

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

SNADGYELL DAHASLEY BARROS LEAL

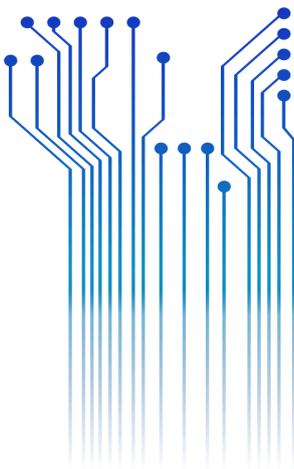


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
PREFEITURA UNIVERSITÁRIA - UFCG



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2016

SNADGYELL DAHASLEY BARROS LEAL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
PREFEITURA UNIVERSITÁRIA - UFCG

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento da energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande
2016

SNADGYELL DAHASLEY BARROS LEAL

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
PREFEITURA UNIVERSITÁRIA - UFCG

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia
Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento da energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais: Lucia
Maria de Sousa Barros Leal e Sebastião
Rodrigues Leal

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado saúde, uma família maravilhosa, por me dá força e me proteger em todos os momentos da minha vida e por ter me feito chegar até aqui.

Agradeço imensamente aos meus pais, Sebastião Rodrigues Leal e Lucia Maria de Sousa Barros Leal, por todo o suporte que sempre recebi. Eles nunca mediram esforços para me ajudar, me aconselhar e participaram de maneira muito significativa e especial, para que meus sonhos se realizassem. Devo tudo e mais um pouco a eles.

Quero agradecer aos meus irmãos por todo o suporte, brincadeiras, conselhos... enfim tudo de bom e especial que vivi e vou viver com eles.

Agradecimento à minha namorada, Fabiana Dantas de Sousa, por todo o carinho, atenção e apoio dedicados a mim e sempre me estimulando para a conclusão de mais essa caminhada. Agradeço pela sua paciência em todos os momentos que por motivos de estudo, não me fiz presente ou não ofereci a minha atenção e lazer por ela merecidos.

Agradecimento especial àqueles que ajudaram na minha formação, não só acadêmica como também, profissional e como pessoa. Eles tornaram-se muito mais que amigos, hoje os considero como meus irmãos, Bianca Cartaxo, Elton Brasil, Ezequiel Batista, Mariana Alencar, Mikhail Antonovitch, Nelson Carlos e Victor Perone. Agradeço-os por todos os sorrisos, brincadeiras e xícaras de café, que foram de fundamental importância para a realização desta etapa. Espero levar essa irmandade por toda a minha vida.

Agradecimentos aos engenheiros eletricitas Jonas Agápito, Camila Guedes e João Helder, pela oportunidade do estágio, pela paciência e pelos conhecimentos que me passaram durante o período de estágio.

Agradecimentos ao professor M. Sc. Leimar de Oliveira, que além de ser um grandíssimo professor, uma pessoa excepcional e ter um excelente senso de humor e paciência, me auxiliou na execução deste trabalho.

Por fim, agradeço a Adail e Tchaikovsky que sempre com alegria e bom humor, estiveram sempre à disposição para ajudar, aconselhar e esclarecer sobre os mais diversos assuntos.

*“Que os vossos esforços desafiem
as impossibilidades, lembrai-vos
de que as grandes coisas do homem
foram conquistadas do que parecia
impossível”*

Charles Chaplin.

RESUMO

Este trabalho consiste no relatório de estágio do estudante de engenharia elétrica Snadgyell Dahasley Barros Leal, na Prefeitura Universitária da Universidade Federal de Campina Grande. Este foi realizado após o cumprimento das atividades propostas, que tiveram como objetivo o levantamento e a documentação do sistema de distribuição da universidade tanto em nível de média tensão como de baixa tensão, sendo esta até o disjuntor geral de cada bloco da UFCG. E ainda, foi feito uma pesquisa para a implantação de sistemas fotovoltaicos com objetivo de diminuir os gastos de energia elétrica na universidade.

Palavras-chave: Distribuição de Energia Elétrica, Sistemas Fotovoltaicos, Prefeitura Universitária UFCG.

ABSTRACT

This paper consists in the internship report of the electrical engineering student Snadgyell Dahasley Barros Leal in the Federal University of Campina Grande Campus Administration. This was done after completion of the proposed activities, which were aimed at the survey and documentation of the university's distribution system both in medium voltage level to low voltage, which is to the general circuit breaker of each block UFCG. In addition, It was made a search for the deployment of photovoltaic systems in order to reduce electricity costs at the university.

Keywords: Distribution of Electric Energy, Photovoltaics, Campus Administration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1: Prefeitura Universitária	17
Figura 2.1: Estruturas convencionais trifásicas: a) N1, b) B1, c) M1 e d) B1 3m	19
Figura 2.2: Estruturas convencionais trifásicas. a) N2, b) B2, c) M2 e d) B2 3m	19
Figura 2.3: Estruturas convencionais trifásicas. a) N3, b) B3, c) M3 e d) B3 3m	20
Figura 2.4: Estruturas convencionais trifásicas. a) N4, b) B4, c) M4 e d) B4 3m	20
Figura 2.5: Estruturas convencionais trifásicas. a) N3-2, b) B3-2, c) M3-2 e d) B3-2 3m	21
Figura 2.6: Estrutura convencional monofásica U1	21
Figura 2.7: Estrutura convencional monofásica U2	22
Figura 2.8: Estrutura convencional monofásica U3	22
Figura 2.9: Estrutura convencional monofásica U4	23
Figura 2.10: Estrutura convencional monofásica U32	23
Figura 2.11: Estrutura compacta trifásica CE-1	23
Figura 2.12: Estrutura compacta trifásica CE-1A	24
Figura 2.13: Estrutura compacta trifásica CE-2	24
Figura 2.14: Estrutura compacta trifásica CE-3	24
Figura 2.15: Estrutura compacta trifásica CE-4	25
Figura 2.16: Estrutura compacta trifásica CE 2-3	25
Figura 2.17: Estrutura compacta trifásica CE-J1	25
Figura 2.18: Estrutura compacta trifásica CE-J2	26
Figura 2.19: Estrutura para rede secundária BI 1	26
Figura 2.20: Estrutura para rede secundária BI 2	27
Figura 2.21: Estrutura para rede secundária BI 3	27
Figura 2.22: Estrutura para rede secundária BI 4	27
Figura 2.23: Estrutura para rede secundária BI 5	28
Figura 2.24: Estrutura para rede secundária BI 6	28
Figura 2.25: Estrutura para rede secundária BI 7	28
Figura 2.26: Estrutura para rede secundária BI 8	29
Figura 2.27: Estrutura para rede secundária BI 9	29
Figura 2.28: Crescimento da capacidade de geração fotovoltaica	30
Figura 2.29: Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V	35
Figura 2.30: Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V	36
Figura 2.31: Caixa de conexões (esquerda) e diagrama de ligações (direita)	37
Figura 2.32: Conectores de engate rápido MC4 para conexão série de módulos fotovoltaicos	38
Figura 2.33: Diagrama mostrando a ligação dos diodos de desvio nos módulos fotovoltaicos	38
Figura 2.34: Série de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo e com diodo de bloqueio	39
Figura 2.35: Configuração básico de um SFI	42
Figura 2.36: Sistema fotovoltaico conectado à rede	42
Figura 2.37: Eficiência do inversor em função do nível de carga e da tensão de operação	49
Figura 3.1: Simbologia utilizada para a criação da planta elétrica	55
Figura 3.2: Indicação do tipo de rede	55
Figura 3.3: Anel de distribuição elétrica da UFCG	55
Figura 3.4: Ramificações para alimentação do setor B da UFCG	56
Figura 3.5: Rede convencional no Setor A	57
Figura 3.6: Proposta de modificação da rede convencional para a rede compacta	57
Figura 3.7: Trecho da planta desenvolvida para a baixa tensão	58
Figura 3.8: Diagrama elétrico para transformador do Setor A	59
Figura 3.9: Irradiação solar diária média mensal para a cidade de Campina Grande	60
Figura 3.10: Parte do teto do bloco CAA da UFCG	61
Figura 3.11: Vista superior do Bloco CAA da UFCG	63
Figura 3.12: Disposição dos painéis que serão instalados	64
Figura 3.13: Estimativa de geração de energia mensal média pelo sistema fotovoltaico	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Potência total instalada	62
Tabela 2: Demanda para as cargas do CAA	62
Tabela 3: Consumo diário de energia	63
Tabela 4: Características de funcionamento do painel Yingli YL250P 29b.....	64
Tabela 5: Características físicas do painel Yingli YL250P 29b.....	65
Tabela 6: Dados técnicos do inversor Fronius AGILO 100.0-3 OUTDOOR.....	66
Tabela 7: Tarifas, economia mensal e economia anual considerando o aumento de 5% ao ano na tarifa. .	69
Tabela 8: Cálculo do valor presente a uma taxa de atratividade de 7,94% ao ano	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AWG	American Wire Gauge
BT	Baixa Tensão
CAA	Edifício Central de Aulas da UFCG
CE	Compacta com espaçadores
FDI	Fator de Dimensionamento de Inversor
FV	Fotovoltaico
HSP	Número de Horas de Sol Pleno
MT	Média Tensão
MPPT	<i>Maximum Power Point Tracking</i>
NDU	Norma de Distribuição Unificada
PRODIST	Procedimentos de Distribuição
PU	Prefeitura Universitária
RN	Resolução normativa
SFH	Sistema Fotovoltaico Híbrido
SFI	Sistema Fotovoltaico Isolado
SFV	Sistema Fotovoltaico
SFCR	Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica
SPPM	Seguidor do Ponto de Potência Máxima
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
VPL	Valor Presente Líquido
W	Watts

LISTA DE SÍMBOLOS

d	Distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta)
E	Consumo de energia elétrica
FC	Fluxo de caixa
FDI	Fator de dimensionamento de inversor
HSP	Horas de sol pleno
I	Corrente que passa pelo condutor
$I_{m\acute{a}x}$	Corrente máxima na entrada do inversor
I_{sc}	Corrente de curto circuito
PB	<i>payback</i>
P_{Nca}	Potência do inversor
PFV	Potência de pico do sistema de painéis
S	Bitola dos condutores
TD	Taxa de desempenho
$V_{m\acute{a}x}$	Tensão máxima de entrada do inversor
VPL	Valor presente liquido
V_{oc}	Tensão de circuito aberto do painel
$V_{mpT_{m\acute{i}n}}$	Tensão de máxima potência na temperatura mínima
$V_{mpT_{m\acute{a}x}}$	Tensão de máxima potência na temperatura máxima
$V_{ocT_{m\acute{i}n}}$	Tensão de circuito aberto na temperatura mínima
$V_{ocT_{m\acute{a}x}}$	Tensão de circuito aberto na temperatura máxima
$V_{iSPPM_{m\acute{i}n}}$	Tensão de máxima potência mínima
$V_{iSPPM_{m\acute{a}x}}$	Tensão de máxima potência máxima
W	Watt
Wp	Watt pico
ρ	Resistividade do material do condutor, geralmente cobre ($\rho_{cu} = 0,01724 \Omega \cdot mm^2/m$)
ΔV	Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado

SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
1.1	Motivações do Estágio.....	15
1.2	Objetivos do Estágio.....	16
1.3	Prefeitura Universitária da UFCG	16
1.4	Estrutura do Trabalho	17
2	Embasamento Teórico	18
2.1	Norma de Distribuição Unificada 004 (NDU 004).....	18
2.1.1	Rede Primária	18
1.1.1.1	Estruturas Convencionais.....	18
1.1.1.2	Estruturas Compactas	23
2.1.2	Rede Secundária	26
2.2	Norma de Distribuição Unificada 006 (NDU 006).....	29
2.3	Energia Solar Fotovoltaica	30
2.3.1	Componentes Básico de Sistemas Fotovoltaicos	30
2.2.1.1	Módulos Fotovoltaicos	31
2.2.1.1.1	Fatores que Afetam as Características Elétricas dos Módulos	34
2.2.1.1.2	Caixa de conexões e terminais.....	37
2.2.1.1.3	Proteções do Conjunto de Módulos	38
2.2.1.2	Banco de Baterias	39
2.2.1.3	Controladores de Carga.....	39
2.2.1.4	Inversores.....	40
2.3.2	Aplicações de Sistemas Fotovoltaicos	41
2.3.2.1	Sistemas Fotovoltaicos Isolados.....	41
2.3.2.2	Sistemas Fotovoltaicos Conectados à rede Elétrica	42
2.3.3	Projeto de sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica	43
3.4.3.1	Avaliação do Recurso Solar.....	43
3.4.3.2	Localização	44
3.4.3.3	Escolha da Configuração	44
3.4.3.4	Levantamento da Demanda e do Consumo.....	44
3.4.3.5	Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico	44
3.4.3.6	Dimensionamento do Inversor	46
3.4.3.7	Dimensionamento do Cabeamento e das Proteções	49
2.3.4	Resolução Normativa 482 da ANEEL.....	50
2.4	Análise Econômica	51
3.5.1.1	Valor Presente Líquido (VPL)	51
3.5.1.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	52
3.5.1.3	<i>Payback</i>	53
3	Descrição das Atividades	54

3.1	Atividade 1: Rede de Média Tensão	54
3.2	Atividade 2: Rede de Baixa Tensão.....	58
3.3	Atividade 3: Planejamento do Sistema Fotovoltaico	59
3.3.1	Avaliação do Recurso Solar.....	60
3.3.2	Localização.....	61
3.3.3	Escolha da Configuração	62
3.3.4	Levantamento da Demanda e do consumo de Energia Elétrica	62
3.3.5	Dimensionamento do Gerador Fotovoltaico	63
3.3.6	Dimensionamento do Inversor.....	66
3.3.7	Análise de Viabilidade Econômica do Projeto Fotovoltaico	68
3.5.1.4	Discussões.....	71
4	Conclusão	73
	Bibliografia.....	74
	Anexo A – Orçamento NeosolarEnergia	75
	Anexo B - Orçamento PortalSolar	78
	Apêndice A – Diagramas Unifilares.....	79
	Apêndice B – Planta Elétrica Média Tensão	82
	Apêndice B – Planta Elétrica Baixa Tensão	83

1 INTRODUÇÃO

O estágio supervisionado cujas atividades são descritas neste relatório, teve duração de 270 horas e foi realizado na Prefeitura Universitária (PU) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) junto ao setor de Engenharia, durante o período de 14 de março de 2016 até 28 de abril de 2016, sob a supervisão dos engenheiros eletricitas Jonas Agápito, Camila Guedes e João Helder.

O estágio supervisionado tem como objetivo o cumprimento das exigências da disciplina integrante da grade curricular, Estágio Curricular, do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Essa disciplina é indispensável para a formação profissional, já que consolida os conhecimentos adquiridos durante o curso além de ser obrigatória para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

Nesse estágio foram realizadas atividades de levantamento, documentação e criação da planta elétrica de distribuição da UFCG e ainda um projeto de viabilidade econômica para a instalação de um sistema fotovoltaico para suprir parte da demanda de um bloco da universidade.

1.1 MOTIVAÇÕES DO ESTÁGIO

A elaboração de uma planta elétrica e o levantamento de todas as cargas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) era uma necessidade para a prefeitura universitária e traz enormes benefícios para a mesma, entre as quais podemos citar:

- Armazenar em meio físico e digital as informações quanto à distribuição de energia elétrica da UFCG;
- Facilidades para implementação de modificações e operações de manutenção na rede da universidade;
- Facilidade na identificação de falhas que venham a ocorrer no sistema;
- Verificação de possíveis sobrecargas ao se inserir cargas a cada transformador da rede;
- Identificação de áreas que precisam de modificação ou intervenção, como por exemplo: locais que necessitam de poda de árvores, substituição de quadros que ainda utilizam equipamentos antigos, entre outros;
- Facilidades na redistribuição das cargas de modo a evitar a sobrecarga dos transformadores da universidade;

- A identificação de subdimensionamentos e sobredimensionamentos das bitolas dos condutores da rede da universidade

A elaboração de um projeto de um sistema de geração fotovoltaica contribui para a redução dos gastos com energia elétrica do Bloco Central de Aulas – CAA da universidade, além disso pode servir de modelo para a elaboração de outros projetos fotovoltaicos para a universidade.

1.2 OBJETIVOS DO ESTÁGIO

O estágio supervisionado na Prefeitura Universitária teve como objetivos principais o levantamento, análise e propostas de atualização da rede de distribuição em média e baixa tensão do campus de Campina Grande, elaboração de diagramas unifilares para cada transformador da universidade e cargas conectados a ele.

Participa ainda do escopo do estágio a elaboração de uma proposta de um sistema de microgeração fotovoltaica distribuída e o estudo da viabilidade econômica da implantação desse sistema para suprir para da demanda de energia elétrica do Bloco CAA da UFCG.

1.3 PREFEITURA UNIVERSITÁRIA DA UFCG

A Prefeitura Universitária, antes subprefeitura, passou a ter esse status após o desmembramento da UFPB pela Lei 10.419/202 e criação da UFCG. Ela pertence à estrutura da Reitoria da UFCG e tem suas atribuições definidas pela resolução 06/2005 do Colegiado Pleno do Conselho Universitário da UFCG e são as seguintes [16]:

- I. Colaborar com a Secretaria de Planejamento e Orçamento, no planejamento e desenvolvimento físico dos campi da Universidade;
- II. Elaborar estudos e projetos de edificações e infraestruturas nos campi ou fora deles quando do interesse da Universidade;
- III. Solicitar a contratação, fiscalizar, executar e controlar obras e serviços de engenharia;
- IV. Manter e conservar bens móveis e imóveis da Universidade;
- V. Gerenciar o setor de transportes;
- VI. Planejar, fiscalizar, controlar e operar os serviços públicos de água, energia e comunicações;

- VII. Determinar o setor de exercício dos servidores lotados na Secretaria;
- VIII. Zelar pela segurança da comunidade acadêmica, no âmbito dos campi, bem como pelo patrimônio da Universidade;
- IX. Gerir os créditos provisionados e os recursos repassados, que se destinem à execução de suas atividades.

A missão da Prefeitura Universitária da UFCG é promover ações de melhoria das condições ambientais de infraestrutura do Campus, implementando ações de planejamento, conservação, segurança, logística de transporte e telefonia. [16]

Uma fotografia da Prefeitura é mostrada na Figura 1.1.

Figura 1.1: Prefeitura Universitária



Fonte: [16]

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

No Capítulo 1, faz-se a apresentação do local onde foi realizado o estágio e os objetivos contemplados pelo mesmo.

No Capítulo 2 é feito uma revisão bibliográfica com os principais assuntos que serviram de base para o desenvolvimento das atividades.

No Capítulo 3 é feita uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas no estágio e os resultados obtidos.

Por fim é feita uma conclusão, com uma breve análise do que foi apresentado nos capítulos anteriores.

2 EMBASAMENTO TEÓRICO

Nesta seção é apresentada a fundamentação teórica, apresentando os principais assuntos que serviram de guia e de conhecimento, indispensáveis para a realização do estágio.

2.1 NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA 004 (NDU 004)

A norma de distribuição unificada número 004 da Energisa, apresenta uma padronização para a montagem de redes aéreas de distribuição urbana para média tensão (MT) e baixa tensão (BT).

São apresentadas nesta norma as estruturas mais comumente utilizadas para projetos de Redes Aéreas de Distribuição tanto para a rede primária (estruturas convencionais e estruturas compactas) quanto para a rede secundária.

Esta norma também padroniza a instalação de equipamentos, tais como, transformadores, para-raios de média tensão e baixa tensão, chave-fusível, chave-faca unipolar, chaves blindadas, bancos de capacitores e ainda apresenta padrões para aterramento, conexões, estaiamento e afastamentos mínimos de partes energizadas.

