uma célula fotovoltaica operando com uma irradiância incidente de 1000 W/m².

Figura 10 - Influência da temperatura na curva I-V da célula fotovoltaica

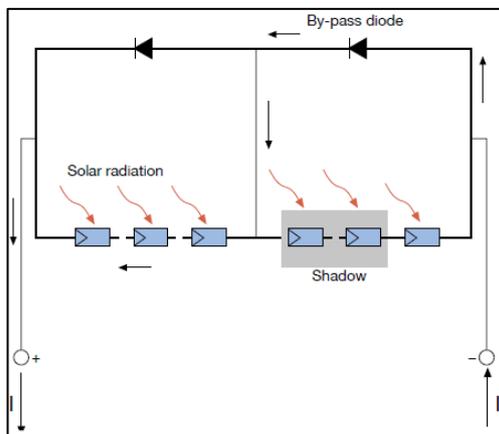


Fonte: PINHO, 2014.

O sombreamento parcial de um módulo fotovoltaico pode prejudicar tanto a eficiência quanto danificar o mesmo. Isso ocorre porque no caso de sombreamento, as células que estão sombreadas param de produzir energia e dessa forma comportam-se como cargas passivas (ABB, 2014.). As células que não produzem, bloqueiam a corrente de outras células conectadas em série. Isso acarreta no superaquecimento daquelas que estão bloqueando e em danos aos módulos.

Para evitar o efeito do sombreamento, são inseridos diodos de *by-pass* com o intuito de permitir a circulação de corrente produzida pelas células que não estão sombreadas. Esse método reduz o efeito de superaquecimento, contudo, a eficiência do módulo é reduzida pois o diodo de *by-pass* é inserido entre um conjunto de células em série. A Figura 11, mostra como é realizada a inserção de diodos de *by-pass* em módulos comerciais.

Figura 11 - Utilização de diodos de *by-pass* para redução dos efeitos do sombreamento.



Fonte: (ABB, 2014)

2.1.2 Inversores

Em sistemas de microgeração distribuída, são utilizados inversores de frequência para que seja feita a conversão da energia produzida pelos módulos fotovoltaicos de corrente contínua para corrente alternada. Diferentemente dos inversores utilizados em sistemas fotovoltaicos Off-Grid que funcionam como fonte de tensão, os inversores utilizados em sistemas On-Grid funcionam como fonte de corrente não fornecendo tensão para as cargas consumidoras (DOS SANTOS, 2016).

O dimensionamento do inversor de frequência é feito a partir da utilização do Fator de Dimensionamento do Inversor (FDI). Esse fator é utilizado nos sistemas fotovoltaicos por estes estarem sempre fornecendo uma potência variável em virtude dos diferentes níveis de radiação solar ao longo do dia. Assim, os sistemas fotovoltaicos têm uma potência gerada inferior à sua potência nominal, característica que possibilita subdimensionar o inversor de frequência sem que haja perda de eficiência do sistema como um todo (COSTA, 2010).

O FDI é a razão entre a potência máxima do inversor e a potência do sistema. Segundo Costa (2010), alguns especialistas defendem a possibilidade de dimensionar inversores para operar em uma faixa de 75% a 120% da potência nominal, mostrado na Equação (5).

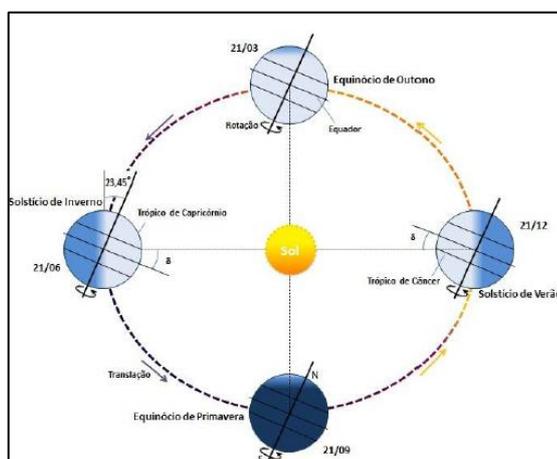
$$FDI = \frac{P_{sist}}{P_{inv}} \times 100\% \quad (5)$$

2.2 Posicionamento dos módulos fotovoltaicos

A eficiência dos painéis fotovoltaicos está diretamente relacionada ao ângulo de incidência dos raios solares em relação a superfície de captação. A eficiência máxima das células fotovoltaicas é obtida quando há uma incidência de raios solares de 90° em relação a superfície de captação.

Por ter um movimento de translação em torno do Sol como uma trajetória elíptica com uma pequena excentricidade, a Terra apresenta uma inclinação de aproximadamente $23,45^\circ$ em relação ao plano normal de sua órbita. Assim, o ângulo formado entre os raios solares e o plano do Equador varia de $+23,45^\circ$ próximo ao dia 21 de junho e $-23,45^\circ$ em 21 de dezembro, solstícios de verão e de inverno nos hemisférios Norte e Sul, respectivamente. Esse ângulo é zero durante os equinócios de primavera e outono, época do ano em que os raios solares se alinham com o plano do equador. Tal ângulo é chamado de declinação solar (δ) e o mesmo é positivo ao norte do equador e negativo ao sul. A Figura 12 representa a declinação solar ao longo dos quatro períodos do ano descritos.

Figura 12 - Ângulo de declinação solar durante solstícios e equinócios.



Fonte: (PINHO, 2014)

Dessa forma, considerando que no hemisfério norte a declinação é positiva e no hemisfério sul negativa, é possível determinar a trajetória do Sol para um determinado dia em uma localidade específica do planeta. Segundo Pinho (2014), a declinação da Terra pode ser calculada a partir da seguinte expressão:

$$\text{sen}(\delta) = -\text{sen}(23,45) \cdot \cos \left[\left(\frac{360}{365,25} \right) \cdot (n + 10) \right] \quad (6)$$

Sendo n o valor correspondente ao dia do ano que se deseja calcular a declinação. Variando de 1 no dia primeiro de janeiro a 365 no dia trinta e um de dezembro.

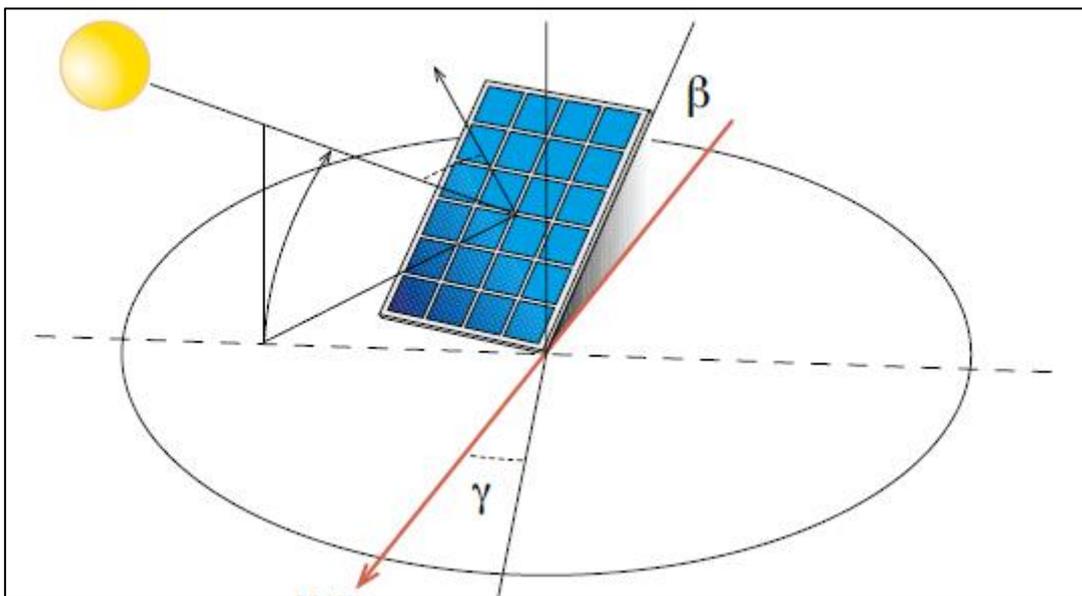
Para calcular a inclinação em que os painéis fotovoltaicos devem estar em relação ao plano, para um melhor aproveitamento dos raios solares incidentes na região em que serão instalados, é necessário que seja conhecida a altura máxima, em graus, que o Sol pode atingir durante o dia mais longo do ano. Para o cálculo da altura máxima, faz-se uso da seguinte equação.

$$\alpha = 90^\circ - \text{lat} - \delta \quad (7)$$

Onde lat é o valor da latitude em graus da região em que serão instalados os painéis, e δ o valor da declinação incidente ao meio dia no solstício de verão ou inverno, que são os dias mais longos do ano nos hemisférios Norte e Sul respectivamente. Depois de calculado o valor da altura máxima, o ângulo complementar de α é o ângulo de inclinação dos módulos em relação a superfície (β). Esse ângulo é denominado inclinação da superfície de captação.

É possível utilizar a Equação (7) para traçar o caminho que o Sol percorre ao longo de todo ano, e assim, obter uma radiação anual capturada maior do que a mensurada durante os solstícios. Para o maior aproveitamento da radiação incidente, deve-se posicionar os painéis orientados a partir do ângulo azimutal (γ), que é definido como o ângulo formado entre a projeção da normal à superfície no plano horizontal da superfície captadora e a direção Norte-Sul (PINHO, 2014). Valores positivos do ângulo azimutal indicam uma orientação a oeste, enquanto valores negativos indicam que os módulos devem estar voltados para o Leste. A Figura 13 ilustra um módulo fotovoltaico com os ângulos que foram descritos anteriormente.

Figura 13 - Orientação de um módulo fotovoltaico.



Fonte: (ABB, 2014)

2.3 Tipos de aplicações para sistemas fotovoltaicos conectados a rede

Os sistemas fotovoltaicos podem ser separados em dois grandes grupos: sistemas fotovoltaicos isolados e sistemas fotovoltaicos conectados à rede. Dentro desses dois grupos há uma série de aplicações possíveis, as quais variam de acordo com a disponibilidade energética e complexidade do sistema em si. Dentre as aplicações relacionadas a sistemas que possuem conexão direta com a rede pode-se destacar: Sistemas conectados micro e minigeração distribuída e Usinas fotovoltaicas.

2.3.1 – Sistemas conectados micro e minigeração distribuída

Os sistemas de micro e minigeração distribuída são sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também denominados sistemas *on-grid*. No Brasil esses sistemas são regulamentados pela Resolução Normativa da Aneel N°482/2012 e devem atender tanto ao Módulo 3 do PRODIST quanto as normas de acesso da concessionária local (PINHO, 2014).

Um sistema de microgeração distribuída é caracterizado por possuir uma central geradora de até 75 kW que utiliza fontes de energia renováveis para a geração. Os sistemas de

minigeração, possuem uma central geradora nos mesmos moldes do anterior, porém, com potência gerada superior a 75 kW e inferior ou igual a 1MW.

A vantagem da utilização desses sistemas no Brasil diz respeito a implantação dos sistemas *net-feed*, que se fundamenta na compensação da energia injetada na rede pelo sistema de micro ou minigeração do cliente, tendo o mesmo um abatimento na sua conta de energia equivalente a potência que fornece ao sistema elétrico o qual está conectado. Além disso, caso o cliente possua outras unidades consumidoras (UCs) na mesma titularidade e na mesma região de atendimento da concessionária, o abatimento na fatura de energia pode ser aplicado também nas demais UCs.

2.3.2 – Usinas fotovoltaicas

As usinas fotovoltaicas são unidades geradoras capazes de atingir potência gerada na ordem de MWp. A conexão dessas unidades é feita normalmente em média tensão.

De acordo com Pinho (2014), a utilização de usinas fotovoltaica tem sido uma opção viável em países que dependem da importação de combustíveis fósseis para geração de energia elétrica. Assim, a utilização de usinas fotovoltaicas é vista como uma forma de redução da emissão de gases poluentes ao mesmo tempo em que contribui para o suprimento da carência energética do país. A Figura 14 apresenta uma imagem da usina fotovoltaica de Tanquinho, localizada em São Paulo.

Figura 14 - Usina fotovoltaica de Tanquinho.



Fonte: (PINHO, 2014).

3. ESTUDO DE CASO

Neste capítulo será abordado um estudo de caso para instalação de uma unidade de microgeração de energia fotovoltaica conectada a rede elétrica para o prédio do Departamento de Ensino e Pesquisa da Santa Casa de Misericórdia de Sobral. Segundo ENEL (2016), unidade de microgeração é toda central geradora de energia elétrica com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica conectadas à rede de distribuição por meio de instalações em unidades consumidoras.

3.1 Características do Cliente

A Santa Casa de Misericórdia de Sobral é uma unidade consumidora com demanda contratada de 800 kW. A mesma participa da modalidade tarifária Horosazonal Verde, estando conectada à rede elétrica em média tensão (13,8kV). O ramal de entrada fica localizado na Rua José Maria Alverne, onde também está instalado o medidor da UC.

3.1.1 Cargas Instaladas

O Departamento de Ensino e Pesquisa (DEPE) faz parte do conjunto de cargas do hospital e tem seu funcionamento de segunda a sexta das 07h30 as 17h30, fazendo uso de poucas cargas fora do horário de funcionamento e finais de semana. O DEPE conta com uma carga instalada de 172,15 kW, sendo dividida em iluminação, tomadas e aparelhos condicionadores de ar. A Tabela 3 mostra a carga total instalada em cada área do DEPE. Os dados foram obtidos a partir de informações cedidas pelo hospital.