O conteúdo desta norma foi utilizado especialmente para identificação dos elementos da rede de distribuição da universidade.

2.1.1 REDE PRIMÁRIA

A norma NDU 004 da Energisa, define que as redes de distribuição primária serão implementadas por meio das estruturas convencionais com cabos nus ou em estruturas compactas com cabo protegido.

1.1.1.1 ESTRUTURAS CONVENCIONAIS

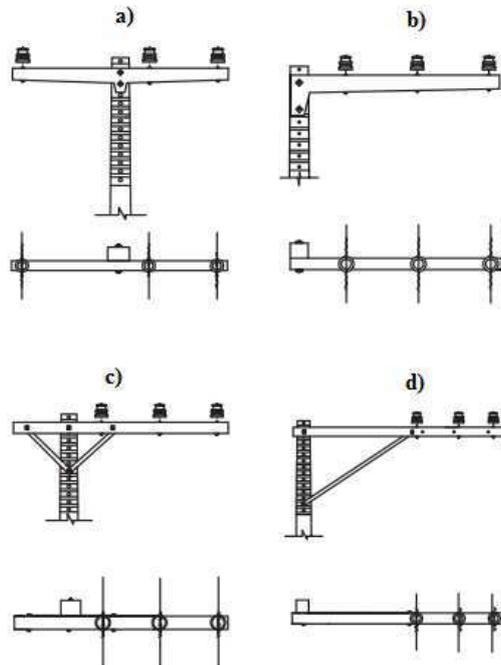
As estruturas convencionais da rede de distribuição primária, em cabo de alumínio nu (CA) ou em cabo de alumínio com alma de aço (CAA), são classificadas em N (normal), M (meio beco), B (beco), B 3m (beco com cruzeta de 3 metros) e U (monofásicas).

a) Estruturas Trifásicas:

- Estruturas N1, M1, B1 e B1 3m:

Usadas em tangências, podendo também ser empregadas em ângulos, conforme Figura 2.2.

Figura 2.2: Estruturas convencionais trifásicas: a) N1, b) B1, c) M1 e d) B1 3m

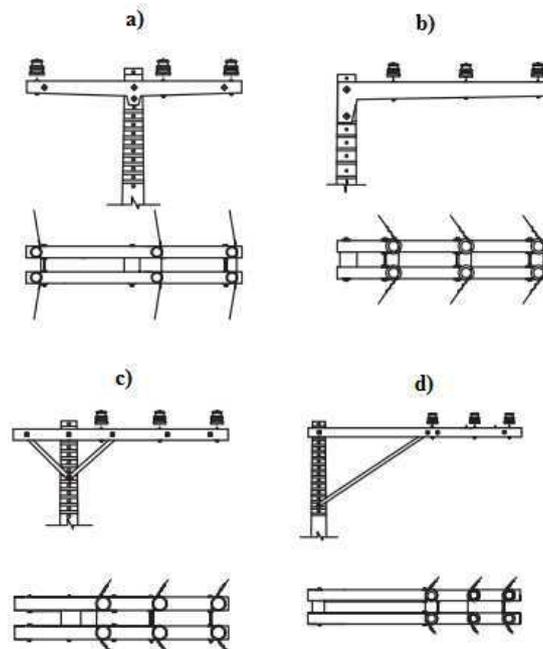


Fonte: [10]

- Estruturas N2, M2, B2 e B2 3m:

Usadas em ângulos, podendo também ser empregadas em tangências, e ainda podem ser usadas como fim de linha para condutores de alumínio 2 AWG, do inglês *American Wire Gauge* ou escala americana normalizada, conforme Figura 2.3.

Figura 2.3: Estruturas convencionais trifásicas. a) N2, b) B2, c) M2 e d) B2 3m

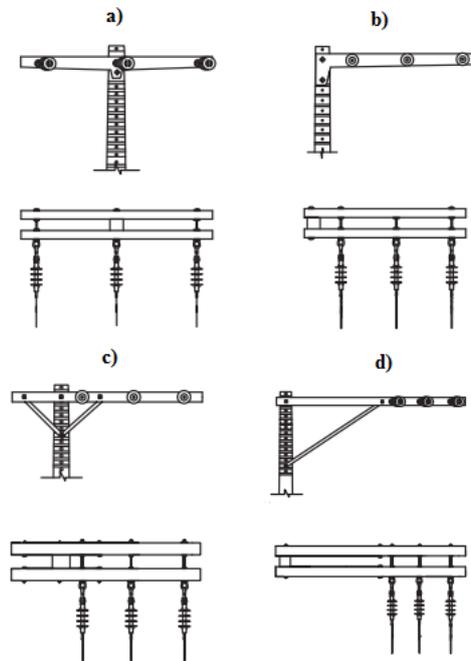


Fonte: [10]

- Estruturas N3, M3, B3 e B3 3m:

Usadas em derivações e fins de linha, conforme Figura 2.4.

Figura 2.4: Estruturas convencionais trifásicas. a) N3, b) B3, c) M3 e d) B3 3m

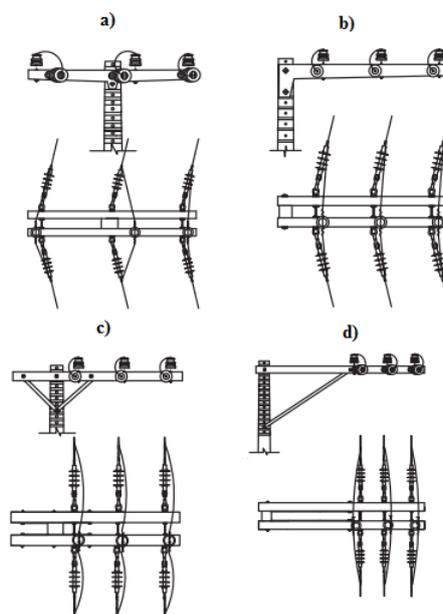


Fonte: [10]

- Estruturas N4, M4, B4 e B4 3m:

Usadas em ângulos de até 60 graus e em mudança de bitola de condutores, conforme Figura 2.5.

Figura 2.5: Estruturas convencionais trifásicas. a) N4, b) B4, c) M4 e d) B4 3m

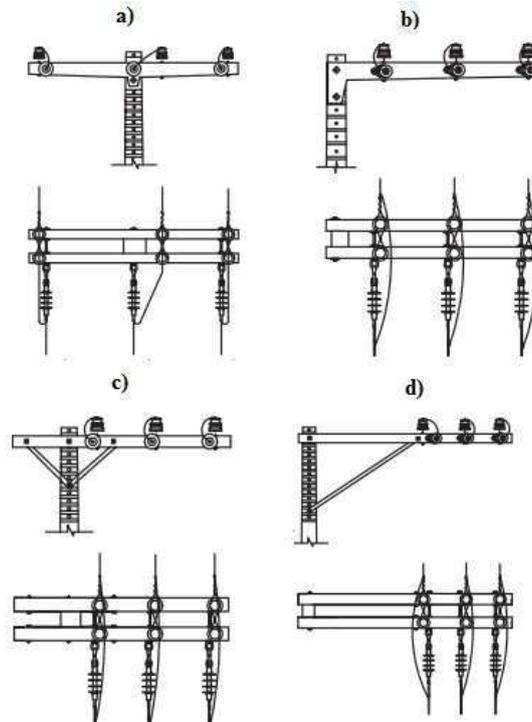


Fonte: [10]

- Estruturas N3-2, M3-2, B3-2 e B3-2 3m:

Usadas em mudanças de bitola, quando, pelo menos um dos condutores é de 2 AWG e na mudança de cabos de CA para CAA, conforme Figura 2.6.

Figura 2.6: Estruturas convencionais trifásicas. a) N3-2, b) B3-2, c) M3-2 e d) B3-2 3m



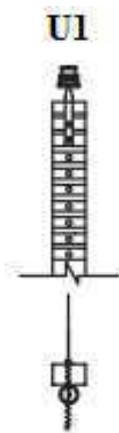
Fonte: [10]

b) Estruturas Monofásicas:

- Estruturas U1:

Usadas em tangências, podendo também ser empregadas em ângulos, conforme Figura 2.7.

Figura 2.7: Estrutura convencional monofásica U1.



Fonte: [10]

- Estruturas U2:

Usadas em ângulos, podendo também ser empregadas em tangências, e ainda podem ser usadas como fim de linha para condutores de alumínio 2 AWG, conforme Figura 2.8.

Figura 2.8: Estrutura convencional monofásica U2

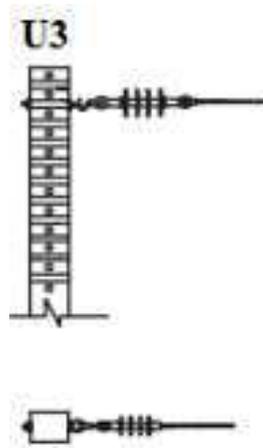


Fonte: [10]

- Estruturas U3:

Usadas em derivações e fins de linha, conforme Figura 2.9.

Figura 2.9: Estrutura convencional monofásica U3

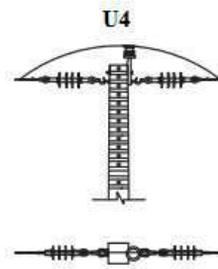


Fonte: [10]

- Estruturas U4:

Usadas em ângulos de até 60 graus e em mudança de bitola de condutores, conforme Figura 2.10.

Figura 2.10: Estrutura convencional monofásica U4

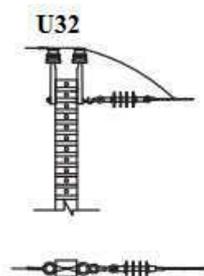


Fonte: [10]

- Estruturas U3-2:

Usadas em mudanças de bitola, quando, pelo menos um dos condutores é de 2 AWG e na mudança de cabos de CA para CAA, conforme Figura 2.11.

Figura 2.11: Estrutura convencional monofásica U32



Fonte: [10]

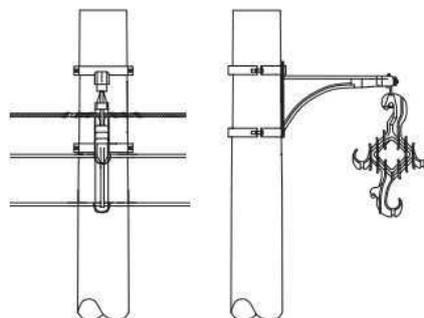
1.1.1.2 ESTRUTURAS COMPACTAS

As estruturas compactas, para uso de cabos de alumínio cobertos não isolados, são denominadas compacta com espaçadores (CE).

- Estrutura CE-1:

Usada em tangências ou em ângulos de até 6° do lado oposto do poste, conforme Figura 2.12.

Figura 2.12: Estrutura compacta trifásica CE-1

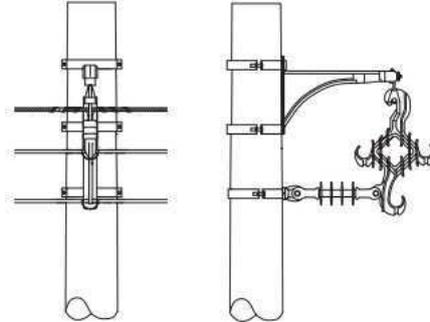


Fonte: [10]

- Estrutura CE-1A:

Usada a cada 200 m de vãos em tangência com braço anti-balanço ou com ângulo de deflexão de até 6° , conforme Figura 2.13.

Figura 2.13: Estrutura compacta trifásica CE-1A

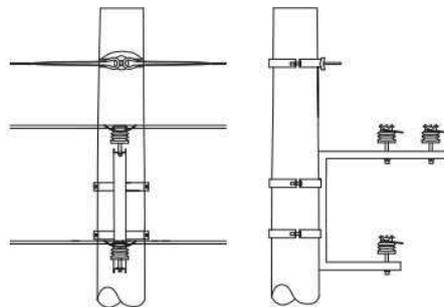


Fonte: [10]

- Estrutura CE 2:

Usada em deflexão com ângulos compreendidos entre 6° e 60° , conforme Figura 2.14.

Figura 2.14: Estrutura compacta trifásica CE-2

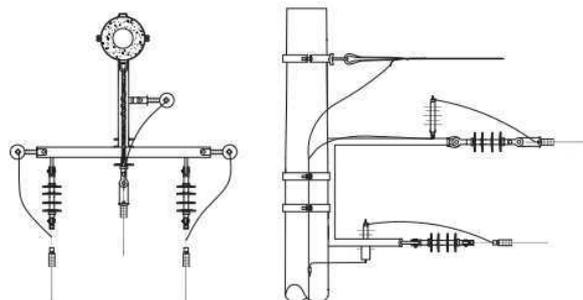


Fonte: [10]

- Estrutura CE 3:

Usada em fim de linha, conforme Figura 2.15.

Figura 2.15: Estrutura compacta trifásica CE-3

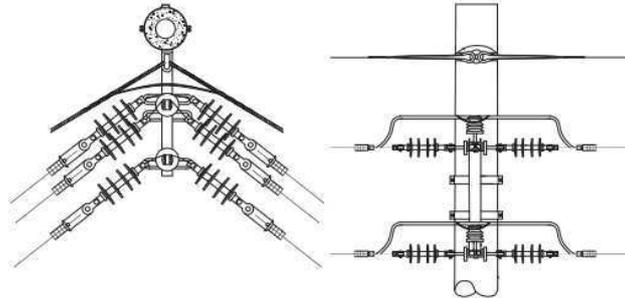


Fonte: [10]

- Estrutura CE 4:

Usada em deflexão com ângulos de até 90° ou quando houver necessidade de ancoragem de rede, conforme Figura 2.16.

Figura 2.16: Estrutura compacta trifásica CE-4

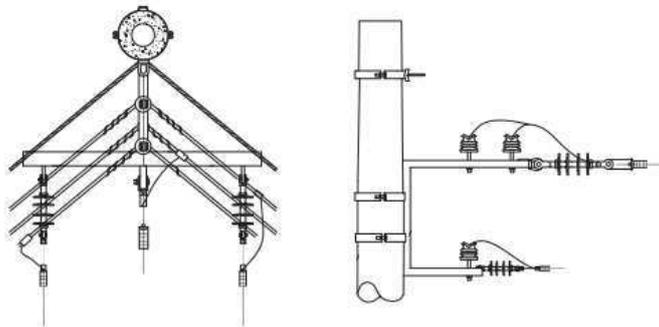


Fonte: [10]

- Estrutura CE 2-3:

Usada em derivação de circuito em situação de tangência ou deflexão, conforme Figura 2.17.

Figura 2.17: Estrutura compacta trifásica CE 2-3

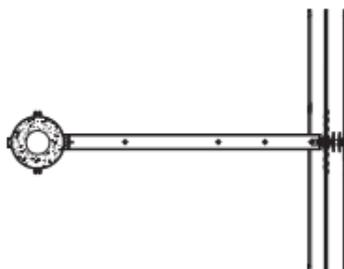


Fonte: [10]

- Estrutura CE-J1:

Usada para afastamento da rede compacta em tangência ou em ângulos de até 6° do lado oposto do poste, conforme Figura 2.18.

Figura 2.18: Estrutura compacta trifásica CE-J1

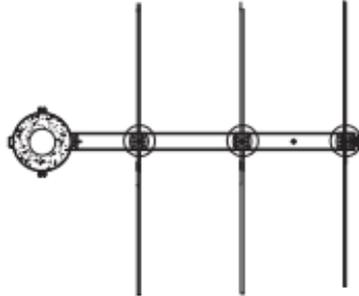


Fonte: [10]

- Estrutura CE-J2:

Usada para afastamento entre cabos da rede compacta em deflexão com ângulos compreendidos entre 6° e 60° , conforme Figura 2.19.

Figura 2.19: Estrutura compacta trifásica CE-J2



Fonte: [10]

2.1.2 REDE SECUNDÁRIA

A norma NDU 004 da Energisa, define o tipo de estruturas que devem ser utilizadas para a baixa tensão.

- Estrutura BI 1:

Usada em tangência ou com ângulo de deflexão de até 70° para o lado oposto ao poste e 48° para o lado do poste, conforme Figura 2.20.

Figura 2.20: Estrutura para rede secundária BI 1



Fonte: [10]

- Estrutura BI 2:

Usada em mudança de rede convencional para rede isolada ou em fim de linha, conforme Figura 2.21.

Figura 2.21: Estrutura para rede secundária BI 2

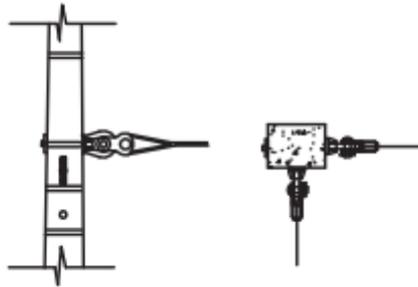


Fonte: [10]

- Estrutura BI 3:

Usada em dois encabeçamentos a 90°, conforme Figura 2.22.

Figura 2.22: Estrutura para rede secundária BI 3



Fonte: [10]

- Estrutura BI 4:

Usada em mudança de bitolas ou em postes com transformadores, conforme Figura 2.23.

Figura 2.23: Estrutura para rede secundária BI 4

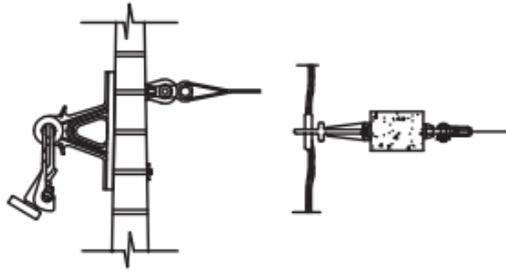


Fonte: [10]

- Estrutura BI 5:

Usada em tangências com derivação a 90° do lado oposto, conforme Figura 2.24.

Figura 2.24: Estrutura para rede secundária BI 5

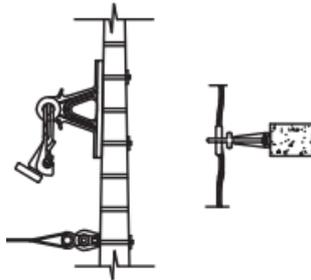


Fonte: [10]

- Estrutura BI 6:

Usada em tangências com derivação a 90° do mesmo lado da rede, conforme Figura 2.25.

Figura 2.25: Estrutura para rede secundária BI 6

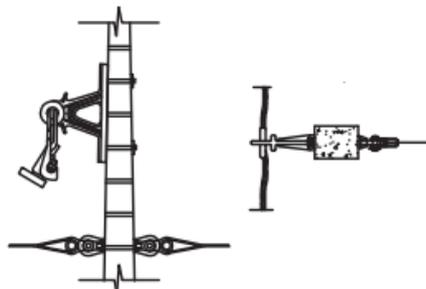


Fonte: [10]

- Estrutura BI 7:

Usada em tangências com 2 derivações ou 2 fins de linha ou circuitos diferentes, conforme Figura 2.26.

Figura 2.26: Estrutura para rede secundária BI 7

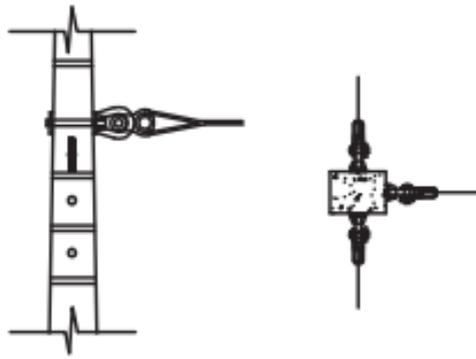


Fonte: [10]

- Estrutura BI 8:

Usada em derivações, fins de linha ou circuitos diferentes quando há necessidade de 3 encabeçamentos, conforme Figura 2.27.