Tabela 3 - Carga instalada DEPE - continua

Área	Tipo de Carga	Quantidade	Potência Unitária (W)	Potência Total (kW)
Sala 1	Lâmpadas	24	20	0,48
	Condicionador de Ar	1	10260	10,26
	TUGs	2	100	0,20
Sala 2	Lâmpadas	24	20	0,48
	Condicionador de Ar	1	10260	10,20
	TUGs	2	100	0,20
Sala 3	Lâmpadas	24	20	0,48
	Condicionador de Ar	1	10260	10,26
	TUGs	2	100	0,20
Sala 4	Lâmpadas	24	20	0,48
	Condicionador de Ar	1	10260	10,26
	TUGs	2	100	0,20
Sala 5	TUGs	2	100	0,20
	Lâmpadas	24	40	0,96
	Condicionador de Ar	2	5272	10544
Corredor 1	Lâmpadas	34	20	0,68
Corredor 2	Lâmpadas	10	20	0,20
	TUGs	4	100	0,40
Banheiro 1	Lâmpadas	2	20	0,04
Banheiro 2	Lâmpadas	2	20	0,04
Banheiro 3	Lâmpadas	2	20	0,04
Banheiro 4	Lâmpadas	2	20	0,04
DML	Lâmpadas	2	20	0,04
Biblioteca	Lâmpadas	8	40	0,32
	TUGs	16	100	1,6
	Condicionador de Ar	1	8790	8,79
Multimídia	Lâmpadas	36	20	0,72
	TUGs	26	100	2,6
	Condicionador de Ar	1	17583	17,58
Recepção	Lâmpadas	1	20	0,02
	TUEs	4	100	0,40
	TUGs	1	1000	1
	Condicionador de Ar	1	1990	1,99
Diretoria	Lâmpadas	10	15	0,15
	Lâmpadas	8	20	0,16
	TUGs	3	100	0,30
	TUEs	1	600	0,60
	Condicionador de Ar	1	8790	8,79
Secretaria de Ensino	Lâmpadas	12	20	0,24
	TUEs	6	100	0,60
	Condicionador de Ar	1	3250	3,25

Tabela 3 - Carga instalada DEPE - conclusão

Coordenação	Lâmpadas	4	20	0,80
	TUEs	6	100	0,60
	TUGs	1	500	0,50
	Condicionador de Ar	1	2637	2,64
Sala Educação Permanente	Lâmpadas	4	20	0,08
	TUGs	3	100	0,30
	Condicionador de Ar	1	2637	2,64
Coord. De Ensino	Lâmpadas	4	20	0,08
	TUGs	2	100	0,20
	Condicionador de Ar	1	2637	2,64
Auditório	Lâmpadas	20	15	0,30
	Lâmpadas	14	20	0,28
	Condicionador de Ar	2	14059	28,12
	Condicionador de Ar	2	9372	18,74
	Caixas de Som	4	600	2,4
	TUGs	15	100	1,5
Control Media Desk	Lâmpadas	4	20	0,08
	TUEs	14	100	1,4
	Condicionador de Ar	1	2637	2,64
Copa	Lâmpadas	4	20	0,08
	TUGs	8	100	0,80
TOTAL (kW)				172,15

Fonte: Autor

3.1.2 Demanda do Departamento de Ensino e Pesquisa

Para fazer o levantamento do consumo do DEPE, foi instalado junto ao quadro de distribuição do local de estudo um analisador de energia ET-5060C da Minipa. O equipamento de medição permaneceu conectado ao quadro de distribuição durante uma semana para a obtenção de dados que fossem consistentes para a análise de consumo local. Nesse período, foram coletados dados referentes a frequência, potência ativa, potência reativa, fator de potência e energia ativa e reativa. A partir dos dados de energia ativa, estimou-se o valor de consumo de energia ao longo de um mês mediante a multiplicação da média do consumo de energia ativa por 4,28 (valor esse referente à quantidade de semanas contida em um mês de 30 dias).

$$E_{ativa_Mensal} = E_{ativa_semanal} \times 4,28 \quad (8)$$

Onde E_{ativa_Mensal} corresponde a quantidade de energia consumida ao longo do mês de medição e $E_{ativa_semanal}$ o consumo mensurado ao longo de uma semana. A medição foi realizada durante o mês de outubro e constatado um consumo médio de energia de 2212,14 kWh. A partir da Equação (8) tem-se que:

$$E_{ativa_Mensal} = 2212,14 \times 4,28 = 9470,55 \text{ kWh}$$

O valor obtido foi comparado ao valor de consumo total de energia elétrica do hospital durante o mês no qual as medições foram realizadas. Dessa forma, obteve-se a porcentagem de consumo do DEPE em relação ao consumo total da UC, correspondente a 2,82%.

Devido ao fato das atividades do DEPE serem similares às demais atividades do hospital, incluindo apenas o desenvolvimento de pesquisas, é possível considerar que a representatividade de consumo do departamento é constante ao longo do ano. Assim, com base na conta de energia do hospital, fornecida pela concessionária local, em que constam os dados de medição no período de junho de 2016 a março de 2017, foi levantado uma estimativa de consumo do DEPE para o período de um ano. Os valores obtidos para cada mês são mostrados na Tabela 4 que segue.

Tabela 4 - Consumo do DEPE no período de um ano

Mês	Consumo Hospital kWh	Consumo DEPE kWh
Junho – 2016	318457,00	8980,87
Julho – 2016	331966,00	9361,84
Agosto – 2016	316169,00	8916,34
Setembro – 2016	346217,00	9763,73
Outubro – 2016	335821,00	9470,55
Novembro – 2016	365002,00	10293,49
Dezembro – 2016	387520,00	10928,52
Janeiro – 2017	290095,00	8181,02
Fevereiro – 2017	315376,00	8893,98
Março – 2017	253858,00	7159,10
Abril – 2017	269088,00	7588,60
Mai – 20167	281242,00	7931,36

Fonte: Autor

3.2 Dimensionamento do Sistema

3.2.1 Potência do Sistema

Segundo dados do Atlas Solarimétrico do Ceará (FUNCEME, 2010), a incidência da radiação solar por metro quadrado ao longo do ano na região em que se localiza a Santa Casa de Misericórdia de Sobral varia de 170W/m² a 265W/m². No Anexo 1 são mostrados os mapas de radiação solar para cada mês do ano no estado do Ceará.

A Tabela 5 apresenta os valores de radiação incidentes no local de estudo referentes aos meses de janeiro a dezembro, que foram obtidos a partir da média de medições de 1963 a 2008. Os valores apresentados na Tabela 5, foram mensurados a partir de um software de detecção de cores para que fosse obtido o valor mais aproximado possível da escala.

Tabela 5 - Radiação média ao longo do ano para a região de interesse do projeto.

Mês	Radiação W/m ²
Janeiro	170
Fevereiro	170
Março	180
Abril	190
Mai	205
Junho	210
Julho	220
Agosto	240
Setembro	250
Outubro	265
Novembro	260
Dezembro	205

Fonte: Autor

Como mostrado na Tabela 5, a máxima radiação incidente na região do hospital é de 265W/m². Dessa forma, os módulos fotovoltaicos que serão utilizados para a central de microgeração devem possuir potência nominal de 260Wp, para atender de maneira eficiente os níveis de radiação durante todos os meses do ano.

Segundo o Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de S. Brito (CRESESB), a quantidade de horas de sol na região onde se localiza o hospital é de 5,63 horas. Desse modo, visando atender a maior parte do que é consumido pelo DEPE, serão utilizados

264 módulos fotovoltaicos, resultando assim numa potência máxima de 68,64 kWp. A partir dessa informação e dos dados mostrados na Tabela 5, é possível estimar a potência do sistema e a quantidade de energia gerada ao longo de um ano. A potência do sistema é obtida a partir Equação (9).

$$P_{sist} = N \times \omega \quad (9)$$

Em que:

N é a quantidade de módulos do sistema.

ω a radiação incidente na região em estudo.

P_{sist} é a potência do sistema.

A energia produzida pelo sistema é calculada a partir da Equação (10).

$$E_{sist} = P_{sist} \times 5,63 \quad (10)$$

Onde:

E_{sist} é a energia produzida.

P_{sist} a Potência do sistema

5,63 a quantidade de horas de sol a pico na região em que foi realizado esse estudo.

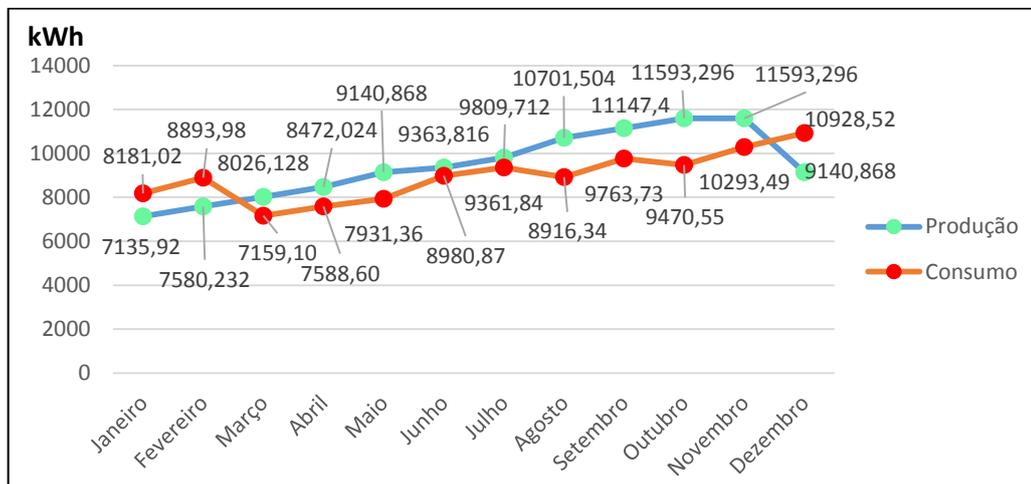
Tabela 6 - Potência gerada.

Mês	Radiação W/m ²	Horas de Sol a Pico Por dia	Potência do Sistema kW	Energia Gerada kWh
Janeiro	170	5,3	44,88	7135,92
Fevereiro	170	5,63	44,88	7580,232
Março	180	5,63	47,52	8026,128
Abril	190	5,63	50,16	8472,024
Maio	205	5,63	54,12	9140,868
Junho	210	5,63	55,44	9363,816
Julho	220	5,63	58,08	9809,712
Agosto	240	5,63	63,36	10701,504
Setembro	250	5,63	66	11147,4
Outubro	265	5,63	68,64	11593,296
Novembro	260	5,63	68,64	11593,296
Dezembro	205	5,63	54,12	9140,868

Fonte: Autor

A Figura 15 apresenta um gráfico comparativo entre energia produzida e consumida pelo DEPE ao longo do ano.

Figura 15 - Comparativo energia produzida x energia consumida.



Fonte: Autor.

Conforme se observa na Figura 15, a quantidade de energia produzida supera a energia consumida pelo DEPE durante quase todos os meses do ano. A demanda que não é atendida durante os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, poderá ser compensada pelo excedente produzido nos demais meses. Logo, não há necessidade de expansão do sistema para que o mesmo possa suprir o consumo dos meses mencionados, uma vez que isso resultaria em um investimento maior tanto na quantidade de módulos fotovoltaicos quanto em outros elementos do sistema.

3.2.2 Módulos

Os módulos fotovoltaicos utilizados são os de 260Wp fabricados pela Globo Brasil. Os mesmos possuem selo de eficiência categoria A do INMETRO e produzem em média 32,5kWh por mês. As demais características são apresentadas nas Tabelas 7, 8 e 9 que seguem.

Tabela 7 - Características físicas painéis Globo Brasil 260 – continua.

Célula	60 Células –Policristalina – 156x156mm
Tamanho	1640 x 990 x 40mm
Peso	19kg

Tabela 7 - Características físicas painéis Globo Brasil 260 – conclusão.

Vidro	3,2mm – Temperado –Baixo Teor de Ferro Prismático – Anti-Reflexo – Antisujidade
Moldura	Alumínio Anodizado Fosco
Caixa de Junção	Weidmuller – 3 Diodos – IP67
Cabos	TUV 4mm ² - 800mm
Conectores	Weidmuller – Compatível MC4
Filme de Proteção	Backsheets de alta durabilidade com filmes fluorados Kynar Film by ARKEMA

Fonte: (GLOBO BRASIL, 2016)

Tabela 8 - Características elétricas linha GBR@XXp nas STC.

Performance Elétrica	BR250p	BR255p	BR260p	BR265p
Potência Nominal Máxima (Pmax)	250W	255W	260W	265W
Tensão de Potência Máxima (Vmp)	30.0V	30.16V	30.24V	30.65V
Corrente de Máxima Potência (Imp)	8.35 A	8.46 A	8.60 A	8.65 A
Tensão de Circuito Aberto (Voc)	37,5V	37,56V	37,65V	37,90V
Corrente de Curto-Circuito (Isc)	8,92 A	9,07 A	9,11 A	9,15 A
Eficiência do Módulo	15,39 %	15,70 %	16,05 %	16,40 %
Temperatura de Operação	-40° a +85°			
Tensão Máxima do Sistema	1000 V DC (IEC)			
Corrente Máxima por Fusíveis em Série	20A			
Tolerância de Potência	0 ~+5W			
Produção Média Mensal de Energia	31,25 kWh	31,88 kWh	32,50 kWh	33,13 kWh
Código BNDES FINAME	3242940	3251157	3251263	3251270
Código MDA (Programa Mais Alimentos)	T17134301	T17134309	T17134317	T17134312

Fonte: (GLOBO BRASIL, 2016)

Tabela 9 - Influência da temperatura.