Figura 2.27: Estrutura para rede secundária BI 8

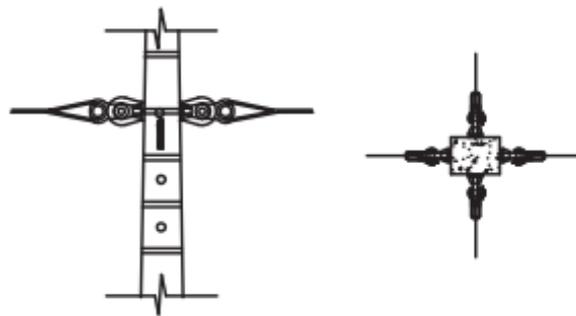


Fonte: [10]

- Estrutura BI 9:

Usada em derivações, fins de linha ou circuitos diferentes quando há necessidade de 4 encabeçamentos, conforme Figura 2.28.

Figura 2.28: Estrutura para rede secundária BI 9



Fonte: [10]

2.2 NORMA DE DISTRIBUIÇÃO UNIFICADA 006 (NDU 006)

A norma NDU 006 da Energisa tem por objetivo estabelecer os requisitos mínimos necessários para elaboração de projetos de redes aéreas de distribuição urbanas, na classe de tensão 15/25 kV, em toda área de concessão da Energisa, de modo a assegurar as condições técnicas, econômicas e de segurança necessárias ao adequado fornecimento de energia elétrica.

No âmbito do estágio, esta norma foi especialmente útil para identificação de padrões existentes nas redes, como potência padrão de transformadores, bitolas de condutores, altura e esforço de postes. Ela também apresenta uma simbologia padrão que pode ser utilizada para projeto de redes aéreas de distribuição, e que foi utilizada na elaboração da planta elétrica de distribuição da universidade.

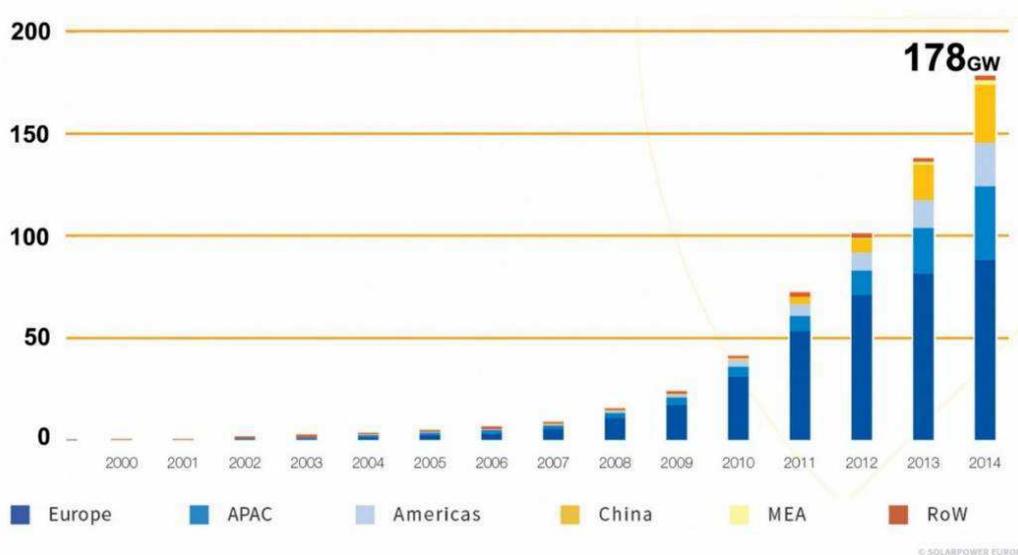
2.3 ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

O aproveitamento da energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para geração de eletricidade na atualidade, por ser o recurso energético mais abundante na terra, inesgotável à escala terrestre de tempo.

Uma das maneiras de aproveitar essa energia oriunda do Sol é através de sistemas fotovoltaicos de conversão de energia. A energia solar fotovoltaica é a energia obtida através da conversão direta da luz em eletricidade (efeito fotovoltaico), sendo essa conversão feita pelas células fotovoltaicas, que é a unidade fundamental dos sistemas de geração fotovoltaica.

Embora abundante na terra, a energia solar ainda é pouco utilizada para a produção de energia elétrica quando comparada com fontes tradicionais de geração de energia elétrica. Este cenário está mudando atualmente, e vem apresentando um crescimento rápido. A Figura 2.29 apresenta um gráfico que ilustra bem esse crescimento ao longo dos anos e em algumas regiões do mundo.

Figura 2.29: Crescimento da capacidade de geração fotovoltaica



Fonte: [14]

2.3.1 COMPONENTES BÁSICO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os arranjos fotovoltaicos, constituídos por módulos fotovoltaicos em diferentes associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte dos módulos. O bloco de condicionamento de potência pode ter conversores c.c.- c.c., seguidor de ponto de potência máxima (SPPM), do inglês

maximum power point tracking (MPPT), inversores, controladores de carga (se houver armazenamento) e outros dispositivos de proteção, supervisão e controle. Finalmente, o bloco de armazenamento é constituído por acumuladores elétricos (baterias) e/ou outras formas de armazenamento. [13]

2.2.1.1 MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Um módulo fotovoltaico é composto por células fotovoltaicas conectadas em arranjos para produzir tensão e correntes suficientes para a utilização prática da energia, ao mesmo tempo em que promove a proteção das células. [13]

As células fotovoltaicas são conectadas em arranjos série e/ou paralelo de modo a se obter as tensões de utilização e corrente elétrica desejadas. As células são postas em série com o objetivo de elevar o nível de tensão, visto que, individualmente, as células apresentam uma tensão muito baixa, sendo da ordem de 0,5 a 0,8V, para células de silício.

Atualmente existe uma diversidade de tipos de painéis fotovoltaicos e dos mais variados materiais e características.

- Painéis de Silício (Si):

Quase 80% dos painéis fotovoltaicos no mundo hoje são baseados em alguma variação de silício. Em 2014, cerca de 85% de todos os sistemas de energia solar fotovoltaica instalados em casas e empresas no mundo todo utilizaram alguma tecnologia baseada em silício (Si). [14]

O silício usado em painéis solares assume muitas formas. A principal diferença é a pureza dele.

- Silício monocristalino:

A tecnologia monocristalina é a mais antiga e também uma das mais caras, porém eles possuem a eficiência mais alta. Comercialmente falando, a eficiência dos painéis varia de 14 a 21%.

Os painéis solares de silício monocristalino (mono-Si) são facilmente reconhecíveis pois possuem uma cor uniforme, indicando silício de alta pureza e cantos tipicamente arredondados.

Eles são feitos a partir de um único cristal de silício ultrapuro, (lingotes de silício de forma cilíndrica), este é fatiado como um "salame" fazendo assim lâminas de silício individuais, que são então tratadas e transformadas em células fotovoltaicas. Cada célula

fotovoltaica circular tem seus “4 lados” cortados fora para otimizar o espaço disponível no painel solar monocristalino e aproveitar melhor a área do painel. O painel solar é composto por uma matriz de células fotovoltaicas em formações de série e paralelo. [14]

As principais características dos painéis solares monocristalinos são:

- Eficiência média do painel solar monocristalino: 14 – 21%;
- Forma: Arredondada;
- Tamanho padrão das células fotovoltaicas: 10x10cm; 12,5x12,5cm; 15x15;
- Cor: azul escuro ou quase preto (com antirreflexo), cinza ou azul acinzentado (sem antirreflexo).

○ Silício multicristalino ou policristalino:

Ambos, mono e poli cristalino são feitos de silício, a principal diferença entre as tecnologias é o método utilizado na fundição dos cristais. No policristalino, os cristais de silício são fundidos em um bloco, desta forma preservando a formação de múltiplos cristais (daí o nome poli cristalino). Quando este bloco é cortado e fatiado, é possível observar esta formação múltipla de cristais. [14]

Uma vez fundido, eles são serrados em blocos quadrados e, em seguida, fatiados em células assim como no monocristalino, mas é um pouco mais fácil de produzir. Eles são semelhantes aos de um único cristal (monocristalino) tanto no desempenho como na degradação, exceto que as células são ligeiramente menos eficientes. [14]

Os primeiros painéis solares à base de silício policristalino, que também são também conhecidos como polisilício (p-Si) e silício multi-cristalino (mc-Si), foram introduzidos no mercado em 1981.

As principais características dos painéis solares multicristalinos são:

- Eficiência média do painel solar policristalino: 13 – 16.5%;
 - Técnica: Fundição de polisilício, Aquecimento em forma;
 - Forma: Quadrada;
 - Tamanho padrão das células fotovoltaicas: 10x10cm; 12,5x12,5cm; 15x15;
 - Cor: azul (com antirreflexo), cinza prateado (sem antirreflexo).
- Painéis de filme fino:

Depositar uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato é a essência básica de como os painéis fotovoltaicos de filme fino são fabricados. Eles também são conhecidos como células fotovoltaicas de película fina (TFPV). Os diferentes

tipos painéis solares de filme fino podem ser categorizados por material fotovoltaico que é depositado sobre o substrato: [14]

- Silício amorfo (a-Si)
- Telureto de cádmio (CdTe)
- Seleneto de cobre, índio e gálio (CIS / CIGS)
- Células solares fotovoltaicas orgânicas (OPV)

Dependendo da tecnologia de célula fotovoltaica de filme fino utilizada, os painéis de filme fino possuem eficiências médias entre 7-13%. Algumas tecnologias de painel de filme fino já estão chegando nos 16% sendo similares a eficiência dos painéis Policristalinos. Atualmente (2015) os painéis fotovoltaicos que utilizam a tecnologia de filme fino representam aproximadamente 20% do mercado mundial de painéis solares fotovoltaicos. Sendo a maioria de silício cristalino.

- Painel solar de silício amorfo (a-Si):

Como a produção de energia elétrica é baixa nesta tecnologia, as células solares baseadas em silício amorfo, tradicionalmente, só tinham sido usadas para aplicações de pequena escala. Ex: calculadoras de bolso. No entanto, as inovações recentes permitiram que esta tecnologia seja utilizada também em aplicações de larga escala.

Com uma técnica de fabricação chamada de "empilhamento", várias camadas de células solares de silício amorfo podem ser combinadas, o que resultam em taxas mais elevadas de eficiência (tipicamente cerca de 6-9%). Apenas 1% do silício utilizado em células solares de silício cristalino é necessário nas células solares de silício amorfo. Por outro lado, o empilhamento é caro. [14]

- Painel solar de Telureto de Cádmio (CdTe):

Telureto de cádmio é a única tecnologia de painéis solares de película fina que superou o custo/eficiência de painéis solares de silício cristalino em uma parcela significativa do mercado mundial de painéis solares.

A eficiência de painéis solares com base na tecnologia de telureto de cádmio opera normalmente na faixa de 9-11%.

- Painel solar de Seleneto de Cobre, Índio e Gálio (CIS/CIGS):

Em comparação com as outras tecnologias de filme-fino acima, as células solares CIGS mostraram o maior potencial em termos de eficiência. Estas células solares contêm menos quantidades do cádmio (material tóxico que é encontrado em células solares de CdTe). A produção comercial de painéis solares CIGS flexível foi iniciada na Alemanha em 2011. [14]

Os índices de eficiência para painéis solares CIGS normalmente operam na faixa de 10-12% e já existem alguns sendo vendidos no Brasil passando dos 13%.

- Células fotovoltaicas orgânicas (OPV):

Uma célula solar orgânica é um tipo de célula solar de polímero que usa a eletrônica orgânica, um ramo da eletrônica que lida com polímeros orgânicos condutores ou pequenas moléculas orgânicas, para absorção de luz e transporte de carga para a produção de eletricidade a partir da luz solar pelo efeito fotovoltaico. [14]

- Painel solar híbrido:

Existe uma "nova" tecnologia no mercado conhecida por heterojunção.

O processo de fabricação, com algumas diferenças, é similar ao dos painéis fotovoltaicos monocristalinos, porém, possuem uma passivação com camada de Silício Amorfo (a-Si), dentre outras diferenças.

Colocando de uma forma simples, este painel produz mais energia por metro quadrado e também funciona muito bem com temperaturas mais altas, desta forma, esta tecnologia é ideal para o Brasil, mas infelizmente ainda não está disponível no mercado. As principais características dos painéis solares híbridos são: [14]

- Eficiência comercial da célula fotovoltaica: aproximadamente 23%.
- Técnica: Czochralski / n-type c-Si
- Forma: Arredondada
- Tamanho padrão das células fotovoltaica: 156mm x 156mm.
- Cor: quase preto (com antirreflexo);

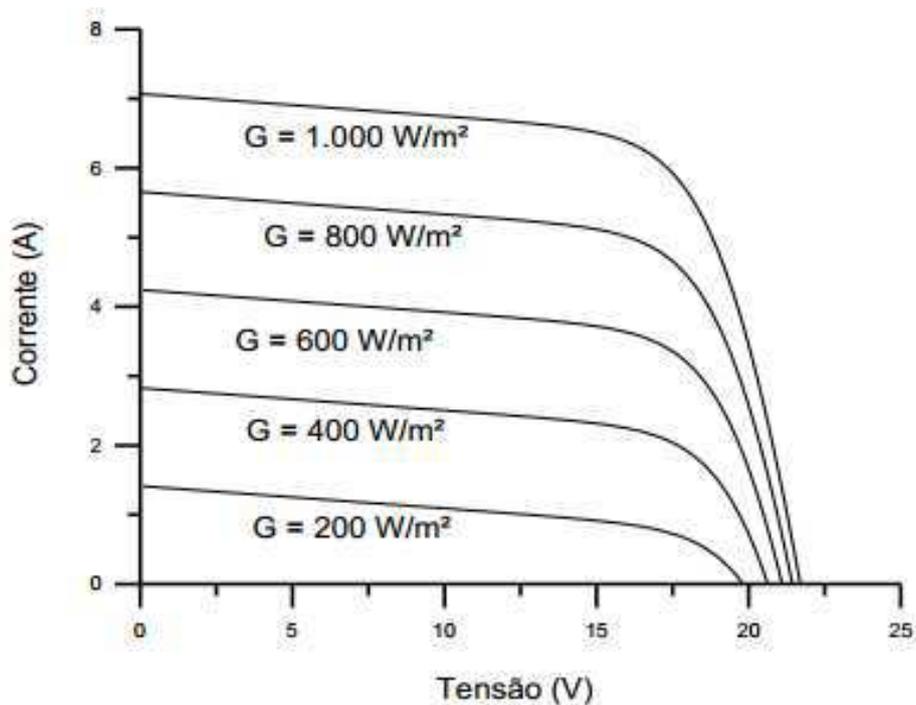
2.2.1.1.1 FATORES QUE AFETAM AS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DOS MÓDULOS

Existem fatores que influenciam o desempenho dos módulos fotovoltaicos, e esse desempenho é fundamentalmente influenciado pela irradiância solar e pela temperatura das células.

- Efeito da irradiância solar:

Basicamente, o nível de radiação solar influencia diretamente na corrente elétrica gerada pelo módulo, ou seja, quanto maior for a irradiância solar maior será a corrente gerada pelo painel. Esse comportamento pode ser observado no gráfico da Figura 2.30, que apresenta o aumento linear da corrente de curto-circuito de um módulo fotovoltaico de silício cristalino em função de diferentes níveis de irradiância.

Figura 2.30: Efeito causado pela variação da irradiância solar sobre a curva característica I-V



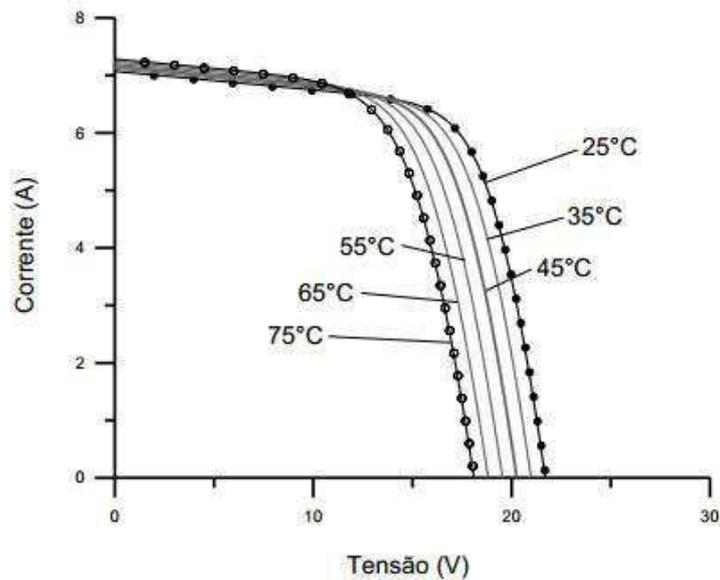
Fonte: [14]

- Efeito da temperatura:

A temperatura das células que compõem os módulos está relacionada com incidência de radiação solar e a variação da temperatura ambiente, e esta, têm influência na tensão de saída dos módulos.

A influência da temperatura pode ser observada no gráfico da Figura 2.31 que apresenta o efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V para um módulo fotovoltaico de silício cristalino sob irradiância de 1000 W/m².

Figura 2.31: Efeito causado pela variação da temperatura das células sobre a curva característica I-V



Fonte: [14]

A partir da observação da Figura 2.31, fica claro que o aumento da temperatura contribui para redução da tensão de saída do módulo e o contrário acontece no caso de diminuição da temperatura que provoca o aumento do nível de tensão de saída no módulo fotovoltaico.

A representação do efeito da temperatura nas características dos módulos é expressa por meio dos coeficientes de temperatura dos painéis.

O coeficiente (β) de variação da tensão de circuito aberto (V_{oc}) com a temperatura é dado pela equação 1.

$$\beta = \frac{\Delta V_{oc}}{\Delta T} \quad (1)$$

Onde ΔV_{oc} é a variação da tensão de circuito aberto para uma variação de temperatura da célula ΔT .

O cálculo de V_{oc} em uma determinada temperatura é dada pela equação 2.

$$V_{oc}(T) = V_{ocpadr\tilde{a}o} \cdot (1 + \beta \cdot (T - 25)) \quad (2)$$

O coeficiente β é negativo e pode ser expresso em mV/°C ou em %/°C

O coeficiente α de variação da corrente de curto-circuito com a temperatura é dado pela equação 3.

$$\alpha = \frac{\Delta I_{sc}}{\Delta T} \quad (3)$$

Onde ΔI_{sc} é a variação da corrente de curto-circuito (I_{sc}) para uma variação de temperatura da célula ΔT .

O coeficiente α é positivo e pode ser expresso em mA/cm²·°C ou em %/°C.

O coeficiente γ de variação da potência máxima (potência de pico) do módulo com a temperatura é dado pela equação 4.

$$\gamma = \frac{\Delta P_{MP}}{\Delta T} \quad (4)$$

Onde ΔP_{MP} é a variação da potência máxima do módulo para uma variação de temperatura de célula ΔT .

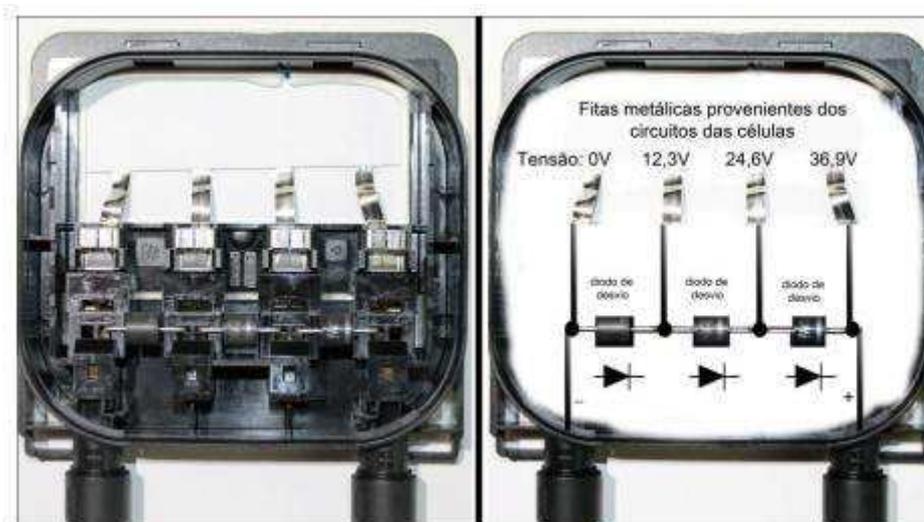
Os valores desses coeficientes variam em função da tecnologia da célula, e geralmente são apresentados nas folhas de dados técnicos fornecidas pelos fabricantes dos módulos.

2.2.1.1.2 CAIXA DE CONEXÕES E TERMINAIS

Na parte posterior dos módulos normalmente há uma caixa de conexões, onde são abrigados os diodos de desvio (*by-pass*) cuja função é basicamente evitar a ocorrência de “pontos quentes”, pois oferecem um caminho alternativo para a corrente e, assim, limitam a dissipação de potência no conjunto de células sombreadas. A presença dos diodos de desvio reduz simultaneamente a perda de energia e o risco de dano irreversível das células afetadas, o que inutilizaria o módulo. Nessa caixa de conexões também estão presentes as conexões entre *strings* de células e também a conexão com os terminais de saída do painel fotovoltaico. [14]

A Figura 2.32 apresenta a caixa de conexões e o diagrama de ligações de um módulo de 240 Wp, com 60 células em série (20 para cada diodo), e $V_{oc} = 36,9$ V.

Figura 2.32: Caixa de conexões (esquerda) e diagrama de ligações (direita)



Fonte: [14]

Os cabos terminais dos módulos fotovoltaicos devem ter isolamento adequado para a máxima tensão do sistema e ser capazes de suportar intempéries e são geralmente providos de um sistema de engate rápido, Figura 2.33, para facilitar a tarefa de instalação e garantir a boa qualidade da conexão.

Figura 2.33: Conectores de engate rápido MC4 para conexão série de módulos fotovoltaicos



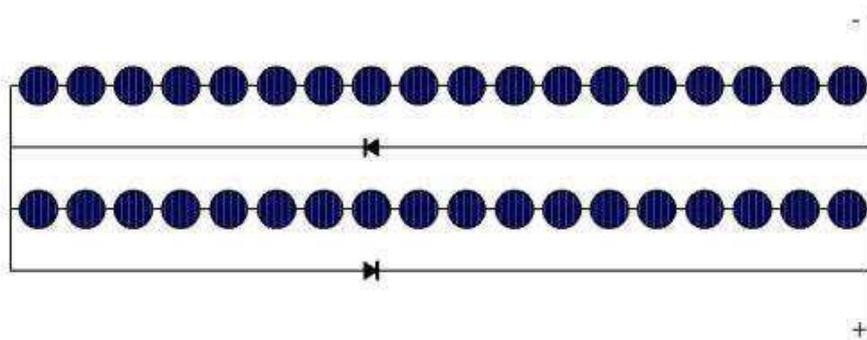
Fonte: [14]

2.2.1.1.3 PROTEÇÕES DO CONJUNTO DE MÓDULOS

Os módulos apresentam equipamentos que possuem a função de proteger as células fotovoltaicas, assim como o módulo ou o conjunto de módulos.

A proteção da célula é feita pelos já citados diodos de *by-pass*, como apresentado na Figura 2.34.

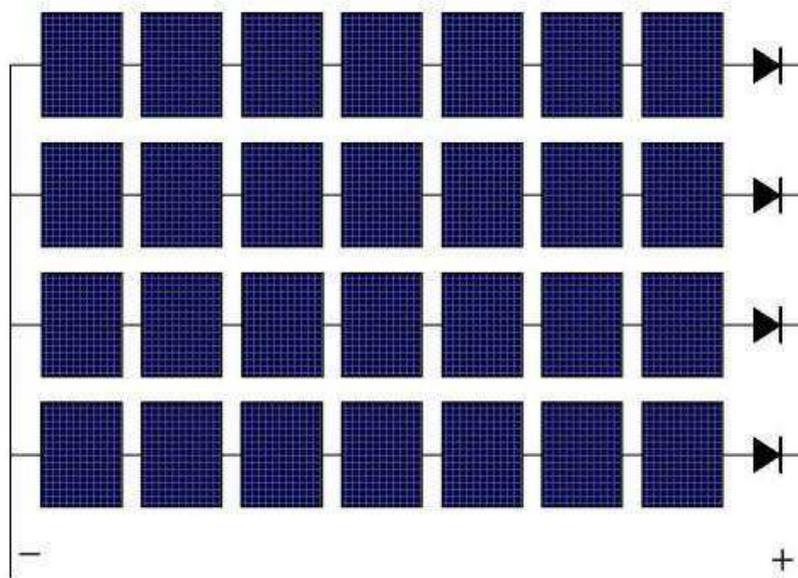
Figura 2.34: Diagrama mostrando a ligação dos diodos de desvio nos módulos fotovoltaicos



Fonte: [14]

A proteção dos módulos fotovoltaicos é realizada por diodos de bloqueio utilizado em conexões de módulos ou em conjuntos série de módulos em paralelo, e possuem a função de impedir que o fluxo de corrente de um conjunto série com tensão maior para um com tensão menor. Em sistemas que utilizam baterias, a função deste diodo é também de impedir a descarga noturna das baterias. A Figura 2.35 apresenta um sistema de módulos associados e a presença dos diodos de bloqueio.

Figura 2.35: Série de módulos fotovoltaicos conectados em paralelo e com diodo de bloqueio



Fonte: [14]

2.2.1.2 BANCO DE BATERIAS

Em sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica, deve-se utilizar dispositivos de armazenamento de energia para atender a demanda em períodos nos quais a geração é nula ou insuficiente.

Existem diversas formas de armazenamento de energia, tais como supercapacitores (armazenamento em campo elétrico), indutores com supercondutores (armazenamento em campo magnético), armazenamento em vetores energéticos como o Hidrogênio, entre outros, mas a bateria eletroquímica ainda é o dispositivo mais utilizado para armazenar a energia produzida por sistemas fotovoltaicos.

Existem vários tipos de acumuladores eletroquímicos, e a tecnologia mais empregada na atualidade para sistemas fotovoltaicos são as baterias de Chumbo-ácido (Pb-ácido). As baterias mais modernas para este tipo de aplicação são as de Níquel-Cádmio (NiCd), Níquel-hidreto metálico (NiMH), íon de Lítio (Li-íon) e ainda bateria a gel, e que embora apresentem vantagens em relação as tradicionais baterias de Chumbo-ácido (maior eficiência, maior vida útil, maior profundidade de descarga), ainda são economicamente inviáveis. [14]

2.2.1.3 CONTROLADORES DE CARGA

A função principal dos controladores de carga é proteger a bateria (ou banco de baterias) contra cargas e descargas excessivas, reduzindo assim seu desgaste e aumentando a sua vida útil. Sendo assim é indispensável na grande maioria dos casos, e sua utilização permite a otimização do dimensionamento do banco de baterias e do seu carregamento, desconexão de cargas em baixo

estado de carga da bateria e um maior nível de proteção contra um aumento e excessivo do consumo ou uma possível intervenção do usuário.

Os controladores devem desconectar o gerador fotovoltaico quando a bateria atingir carga plena e interromper o fornecimento de energia quando o estado de carga da bateria atingir um nível mínimo de segurança. Alguns controladores também monitoram o desempenho do sistema e acionam alarmes quando ocorre algum problema. Para melhorar o desempenho do controlador de carga, este pode ainda incorporar um sensor de temperatura, com a função de compensar o efeito da variação da temperatura nos parâmetros das baterias. [14]

2.2.1.4 INVERSORES

Um inversor é um dispositivo eletrônico que fornece energia elétrica em corrente alternada (c.a) a partir de uma fonte de energia elétrica em corrente contínua (c.c.). A energia c.c. pode ser proveniente, de baterias, células a combustível ou módulos fotovoltaicos. A tensão c.a. de saída deve ter amplitude, frequência e conteúdo harmônico adequados às cargas a serem alimentadas. Adicionalmente, no caso de sistemas conectados à rede elétrica a tensão de saída do inversor deve ser sincronizada com a tensão da rede. As eficiências destes conversores evoluíram e atualmente podem chegar a valores próximos a 99% em alguns inversores para conexão à rede elétrica.

Os inversores para sistemas fotovoltaicos devem possuir as seguintes características:

- Alta eficiência de conversão, tanto na carga nominal quanto em cargas parciais;
- Alta confiabilidade e baixa manutenção;
- Operação em uma faixa de ampla de tensão de entrada;
- Boa regulação na tensão de saída;
- Forma de onda senoidal com baixo conteúdo harmônico;
- Baixa emissão de interferência eletromagnética;
- Tolerância aos surtos de partida das cargas a serem alimentadas;
- Segurança tanto para as pessoas quanto para a instalação;
- Grau de proteção IP adequado ao tipo de instalação;

Alguns inversores podem vir equipados com um mecanismo de controle eletrônico que observa continuamente as modificações na curva característica I-V dos painéis, que pode ser provocado por variações na intensidade de radiação solar incidentes nos painéis e variação de temperatura, e atua sobre a eletrônica do próprio inversor, de modo a manter o gerador fotovoltaico operando na tensão correspondente à tensão de máxima potência, maximizando a transferência de

potência e evitando perdas nas células, que surgiriam se o acoplamento não ocorresse em outra tensão que não fosse a ótima. Este processo é o chamado de seguimento do ponto potência máxima (SPPM) ou MPPT, do inglês *Maximum power point tracking*.

2.3.2 APLICAÇÕES DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos (SFV) podem ser classificados em três categorias principais: sistemas fotovoltaicos isolados (SFI), sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFRCR) ou sistemas híbridos.

Os sistemas fotovoltaicos podem ainda ser aplicados em sistemas de bombeamento de água, onde a mesma é armazenada em tanques elevados, ou seja, a energia é geralmente armazenada na forma de energia potencial gravitacional. Outra aplicação importante para os sistemas fotovoltaicos é em sistemas de irrigação.

2.3.2.1 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ISOLADOS

Os sistemas isolados ou autônomos para geração de energia solar fotovoltaica são caracterizados por não se conectar à rede elétrica. O sistema abastece diretamente os aparelhos que utilizarão a energia e são geralmente construídos com um propósito local e específico. Esta solução é bastante utilizada em locais remotos já que muitas vezes é o modo mais econômico e prático de se obter energia elétrica nestes lugares. Exemplos de uso são sistemas de bombeamento de água, eletrificação de cercas, geladeiras para armazenar vacinas, postes de luz, estações replicadoras de sinal, etc.

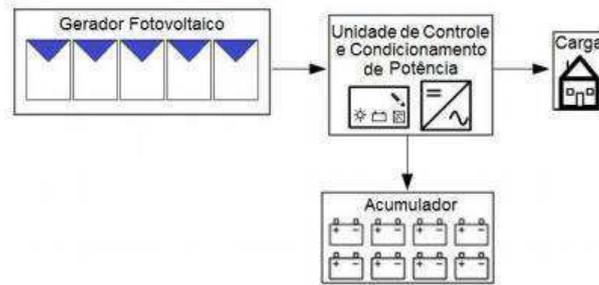
A energia produzida é armazenada em baterias que garantem o abastecimento em períodos sem sol.

Os sistemas isolados de geração de energia solar fotovoltaica, de maneira simplificada, são compostos basicamente dos seguintes componentes:

- Painéis solares;
- Controladores de carga;
- Inversores;
- Baterias.

A configuração básica de um sistema fotovoltaico isolado é apresentada na Figura 2.36.

Figura 2.36: Configuração básica de um SFI



Fonte: [14]

2.3.2.2 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

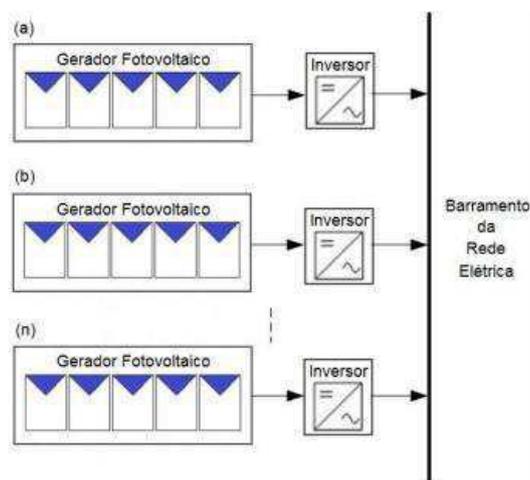
Um sistema fotovoltaico conectado à rede (SFCR), em inglês *on-grid* ou *grid-tie*, é um gerador de eletricidade que tem como combustível a energia solar, e que trabalha em conjunto com a rede elétrica da distribuidora de energia.

O painel fotovoltaico gera eletricidade em corrente contínua, e o inversor de frequência (aparelho que faz a interface entre os painéis fotovoltaicos e a rede elétrica) converte em corrente alternada e 'injeta' na rede elétrica.

O sistema de geração fotovoltaica conectados à rede, Figura 2.37 é um sistema caracterizado por estar conectado à rede de distribuição de distribuição. Esses sistemas dispensam o uso de acumuladores, pois a energia por ele produzida pode ser consumida diretamente pela carga, ou injetada diretamente na rede elétrica convencional, para ser consumida pelas unidades conectadas ao sistema de distribuição.

Esse tipo de geração distribuída vem se tornando cada vez mais populares em diversos países como Japão, Estados Unidos, países da Europa e mais recentemente no Brasil.

Figura 2.37: Sistema fotovoltaico conectado à rede



Fonte: [14]

2.3.3 PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS CONECTADOS À REDE ELÉTRICA

Etapas Preliminares de Projeto de um Sistema Fotovoltaico

As principais etapas de um SFV são as seguintes: [14]

- Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;
- Dimensionamento dos equipamentos de condicionamento de potência que, no caso dos SFCRs, restringe-se ao inversor para interligação com a rede;
- Dimensionamento dos cabos e proteções.

3.4.3.1 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

Esta fase busca-se quantificar a radiação solar global incidente sobre o painel fotovoltaico. Os dados de radiação solar podem estar especificados em termos de valores instantâneos do fluxo de potência, dita irradiância, ou valores de energia por unidade de área (com diversos períodos de integração), também chamado de irradiação. A forma mais comum de apresentação dos dados de radiação é através de valores médios mensais para a energia acumulada ao longo do dia. Também é comum determinar-se um histórico de variação de temperatura para uma dada região, a partir de informações armazenadas ao longo de vários anos de medidas. [14]

Os dados de irradiância tem uma importância significativa em sistemas fotovoltaicos, pois um gerador fotovoltaico tem suas características elétricas dependentes desse fator. A irradiância pode variar significativamente em curtos intervalos de tempo (da ordem de segundos), especialmente em dias com nuvens.

Nas estimativas de produção de energia elétrica, é útil ignorar os efeitos de variação da irradiância a cada instante e considerar a totalidade da energia elétrica convertida em intervalos horários. Como há uma forte linearidade entre a produção de energia e a irradiação horária, este conceito pode ser estendido, gerando uma forma bastante conveniente de se expressar o valor acumulado de energia solar ao longo de um dia: o número de Horas de Sol Pleno (HSP). Esta grandeza reflete o número de horas em que a irradiância solar deve permanecer constante e igual a 1 kW/m^2 (1.000 W/m^2), de forma que a energia resultante seja equivalente à energia disponibilizada pelo Sol no local em questão, acumulada ao longo de um dado dia. [14]

Assim, o HSP é dado por:

$$HSP = \frac{\text{Irradiância [kWh/m}^2 \cdot \text{dia]}}{1 \text{ [kW/m}^2\text{]}} \quad (5)$$

3.4.3.2 LOCALIZAÇÃO

A escolha da localização é uma das etapas mais importantes no projeto de sistemas fotovoltaicos e pode ser um fator determinante para o desempenho do sistema. O ângulo e a orientação dos painéis, além da presença de elementos de sombreamento ou superfícies reflexivas próximas, fontes de sujeiras, capacidade de trocar calor com o meio e ainda elementos arquitetônicos podem afetar a eficiência de um sistema fotovoltaico. [14]

Além desses aspectos, se a instalação for do tipo *rooftop* (de telhado) uma preocupação para os projetistas é a resistência mecânica do telhado e do prédio e o efeito dos ventos também são elementos importantes na escolha do local de instalação do painel fotovoltaico.

3.4.3.3 ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO

A escolha da configuração baseia-se basicamente nas características da carga e na disponibilidade de recursos energéticos. As configurações são SFI para sistemas isolados, SFCR para sistemas com acesso à rede de energia elétrica da concessionária ou SFH se houver integração com outros tipos de geração de energia.

3.4.3.4 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E DO CONSUMO

A maneira mais tradicional para determinar a demanda de uma unidade consumidora é somar as energias consumidas por cada equipamento. Esta etapa é a base do dimensionamento no caso de SFI, pois o sistema deve gerar mais eletricidade do que o limite estabelecido para consumo.

Para sistemas SFCR, normalmente o dimensionamento é feito pela a quantidade de energia que se deseja gerar, não havendo a preocupação com a redução da geração ou com a falta de geração pois a rede da concessionária funciona como uma espécie de *back-up*.

3.4.3.5 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

Para se dimensionar o gerador fotovoltaico de forma otimizada, deve-se levantar o consumo médio diário anual da edificação (Wh/dia) descontando o valor da disponibilidade mínima de energia.

A potência de um microgerador que compõe um SFCR pode ser calculada pela equação 6.

$$P_{FV}(W_p) = \frac{E/TD}{HSP_{MA}}, \quad (6)$$

onde:

$P_{FV}(W_p)$ – Potência de pico painel FV;

$E(W_h/\text{dia})$ – Consumo diário médio anual da edificação ou fração deste, é o quanto se deseja gerar;

$HSP_{MA}(h)$ – Média diária anual das HSP incidente no plano do painel FV;

$TD(\text{adimensional})$ – Taxa de desempenho.

A taxa de desempenho é um parâmetro para avaliar a geração de energia elétrica de um dado SFV, por levar em consideração a potência real do sistema sob condições de operação e todas as perdas envolvidas, como perdas por queda de tensão devido à resistência de conectores e cabeamento, sujeira na superfície do painel, sombreamento, eficiência do inversor, carregamento do inversor, descasamento (*mismatch*) entre módulos de mesmo modelo (diferenças entre suas potências máximas), resposta espectral, temperatura operacional, dentre outras. [14]

Para SFCRs residenciais, bem ventilados e não sombreados, uma TD entre 70 e 80% pode ser obtida nas condições de radiação solar encontradas no Brasil. Existem programas de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos que estimam o valor de TD do sistema de modo a reduzir as incertezas. No caso de instalações de maior porte como UFVs (Usinas Fotovoltaicas), o dimensionamento deve ser feito com auxílios de tais programas. [14]

A utilização desta abordagem é uma simplificação do cálculo e implicitamente leva-se em consideração a eficiência de conversão do painel, como demonstrado a seguir.

$$E_g(kWh \cdot dia) = Irradiância \cdot A_p \cdot n_p \cdot TD \quad (7)$$

Sendo que n_p é a eficiência do painel que é dado por,

$$n_p = \frac{P_{FV}}{A_p \cdot 1000} \quad (8)$$

Assim,

$$E_g(kWh \cdot dia) = Irradiância \cdot A_p \cdot \frac{P_{FV}}{A_p \cdot 1000} \cdot TD \quad (9)$$

Assim, a energia gerada, que em sistemas fotovoltaicos isolados dever ser maior ou igual ao consumo é dado por:

$$E_g(kWh \cdot dia) = P_{FV} \cdot \frac{Irradiância}{1000} \cdot TD \quad (10)$$

Ou seja,

$$E_g(kWh \cdot dia) = P_{FV} \cdot HSP \cdot TD \quad (11)$$

Fazendo a comparação entre as equações 6 e 11, percebe-se que são iguais e por isso foi utilizado o método simplificado que utiliza o HSP.