Coeficiente de Temperatura da P _{máx}	-0,43%/°C
Coeficiente de Temperatura da Voc	-0,34%/°C
Coeficiente de Temperatura da I _{sc}	0,065%/°C
Temperatura nominal de Funcionemnto da Célula (NOCT)	45°C

Fonte: (GLOBO BRASIL, 2016)

3.2.3 Inversores

O sistema fotovoltaico do DEPE, deverá apresentar uma potência de operação máxima de 68,64kWp, distribuída para os três inversores de frequência, em que cada inversor receberá 1/3 da potência máxima, ou seja, 22,88kW. Dessa maneira, fazendo uso de inversores de 20kW e da Equação (5), tem-se um FDI:

$$FDI = \frac{20}{22,8} \times 100\% = 87,72\%$$

Assim, com um FDI de 87,72%, inversores de 20kW encontram-se dentro da faixa de potência recomendada para o dimensionamento desses equipamentos. Os inversores a serem utilizados pertencem a marca PHB do modelo PHB20K-DT, projetados para trabalharem com conexões *On-Grid* e com as proteções necessárias para sistemas de microgeração distribuída, as quais serão apresentadas adiante. A Tabela 10 apresenta os principais dados fornecidos pelo fabricante referentes ao inversor escolhido.

Tabela 10 - Características inversor PHB20K-DT.

Faixa de Operação	260V ~850V
Tensão CC de Partida	250V
Corrente Máxima	30A
Potência Nominal	20kW
Saída Nominal	60Hz; 380/220 Vca
Faixa de Operação	57,5~62 Hz; 176~242 Vca
THD	<5%
Topologia	Sem Transformador
Monitoramento de corrente de fuga	Integrado
Proteção Anti-Ilhamento	AFD
Monitoramento de Rede	VDE-AR-N 4105, VDE 0126-1-1/A1, RD1699, G59/2, AS4777.2/.3
NBR	ABNT NBR 16149,16150 e ABNT NBR IEC 62116
Concessão	005808/2015

Fonte: (PHB,2016)

3.2.4 Instalação e Queda de Tensão

O sistema de microgeração para o prédio do Departamento de Ensino e Pesquisa terá uma potência instalada de 68,64 kWp. Para atender a esse potencial de geração serão utilizados três inversores de frequência, de forma que os painéis fotovoltaicos possam ser divididos em três grupos de 88 painéis cada. Os inversores operam em uma faixa de tensão CC de 260V a 850V e os painéis, quando operam em máxima potência, fornecem uma tensão máxima de 30,24V. Assim, cada grupo de módulos será composto por quatro conjuntos em paralelo de 22 painéis conectados em série, totalizando assim uma tensão em máxima potência de 665,28V por conjunto. A saída dos inversores será conectada a um quadro de proteção geral, no qual estão inseridos os elementos de proteção para baixa tensão. O quadro de proteção será conectado a um medidor, a ser definido pela concessionária, e parte deste último para ser conectado na rede elétrica de distribuição em baixa tensão 380V, conforme determina o subitem 6.2.2 da NT-NBR-010 que será abordado adiante.

Os módulos fotovoltaicos deverão ocupar dois grandes espaços da UC: o telhado do DEPE com área igual a 341,81 m² e do prédio vizinho ao DEPE (prédio Dom Walfrido) com uma área de 616,18 m². Para o primeiro espaço serão instalados 88 painéis, os quais estarão conectados ao inversor 1. Os demais 176 módulos, que compõem os grupos de painéis dos inversores 2 e 3, serão instalados no segundo espaço da UC, o telhado do prédio do Dom Walfrido. Os quatro conjuntos série de 22 painéis estarão conectados em paralelo por meio de caixas de proteção, devendo-se utilizar uma caixa de proteção para cada grupo de painéis. As mesmas têm como funcionalidade a proteção do sistema, pois realiza o seccionamento sob carga e permite o isolamento elétrico do restante da instalação para uma manutenção segura.

O diagrama unifilar do sistema de microgeração e a planta de situação do mesmo podem ser verificadas nos apêndices B e C respectivamente. A partir da orientação geográfica dos painéis em relação ao norte geográfico, como é ilustrado no apêndice C é possível medir um ângulo azimutal de 10,1 graus. Com esse valor para o ângulo azimutal do sistema e com o valor de latitude na região onde se localiza o hospital, correspondente a -3,22°, obtida a partir das coordenadas geográficas do Google Earth, a altura solar a qual os painéis estarão expostos pode ser calculada a partir da Equação (7).

$$\alpha = 90^\circ - (-3,22^\circ) - 10,1^\circ = 83,2^\circ$$

A inclinação dos painéis é obtida quando se subtrai 90° da altura solar, sendo, portanto 6,88°. Os inversores de frequência serão instalados em uma sala de dimensões 6mx4m (vide Apêndice C), a ser construída próxima ao setor de incineração da Santa Casa. O local foi escolhido em virtude da proximidade ao ponto de medição.

O dimensionamento dos condutores do sistema é feito mediante os critérios de queda de tensão e capacidade de condução de corrente, sendo adotado o pior caso, ou seja, a maior seção obtida para os condutores.

Pelo método de queda de tensão os condutores são dimensionados a partir da Equação (11):

$$S_c = \frac{X \cdot \rho \cdot \sum l * i}{\Delta V \% \cdot V_{FN}} \quad (11)$$

em que:

S_c - seção do condutor;

X - 173,2 se o inversor for trifásico e 200 se monofásico;

ρ - resistividade do material;

$\Delta V\%$: variação máxima em percentual;

l - comprimento do condutor;

i - corrente máxima;

V_{FN} - tensão na rede monofásica.

O método da capacidade de condução de corrente baseia-se na corrente máxima que circulará pelo condutor e a forma como o mesmo será instalado instalação segundo os critérios da NBR-5410. A partir desses dados e da Tabela 37 da NBR-5410 do Anexo 2, são dimensionados os condutores.

- Dimensionamento dos condutores que conectam os painéis as caixas de proteção

Para o cálculo da seção dos condutores pelo critério da queda de tensão, será tomado como base o conjunto mais distante dos módulos até os elementos de proteção, que corresponde ao conjunto 4 do elemento de proteção 3, sendo a distância do conjunto até o elemento de proteção correspondente a 27,4m. Tem-se que, o conjunto de 22 painéis série tem uma corrente de máxima potência equivalente a 8,6A, uma tensão de máxima potência de 665,8V, resistividade do material de $0,01785\Omega$ e, admitindo uma queda de tensão de 3%, a seção dos condutores que conectam os painéis as caixas de proteção, obtida por meio da aplicação da Equação (11), será:

$$S_c = \frac{173 * 0,01785 * 8,6 * 27,4}{3 * 665,28} = 0,35$$

Dessa forma, considerando o método em questão, condutores de $0,5\text{mm}^2$ seriam suficientes para conectar os painéis as caixas de proteções.

Optou-se pela utilização de cabos multipolares instalados em eletrodutos sobre a parede que, segundo a NBR-5410, corresponde ao método de instalação B2. Desse modo,

considerando que a corrente de máxima potência dos módulos é igual a 8,6A, e que o número de condutores carregados nos circuitos são dois, tem-se pela Tabela 37 da NBR-5410, a recomendação de condutores com seção transversal de 0,5mm².

Mesmo obtendo, para os dois métodos aplicados, uma seção de 0,5mm², serão utilizados condutores de 2,5mm², que correspondem a seção mínima a ser adota para a situação de estudo.

- Dimensionamento dos condutores que conectam os caixas de proteção aos inversores de frequência.

De forma equivalente ao caso anterior, optou-se por utilizar cabos multipolares instalados em eletrodutos sobre a parede, método de instalação B2. No trecho entre caixa de proteção e inversores, a corrente de máxima potência é 30,24A, oriunda da conexão em paralelo dos quatro conjuntos de módulos, a tensão de máxima potência é igual a 665,28V.

Pelo método de queda de tensão, considerando para a realização do cálculo a caixa de proteção conectada no grupo de painéis mais distante da sala dos inversores, ou seja, a caixa 1, a seção dos condutores será:

$$S_c = \frac{200 * 0,01785 * 32,24 * 130,7}{3 * 665,28} = 7,54$$

Com base no valor obtido, pelo critério da queda de tensão devem ser empregados condutores com seção de 10mm².

Pelo critério de capacidade de condução de corrente, nas condições de instalação especificadas, consultando a Tabela 37 no anexo 2, verifica-se que devem ser utilizados condutores 4mm².

Pelo resultado obtido com a aplicação dos dois métodos, deve-se utilizar, para o trecho em questão, condutores com seção de 10mm².

- Dimensionamento dos condutores que conectam os inversores ao medidor

A conexão dos inversores até o conjunto de medição será feita a partir de cabos de cobre isolados com PVC em canaleta fechada, correspondendo assim ao método de instalação B2, conforme a NBR-5410. Os inversores apresentam na saída, uma tensão nominal de 380V,

com corrente máxima de 104,3A. A distância entre o inversor 1 até o sistema de medição corresponde a 40m. Dessa forma, aplicando o critério de queda de tensão, tem-se:

$$S_c = \frac{173 * 0,01785 * 104,3 * 40}{3 * 380} = 5,65$$

Logo, devem ser utilizados condutores de 6mm².

Aplicando o critério da capacidade de condução de corrente para três condutores carregados nos circuitos analisados, verifica-se que condutores com seção de 25mm² atendem ao valor de corrente que circulará no trecho pretendido. Entretanto, esse valor de corrente é muito próximo ao limite da capacidade de condução dos condutores com a seção encontrada (25mm²), portanto, como critério de projeto, serão adotados condutores de 35mm². Do medidor à rede da Enel, serão utilizados cabos de mesma seção transversal.

Logo, a conexão será feita através de cabos de cobre com seção de 35mm² para a fase e 25mm² para o neutro. Neste caso, como a seção dos condutores de fase é maior do que 35mm², podem ser utilizados condutores de neutro com seção menor, conforme mostra a Tabela 48 da NBR-5410 contida no Apêndice E.

3.2.5 Proteção

Conforme define a NT-010, o sistema de proteção aplicado a sistemas de microgeração distribuída deve contemplar os seguintes itens:

- Elemento de desconexão: esse item deveria ser obrigatório, contudo, como a conexão à rede é feita por meio de inversores de frequência, não há necessidade da utilização do mesmo, conforme consta no subitem 10.1.4 da NT-010;
- Elemento de interrupção;
- Proteção de sub e sobretensão;
- Proteção de sub e sobrefrequência;
- Relé de proteção;
- Sistema anti-ilhamento.

Os elementos de proteção apresentados podem estar inseridos nos inversores de frequência, de modo que sua utilização em separado se torna redundante e desnecessária em sistemas de microgeração, conforme aponta o item 10.1.6 da NT-010.

Ademais, os inversores utilizados em projetos de microgeração distribuída devem apresentar certificação de ensaio e de aprovação, conforme estabelecem as normas brasileiras e internacionais, sendo importante também que os mesmos apresentem número da concessão do INMETRO. Este último item pode ser verificado na Tabela 10 para os inversores adotados para compor o sistema de microgeração do DEPE.

O inversor utilizado engloba as proteções de sub e sobretensão, sub e sobrefrequência, além de contemplar também um sistema anti-ilhamento. Um disjuntor termomagnético será utilizado depois do ponto de conexão e antes dos inversores, para garantir o isolamento total do sistema de microgeração. Devido a corrente nominal de 104,3A entregue pelos inversores, o disjuntor termomagnético a ser utilizado deverá apresentar corrente nominal de 125 A e capacidade de interrupção de 5 kA.

Para a proteção contra descargas atmosféricas será instalado um Dispositivo Contra Surtos (DPS) trifásico nos condutores CC, que são conectados aos inversores de frequência. Visando proteger também os demais componentes do sistema fotovoltaico contra surtos de tensão oriundos de descargas atmosféricas, DPS serão instalados nos condutores de fase e neutro da rede CA, que são ligados aos inversores.

O sistema de aterramento da sala de inversores consistirá na interligação das massas metálicas não condutoras de energia e do cabo de terra a malha de aterramento. Essa malha será composta por 6 (seis) haste tipo copperweld 5/8" x 3,0m, dispostos em formato retangular distando uma da outra de 3m, ligadas com cabo de cobre nu 35 mm² enterrado no solo, valer ressaltar que a resistência máxima da malha de aterramento em qualquer época do ano não deverá ser superior a 10 ohms. Todas as proteções para o sistema podem ser verificadas no Apêndice B, o qual mostra o diagrama unifilar da instalação.

3.3 Instalação e forma de conexão

3.3.1 Medidor e Forma de Conexão

Conforme a NT-010, para sistemas de microgeração distribuída, a Ampla/ENEL é responsável por adquirir e instalar o sistema de medição, bem como operação e manutenção, incluindo os custos de eventual substituição, sem custos para o acessante (ENEL, 2016). Dessa forma, o medidor a ser instalado será definido pela concessionária de energia local, sendo fator determinante para escolha do mesmo o menor custo do sistema de medição, seja a utilização de um medidor bidirecional ou um sistema com dois medidores unidirecionais.

Será realizada uma conexão em baixa tensão 380V, conforme o item 6.2.2 da NT-10-R1, o qual determina que a forma de conexão deve ser definida a partir da potência disponibilizada para a unidade consumidora e da característica dos equipamentos elétricos existentes. A forma de conexão é apresentada resumidamente na Tabela 11, extraída a partir da Tabela 2b da referida norma.

Tabela 11 - Formas de conexão.

Potência Instalada (kW)	Carga Instalada (kW)	Tensão Nominal (V)	Sistema Elétrico
≤ 10	≤ 10	220	Baixa Tensão (monofásico)
> 10 e ≤ 20	≤ 20	380	Baixa Tensão (bifásico)
> 20 e ≤ 75	> 20 e ≤ 75	380	Baixa Tensão (trifásico)
> 75 e ≤ 5000	> 75 e ≤ 5000	13800	Média Tensão

NOTA 1: De acordo com a Resolução Aneel nº414, a potência máxima para este nível de tensão é de 2500 W, porém em condições técnicas específicas esta potência pode ser de 5000 W

Fonte: (ENEL, 2016)

O padrão de entrada a ser utilizado na unidade consumidora está em conformidade com subitem 010.2 da NT -010 e é mostrado no Apêndice A.