O dimensionamento de um SFCR é condicionado pelos recursos financeiros disponíveis para investimento e pela área disponível para sua instalação, muito mais do que propriamente pelas questões técnicas ou de desempenho. Outro fator levado em consideração é o custo da energia gerada pelo sistema, a escolha do fabricante também deve levar em consideração a credibilidade da empresa no que diz respeito a garantia dos módulos (20 a 25 anos) e às características do produto em termos dos parâmetros elétricos e eficiência e pós-venda.

3.4.3.6 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

O dimensionamento de um inversor depende da potência do gerador FV e da tecnologia e características elétricas do módulo escolhido para compor o gerador, características ambientais do local, além da topologia de instalação escolhida (ex.: inversor central, inversor descentralizado, microinversor, instalação interna ou externa etc.).

Assim como na escolha do fabricante dos módulos FV, a seleção por um fabricante de inversores também deve levar em consideração a credibilidade da empresa no que diz respeito à garantia do equipamento (tipicamente cinco a dez anos), assim como sua capacidade produzida acumulada e assistência técnica no território brasileiro.

- Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI):

O dimensionamento do sistema deve ser realizado de maneira que o inversor não trabalhe por muito tempo em potências demasiadamente abaixo da nominal nem seja sobrecarregado. Utilizando-se um inversor de menor capacidade (e, portanto, menor custo) para um mesmo gerador FV sem impactar na quantidade de energia e na confiabilidade do sistema, a energia gerada tende a ser mais barata.

Devido ao coeficiente de temperatura negativo das tecnologias FV, ou seja, redução da potência do módulo FV com o aumento de temperatura, costuma-se dimensionar o gerador FV com potência do módulo superior à do inversor, pois, mesmo quando a irradiância está próxima de 1000

W/m², a potência do gerador FV dificilmente se aproxima de sua potência nominal. Esta característica física do dispositivo, associada à otimização econômica do sistema, leva a se subdimensionar os inversores de SFCRs. Contudo, muitos inversores, em situações em que a potência gerada pelo painel FV ultrapassa a máxima potência de entrada do equipamento, ajusta seu SPPM de modo a limitar sua potência de entrada, desprezando toda potência acima deste limite. [14]

O Fator de Dimensionamento de Inversores (FDI) representa a relação entre a potência nominal c.a. do inversor (P_{Nca}) e a potência de pico do gerador FV (P_{FV}), como a equação 12.

$$FDI = \frac{P_{Nca}(W)}{P_{FV}(Wp)} \quad (12)$$

A potência do gerador FV e do inversor devem ser ajustadas de modo que o FDI do inversor tenha a melhor relação custo/benefício. O FDI depende do inversor selecionado, da tecnologia do módulo FV, da orientação e inclinação do painel, além das condições ambientais, como temperatura e radiação local. A otimização do FDI exige simulação numérica, que deve ser realizada utilizando-se dados horários de radiação e temperatura ambiente.

Os valores inferiores de FDI recomendados por fabricantes e instaladores situam-se na faixa de 0,75 a 0,85, enquanto que o limite superior é de 1,05.

- Tensão de Entrada:

A tensão de entrada do inversor é a soma das tensões dos módulos associados em série. Como a tensão possui forte dependência da temperatura, as condições extremas de inverno e verão deverão ser utilizadas no dimensionamento.

O cálculo da máxima tensão de entrada deve ser realizado com cuidado e atenção, pois ela nunca deve ser ultrapassada, sendo este um dos maiores riscos de ser danificar o equipamento.

A máxima tensão do sistema ocorre quando o painel FV está ainda em circuito aberto (V_{oc}) em baixas temperaturas. Isto pode acontecer durante o período de inverno, ainda no nascer do sol, quando a tensão do sistema se eleva em função da baixa temperatura do gerador FV, e o inversor ainda não se conectou à rede, em virtude da baixa irradiância, ou em função de uma falha na rede, que automaticamente desconecta o sistema deixando os módulos em circuito aberto. O máximo número de módulos em série que pode ser conectado ao inversor é calculado da seguinte maneira: [14]

$$N^{\circ} \text{módulos}_{\text{série}} \cdot V_{ocT\text{mín}} < V_{imáx}, \quad (13)$$

onde:

$V_{imáx}$ (V) - Máxima tensão c.c. admitida pela entrada do inversor;

$V_{ocT\text{mín}}$ (V) - Tensão em circuito aberto (V O de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista.

- Faixa de tensão de operação do SPPM do inversor:

O número de módulos conectados em série deve resultar em tensões com amplitudes dentro da faixa de tensão do SPPM do inversor. Essa preocupação se dá em virtude das temperaturas alcançadas pelos módulos no verão brasileiro, que podem atingir valores superiores a 70°C, e com isso a redução da tensão c.c. do sistema. Então deve-se avaliar se o SFCR possui número suficiente de módulos conectados em série, de modo que a tensão seja superior à mínima tensão de SPPM do inversor. Da mesma forma, para dias frios, em que a tensão de saída aumenta e, portanto, devendo ser menor que a máxima tensão de operação do SPPM do inversor. [14]

Portanto:

$$\frac{V_{iSPPM\text{mín}}}{V_{mpT\text{máx}}} < N^{\circ} \text{módulos}_{\text{série}} < \frac{V_{iSPPM\text{máx}}}{V_{mpT\text{mín}}}, \quad (14)$$

onde:

$V_{iSPPM\text{mín}}$ (V) - Mínima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor;

$V_{iSPPM\text{máx}}$ (V) - Máxima tensão c.c. de operação do SPPM do inversor;

$V_{mpT\text{mín}}$ (V) - Tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo FV na menor temperatura de operação prevista;

$V_{mpT\text{máx}}$ (V) - Tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo FV na maior temperatura de operação prevista.

- Corrente máxima c.c. do inversor:

Deve-se ter a preocupação com corrente máxima de entrada c.c. do inversor e por isso calcular o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas, conectadas em paralelo. Assim,

$$N^{\circ} \text{sériesFV}_{\text{paralelo}} = \frac{I_{imáx}}{I_{sc}}, \quad (15)$$

onde:

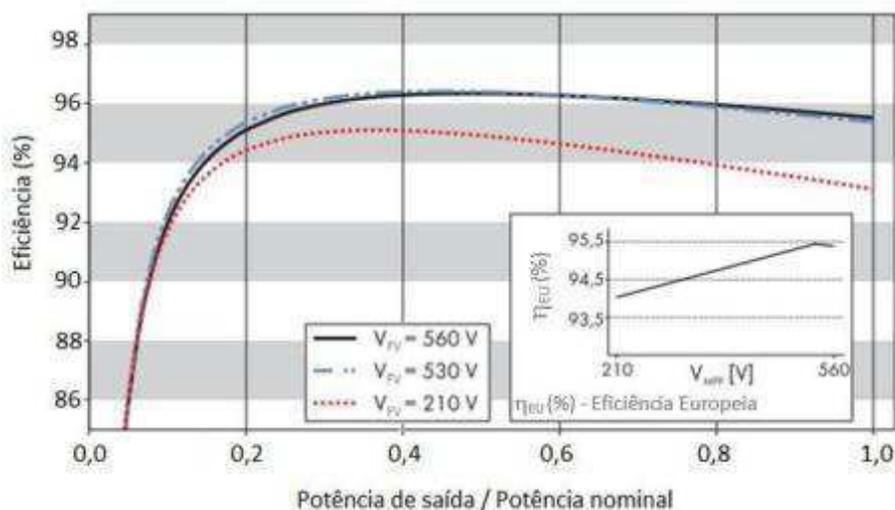
$I_{m\acute{a}x}$ (A) – Corrente máxima c.c. admitida na entrada do inversor;

I_{sc} (A) – Corrente de curto circuito do módulo FV nas STC.

- Otimização da tensão de operação:

A eficiência de um inversor pode ser influenciada pelas características do arranjo FV. Estes fatores são principalmente a tensão do gerador FV e o FDI do inversor. Um projeto otimizado leva em consideração estas características, de modo a aumentar a taxa de desempenho do sistema. A Figura 2.38 ilustra curvas de eficiência para um inversor em função destes parâmetros de projeto. É possível observar que, levando-se em conta somente a tensão de operação do gerador FV, tem-se uma influência de cerca de 2 % na eficiência do inversor para potência de saída acima de da potência nominal. Nem todos os fabricantes de inversores disponibilizam os gráficos de como a tensão do painel FV influencia o dispositivo. Porém, quando disponível, esta informação deve ser utilizada de maneira a aumentar a TD do sistema, projetando-se um gerador FV que trabalhe com um nível de tensão que priorize a curva de eficiência de melhor desempenho. Quando esta informação não é disponível, sugere-se trabalhar com a maior tensão c.c possível. [14]

Figura 2.38: Eficiência do inversor em função do nível de carga e da tensão de operação.



Fonte: [14]

3.4.3.7 DIMENSIONAMENTO DO CABEAMENTO E DAS PROTEÇÕES

A NBR 5410 ou algum programa de escolha da bitola do cabeamento podem ser utilizados e indicam a bitola adequada para os condutores em função do comprimento do ramal, da tensão

nominal e do nível de perdas pretendido. De forma alternativa, utiliza-se a equação 16 para determinar a seção mínima de condutor S , necessária para uma determinada instalação em corrente contínua. [14]

$$S(mm^2) = \rho \left(\frac{\Omega \cdot mm^2}{m} \right) \times \frac{d(m) \times I(A)}{\Delta V(V)}, \quad (16)$$

onde:

ρ - Resistividade do material do condutor, geralmente cobre ($\rho_{cu} = 0,01724 \Omega \cdot mm^2/m$);

d - Distância total do condutor, considerando o trecho de retorno (ida e volta);

I - Corrente que passa pelo condutor;

ΔV - Queda de tensão tolerada no cabeamento para o trecho analisado.

A especificação dos dispositivos adicionais de proteção (varistores, disjuntores, aterramento, proteção contra descargas atmosféricas etc.) passa por procedimentos já normatizados e similares aos relacionados com sistemas elétricos em geral. Deve-se lembrar, no entanto, que muitos elementos dos SFVs operam em corrente contínua.

2.3.4 RESOLUÇÃO NORMATIVA 482 DA ANEEL

No Brasil, os sistemas fotovoltaicos que se encaixam na classificação de micro e minigeração, são regulamentados pela Resolução Normativa (RN) N° 482/2012 (corrigida pela RN N° 687/2015) e devem se atender aos Procedimentos de Distribuição (PRODIST), e às normas de acesso das distribuidoras locais. A Resolução Normativa N° 482/2012 estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração distribuídas aos sistemas de distribuição de energia elétrica e o sistema de compensação de energia elétrica. Segundo o Artigo 2°, esta resolução define:

- Microgeração distribuída: 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, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; [2]
- Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 3 MW para fontes híbridas ou menor ou igual a 5 MW para cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou para as demais fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; [2]
- Sistema de compensação de energia elétrica: sistema no qual a energia ativa injetada por unidade consumidora com microgeração ou minigeração distribuída é cedida,

por meio de empréstimo gratuito, à distribuidora local e posteriormente compensada com o consumo de energia elétrica ativa; [2]

- Melhoria: instalação, substituição ou reforma de equipamentos em instalações de distribuição existentes, ou a adequação destas instalações, visando manter a prestação de serviço adequado de energia elétrica; [2]

Para o dimensionamento da potência do sistema, é importante ter o entendimento do sistema de compensação regulamentado na região. No Sistema de Compensação de Energia (net metering) adotado pelo Brasil (Resolução Normativa ANEEL 482/2012), quando o SFV gerar mais energia do que a demandada pela instalação consumidora, a energia excedente é entregue à rede elétrica e o medidor registra essa energia. O contrário ocorre quando a edificação consome mais energia do que a gerada pelo sistema FV, fazendo com que, neste caso, o medidor registre o fluxo em seu sentido convencional. No fim do mês, caso o balanço energético seja positivo (consumidor gerou mais energia elétrica do que consumiu), a distribuidora disponibilizará um crédito energético referente ao excedente, que será compensado nas faturas subsequentes, em um prazo de até 36 meses. Caso existam postos tarifários (tarifa horo-sazonal ou bandeiras tarifárias), o crédito da energia ativa injetada levará em conta a tarifa de energia do horário de injeção.

2.4 ANÁLISE ECONÔMICA

Antes de se realizar um investimento em determinado projeto é extremamente importante verificar a viabilidade do mesmo, principalmente quando envolve grandes quantias de dinheiro. Neste sentido, antes de iniciar um novo projeto é importante observar as possibilidades de lucros e prejuízos que o mesmo irá gerar.

Existem técnicas que podem ser utilizadas para analisar a viabilidade econômica de projetos e que auxiliam no processo de tomada de decisão de investimentos. Esses métodos fazem uma análise quantitativa do investimento, por meio desta análise é possível conhecer as margens de lucro ou prejuízo, tempo de retorno, entre outros, para toda a vida útil do projeto de investimento. Entre os principais métodos para análise econômica pode-se citar: o valor presente líquido, taxa interna de retorno e o *payback*.

3.5.1.1 VALOR PRESENTE LÍQUIDO (VPL)

O método do valor presente líquido tem a finalidade de analisar o impacto de rendimentos futuros com base no valor presente do capital. De maneira geral, ela realiza o valor presente de uma série de pagamentos futuros descontando uma taxa de custo de capital estipulada. Em outras

palavras, a necessidade de calcular o VPL se dá pelo fato de o dinheiro que se recebe no futuro não vale a mesma coisa que o dinheiro no tempo presente. Este fenômeno ocorre devido a vários fatores, incidência de juros, variação da taxa de juros, instabilidades do mercado financeiro, entre outros. Seu cálculo é feito da seguinte forma:

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+k)^t}, \quad (17)$$

onde:

I é o valor de investimento inicial;

FC é o fluxo de caixa no período t;

t são os períodos no tempo em que o dinheiro será investido;

n é o último período do investimento;

k é o custo de capital.

De maneira geral este método desloca todo o fluxo de caixa para a data e investimento do projeto por uma taxa de juros presumida e soma algebricamente os valores. Caso a soma for positiva, ou seja, se os ganhos oriundos do projeto deslocados para a data do investimento forem maiores que o investimento, diz-se que o projeto criará valor, caso este valor seja negativo o projeto acarretará prejuízo.

Segundo esse método o investimento é viável sempre que o valor do VPL for maior que zero. Quanto maior o valor do VPL mais viável é o investimento.

3.5.1.2 TAXA INTERNA DE RETORNO (TIR)

A Taxa Interna de Retorno é um método matemática-financeira utilizada para calcular a taxa de desconto que teria um determinado fluxo de caixa para igualar a zero seu VPL. É dada em valor percentual e é a taxa de retorno esperada do projeto de investimento.

$$VPL = -I + \sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1 + TIR)^t} = 0 \quad (18)$$

A análise da TIR é feita por comparação com o custo de oportunidade de capital, que é o retorno esperado para a escolha de outro tipo de investimento em detrimento ao investimento realizado.

- Se $TIR > k$, o projeto é dito economicamente viável;
- Se $TIR < k$, o projeto é dito economicamente inviável;

Para a realização do cálculo da TIR, são utilizados softwares como Excel ou Matlab, devido à complexidade do cálculo analítico.

3.5.1.3 PAYBACK

Este método é usado sempre que se deseja obter o tempo de retorno do investimento inicial. Analisando o caso onde as receitas mensais obtidas com o investimento são fixas o *Payback* é calculado segundo a seguinte expressão:

$$PB = \frac{I}{Re}, \quad (19)$$

onde:

I é o investimento inicial e Re são as receitas fixas obtidas em um determinado período fixo que pode ser semanal, mensal, anual ou outro intervalo de interesse. Quando as receitas não são fixas o *payback* é o tempo necessário para que o somatório dos ganhos com o projeto se igualem ao valor do investimento.

Esse método não considera o valor do dinheiro no tempo e faz apenas o estudo do tempo de recuperação do capital, sendo assim não é um método muito eficaz. Ao fim do processo obtém-se apenas o tempo de retorno do capital investido.

3 DESCRIÇÃO DAS ATIVIDADES

Nesta seção é apresentada uma descrição detalhada das atividades desenvolvidas durante o período de estágio.

3.1 ATIVIDADE 1: REDE DE MÉDIA TENSÃO

A primeira atividade desenvolvida no estágio se deu entre os dias 14 a 18 de março de 2016. Neste período foi feito o levantamento, a documentação e a elaboração de uma planta elétrica para toda a rede de distribuição em média tensão da Universidade Federal de Campina Grande.

Foi durante esse período que foram obtidos dados como altura e suportabilidade referentes a cada poste da rede de média tensão.

Além dos dados referentes a cada poste, foi obtido o tipo de estrutura de suporte isolador dos cabos aos postes e do tipo de rede de distribuição, ou seja, se a mesma era uma rede com condutores nus (convencional) ou uma rede com condutores protegidos (compacta).

No caso de redes convencionais, cada tipo de suporte isolador da rede possui uma nomenclatura e estão presentes na norma NDU 004 da Energisa e foram apresentados no item 2.1 do capítulo 2, do presente trabalho.

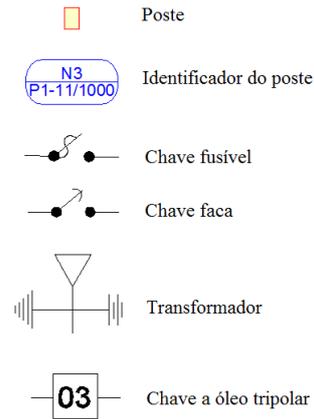
No caso das redes compactas, as estruturas compactas, para uso de cabos de alumínio cobertos não isolados, são denominadas Compacta com Espaçadores (CE) segundo a NDU 004 da Energisa e foram apresentados no item 2.1 do capítulo 2, do presente trabalho.

Os postes foram numerados segundo a nomenclatura:

- Os postes do anel principal receberam a letra P e um número em sequência dos números naturais;
- Os postes das ramificações receberam a letra P, adicionalmente uma letra referente ao setor em que se localiza o poste (A, B ou C) e um número também em sequência;

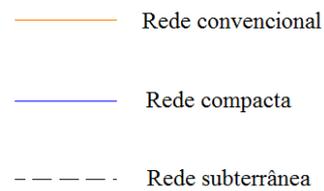
Munido dessas informações, foi elaborado, a partir de uma planta padrão da universidade, a distribuição espacial de toda a rede de média tensão da UFCG utilizando o software AutoCAD 2012. A Figura 39, apresenta a simbologia utilizada para cada elemento da rede.

Figura 39: Simbologia utilizada para a criação da planta elétrica



Foram utilizadas cores diferentes para indicar o tipo de rede de média tensão, como apresentado na Figura 40.

Figura 40: Indicação do tipo de rede



Fonte: Próprio autor, 2016

A rede de distribuição da Universidade Federal de Campina é do tipo anel, apresentado na Figura 41.

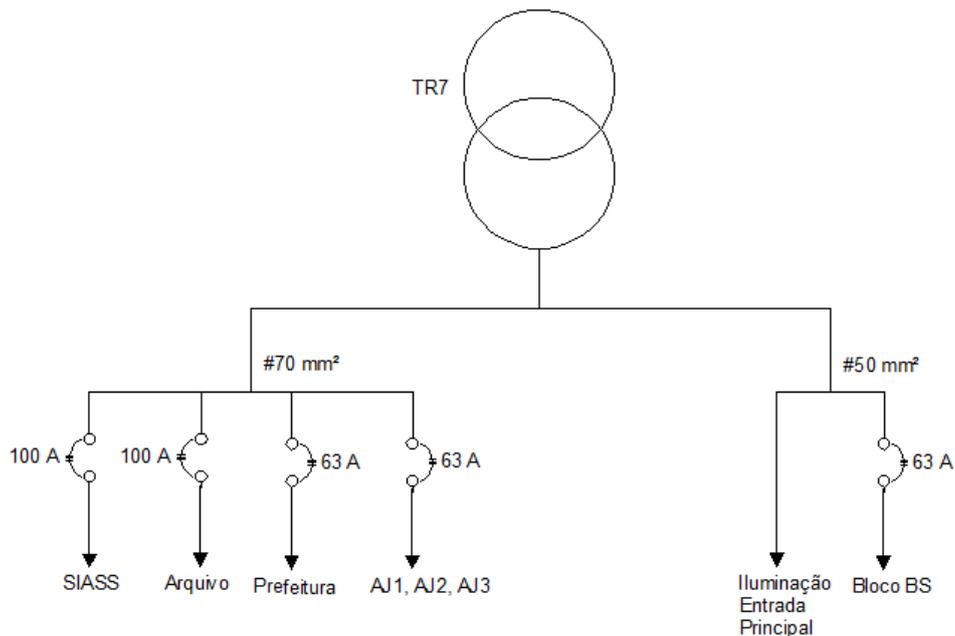
Figura 41: Anel de distribuição elétrica da UFCG



Fonte: Próprio autor, 2016

Fazendo uso dos dados de placa dos transformadores, as bitolas dos cabos dos alimentadores principais de cada bloco e dos disjuntores gerais dos quadros gerais e de cada bloco da universidade foram elaboradas os diagramas unifilares para cada circuito secundário de cada transformador. Na Figura 46 é apresentado o diagrama unifilar para um transformador do setor A da universidade. Os diagramas unifilares dos setores A, B e C constam no Apêndice A.

Figura 46: Diagrama elétrico para transformador do Setor A



Fonte: Próprio autor, 2016

3.3 ATIVIDADE 3: PLANEJAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

A última tarefa implementada no estágio foi a elaboração de um projeto de um sistema de microgeração fotovoltaica distribuída para suprir parte da demanda de energia do bloco CAA da universidade.

Inicialmente foi escolhida a topologia do sistema fotovoltaico que seria implementado no projeto, a modalidade escolhida foi a de Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica (SFCR).

As principais etapas de um projeto de um SFCR, como já foram citados são:

- Levantamento adequado do recurso solar disponível no local da aplicação;
- Definição da localização e configuração do sistema;
- Levantamento adequado de demanda e consumo de energia elétrica;
- Dimensionamento do gerador fotovoltaico;

- Dimensionamento dos equipamentos de conversão da energia gerada pelos painéis, o inversor;
- Dimensionamento da bitola dos condutores e das proteções do sistema.

3.3.1 AVALIAÇÃO DO RECURSO SOLAR

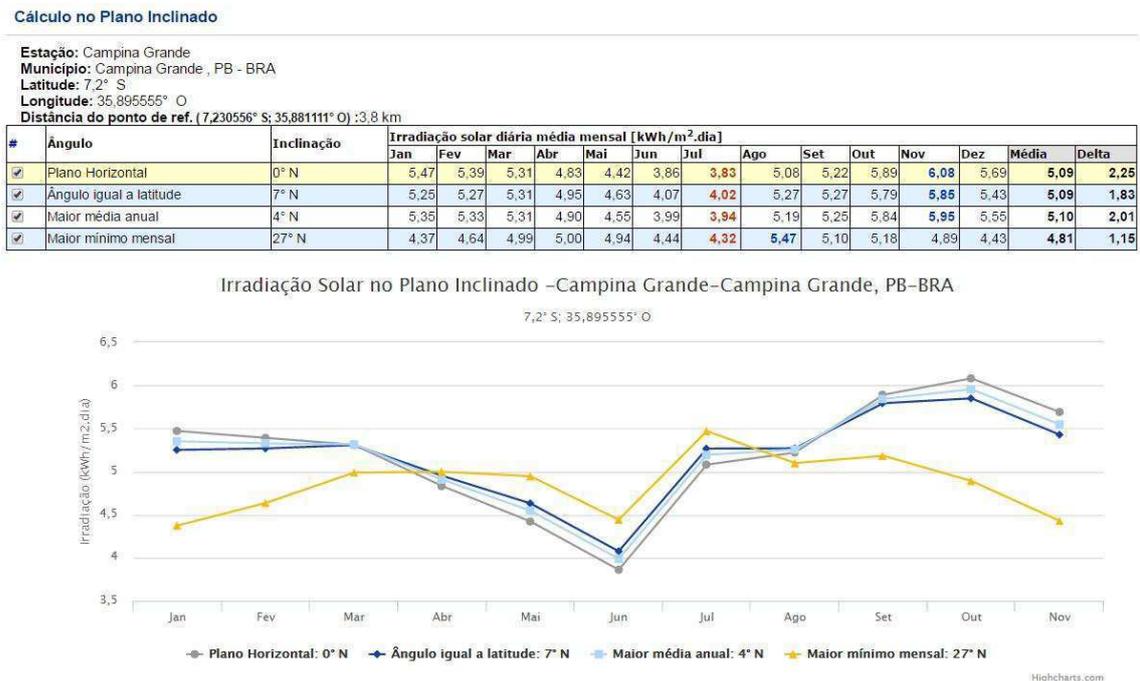
Nesta fase de projeto, buscou-se quantificar a radiação solar global que irá incidir sobre o painel fotovoltaico.

Para isso foram utilizados os dados de irradiação solar diária média mensal e anual, obtido na ferramenta SunData do CRESESB.

Para isso, inseriu-se as coordenadas geográficas do local onde vai se localizar o sistema gerador, neste caso, a cidade de Campina Grande (7° 13' 50" S; 35° 52' 52" O).

A partir desses dados o programa fornece uma tabela com os dados de irradiação solar diária média mensal em kWh/m² · dia e em função da inclinação do plano da superfície como apresentado na Figura 47.

Figura 47: Irradiação solar diária média mensal para a cidade de Campina Grande



Fonte: [15]

A partir dos dados fornecidos pelo programa é possível realizar o cálculo do número de Horas de Sol Pleno (HSP). Para sistemas fotovoltaicos recomenda-se que os painéis sejam postos de tal maneira, que a máxima intensidade de radiação solar incida sobre painel, ou seja, com inclinação

igual a latitude do local onde sistema de painéis estão dispostos e com orientação voltada para o norte.

Utilizando o dado de irradiação solar diária média que é de 5,09 kWh/m² ao dia no plano inclinado com ângulo igual a latitude que é de 7°, é possível calcular o número de horas de sol pleno da seguinte maneira:

$$HSP = \frac{5,09 [kWh/m^2 \cdot dia]}{1 [kW/m^2]} = 5,09[h/dia]$$

Cabe ainda observar, que os valores utilizados são médias estimadas e que podem haver incorreções diante dos valores reais, portanto, nada substitui a realização de medições de irradiação no local de implantação do projeto.

3.3.2 LOCALIZAÇÃO

O sistema gerador estará localizado no teto do bloco CAA, portanto, do tipo *rooftop*, que possui uma área bem extensa e que pode abrigar uma grande quantidade de painéis. Além de possuir uma grande área, e ser basicamente plana, existem outros fatores que beneficiam a colocação de painéis neste local, entre os quais se pode citar:

- Por ser o prédio mais alto do local onde o projeto será instalado, o sistema gerador não sofrerá influência de sombreamento ou refletividade por estruturas próximas;
- Área de fácil circulação de ar;
- A orientação do prédio e o fato de o telhado ser plano facilitarão a inclinação e a orientação azimutal do painel.

Uma vista do teto do bloco CAA é apresentado na Figura 48.

Figura 48: Parte do teto do bloco CAA da UFCG



3.3.3 ESCOLHA DA CONFIGURAÇÃO

Como já foi apresentada, a configuração escolhida para o projeto é a de SFCR, portanto excluindo-se a necessidade de sistemas de armazenamento de energia.

3.3.4 LEVANTAMENTO DA DEMANDA E DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

A maneira mais tradicional para determinar a demanda de uma unidade consumidora é somar as energias consumidas por cada equipamento.

Foi realizado o levantamento de todas as cargas instaladas no bloco CAA, e os valores foram colocados numa planilha. Basicamente, as cargas do Bloco CAA são iluminação, tomadas de uso geral (TUG), ar condicionado, computador, Datashow e os motores dos elevadores.

O somatório de todas as potências para cada tipo de carga é apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Potência total instalada

Potência Total	[kW]
Iluminação	48,400
TUGS	9432
AR condicionado	1.131,520
Computador	4,1624
Datashow	13,2
Motor Elevador	17

Para o cálculo da demanda foi utilizada a norma NDU 001 da Energisa, para a obtenção dos fatores de demanda para os tipos de cargas presentes no bloco. Para a iluminação, tomadas de uso geral, computador e Datashow, foi utilizada a Tabela 2, para o ar condicionado, foi utilizado a tabela 8 e para os motores foi utilizado a tabela 10 da referida norma. A Tabela 2 apresenta os valores de demanda para todas as cargas dos blocos.

Tabela 2: Demanda para as cargas do CAA

Demanda	Pot.xFD	[W]	[kW]
Iluminação	$48400 \cdot 0,86$	41624	41,624
TUGS	$9432 \cdot 0,86$	8111,52	8,11152
AR condicionado	$1131520 \cdot 0,80$	905216	905,216
Computador	$4162,4 \cdot 0,86$	3579,664	3,579664
Datashow	$13200 \cdot 0,86$	11352	11,352
Motor Elevador	17000	17000	17

Já o consumo diário, apresentado na Tabela 3, é obtido realizando-se o produto da demanda pelo número de horas de utilização das cargas ao longo do dia.

Tabela 3: Consumo diário de energia

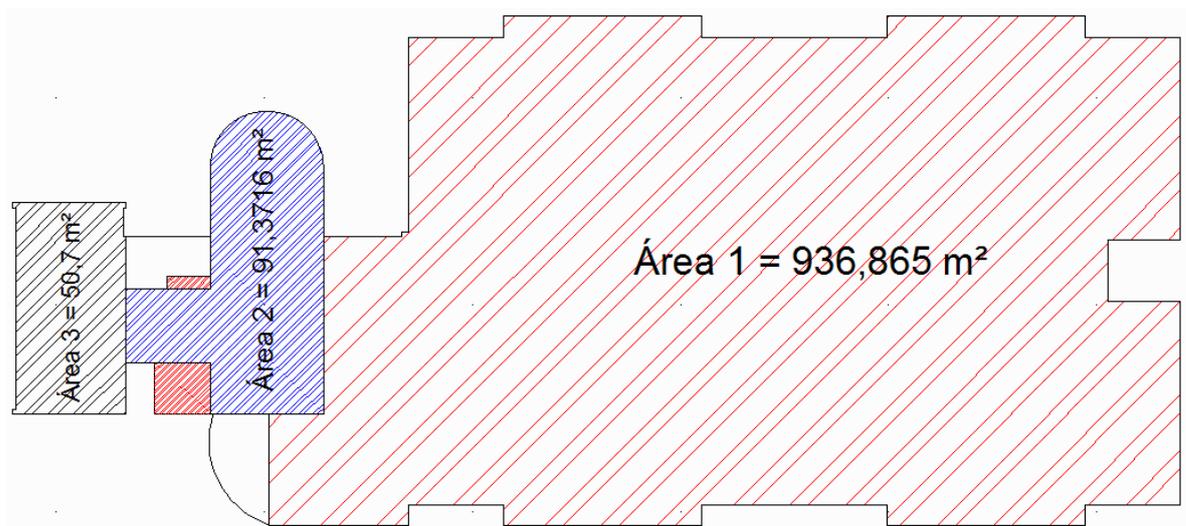
Consumo	Demanda · horas	[kWh/dia]
Iluminação	$41,624 \cdot 8$	332,992
TUGS	$8,11152 \cdot 8$	64,89216
AR condicionado	$905,216 \cdot 8$	7241,728
Computador	$3,579664 \cdot 8$	28,637312
Datashow	$11,352 \cdot 8$	90,816
Motor Elevador	$17 \cdot 8$	136

3.3.5 DIMENSIONAMENTO DO GERADOR FOTOVOLTAICO

O dimensionamento da quantidade de painéis de um projeto fotovoltaico pode ser feito de duas maneiras, uma delas é em função da quantidade de energia elétrica que se deseja gerar, ou seja, da carga que vai alimentar ou em função da área disponível para colocação dos painéis.

Para o projeto em questão, o dimensionamento da quantidade de painéis foi feito em função da área disponível, de modo que o sistema fotovoltaico ocupasse toda a área disponível do teto do bloco CAA. Para isso, foi feita a medição de toda a área do bloco, a verificação da viabilidade de colocação dos painéis e elaboração de uma planta na ferramenta AutoCAD 2012. A Figura 49, ilustra a planta desenvolvida e em destaque as possíveis áreas onde serão instalados os painéis.

Figura 49: Vista superior do Bloco CAA da UFCG

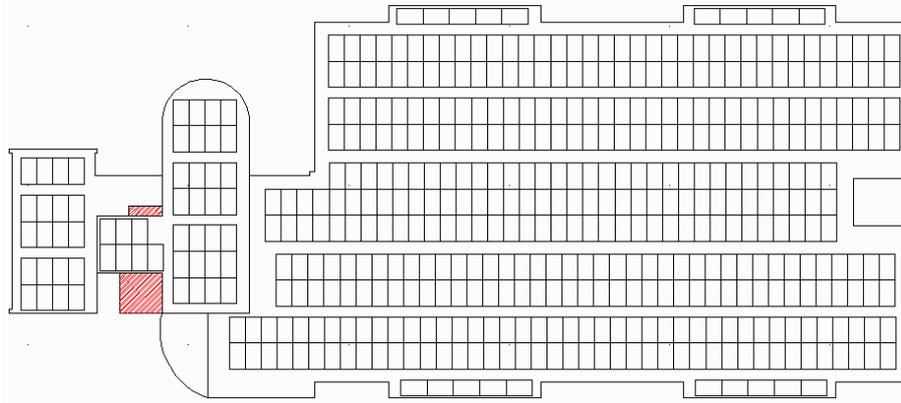


Fonte: Próprio autor, 2016

A partir desta representação do teto do bloco, foi feita a distribuição dos painéis nos setores onde eram possíveis, a sua instalação. No AutoCAD, criou-se um bloco na mesma escala do

desenho que corresponde ao bloco, com as dimensões reais dos painéis que serão utilizados no projeto. A representação da distribuição de painéis é apresentada na Figura 50.

Figura 50: Disposição dos painéis que serão instalados



Fonte: Próprio autor, 2016

Foram postos um total de 485 painéis distribuídos por toda a extensão do teto do Bloco CAA.

As especificações do módulo FV utilizado na concepção do projeto são apresentadas nas Tabela 4 e Tabela 5.

Tabela 4: Características de funcionamento do painel Yingli YL250P 29b.

Características Elétricas	
Parâmetros	Valores
Potência de pico ($P_{m\acute{a}x}$)	250 Wp
Eficiência (η)	15,4%
Tensão de curto circuito (V_{co})	37,6
Corrente de Curto Circuito (I_{sc})	8,92
Tensão em potência máxima (V_{mpp})	39,8
Corrente em potência máxima (I_{mpp})	8,39
Características Térmicas	
Temperatura nominal da célula	48 °C
Coeficiente de temperatura para V_{oc} (β)	-0,32
Coeficiente de temperatura para V_{mpp} ($\beta_{V_{mpp}}$)	-0,42
Condições de Funcionamento	
Tensão máxima do sistema 1000	1000 V _{DC}
Valor máximo do fusível em série	15A
Faixa de temperatura em funcionamento	-40°C até 85°C

Fonte: [12]

Tabela 5: Características físicas do painel Yingli YL250P 29b.

Materiais	
Proteção frontal	Vidro temperado
Tipo das células solares	Silício Multicristalino
Nº de células solares	60
Caixa de junção	≥IP65
Cabo de ligação (comprimento/seção)	1000 mm/4mm ²
Conector (tipo/grau de proteção)	MC4/IP67
Características Físicas	
Dimensões (C / L / A)	1640mm / 990mm / 35 mm
Peso	18,5 kg

Fonte: [12]

A partir das informações da quantidade de painéis e da potência de pico do painel foi calculada a potência total do campo coletor.

$$P_{FV} = 485 \cdot 250 = 121.250 \text{ W}$$

A partir disso é possível calcular a energia média gerada diariamente pelo conjunto de painéis.

$$E_g = P_{FV} \cdot HSP \cdot TD$$

Onde:

E_g (kWh/dia) – Energia gerada pelo sistema de painéis

P_{FV} (kW) – Potência de pico do sistema de painéis fotovoltaicos

HSP (h/dia) – Número de horas de sol pleno

TD – Taxa de desempenho

$$E_g = 121.250 \cdot 5,09 \cdot 0,85 = 524588,125 \text{ Wh/dia} = 524,59 \text{ kWh/dia}$$

A energia gerada AC produzida pelo sistema leva-se em consideração a eficiência de conversão do inversor escolhido que foi de 97,2%.

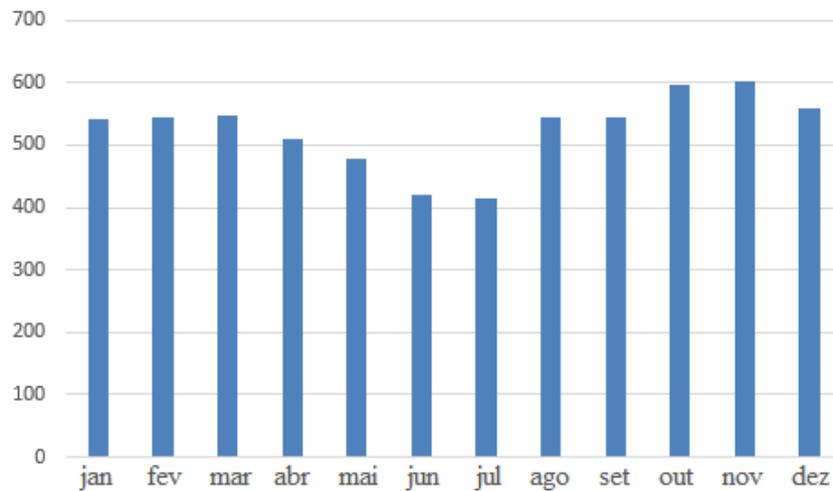
Assim a energia AC gerada é igual a:

$$E_g = 524,59 \cdot 0,972 = 509,90 \text{ kWh/dia}$$

Com toda essa energia que vai ser gerada por esse sistema, é possível o atendimento de quase toda a demanda do bloco com tomadas de uso geral, tomadas de uso específico e iluminação que possuem um total de demanda diária de 517,3375 kWh/dia.

É possível ainda fazer uma estimativa mensal de geração de energia utilizando os níveis de irradiância mensal para a cidade de Campina Grande obtidos pelo SunData, apresentada no gráfico de barras da Figura 51.

Figura 51: Estimativa de geração de energia mensal média pelo sistema fotovoltaico



Fonte: Próprio autor, 2016

3.3.6 DIMENSIONAMENTO DO INVERSOR

A potência do inversor é escolhida em função da potência do campo coletor e de modo que o fator de dimensionamento do inversor $0,75 < FDI < 1,05$, que de acordo com a literatura são os valores de FDI recomendado por fabricantes e instaladores.

O inversor escolhido tem uma potência de 100 kW, assim o $FDI = \frac{100}{121,250} = 0,82$, cujo valor se situa na faixa admissível.

Inversor escolhido é o da empresa Fronius, modelo AGILO 100.0-3 OUTDOOR e as principais especificações estão presentes na Tabela 6.