3.3.2 Requisitos para instalação do sistema fotovoltaico

Para que seja feita a solicitação de acesso a rede de distribuição em sistemas de microgeração com potência superior a 10 kW deve-se enviar os seguintes documentos para a concessionária de energia, conforme o subitem 7.2.2 da NT-010 (2016):

- a) Solicitação de acesso para microgeração distribuída com potência superior a 10kW;
- b) ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração;
- c) Diagrama unifilar contemplando Geração / Proteção (inversor, se for o caso) / Medição e memorial descritivo da instalação;
- d) Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro da concessão do Inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede; Para o caso de sistemas que se conectam à rede por meio de inversores, o acessante deve apresentar certificados atestando que os inversores foram ensaiados e aprovados conforme normas técnicas brasileiras ou normas internacionais, ou o número de registro da concessão do Inmetro para o modelo e a tensão nominal de conexão constantes na solicitação de acesso, de forma a atender aos requisitos de segurança e qualidade estabelecidos na seção 3.7 do Prodist Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição;

O formulário de solicitação de acesso citado no item “a” está disposto no Apêndice D. Após a entrega da solicitação de acesso, será então gerado o parecer de acesso, documento emitido pela concessionária que contempla as seguintes alíneas, conforme subitem 7.3.2 da NT-01:

- a) As características do ponto de entrega, com a apresentação das alternativas de conexão, que foram avaliadas pela Ampla/Coelce, acompanhadas das estimativas dos respectivos custos, conclusões e justificativas. O ponto de conexão do acessante com microgeração ou minigeração distribuída é o ponto de entrega da unidade consumidora;
- b) As características do sistema de distribuição da Ampla/Coelce, incluindo requisitos técnicos, como tensão nominal de conexão, além dos padrões de desempenho;
- c) Os cálculos relativos a participação financeira do consumidor (se houver);
- d) A relação de obras de responsabilidade da Ampla/Coelce, com correspondente cronograma de implantação;

- e) As informações gerais relacionadas ao local de ligação, como tipo de terreno, faixa de passagem, características mecânicas das instalações, sistemas de proteção, controle e telecomunicações disponíveis;
- f) O modelo do acordo operativo ou de relacionamento operacional para participantes do sistema de compensação de energia;
- g) As responsabilidades do acessante;
- h) Eventuais informações sobre equipamentos ou cargas susceptíveis de provocar distúrbios ou danos no sistema de distribuição da Ampla/Coelce ou nas instalações de outros acessantes.

Ainda com relação ao subitem 7.2.2 da NT-010, o mesmo aponta que o parecer da concessionária pode ser anulado pela mesma se na etapa de vistoria forem encontradas diferenças entre os dados declarados em relação aos executados na obra. A Tabela 12 mostra os períodos para que seja efetivada a conexão de um sistema de microgeração distribuída à rede da ENEL.

Tabela 12 - Prazos para efetivação da conexão.

Etapas	Tipo de geração			
	Microgeração sem obra (dias)	Minigeração sem obra (dias)	Microgeração com obra (dias)	Minigeração com obra (dias)
Emitir Parecer	15	30	30	60
Solicitar Vistoria	120			
Realizar vistoria	7			
Entregar relatório de vistoria	5			
Aprovação do ponto de conexão	7			

Fonte: (ENEL, 2016).

A partir do levantamento de dados realizado no DEPE e do dimensionamento do sistema descrito no decorrer deste capítulo, o projeto de microgeração fotovoltaica foi elaborado

visando atender ao consumo do DEPE e, dessa maneira, reduzir os custos com energia consumida e demanda contratada.

3.4 Análise Financeira

O levantamento de custos do projeto foi realizado com base em preços de mercado e na quantidade de painéis e inversores dimensionados para o sistema em questão. O orçamento do projeto engloba valores referentes aos seguintes itens: módulos fotovoltaicos, inversores de frequência, serviços, estruturas e materiais.

Com relação aos 3 últimos itens mencionados, suas despesas são estimadas com base no valor da soma dos três primeiros itens. Desta forma, foi considerado um valor de 20% desse somatório a serem gastos com serviços, o que inclui projeto e instalação dos módulos. Também foi estimado um valor de 10% do total a serem investidos em estruturas e materiais, o que abrange estruturas de sustentação, cabos, proteções e calhas. A Tabela 13 apresenta o investimento necessário para a implantação do sistema fotovoltaico no DEPE.

Tabela 13 - Investimento no sistema.

Material	Quantidade	Preço Unitário	Preço Total
Módulos Fotovoltaicos	264	R\$ 850,00	R\$ 224.400,00
Inversor de Frequência	3	R\$ 28.500,00	R\$ 85.500,00
Serviços	-	-	R\$ 61.980,00
Estruturas e materiais	-	-	R\$ 30.990,00
Investimento Total	-	-	R\$ 402.870,00

Fonte: Autor.

O retorno financeiro do sistema de microgeração foi calculado a partir da produção do sistema e redução da demanda contratada do hospital. Os ganhos com a produção são calculados a partir da multiplicação da energia produzida pela tarifa que o hospital paga no horário fora da ponta, correspondente a R\$ 0,36. Os ganhos com a redução de demanda são calculados a partir da produção do sistema multiplicado pela tarifa do kW disponível, que equivale a R\$ 16,16. No cálculo de retorno foram inclusos também os custos de manutenção e perda de eficiência do

sistema, os valores considerados foram de 1% ao ano dos custos totais para a manutenção e 1% ao ano de perda de eficiência.

Na Tabela 14, é mostrado o retorno de investimento do projeto sem levar em conta o aumento da tarifa de energia no período de vinte anos. Por meio da mesma é possível perceber que o sistema de microgeração passará a dar retorno positivo nove anos após a implantação do projeto.

Tabela 14 - Retorno financeiro do projeto, sem o aumento de tarifa.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	113,7	675,84	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 52.299,98	R\$ 4.028,70	R\$ 402.870,00	-R\$ 354.598,72
2	0,99	112,6	669,0816	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 51.776,98	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 306.850,43
3	0,98	111,4	662,3232	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 51.253,98	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 259.625,15
4	0,97	110,3	655,5648	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 50.730,98	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 212.922,86
5	0,96	109,2	648,8064	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 50.207,98	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 166.743,58
6	0,95	108,0	642,048	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 49.684,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 121.087,29
7	0,94	106,9	635,2896	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 49.161,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 75.954,01
8	0,93	105,7	628,5312	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 48.638,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 31.343,72
9	0,92	104,6	621,7728	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 48.115,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 12.743,56
10	0,91	103,5	615,0144	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 47.592,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 56.307,85
11	0,9	102,3	608,256	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 47.069,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 99.349,14
12	0,89	101,2	601,4976	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 46.546,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 141.867,42
13	0,88	100,1	594,7392	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 46.023,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 183.862,71
14	0,87	98,9	587,9808	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 45.500,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 225.334,99
15	0,86	97,8	581,2224	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 44.977,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 266.284,28
16	0,85	96,6	574,464	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 44.454,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 306.710,57
17	0,84	95,5	567,7056	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 43.931,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 346.613,85
18	0,83	94,4	560,9472	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 43.408,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 385.994,14
19	0,82	93,2	554,1888	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 42.885,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 424.851,43
20	0,81	92,1	547,4304	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 42.362,99	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 463.185,71

A: Mês; B: Degradação do Sistema; C: Energia gerada MWh; D: Demanda Gerada; E: Tarifa de demanda /kW

F: Tarifa de Consumo /kWh; G: Economia; H: Custos com manutenção; I: Parcela; J: Saldo

Considerando uma vida útil dos módulos de vinte anos, o sistema ainda gerará energia de maneira eficiente por mais onze anos e gerando um retorno financeiro ao final de sua vida útil de R\$ 463.185,71.

Na situação em que não é considerado o aumento de tarifa e utilizando uma taxa de desconto igual a 10%, tem-se ao final de vinte anos um valor presente líquido (VPL) de R\$ 13.411,44 e a taxa interna de retorno (TIR) de 11% nesse cenário.

Em outra situação, considerou-se o aumento anual de 1% da tarifa de energia e as mesmas condições para a perda de produtividade do sistema fotovoltaico adotadas na situação anterior. Na Tabela 15, também é mostrado o retorno financeiro para esse segundo cenário.

Tabela 15 - Retorno do investimento com aumento de tarifa.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	1	113,7	665,6	R\$ 16,16	R\$ 0,36	R\$ 52.134,51	R\$ 4.028,70	R\$ 402.870,00	-R\$ 354.764,19
2	0,99	112,6	658,944	R\$ 16,32	R\$ 0,37	R\$ 52.129,29	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 306.663,60
3	0,98	111,4	652,288	R\$ 16,48	R\$ 0,37	R\$ 52.118,76	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 258.573,54
4	0,97	110,3	645,632	R\$ 16,65	R\$ 0,37	R\$ 52.102,81	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 210.499,43
5	0,96	109,2	638,976	R\$ 16,82	R\$ 0,38	R\$ 52.081,32	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 162.446,81
6	0,95	108,0	632,32	R\$ 16,98	R\$ 0,38	R\$ 52.054,20	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 114.421,32
7	0,94	106,9	625,664	R\$ 17,15	R\$ 0,39	R\$ 52.021,32	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 66.428,70
8	0,93	105,7	619,008	R\$ 17,33	R\$ 0,39	R\$ 51.982,58	R\$ 4.028,70	R\$ -	-R\$ 18.474,82
9	0,92	104,6	612,352	R\$ 17,50	R\$ 0,39	R\$ 51.937,86	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 29.434,34
10	0,91	103,5	605,696	R\$ 17,67	R\$ 0,40	R\$ 51.887,05	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 77.292,70
11	0,9	102,3	599,04	R\$ 17,85	R\$ 0,40	R\$ 51.830,04	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 125.094,03
12	0,89	101,2	592,384	R\$ 18,03	R\$ 0,41	R\$ 51.766,69	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 172.832,02
13	0,88	100,1	585,728	R\$ 18,21	R\$ 0,41	R\$ 51.696,89	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 220.500,21
14	0,87	98,9	579,072	R\$ 18,39	R\$ 0,41	R\$ 51.620,52	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 268.092,03
15	0,86	97,8	572,416	R\$ 18,58	R\$ 0,42	R\$ 51.537,45	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 315.600,78
16	0,85	96,6	565,76	R\$ 18,76	R\$ 0,42	R\$ 51.447,56	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 363.019,65
17	0,84	95,5	559,104	R\$ 18,95	R\$ 0,43	R\$ 51.350,72	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 410.341,66
18	0,83	94,4	552,448	R\$ 19,14	R\$ 0,43	R\$ 51.246,79	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 457.559,76
19	0,82	93,2	545,792	R\$ 19,33	R\$ 0,44	R\$ 51.135,66	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 504.666,72
20	0,81	92,1	539,136	R\$ 19,52	R\$ 0,44	R\$ 51.017,17	R\$ 4.028,70	R\$ -	R\$ 551.655,19

A: Mês; B: Degradação do Sistema; C: Energia gerada MWh; D: Demanda Gerada; E: Tarifa de demanda /kW
F: Tarifa de Consumo /kWh; G: Economia; H: Custos com manutenção; I: Parcela; J: Saldo

Nesse segundo cenário, ao final de vinte anos, será feita uma economia total de R\$ 551.665,19 reais, o que mostra a eficiência da utilização de módulos fotovoltaicos para atender ao Departamento de Ensino e Pesquisa. Considerando uma taxa de desconto igual a 10%, tem-se ao final de 20 anos um VPL de R\$ 33.195,95 e uma TIR de 11%.

Os valores encontrados referentes ao investimento no sistema fotovoltaico, quando comparados a outras formas de investimento, tal como a poupança que rende 6% a.a, é

constatado que outras formas de investimento se mostram mais atrativas financeiramente, como pode ser verificado na Tabela 16.

Tabela 16 - Comparativo com outras formas de investimento.

Investimento	Retorno
Poupança	R\$ 902.294,64
Retorno com Aumento de Tarifa	R\$ 551.665,19
Retorno sem Aumento de Tarifa	R\$ 463.185,71

Fonte: Autor

Mesmo diante do quadro apresentado na Tabela 16, o retorno do investimento em módulos fotovoltaicos ainda pode ser considerado viável, pois esse tipo de investimento tem um ganho conceitual ao que se refere a investimentos em novas tecnologias e produção limpa de energia. As constantes mudanças de bandeira tarifária não excluem um cenário em que o aumento de tarifas ao longo do tempo seja maior que o apresentado, visto que a utilização de bandeiras tarifárias mostra que pode haver uma crise relacionada a produção de energia hidroelétrica e por consequência, aumento nas tarifas de energia.

Vale ressaltar que, pela capacidade de produção do sistema e por se tratar de uma instituição pública, ainda é possível receber incentivos e descontos de fornecedores a fim de reduzir os custos com o projeto.

4. CONCLUSÃO

Para o DEPE, foi constatado que o investimento trará um retorno considerável ao longo do período de vida útil dos módulos. Além disso, após o período de vinte anos, os módulos ainda estarão fornecendo 80% da energia que podem fornecer em seu estado inicial. Logo, a substituição dos módulos poderá ocorrer de maneira gradativa, fazendo com que o reinvestimento seja menor, pois toda a parte estrutural do projeto estará montada.

No melhor cenário possível para a implementação do sistema fotovoltaico, o retorno do investimento se dará em nove anos, o que não o torna atrativo do ponto de vista financeiro,

uma vez que há um maior retorno financeiro em outros investimentos. Deve-se, entretanto, levar em consideração que, para uma instituição como a Santa Casa de Misericórdia, fazer um investimento em fontes alternativas de energia poderá atrair investidores e assim, resultar em um financiamento do projeto ou da expansão dos mesmos.

Diante das circunstâncias apresentadas é possível afirmar que ainda é necessário realizar pesquisas referentes aos descontos e incentivos possíveis de se obter com fornecedores, de forma a alcançar maior redução dos custos do projeto e conseqüentemente aumento dos ganhos com o mesmo. Entretanto, este estudo prova que, mesmo sem incentivos de investidores ou fornecedores, o retorno do investimento pode ser considerado atrativo.

5. TRABALHOS FUTUROS

Após a validação do sistema fotovoltaico do DEPE, será feita a análise de investimento para que seja utilizada energia fotovoltaica em outras áreas do hospital, potencializando assim a economia do hospital com energia elétrica. O aumento do sistema fará com que o mesmo passe a ser uma miniunidade geradora, dessa forma, futuramente haverá a necessidade de redimensionamento de alguns elementos que compõe o atual sistema, para que o mesmo possa passar a fazer parte dessa nova categoria.

Além de ter um impacto significativo na conta de energia do hospital, a instalação do sistema fotovoltaico proposto poderá trazer ganhos significativos no que trata da área acadêmica. Será possível por meio do convênio que hospital tem com a universidade, desenvolver projetos de pesquisas com o objetivo de melhorar a eficiência dos módulos fotovoltaicos.

Será possível por meio desse convênio aplicar projetos de pesquisa que antes tinham como método de validação apenas simulações, como o caso de alguns projetos de desenvolvimento de técnicas para o rastreamento do ponto de máxima potência.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro, 2004.

ABB. **Technical Applications Papers N° 10 Photovoltaic Plants**. Bergamo, 2014.

CRESESB. **Sundata: base de dados de irradiação solar incidente**. 2017. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata&>>. Acesso em: 29 out. 2017.

DOS SANTOS, J. O. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados À Rede Elétrica: Um Estudo De Caso**. Trabalho de Conclusão de Curso. – Universidade Federal do Ceará, Sobral, 2016.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA (EPE). **Nota Técnica DEA 19/14 – Inserção da Geração Fotovoltaica Distribuída no Brasil – Condicionantes e Impactos**. Rio de Janeiro, outubro/2014.

ENEL. **NORMA TÉCNICA NT-Br 010/2016 R-01. Conexão de Micro e Minigeração Distribuída ao Sistema da Ampla/Coelce**. Fortaleza.2016

ENEL. **NORMA TÉCNICA NT-Br 001/2012 R-05. Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição**. Fortaleza, 2012

FUNCEME. **Atlas Solarimétrico do Ceará 1963 – 2008**. Fortaleza. 2010.

GLOBO BRASIL. **Módulo Fotovoltaico de Silício Policristalino**. Disponível em <<http://www.paineisglobo.com.br/paineis-solares/gbr260p>>. Acesso em: 03 nov 2017.

GOLDEMBERG, JOSÉ; LUCON, OSWALDO. **Energias renováveis: um futuro sustentável**. Revista USP, n. 72, p. 6-15, 2007.

LOUWEN, Atse et al. **Re-assessment of net energy production and greenhouse gas emissions avoidance after 40 years of photovoltaics development**. Nature communications, v. 7, p. 13728, 2016.

MACHADO, CAROLINA T.; MIRANDA, FABIO S. **Energia Solar Fotovoltaica: uma breve revisão**. Revista Virtual de Química, v. 7, n. 1, p. 126-143, 2014.

NASCIMENTO, RODRIGO LIMP. **Energia Solar no Brasil: situação e perspectivas**. 2017.

PHB. **Inversor Solar Fotovoltaico Certificado pelo INMETRO**. Disponível em:<<http://www.phb.com.br/PDFs/Produtos/Solar/Inversores/InversoresTrifasicosPHB.pdf>>. Acesso em: 19 out 2017.

PINHO, J. T; GALDINO, M. A. **Manual de Engenharia Para Sistemas Fotovoltaicos**. CEPEL-CRESESB. Rio de Janeiro. 2014.

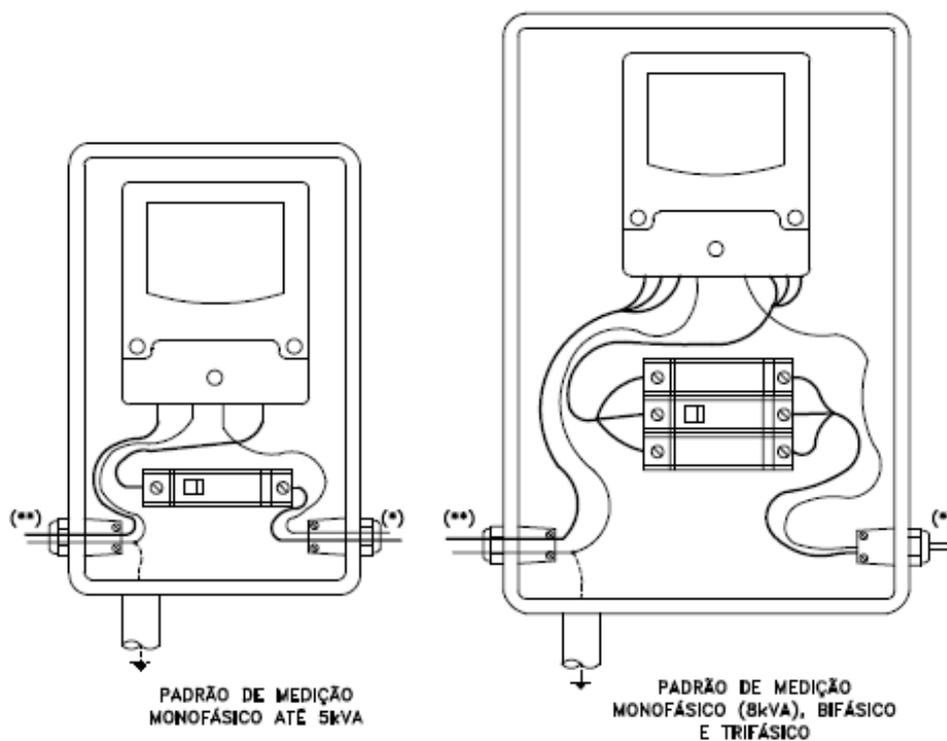
SCHOFFEL, E. R. **Radiação Solar**. Disponível em:< http://www.etcbest.com.br/janeladofructicultor/artigos/download/04_TXT_RAD_SOL_COMPILA_ROMERA_2010/RADSOL.pdf>. Acesso em: 19 out 2017.

SILVA, R. M. **Energia Solar: dos incentivos aos desafios**. Texto para discussão nº 166. Brasília. Senado Federal, 2015

TRENBERTH, Kevin E.; FASULLO, John T.; KIEHL, Jeffrey. **Earth's global energy budget**. Bulletin of the American Meteorological Society, v. 90, n. 3, p. 311-323, 2009.

VALLÊRA, ANTÔNIO M.; BRITO, MIGUEL CENTENO. **Meio século de história fotovoltaica**. Gazeta da física, v. 29, n. 1, p. 10-15, 2006.

APÊNDICE A: PADRAO MEDIÇÃO DE TENSÃO TRIFÁSICA



LEGENDA:

— FASE

— NEUTRO

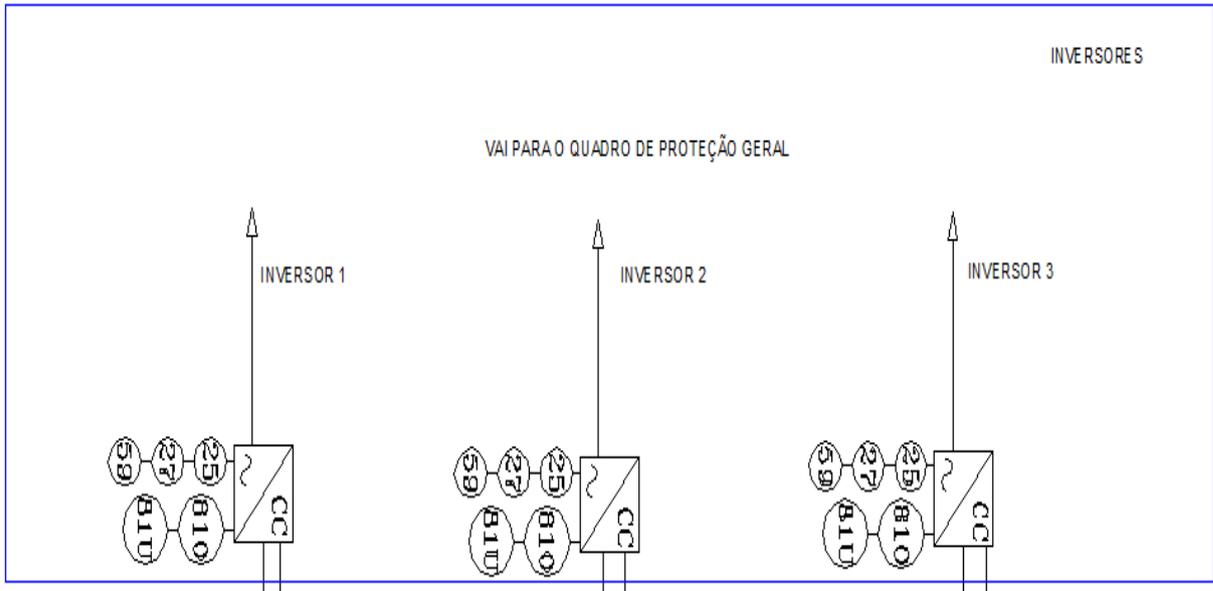
---- TERRA

(*) VAI PARA UNIDADE CONSUMIDORA

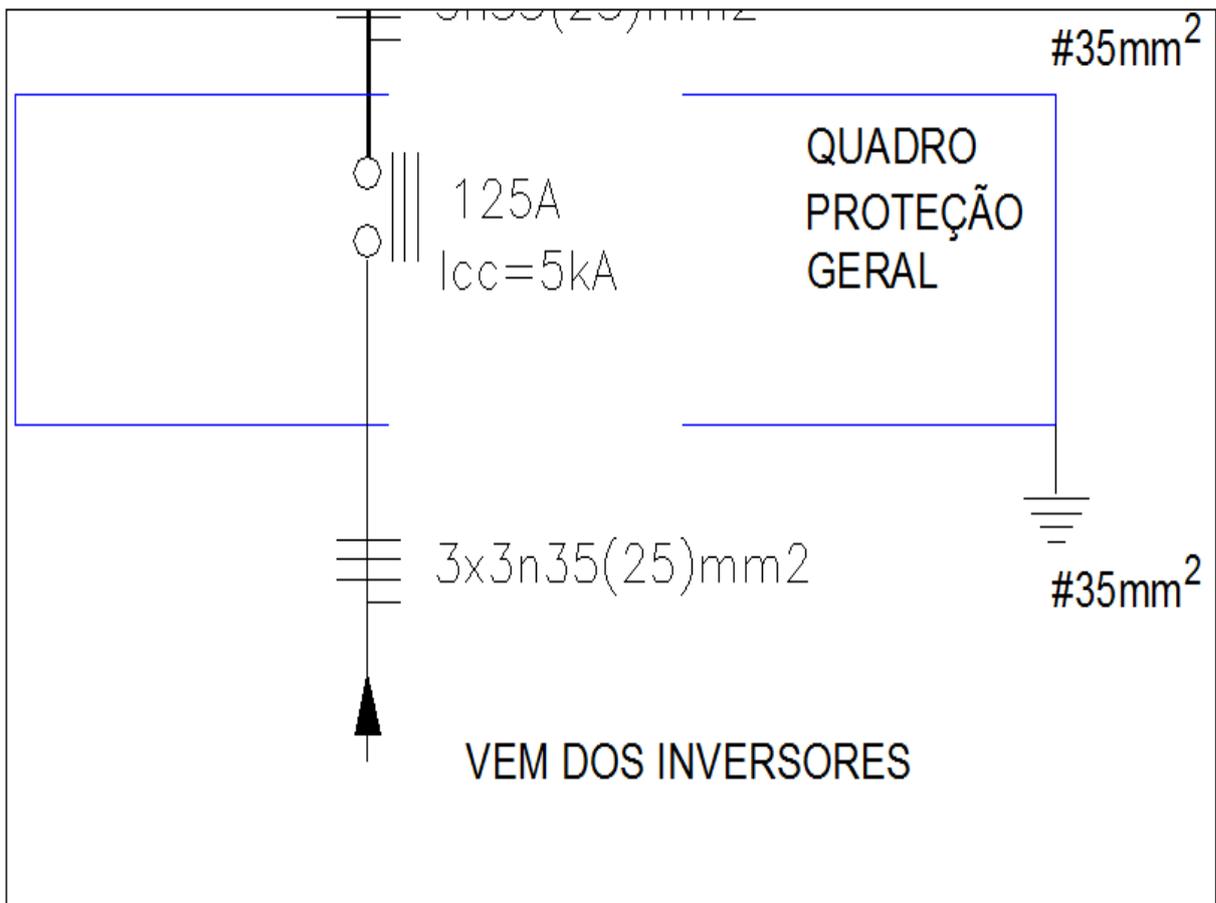
(**) REDE DE DISTRIBUIÇÃO

NOTA: 1 - NESTE DESENHO É APRESENTADO O ESQUEMA DE LIGAÇÃO ELÉTRICA SIMPLIFICADO DO PADRÃO DE ENTRADA DE BAIXA TENSÃO.