Tabela 6: Dados técnicos do inversor Fronius AGILO 100.0-3 OUTDOOR

Dados de Entrada	
Parâmetros	Valores
Corrente máxima de entrada ($I_{im\acute{a}x}$)	227 A
Corrente máxima de curto-circuito	340,5 A
Tensão mínima de entrada ($V_{im\acute{i}n}$)	460 V
Tensão máxima de entrada ($V_{im\acute{a}x}$)	950 V
Faixa de tensão do SPPM ($V_{iSPPMm\acute{i}n} - V_{iSPPMm\acute{a}x}$)	460 V – 820 V
Dados de Saída	
Potência máxima de saída	100 kW
Corrente máxima de saída	152,6 A
Conexão com a rede (Faixa de tensão)	3~NPE 400 V / 230 V (+17% / -25 %)

Frequência	50 Hz / 60 Hz
Fator de distorção	< 3%
Fator de potência	0.8 – 1 ind. / cap.
Características Físicas	
Dimensões (C / L / A)	1100 mm / 700 mm / 1884 mm
Peso	806 kg
Grau de proteção	IP 55

Fonte: [7]

A partir dos dados do inversor, é dimensionado o arranjo dos painéis em associações série paralelo de modo que sejam respeitados os limites do inversor.

O número de módulos conectados em série deve resultar em tensões que atendam à faixa de tensão do SPPM do inversor.

$$\frac{V_{iSPPMmin}}{V_{mpTmax}} < N^{\circ} \text{ módulos_série} < \frac{V_{iSPPMmax}}{V_{mpTmin}}$$

O V_{mpTmin} é a tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo FV na menor temperatura prevista. Foi feito uma análise dos dados históricos de temperatura para a cidade de Campina Grande, e verificou-se que a menor temperatura média registrada é de 17,8 °C. A partir desse valor de temperatura é possível o V_{mpTmin} do painel.

$$V_{mpTmin}(T = 17,8 \text{ }^{\circ}\text{C}) = V_{mp} \cdot (1 + \beta \cdot (T - 25)) = 29,8 \cdot \left(1 + \left(-\frac{0,42}{100}\right) \cdot (17,8 - 25)\right)$$

$$V_{mpTmin}(T = 17,8 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 30,701 \text{ V}$$

Da mesma forma foi calculado V_{mpTmax} que é a tensão de potência máxima (V_{mp}) de um módulo FV na maior temperatura prevista. Segundo a literatura, no Brasil a temperatura máxima que um módulo atinge pode ultrapassar 75 °C. Então, como a maior temperatura foi escolhida a temperatura máxima suportável pelo painel escolhido que é de 85 °C.

$$V_{mpTmax}(T = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}) = V_{mp} \cdot (1 + \beta \cdot (T - 25)) = 29,8 \cdot \left(1 + \left(-\frac{0,42}{100}\right) \cdot (85 - 25)\right)$$

$$V_{mpTmax}(T = 85 \text{ }^{\circ}\text{C}) = 22,290 \text{ V}$$

Assim o número de módulos em série deve estar na faixa de:

$$\frac{460}{22,290} < N^{\circ} \text{ módulos_série} < \frac{820}{30,701}$$

Dessa maneira deve-se escolher uma associação maior do que 21 e menor do que 26 módulos que serão postos em série.

$$21 < N^{\circ} \text{ módulos_série} < 26$$

O inversor FV possui uma corrente máxima de entrada c.c., que não deve ser ultrapassado, então o número máximo de fileiras das séries fotovoltaicas (*strings*) conectadas em paralelo é dado por:

$$N^{\circ} \text{ séries } FV_{\text{paralelo}} = \frac{I_{\text{imáx}}}{I_{\text{sc}}} = \frac{227}{8,92} = 25,44$$

Assim, o número máximo de *strings* conectadas em paralelo é de 25.

A partir da faixa de valores da quantidade de módulos série e do número máximo de *strings* conectadas em paralelo e da quantidade de painéis que se deseja instalar, foi escolhido um total de 21 *strings* paralelas cada *string* contendo 23 módulos em série, totalizando 483 painéis.

É possível verificar ainda que a quantidade de módulos em série respeita o limite máximo de tensão c.c. na entrada do inversor.

$$N^{\circ} \text{ módulos }_{\text{série}} \cdot V_{\text{ocTmín}} < V_{\text{imáx}}$$

$$23 \cdot 37,6 \cdot \left(1 + \left(-\frac{0,32}{100} \right) \cdot (17,8 - 25) \right) = 884,72 < 950$$

3.3.7 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DO PROJETO FOTOVOLTAICO

A fim de verificar a viabilidade econômica de instalação do sistema fotovoltaico foi consultado o preço dos principais componentes que integram o sistema fotovoltaico. Por se tratar de um projeto de grande porte, foi também solicitado orçamentos para a empresa Neosolar Energia e à equipe do site <http://www.portalsolar.com.br/>.

Uma dificuldade na elaboração completa dos gastos totais do investimento com o sistema fotovoltaico foi a de contabilizar os gastos com as estruturas de suporte dos painéis, proteções elétricas, cabo solar específico, conectores MC4, instalação, projeto elétrico entre outros gastos. Diante desta dificuldade solicitou-se orçamentos completos para a Empresa Neosolar Energia e à equipe do site <http://www.portalsolar.com.br/>.

De acordo com orçamento obtido da empresa Neosolar Energia, presente no Anexo A, o custo total com o sistema solar fotovoltaico com potência de pico de 122,4 kWp é de R\$ 964.799,52 que incluíam:

- Painéis fotovoltaicos: 480xCanadian CSI CS6p-255p (255 Wp);
- Inversores: 4xInversor Fronius modelo Eco 25.0-3-s (25 kW);
- Suporte para fixação dos painéis (Kit THESAN Parafuso estrutural de rosca dupla - telhado inclinado fibrocimento);
- Proteções elétricas de corrente contínua;
- Cabo solar específico para corrente contínua;
- Conectores MC4;

- Material elétrico e miscelâneas necessárias para instalação do sistema;
- Serviço de instalação do sistema;
- Projeto elétrico e regularizado do sistema junto a distribuidora de energia, e;
- Sistema de monitoramento dos dados de produção de energia.

Já o orçamento feito pelo Portal Solar, presente no Anexo B, estabeleceu um intervalo de preço médio para um gerador fotovoltaico com esse porte no mercado de R\$ 700.080,00 até R\$ 969.200,00.

De acordo com o orçamento realizado pelo Portal Solar, a produção mensal é de 15560 kWh e 186.720 kWh/ano. Sabendo que a taxa média de contrato é de 0,2316 R\$/kWh em horário fora de ponta para consumidor do tipo A4 classe serviço público da Energisa Paraíba, obtida no site da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), e considerando ainda um aumento anual na taxa de energia elétrica de 5% ao ano até o fim do projeto que tem previsão de duração de 25 anos, é possível se fazer a análise do investimento através dos métodos financeiros do VPL, TIR e *Payback*. Para tal análise, foi utilizado o software Excel.

Os ganhos mensais com o projeto são calculados na Tabela 7, conforme a tarifa anteriormente citada e considerando o aumento anual na taxa de energia de 5% ao ano até o fim do projeto.

Tabela 7: Tarifas, economia mensal e economia anual considerando o aumento de 5% ao ano na tarifa.

t	Ano	Tarifa (r\$/kwh)	Valor economizado mensal (r\$)	Valor economizado anualmente (r\$)
1	2017	0,231610947	3603,86634	43246,39608
2	2018	0,243191495	3784,059657	45408,71588
3	2019	0,255351069	3973,26264	47679,15167
4	2020	0,268118623	4171,925772	50063,10926
5	2021	0,281524554	4380,52206	52566,26472
6	2022	0,295600782	4599,548163	55194,57796
7	2023	0,310380821	4829,525571	57954,30685
8	2024	0,325899862	5071,00185	60852,0222
9	2025	0,342194855	5324,551942	63894,62331
10	2026	0,359304598	5590,779539	67089,35447
11	2027	0,377269828	5870,318516	70443,8222
12	2028	0,396133319	6163,834442	73966,01331
13	2029	0,415939985	6472,026164	77664,31397
14	2030	0,436736984	6795,627473	81547,52967
15	2031	0,458573833	7135,408846	85624,90615
16	2032	0,481502525	7492,179288	89906,15146
17	2033	0,505577651	7866,788253	94401,45903
18	2034	0,530856534	8260,127666	99121,53199
19	2035	0,55739936	8673,134049	104077,6086
20	2036	0,585269328	9106,790751	109281,489

21	2037	0,614532795	9562,130289	114745,5635
22	2038	0,645259435	10040,2368	120482,8416
23	2039	0,677522406	10542,24864	126506,9837
24	2040	0,711398527	11069,36108	132832,3329
25	2041	0,746968453	11622,82913	139473,9496
			Total	2.064.025,019

Para o estudo de viabilidade de sistemas de energia fotovoltaica será considerado como custo de oportunidade de capital o rendimento anual da poupança de 2015 que foi de 7,9448%. Esse meio de comparação foi utilizado por se tratar de um fundo de fácil acesso e com baixo rendimento. Sendo assim se o projeto não for viável em comparação com este tipo de investimento, dificilmente será viável em comparação com outros investimentos.

Considerando o método de análise VPL, para que o investimento seja viável financeiramente é necessário que os ganhos econômicos recebidos em todo o período de validade do projeto deslocados para o seu início por uma taxa de 7,9448% e somados, seja maior que o investimento total do projeto deslocado para o mesmo período de tempo. Caso isso não ocorra o projeto não será viável. Fazendo os deslocamentos de todos os retornos anuais para a data inicial do investimento obtemos a Tabela 8.

Tabela 8: Cálculo do valor presente a uma taxa de atratividade de 7,94% ao ano

t	Ano	Valor do dinheiro no presente em 2015
1	2017	40063,4362
2	2018	38970,48122
3	2019	37907,34271
4	2020	36873,20728
5	2021	35867,28369
6	2022	34888,8023
7	2023	33937,01449
8	2024	33011,19203
9	2025	32110,62657
10	2026	31234,62909
11	2027	30382,52935
12	2028	29553,67542
13	2029	28747,43312
14	2030	27963,18561
15	2031	27200,33284
16	2032	26458,29117
17	2033	25736,49284
18	2034	25034,38562
19	2035	24351,4323
20	2036	23687,11037
21	2037	23040,91155
22	2038	22412,34143

23	2039	21800,91908
24	2040	21206,17671
25	2041	20627,65927
Total		733066,8923

Para o cálculo do VPL será feita nos cenários de investimento do menor valor de orçamento obtido que foi de R\$ 700.000,00 e para o de R\$ 969.200,00 que é a média dos valores do orçamento do Portal Solar, faixa esta que contém o valor do orçamento da empresa Neosolar Energia.

$$VPL1 = -700.000,00 + 733066,89 = 33.066,89$$

$$VPL2 = -969.200,00 + 733066,89 = -236.133,11$$

Percebe que o VPL no primeiro caso é positivo e tornando o projeto viável economicamente. Já para o segundo caso, com um valor de investimento inicial maior o projeto é economicamente inviável.

Já pela análise da taxa interna de retorno os valores calculados são aproximadamente 9% para o menor orçamento, que por ser maior do que 7,94% indica que o projeto é economicamente viável e aproximadamente 5%, para o maior orçamento.

Já pela análise do *payback*, o retorno para o projeto com investimento inicial de R\$ 700.000,00 seria de aproximadamente 12 anos e 2 meses. Já o retorno para o investimento de R\$ 969.200,00 seria de aproximadamente 15 anos e 5 meses.

3.5.1.4 DISCUSSÕES

Pela a análise econômica realizada, verifica-se que um dos fatores mais importantes para a viabilidade econômica do projeto é o custo de investimento inicial e pode ser determinante para o processo de tomada de decisão sobre investir ou não neste tipo de projeto. O custo de investimento inicial ainda é alto para sistemas fotovoltaicos, devido ao fato de que os módulos fotovoltaicos e os inversores são importados, e seus custos sofrerem influência de fatores como alta do dólar e a incidência dos altos impostos brasileiros sobre os produtos importados.

Na prática, no processo de tomada de decisão sobre algum investimento deve-se levar em consideração diversos fatores e a análise dos métodos de orçamento de capital deve ser realizada em conjunto e cuidadosamente, pois cada método fornece informações próprias, e possui vantagens e desvantagens, de modo que o ideal é extrair o máximo de informações, pela comparação dos métodos aplicados.

Devido às condições e considerações feitas para realizar os cálculos, a análise quanto a viabilidade econômica do projeto torna-se mais difícil, pois a mesma foi feita sob condições que não necessariamente refletem o comportamento econômico real do projeto ao longo da sua vida útil. Para a análise realizada, considerou-se um aumento da tarifa anual do custo da energia de 5%, e

uma geração de energia mensal constante e igual a 15560 kWh, o que não necessariamente vá ocorrer durante toda vida útil do projeto.

Outra dificuldade encontrada foi a de estabelecer uma taxa média de atratividade (TMA), que é o mínimo que a universidade está disposta a ganhar com a realização do investimento. Para o cálculo realizado neste projeto utilizou-se o rendimento anual da poupança por se tratar de um fundo de fácil acesso. Essa TMA foi utilizada para os cálculos do VPL e para a análise da taxa interna de retorno, o que resultou num projeto viável economicamente para o caso em que o investimento inicial era menor pois, o VPL foi positivo e a taxa interna de retorno é maior do que a TMA proposta.

Outra observação que pode ser feita, é que para as condições estabelecidas e para ambos os casos de investimento inicial menor e maior, o investimento inicial é recuperado em 12 anos e 2 meses e 15 anos e 5 meses respectivamente. E que os rendimentos oriundos a partir da data em que o investimento inicial é recuperado, se torna o lucro do projeto de investimento. A partir da análise do *payback* verifica-se que o projeto de investimento inicial é viável economicamente, pois o montante investido inicialmente para a concepção do projeto é recuperado.

Outro ponto que poderia ser incluído na análise e que poderiam influenciar no resultado da mesma, são os encargos, as bandeiras tarifárias e as multas por excesso de reativos que estão incluídas nas contas de energia elétrica da universidade.

4 CONCLUSÃO

Neste documento constam o conjunto de atividades desenvolvidas durante o período de estágio realizado na Prefeitura Universitária da Universidade Federal de Campina Grande.

Diante de tudo que foi relatado até então fica comprovada a importância da formação do engenheiro eletricista e a obtenção dos conhecimentos das disciplinas da grade curricular, que se mostraram de fundamental importância para o desenvolvimento das atividades do estágio. Tais conhecimentos são de grande importância para se transpor desafios que venham a surgir após a conclusão da graduação.

Constatou-se a importância do estágio como primeiro contato com a vida profissional do futuro engenheiro, onde foi possível ter contato com profissionais atuando na área e observando de perto todos os aspectos de sua atuação no desempenho de suas atividades.

Conclui-se que as atividades propostas previamente para o estágio foram executadas com êxito e a contribuição obtida a partir do desenvolvimento das atividades são várias, que vão desde a melhoria na identificação problemas na rede de distribuição da universidade como também, nas operações de modificação e manutenção da mesma. Além disso, os estudos de viabilidade de instalação de sistemas fotovoltaicos podem ser expandidos para muitos outros blocos da universidade, pois apresentam ótimas condições para instalação de sistemas desse tipo.

Em suma pode-se dizer que o estágio foi muito proveitoso, tanto para o aluno na questão de conhecimento técnico e de atuação profissional, quanto para a Prefeitura no desenvolvimento de atividade relevantes para a Universidade Federal de Campina Grande.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa N° 482**. 2012. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [2] Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Resolução Normativa N° 687**. 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [3] **Caderneta de poupança**. Índices mensais. Disponível em: http://www.portalbrasil.net/poupanca_mensal.htm. Acesso em: Abril de 2016.
- [4] **Dimensionamento de Sistemas Solares Fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.portal-energia.com/dimensionamento-de-sistemas-solares-fotovoltaicos/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [5] **Geração Distribuída**. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [6] **Guia de microgeradores fotovoltaicos**. Disponível em: <http://www.americadosol.org/guiaFV/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [7] **Inversor Central AGILO 100.0-3 OUTDOOR – Folha de dados técnicos**. Disponível em: <http://www.fronius.com/>. Acesso em: Abril de 2016.
- [8] **Métodos de Orçamento de Capital com Excel**. Disponível em: http://www.renatoaulasparticulares.com.br/orc_capital_excel1.htm#texto_link_8. Acesso em: Abril de 2016.
- [9] **Neosolar Energia**. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/>. Acesso em: Abril de 2016
- [10] Energisa. **Norma de Distribuição Unificada 004 – NDU 004**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: Abril de 2016
- [11] Energisa. **Norma de Distribuição Unificada 006 – NDU 006**. Disponível em: <http://www.energisa.com.br/>. Acesso em: Abril de 2016
- [12] **Painel Solar Fotovoltaico Yingli YL250P 29b – folha de dados técnicos**. Disponível em: <http://www.neosolar.com.br/loja/>. Acesso em: Abril de 2016
- [13] PINHO, J. T., GALDINO, M. A., et al. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos**. CRESESB, 2014. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/>. Acesso em: Abril de 2016
- [14] **Portal Solar**. Disponível em: <http://www.portalsolar.com.br/>. Acesso em: Abril de 2016
- [15] **Potencial Solar – SunData**. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?>. Acesso em: Abril de 2016
- [16] **Prefeitura Universitária UFCG**. Disponível em: <http://www.prefeitura.ufcg.edu.br/>. Acesso em: Abril de 2016

ANEXO A – ORÇAMENTO NEOSOLARENERGIA



Neosolar Energia Ltda ME

+55 11 4328-5113

R Cel Paulino Carlos, 176

04006-040 - São Paulo/SP

contato@neosolar.com.br



São Paulo, 23/mai/2016

A/C Sr(a): Snadgyell Dahasley Barros Leal

ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

Produza sua própria energia!

Estudo Técnico e Orçamento



VANTAGENS DA ENERGIA SOLAR

- ☀ **Use energia de fonte Limpa, Renovável e Inesgotável**
- ☀ **Reduza o valor de sua Conta de Luz**
- ☀ **Proteja-se contra os fortes aumentos na conta de energia**
- ☀ **Valorize seu imóvel com tecnologia de ponta em sustentabilidade**
- ☀ **Instalação é simples, rápida e não afeta a rede elétrica já existente**
- ☀ **Baixíssima necessidade de manutenção**
- ☀ **Painéis com garantia de 25 anos e vida útil de até 40 anos**
- ☀ **Monitore diariamente sua produção de energia via web e celular**



NEOSOLAR ENERGIA

A Neosolar Energia é especialista em Energia Solar Fotovoltaica e pioneira no Brasil em projetos e instalação de sistemas conectados à rede, com compensação de energia.

Possuímos larga experiência e somos referência neste mercado, ministrando cursos e treinamentos práticos para engenheiros, instaladores e projetistas em todo o país.

Trabalhamos com as principais marcas mundiais, equipamentos de qualidade comprovada, forte suporte técnico, complementados pela nossa rede de serviços credenciados em todo o país.