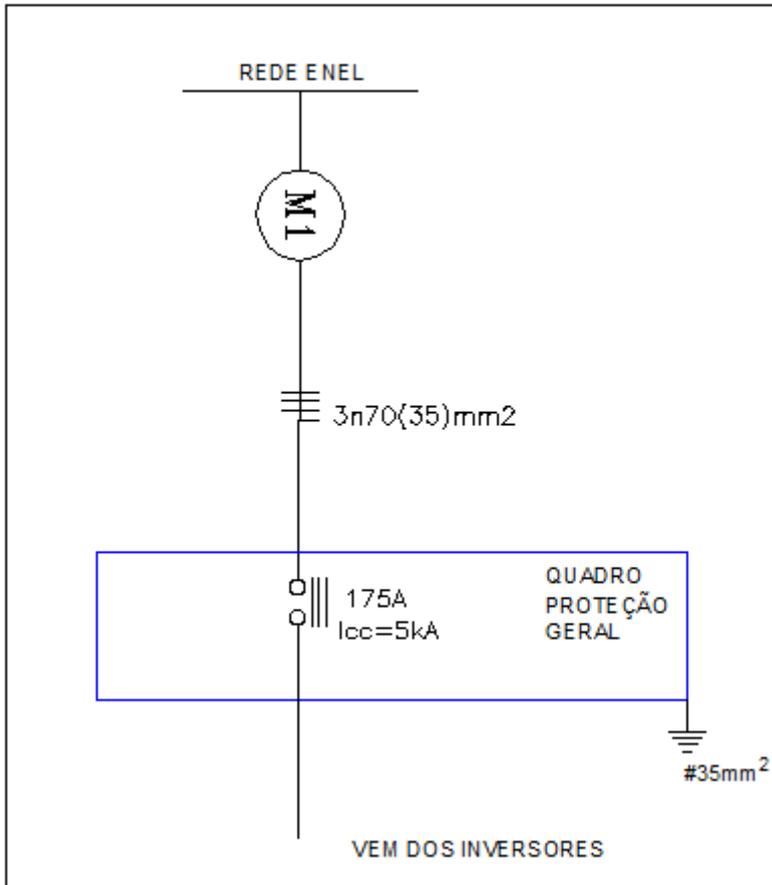
CONEXÃO INVERSOR QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO



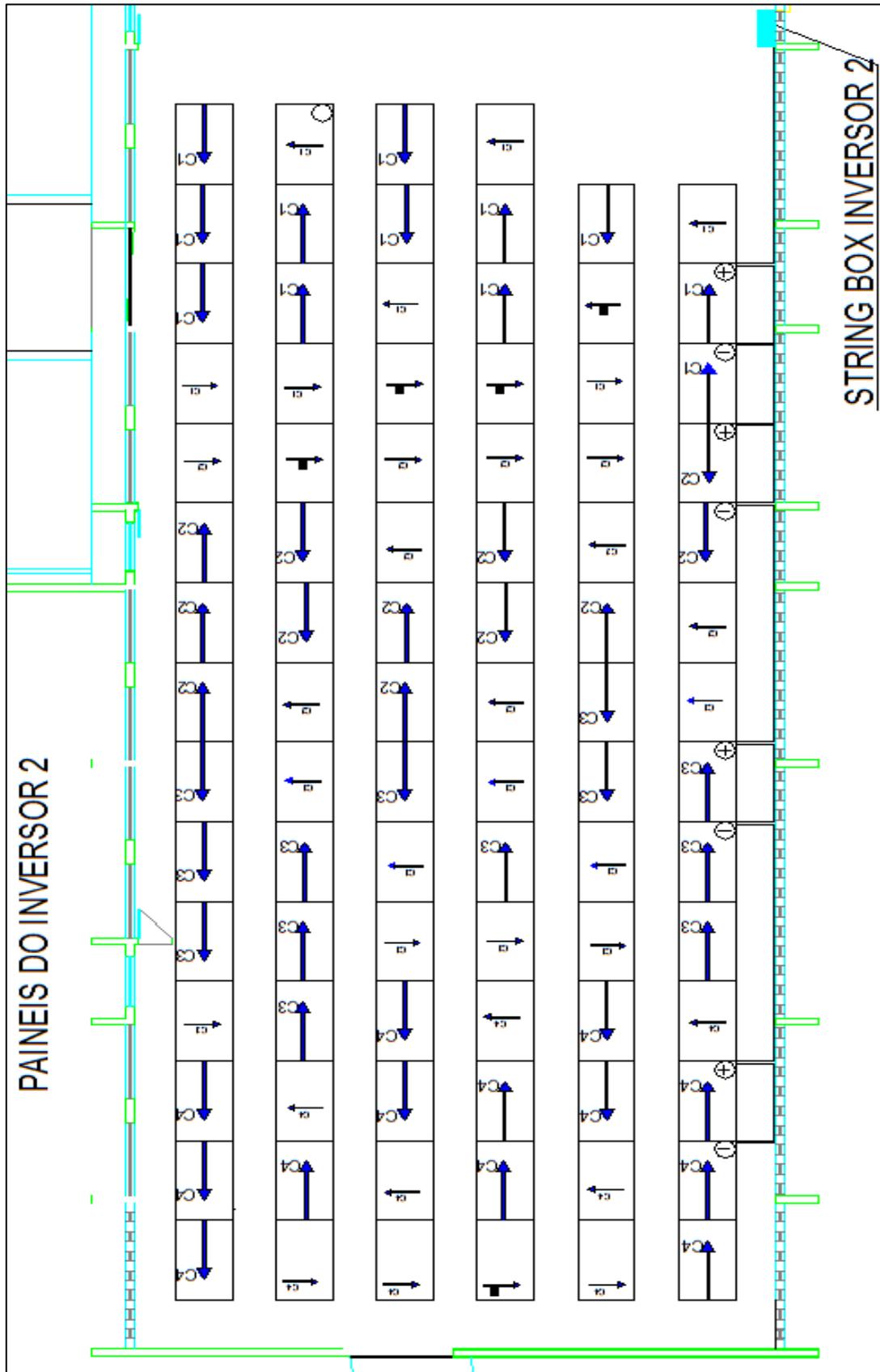
QUADRO DE PROTEÇÃO



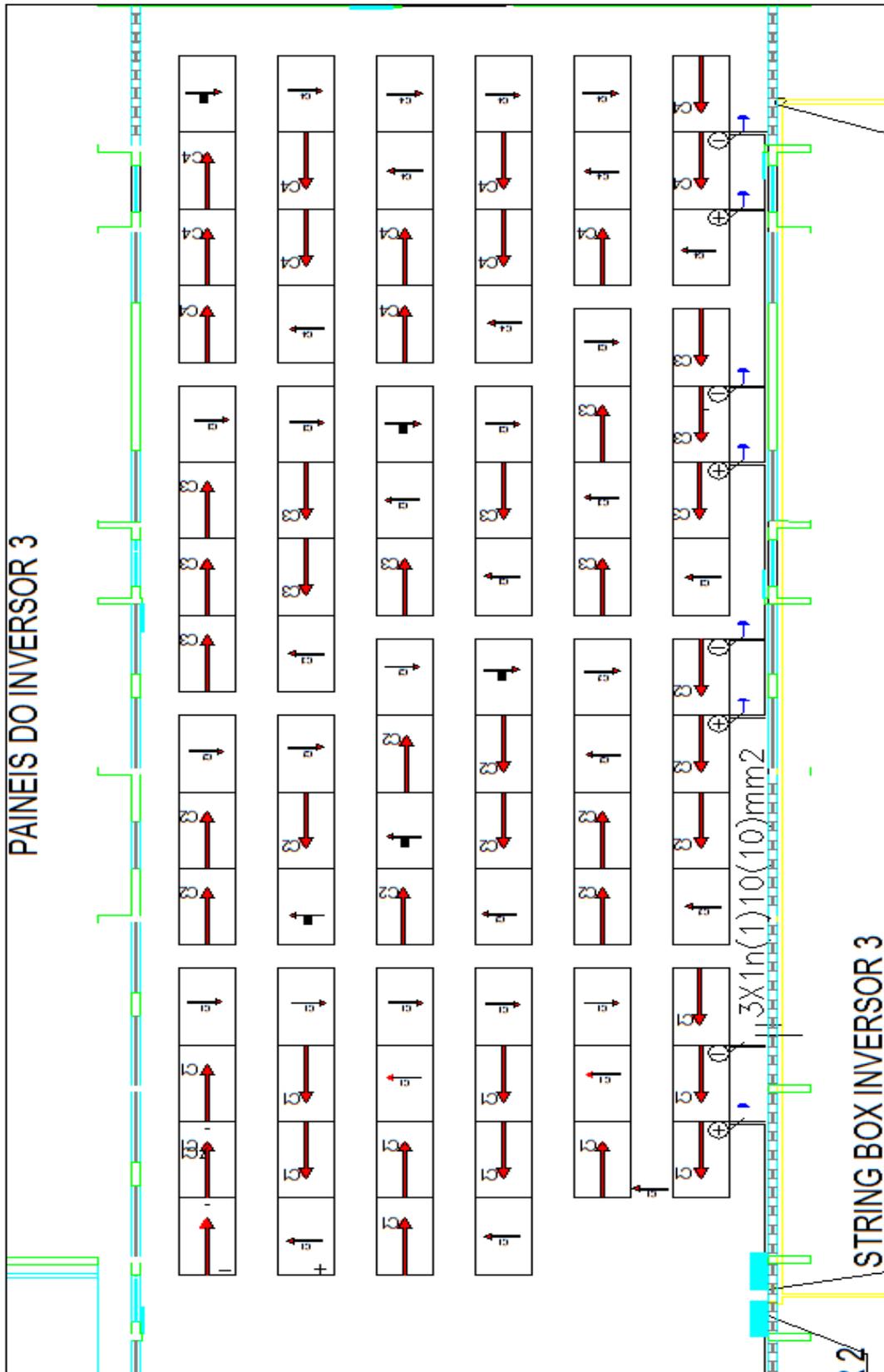
CONEXAO DO MEDIDOR A REDE DA ENEL



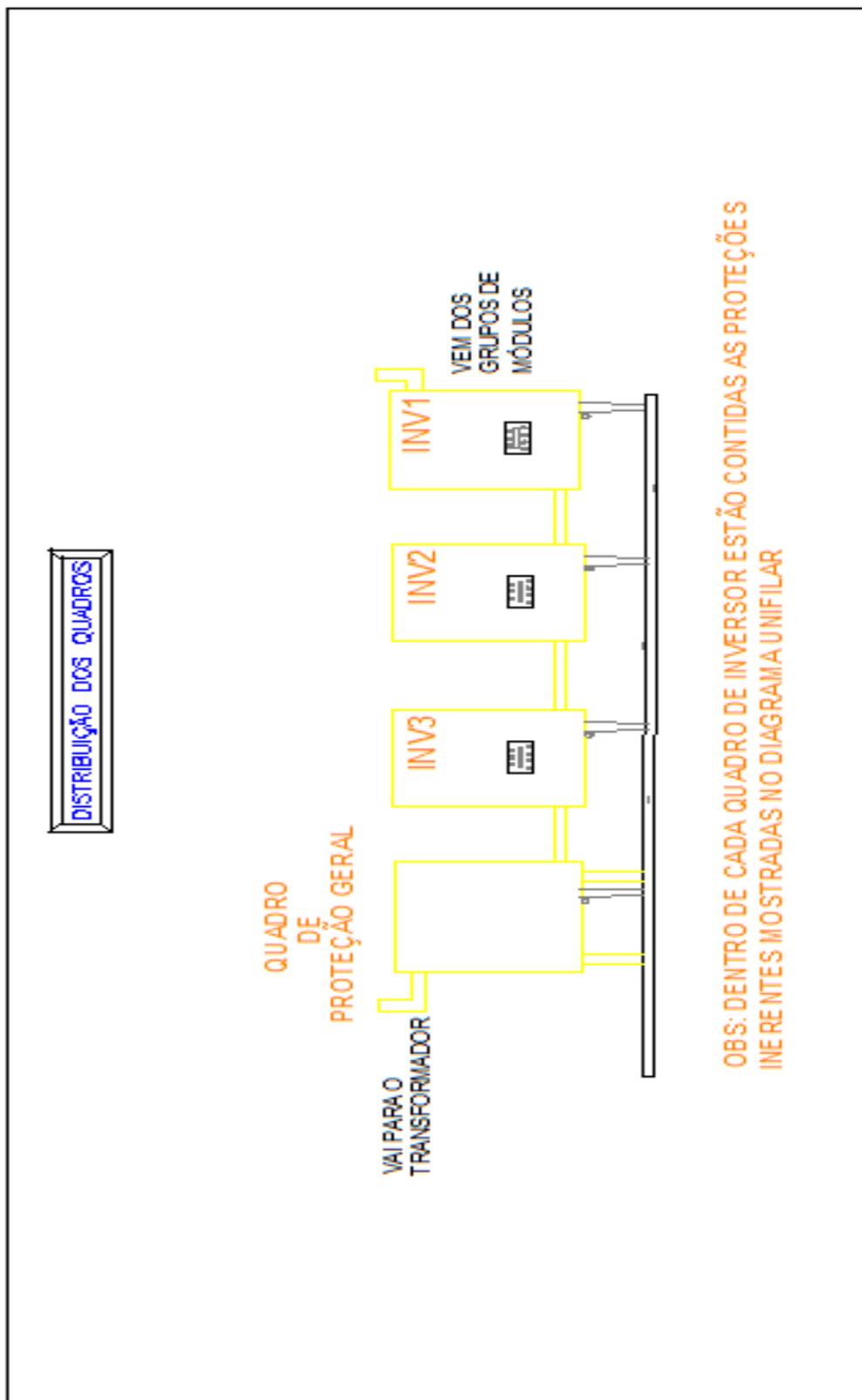
GRUPO DE PAINÉIS DO INVERSOR 2



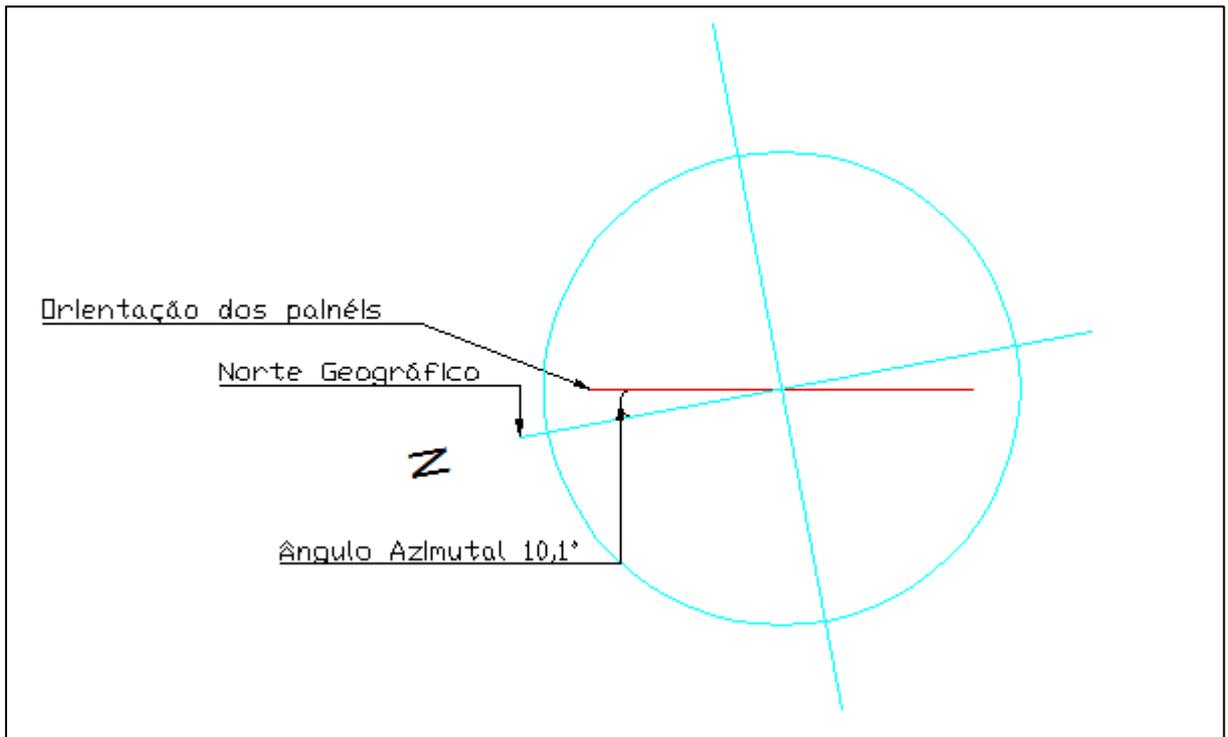
GRUPO DE PAINÉIS DO INVERSOR 3



DISTRIBUIÇÃO DOS INVERSORES



ÂNGULO AZIMUTAL



APÊNDICE D: SOLICITAÇÃO DE ACESSO.

1 – Identificação da Unidade Consumidora – UC		
Código da UC: 429948-5	Classe: A4	
Titular da UC: SANTA CASA DE MISERICÓRDIA DE SOBRAL		
Rua/Av.: PRAÇA MONSENHOR EUFRÁSIO	Nº: 110	CEP: 62020 – 580
Bairro: PEDRINHAS	Cidade: SOBRAL	
E-mail:		
Telefone: ()	Celular: ()	
CNPJ/CPF: 07.818.313/0001 – 09		
2 – Dados da Geração		
Potência Instalada (kW): 2726,233	Tensão de Atendimento (V): 13800	
Capacidade do Disjuntor (A): 180000		
Tipo de Conexão:	Monofásica ()	Bifásica () Trifásica (X)
Tipo de Ramal	Aéreo (X)	Subterrâneo ()
3 – Dados da Geração:		
Tipo da Fonte da Geração (kW): 64,68		
Hidráulica ()	Solar (X)	Eólica () Biomassa () Cogeração Qualificada ()
Outra (especificar):		
4 – Documentação a Ser Anexada		
<ol style="list-style-type: none">1. ART do Responsável Técnico pelo projeto elétrico e instalação do sistema de microgeração2. Projeto elétrico das instalações de conexão, memorial descritivo.3. Diagrama unifilar e de blocos do sistema de geração, carga e proteção.4. Certificado de conformidade do(s) inversor(es) ou número de registro de concessão do inmetro do(s) inversor(es) para a tensão nominal de conexão com a rede.5. Lista de unidades consumidoras participantes do sistema de compensação (se houver) indicando a porcentagem de rateio dos créditos e o enquadramento conforme incisos VI e VIII do art. 2º da Resolução Normativa nº 482/2012.6. Cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes (se houver).7. Documento que comprove o reconhecimento, pela ANEEL, da cogeração qualificada (se houve)		
5 – Contato na Distribuidora (preenchido pela Distribuidora)		
Responsável/Área:		
Endereço:		
Telefone		
E-mail:		
6 – Solicitante		
Nome/Procurador Legal		
Telefone:		
E-mail:		
_____	_____/_____/_____	_____
Local	Data	Assinatura do Responsável

APÊNDICE E: TABELAS DAS NORMAS.

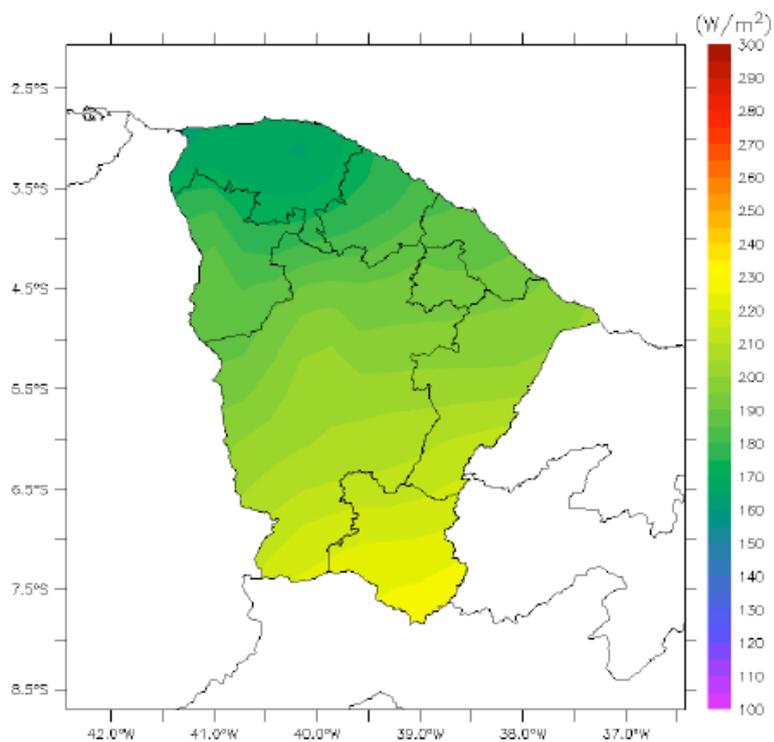
Tabela 48 — Seção reduzida do condutor neutro¹⁾

Seção dos condutores de fase mm ²	Seção reduzida do condutor neutro mm ²
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

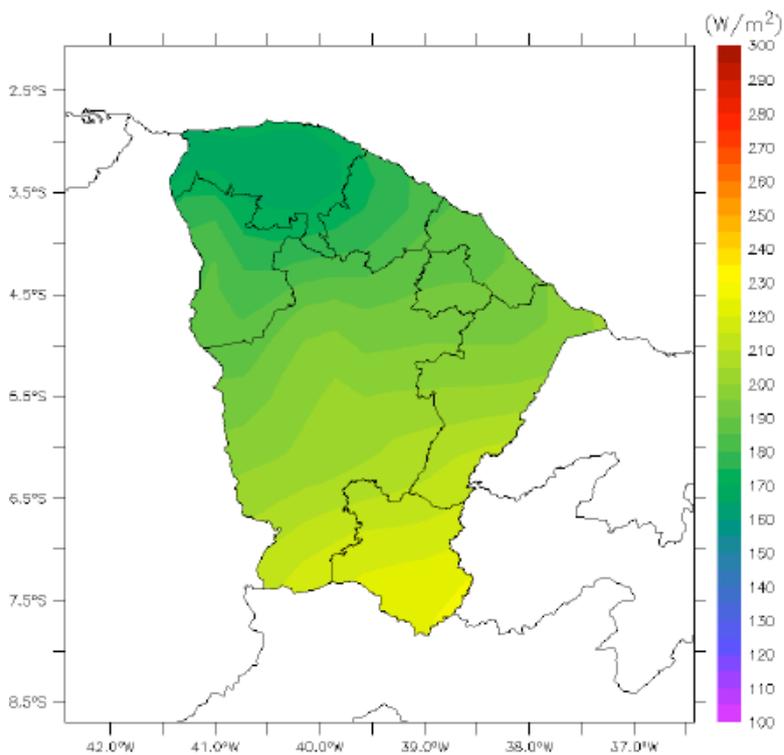
Anexos

ANEXO 1 – MAPAS DE RADIAÇÃO SOLAR MENSAL DO ESTADO DO CEARÁ

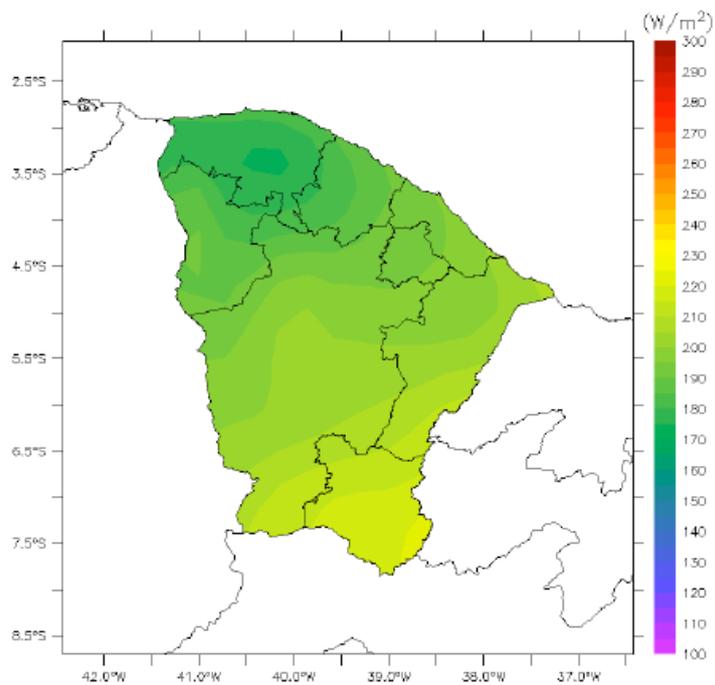
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE JANEIRO



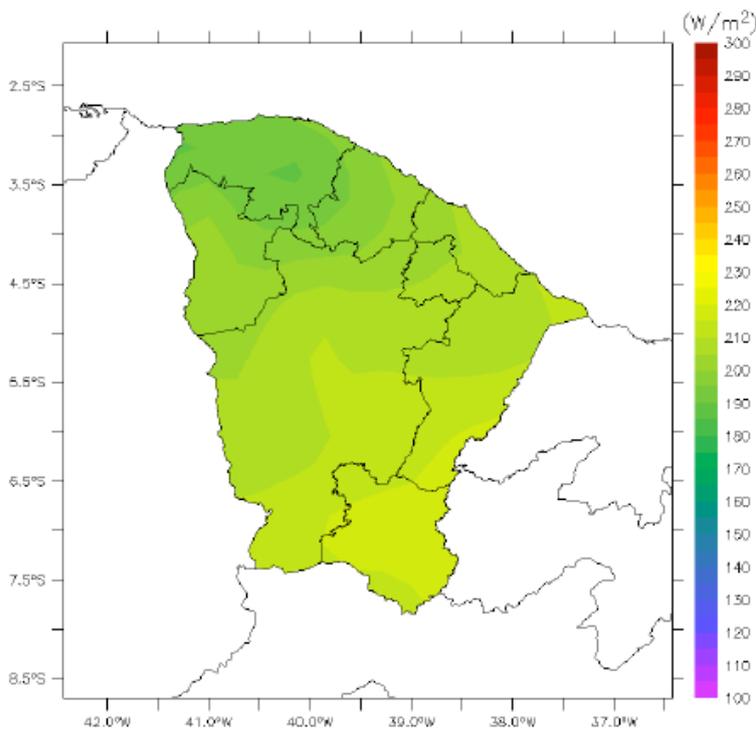
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE FEVEREIRO



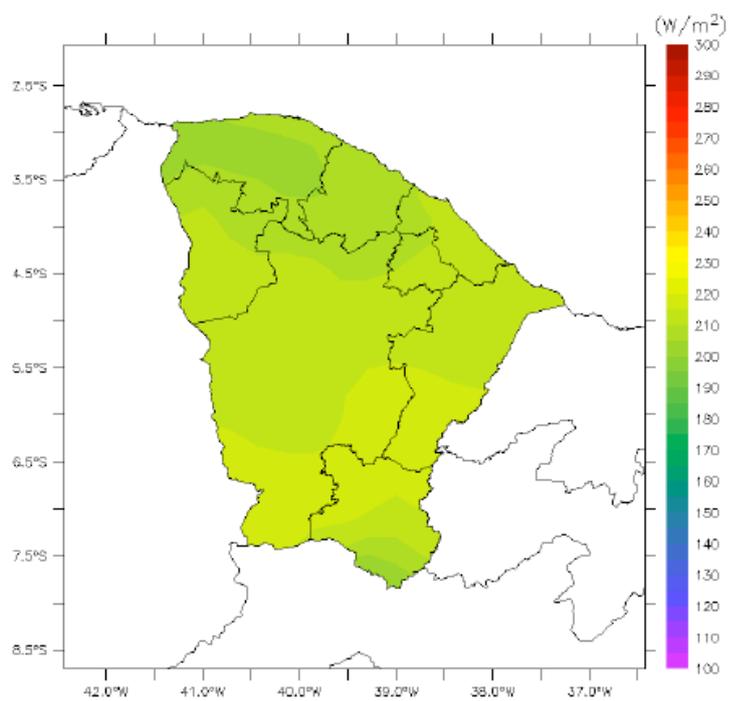
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE MARÇO