Projetamos seu sistema pensando em desempenho, confiabilidade e durabilidade

ORCF-L-114675-01

ORÇAMENTO DE VENDA

São Paulo, 23/mai/2016

DADOS DO CLIENTE

Nome:	Snadgyell Dahasley Barros Leal	Empresa:	UFCG
Cidade:	CAMPINA GRANDE / PB	Fone / Cel:	(83) 9965-50342
E-mail:	snadgyell.leal@gmail.com	Endereço:	
Obs.:			

ITEM	DESCRIÇÃO	VALOR TOTAL
1	Gerador Fotovoltaico 122,4 kWp ¹	R\$ 964.799,52

SUBTOTAL:	R\$ 964.799,52
FRETE:	Consultar
TOTAL:	R\$ 964.799,52

¹ ITENS INCLUSOS NO GERADOR FOTOVOLTAICO:

- Painéis Fotovoltaicos: 480x Pannel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P (255Wp) - BR
- Inversores: 5x Inversor Fronius Eco 25.0-3-S (25.000W)
- Suporte para fixação dos painéis (Kit THESAN Parafuso estrutural de rosca dupla - telhado inclinado fibrocimento, cerâmica, metálico)
- Proteções elétricas de corrente contínua
- Cabo solar específico para corrente contínua
- Conectores MC4
- Material elétrico e miscelâneas necessárias para instalação do sistema
- Serviço de instalação do sistema
- Projeto elétrico e regularização do sistema junto a distribuidora de energia
- Sistema de monitoramento dos dados de produção de energia

ITENS NÃO INCLUSOS:

- Outros itens não especificados e frete desde nosso Armazém até o local da instalação (a menos que esteja especificado na proposta)

CONDIÇÕES DE PAGAMENTO

- 1/3 de sinal, 1/3 antes do envio dos equipamentos e 1/3 após a conclusão dos serviços
- Impostos Inclusos. Valores em R\$, sujeitos a variações do Dólar (confirme os valores antes de fechar o pedido)

PRAZO DE ENTREGA

- Entrega final em até 90 dias após o aceite da proposta ou conforme cronograma a ser definido entre as partes

VISITA TÉCNICA

- Após o aceite dessa proposta, será realizada uma visita técnica para detalhamento do projeto e confirmação do orçamento

SUPORTE PARA FIXAÇÃO DOS PAINÉIS

- Foi considerado nesta proposta a utilização de perfis em alumínio reforçado (estrutura sem inclinação, para telhados já inclinados)

MATERIAL ELÉTRICO DE INSTALAÇÃO

- Foi considerado nesta proposta o material típico utilizado em instalações de sistemas de energia solar
- Cabos e eletrodutos CC para distâncias de até 15 metros entre os painéis e inversor e entre inversor e ponto de conexão
- DPS, Disjuntores CA e CC, Chave Seccionadora CC, conectores, parafusos e miscelâneas de instalação
- Após visita técnica será confirmado o material necessário para a instalação

SERVIÇO DE INSTALAÇÃO

- Incluso na proposta
- Passando de 100km de distância, serão cobrados os custos de deslocamento e estadia caso necessário

PROJETO E REGULARIZAÇÃO JUNTO A DISTRIBUIDORA

- Incluso na proposta

GENERALIDADES

- Este orçamento tem validade de 10 dias

EST-L-114675-01

Dimensionamento de Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Rede Elétrica (Grid-Tie)
DADOS DO CLIENTE:

Nome:	Snadgyell Dahasley Barros Leal	Empresa:	UFCG
Cidade:	CAMPINA GRANDE / PB	Fone / Cel:	(83) 9965-50342
E-mail:	snadgyell.leal@gmail.com	Endereço:	
Obs.:			

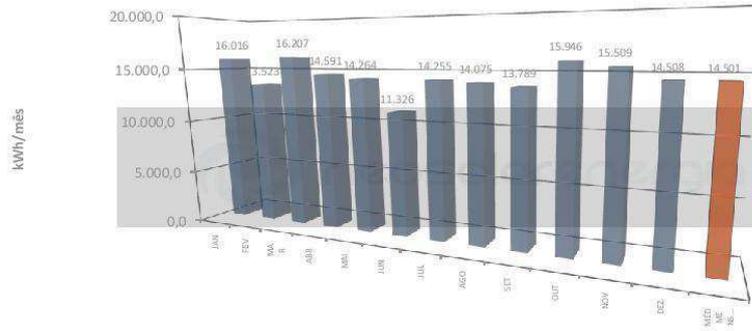
DADOS DA INSTALAÇÃO

CIDADE:	CAMPINA GRANDE / PB	DISTRIBUIDORA:	EBO (Energisa Borborema ? Distribuidora de Energ
LOCALIZAÇÃO:	Lat / Long / Alt	TARIFA MÉDIA:	R\$ 0,43 /kwh
CONSUMO MÉDIO:	14.004 Kwh/mês	TIPO LOCAL:	Centro de distribuição
	168.048 Kwh/ano	REDE:	

CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

POTÊNCIA INSTALADA:	122,40 Kwp	INCLINAÇÃO:	10°
PAINÉIS:	480x Painel Solar Fotovoltaico Canadian CSI CS6P-255P (255Wp) - BR	AZIMUTE:	180° (N)
INVERSORES:	5x Inversor Fronius Eco 25.0-3-S (25.000W)	EFICIÊNCIA ESTIMADA:	74,8%
PRODUÇÃO MÉDIA:	14.501 Kwh/mês	COBERTURA SOLAR:	103,5%
	174.007 Kwh/ano		

Estimativa de evolução do Sistema Fotovoltaico



Dados de Irradiação: INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e LABSOLAR (Laboratório de Energia Solar/UFSC) - Brasil

OBSERVAÇÕES

A Neosolar utiliza dados de irradiação do INPE (Instituto Nacional de Pesquisa Espacial) e NREL (U.S. National Renewable Energy Laboratory). Usamos os dados mais próximos disponíveis para a localidade onde será feita a instalação do sistema de energia solar. O dimensionamento é feito conforme consumo de energia informado pelo solicitante. A conferência dos dados é de responsabilidade do cliente. Este estudo é simplificado e aproximado. A produção real de energia depende de inúmeros fatores locais não foram considerados no estudo. A garantia dos equipamentos é fornecida pelos fabricantes. Sempre consulte os termos de garantia de cada equipamento.

ANEXO B - ORÇAMENTO PORTALSOLAR



FICHA TÉCNICA DO SEU SISTEMA GERADOR

Para atender a sua demanda de eletricidade, o seu sistema gerador de energia solar fotovoltaica precisa ter uma potência de:

121,15

kWp. (ou potência instalada)

O preço médio de um gerador fotovoltaico deste tamanho varia no mercado de:

R\$ 700.080,00

até

R\$ 969.200,00

Quantidade de placas fotovoltaicas:

485

de 250 Watts

Produção anual de energia

186720

kWh/ano aproximadamente

Área mínima ocupada pelo sistema:

969,24

metros quadrados aprox.

Peso médio por metro quadrado:

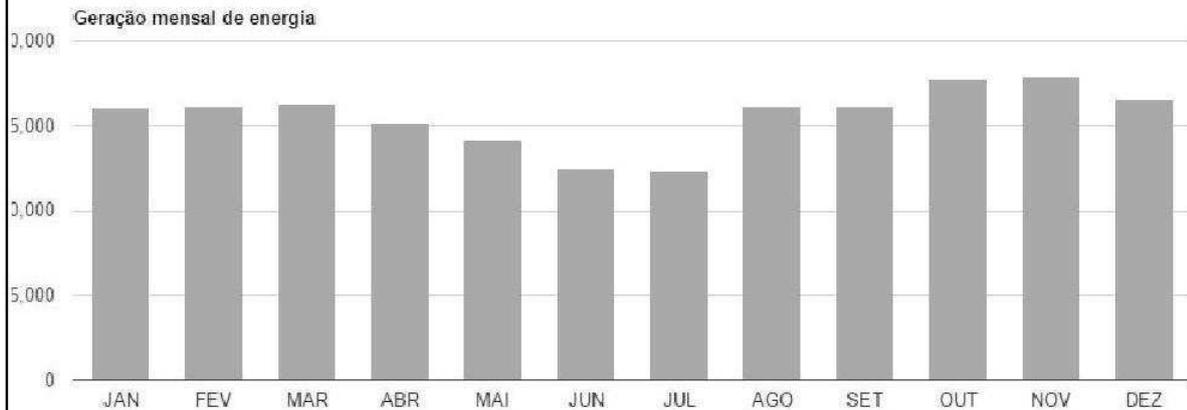
15

kilograma / metro quadrado

Geração mensal de energia:

15560

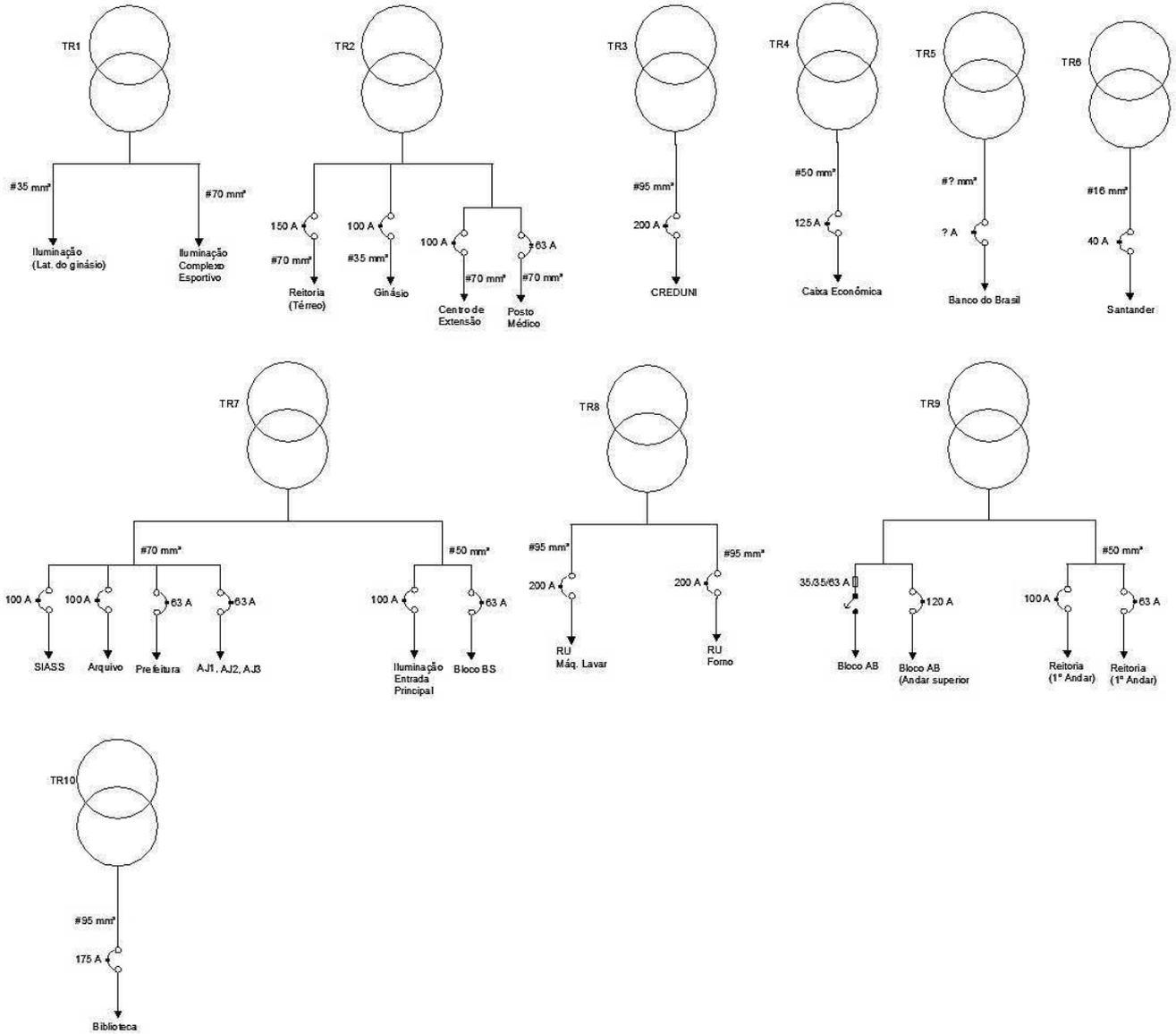
kWh/mes aproximadamente



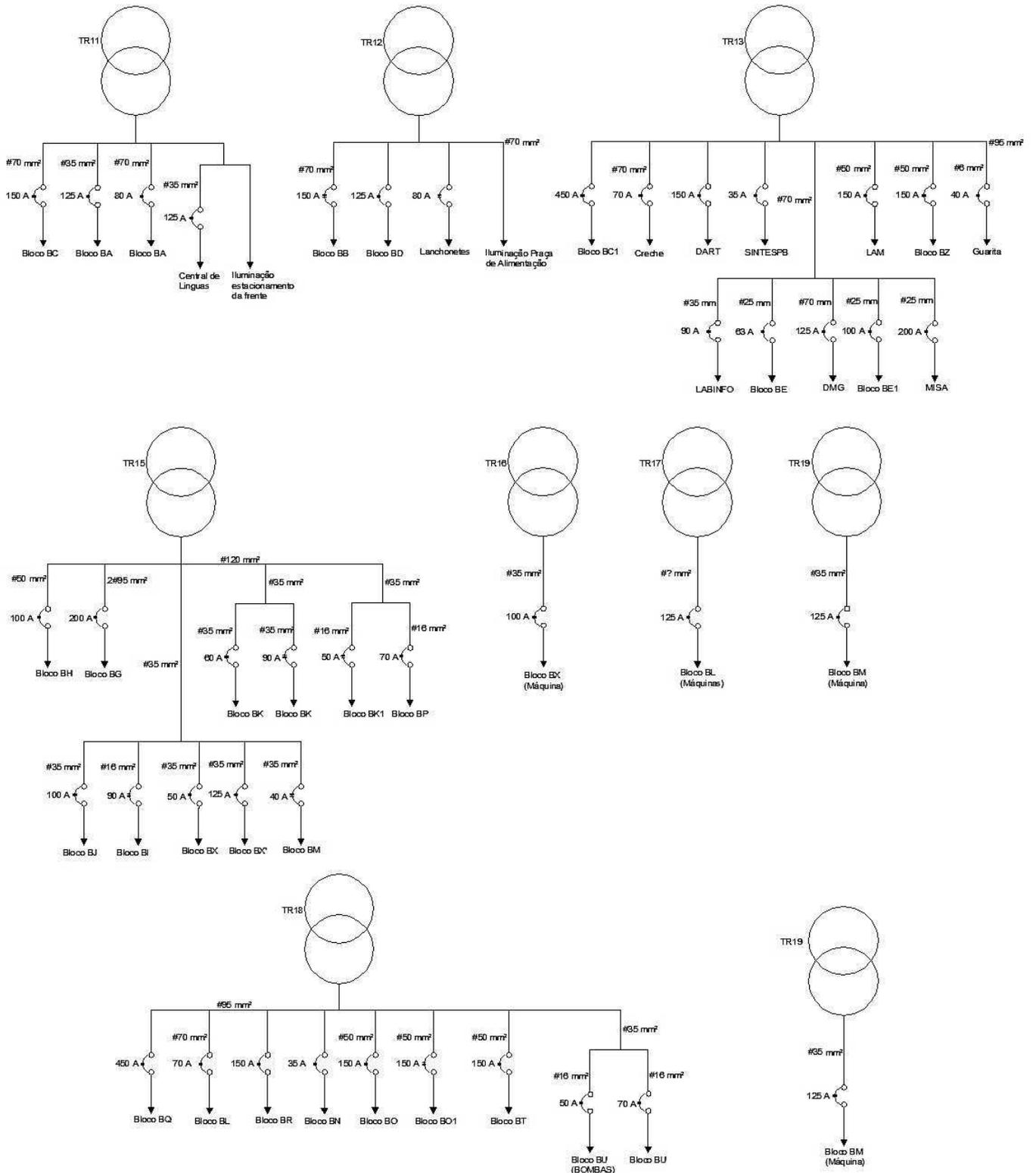
ATENÇÃO: os valores aqui citados vão variar, para mais ou menos, de acordo com a complexidade da sua instalação. (por exemplo: altura do telhado, distância, rede local, etc). O cálculo de produção de energia baseia-se na radiação solar da região selecionada. Diversos fatores como inclinação dos painéis fotovoltaicos, sombras ou outro tipo de interferência podem influenciar na produção de energia do seu sistema.

APÊNDICE A – DIAGRAMAS UNIFILARES

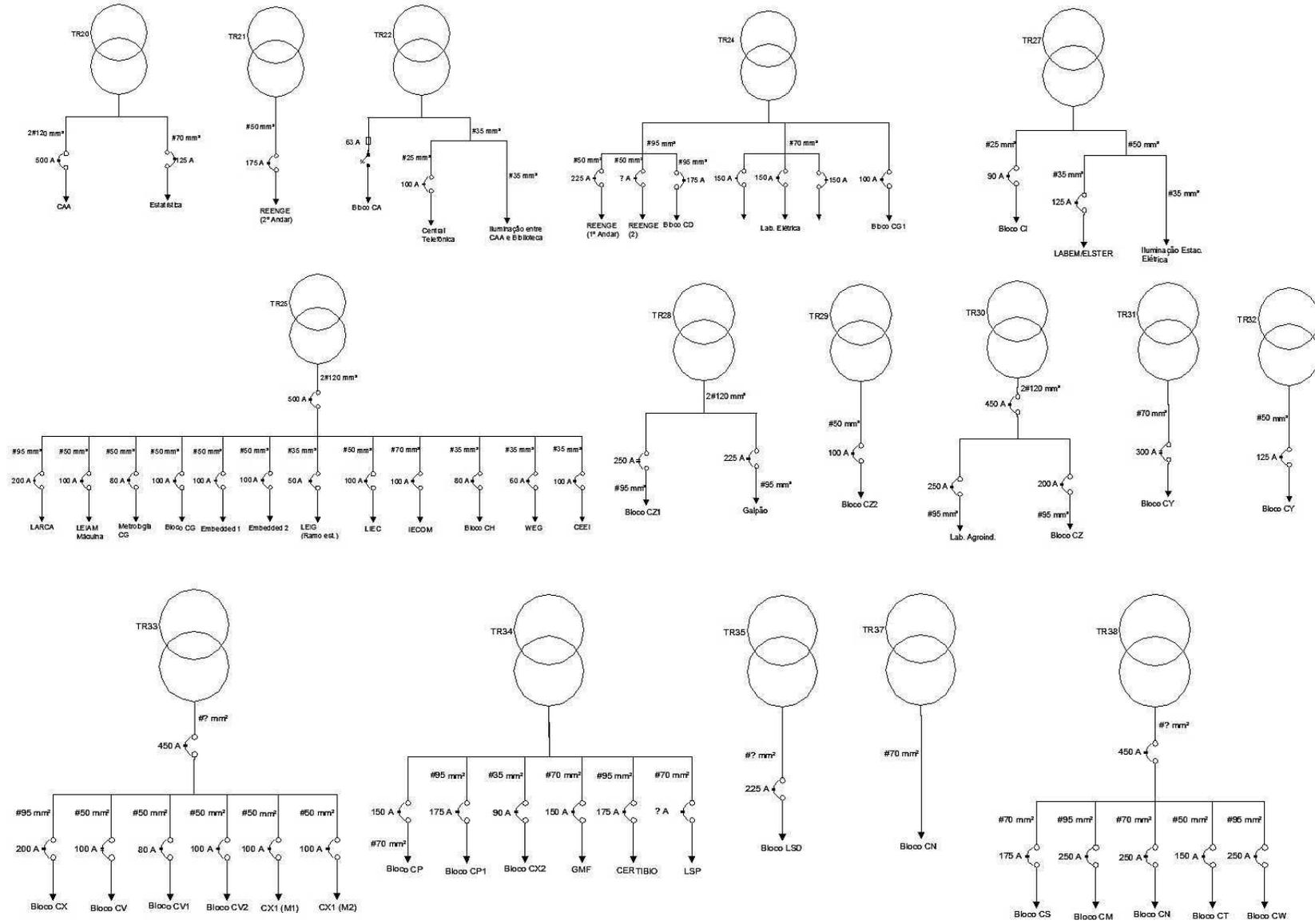
Setor A



Setor B



Setor C



APÊNDICE B – PLANTA ELÉTRICA MÉDIA TENSÃO

APÊNDICE B – PLANTA ELÉTRICA BAIXA TENSÃO