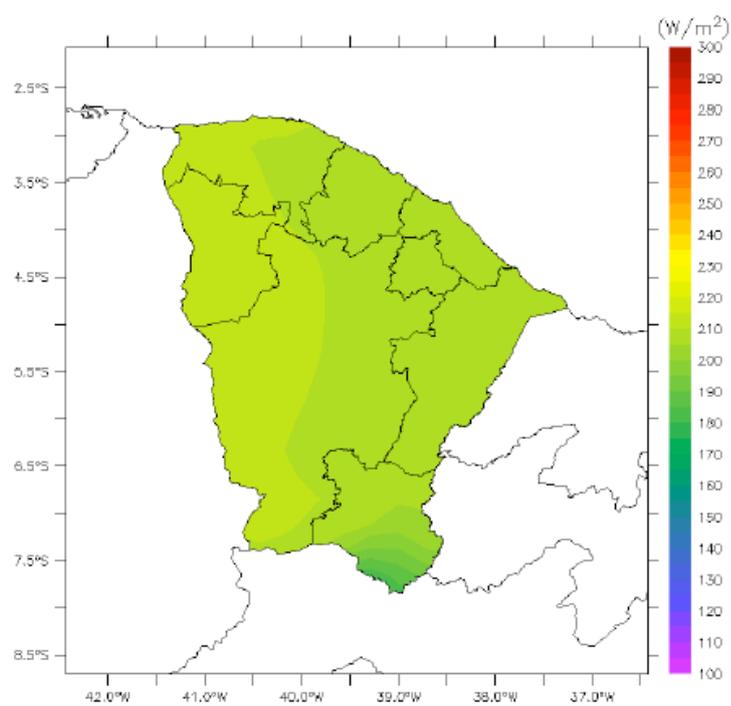
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE ABRIL



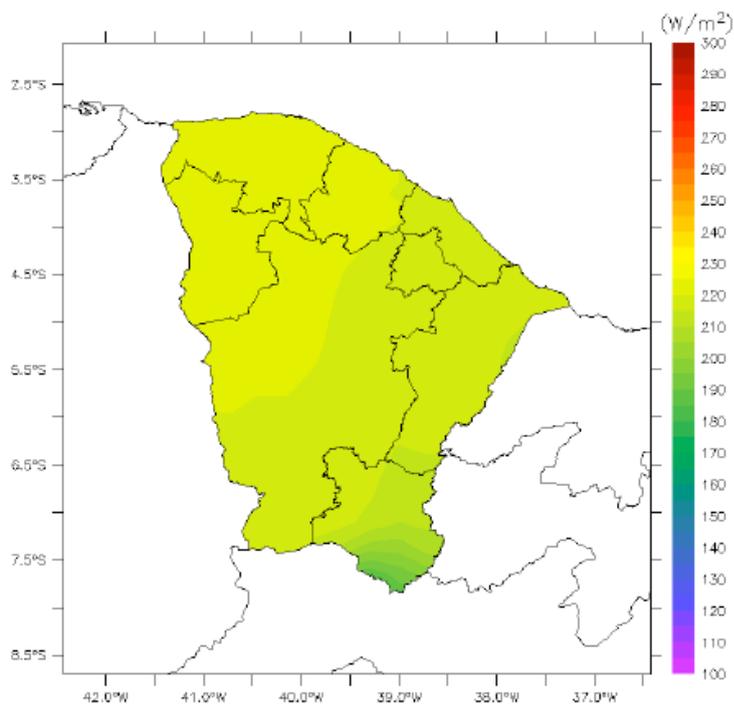
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE MAIO



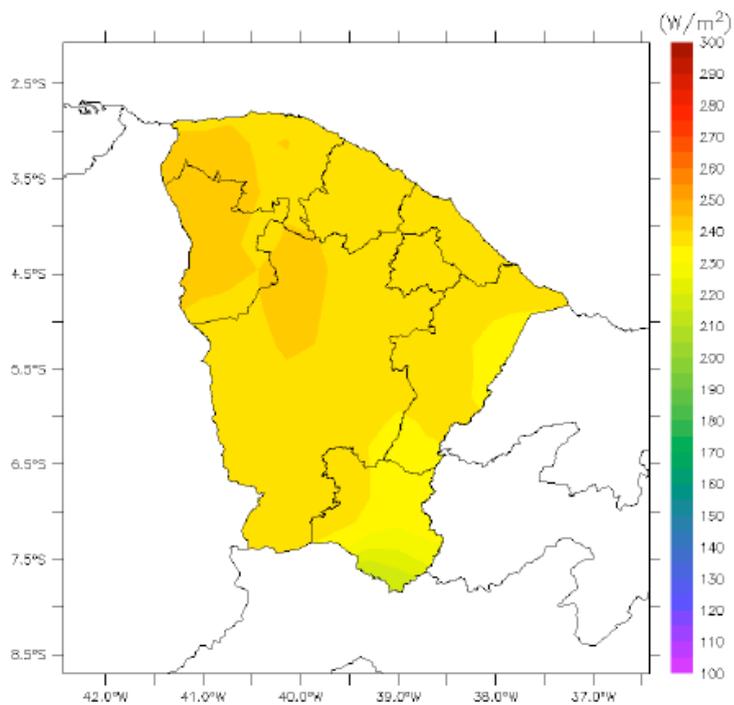
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE JUNHO



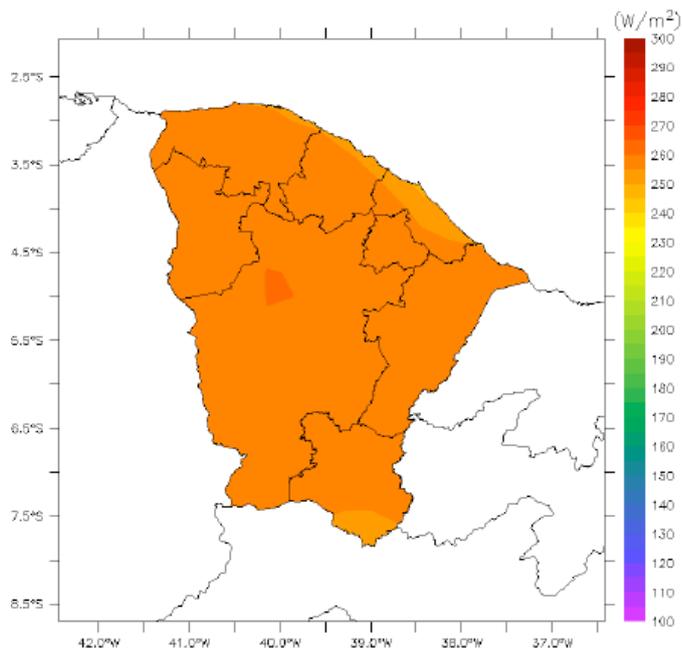
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE JULHO



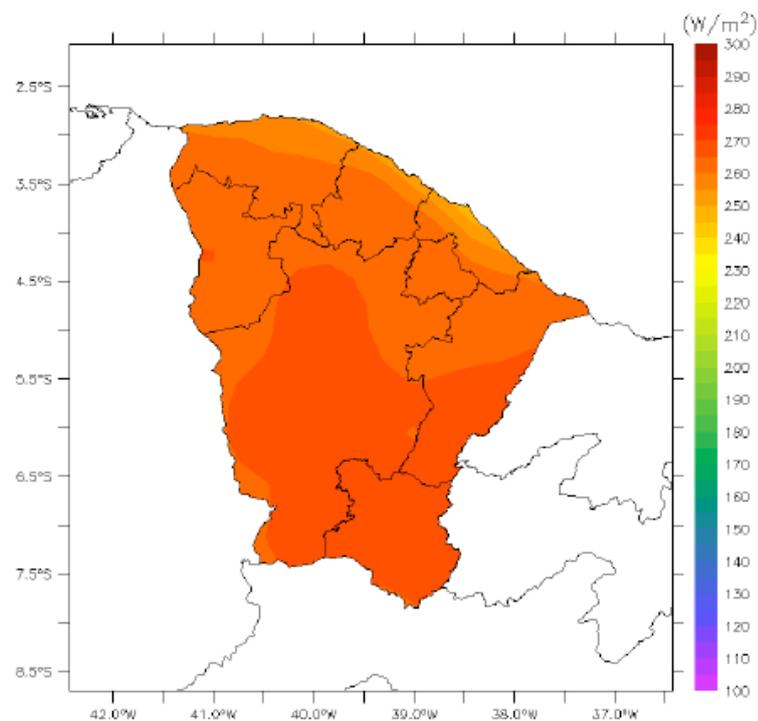
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE AGOSTO



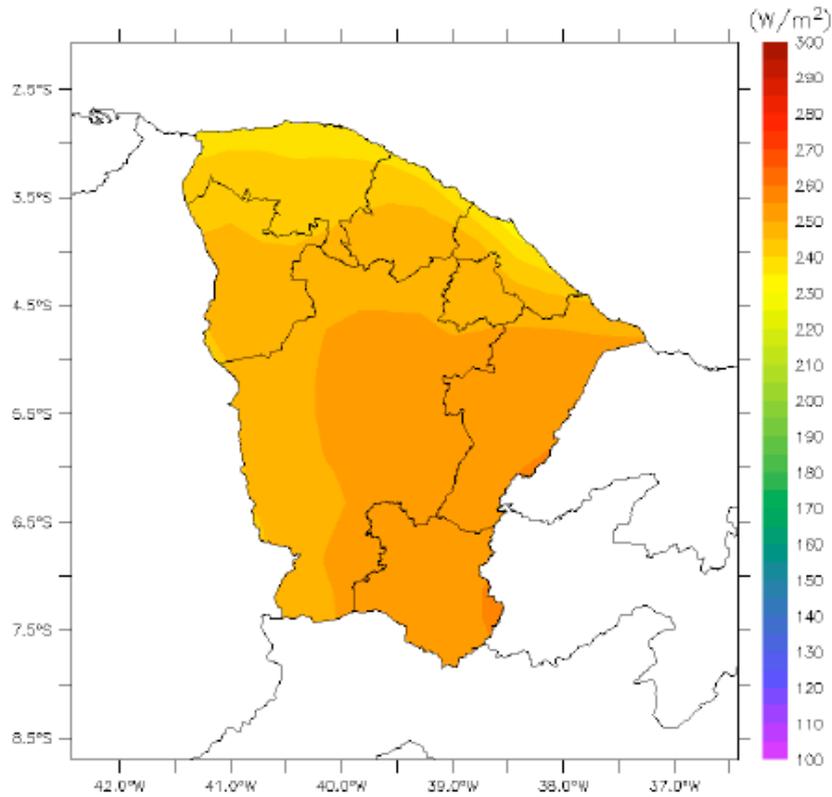
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE SETEMBRO



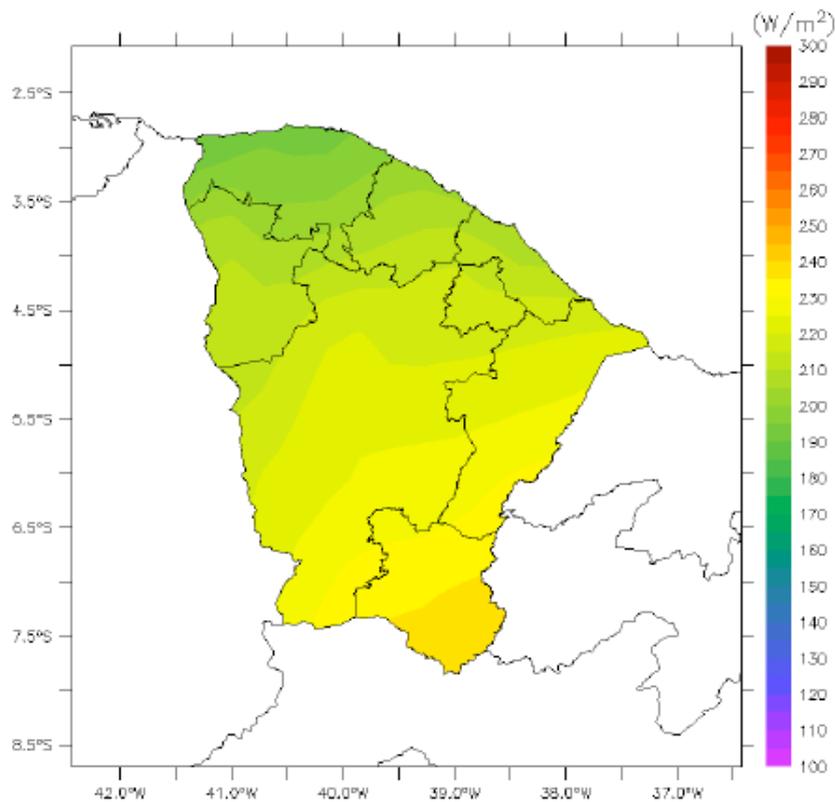
CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m^2) PARA O MÊS DE OUTUBRO



CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m²) PARA O MÊS DE NOVEMBRO



CLIMATOLOGIA DA RADIAÇÃO SOLAR (W/m²) PARA O MÊS DE DEZEMBRO



ANEXO 2 – TABELA 37 – NBR-5410

Seções nominais mm ²	Método de referência indicados na tabela 33											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
	Corrente											
0,5	10	9	10	9	12	10	11	10	12	11	14	12
0,75	12	11	12	11	15	13	15	13	16	14	18	15
1	15	13	14	13	18	16	17	15	19	17	21	17
1,5	19	17	18,5	16,5	23	20	22	19,5	24	22	26	22
2,5	26	23	25	22	31	28	30	26	33	30	34	29
4	35	31	33	30	42	37	40	35	45	40	44	37
6	45	40	42	38	54	48	51	44	58	52	456	46
10	61	54	57	51	75	66	69	60	80	71	73	61
16	81	73	76	68	100	88	91	80	107	96	95	79
25	106	95	99	89	133	117	119	105	138	119	121	101
35	131	117	121	109	164	144	146	128	171	147	146	122